



ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ЛЕСА

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК

Научно-информационный журнал

2012 г. № 9(92)

**Координационный
совет журнала**

Главный редактор
А.Н. ОБЛИВИН

Зам. главного редактора
В.Д. НИКИШОВ

Члены совета
В.В. АМАЛИЦКИЙ
М.А. БЫКОВСКИЙ
В.И. ЗАПРУДНОВ
Н.И. КОЖУХОВ
А.В. КОРОЛЬКОВ
В.А. ЛИПАТКИН
Е.И. МАЙОРОВА
М.Д. МЕРЗЛЕНКО
А.К. РЕДЬКИН
А.А. САВИЦКИЙ
Ю.П. СЕМЕНОВ
Д.В. ТУЛУЗАКОВ
В.А. ФРОЛОВА
В.С. ШАЛАЕВ

Ответственный секретарь
Е.А. РАСЕВА

Редактор
В.Б. ИВЛИЕВА
Набор и верстка
М.А. ЗВЕРЕВ
Электронная версия
Н.К. ЗВЕРЕВА

Журнал издается при поддержке
Научно-образовательной
ассоциации лесного комплекса

Журнал зарегистрирован Министерством
РФ по делам печати, телерадиовещания и средств
массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации
ПИ № 77-12923 от 17.06.2002

Журнал входит в перечень утвержденных
ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей
ученых степеней

Материалы настоящего журнала могут быть
перепечатаны и воспроизведены полностью или
частично с письменного разрешения издательства.

Редакция журнала принимает к рассмотрению не публиковавшиеся ранее статьи объемом 5–10 страниц, включая рисунки и таблицы. Требования к представлению материалов приведены в конце номера.

Рукописи, не соответствующие указанным требованиям, не принимаются; статьи, отклоненные редакцией, не возвращаются.

© ГОУ ВПО МГУЛ, 2012

Подписано в печать 14.12.2012.
Тираж 500 экз.
Заказ № 17
Объем 20,5 п. л.

Издательство Московского государственного университета леса
141005, Мытищи-5, Московская обл.,
1-я Институтская, 1, МГУЛ. (498)687-41-33
les-vest@mgul.ac.ru

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Предисловие</i>	4
Моисеев Н.А. <i>Исходное состояние и что надо сделать для наведения должного порядка в лесных делах России</i>	6
Беднова О.В. <i>Структурное разнообразие лесных экосистем как индикатор их нарушенности и основа для природоохранного планирования пространства городских ООПТ</i>	16
Бурков В.Д., Шалаев В.С., Крапивин В.Ф. <i>О роли лесных экосистем в изменении климата</i>	30
Бурков В.Д., Крапивин В.Ф., Шалаев В.С. <i>Роль почвенно-растительных формаций и водных экосистем в биогеохимических циклах</i>	43
Алейников А.А., Ефименко А.С. <i>Характеристика естественного возобновления кедра сибирского (<i>Pinus sibirica</i>) в крупнопоротниковых и высокоотравных лесах Северного Предуралья</i>	52
Белов Д.А. <i>Комплекс энтомофагов открыто живущих и минирующих членистоногих в городских насаждениях Москвы. Структура и особенности</i>	58
Лихачев А.А. <i>Лесные экосистемы города Королева как биоцентры локальной экологической сети</i>	66
Федотов Г.Н., Рудометкина Т.Ф., Шалаев В.С. <i>Влияние дозы биологически активных веществ и их концентрации в растворах на стимуляцию роста растений при предпосевной обработке семян</i>	71
Федотов Г.Н., Рудометкина Т.Ф., Шалаев В.С. <i>Изучение органического вещества самопроизвольно выделяющихся из почв гелевых пленок</i>	74
Погиба С.П., Рабцун А.С. <i>Селекционно-генетический анализ лесных популяций</i>	79
Чумаченко С.И. <i>Концептуальная модель долгосрочного прогнозирования природной пожарной опасности для зоны тайги и смешанных лесов европейской части России</i>	83
Бурков В.Д., Крапивин В.Ф., Шалаев В.С. <i>Сбалансированная модель глобального биогеохимического круговорота углерода</i>	86

Смирнова О.В., Чумаченко С.И. <i>Концептуальная модель динамики напочвенного покрова</i>	94
Бурков В.Д., Шалаев В.С., Крапивин В.Ф. <i>Создание архива биометрических и продукционных характеристик растительности</i>	103
Галкин Ю.С., Потапов В.Н. <i>Обработка модели гиперспектрального снимка с использованием дополнительных дешифровочных признаков</i>	111
Давыдов В.Ф., Батырев Ю.П. <i>Дистанционное определение деградации почвенного покрова</i>	115
Бурков В.Д., Крапивин В.Ф., Шалаев В.С., Шутко А.М. <i>Микроволновый мониторинг влажности почвы как элемента регионального водного баланса</i>	122
Хуторова Н.А. <i>Роль и место экологического менеджмента в системе устойчивого развития</i>	135
Зенина Н.Н. <i>Теоретические основы формирования региональных лесных кластеров</i>	138
Хуторова Н.А. <i>Международный опыт использования инструментов экологического налогообложения в системе экологического менеджмента</i>	144
Шалаев В.С., Чумаченко С.И., Кулакова О.А. <i>Глобальная лесная информационная служба (GFIS): российский интернет-сегмент</i>	151

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий сборник подготовлен по итогам работы в 2012 г. ученых, работающих по тематике Института системных исследований леса Московского государственного университета леса. Публикуемые результаты в очередной раз подчеркивают междисциплинарный характер исследований. Кроме того, в качестве определенной специфики итогов необходимо отметить их традиционную комплексность, заключающуюся в привлечении к работам ученых Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, ряда академических институтов: Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН и Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН и др. Институт системных исследований леса традиционно сотрудничает с этими организациями в рамках соответствующих творческих связей, договоренностей и договоров, таких как Договор о совместной деятельности Московского государственного университета леса Минобразования РФ и Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН в области развития фундаментальных научных исследований и повышения качества фундаментального образования, Договор о совместной деятельности Московского государственного университета леса Минобразования РФ и Института радиотехники и электроники Российской академии наук в области развития фундаментальных научных исследований и повышения качества фундаментального образования, Договор о сотрудничестве при создании Центра коллективного пользования уникальным оборудованием «Изучение природных наноматериалов» между факультетом почвоведения Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова и Московским государственным университетом леса от 15 июля 2011 г.

Первая часть сборника начинается статьей заведующего кафедрой экономики и организации на предприятиях лесного хозяйства и лесной промышленности, профессора, академика РАСХН Н.А. Моисеева, посвященной анализу состояния лесного комплекса России, его проблемам и направлениям развития. Далее следует ряд статей, касающихся определенных направлений и отдельных вопросов лесных и урбоэкосистем, развивающих ранее полученные конкретные результаты. Среди них статьи О.В. Бедновой «Структурное разнообразие лесных экосистем как индикатор их нарушенности и основа для природоохранного планирования пространства городских особо охраняемых природных территорий»; В.Д. Буркова, В.С. Шалаева, В.Ф. Крапивина «О роли лесных экосистем в изменении климата» и «Роль почвенно-растительных формаций и водных экосистем в биогеохимических циклах»; А.А. Алейникова и А.С. Ефименко «Характеристика естественного возобновления кедра сибирского в крупнопапоротниковых и высокотравных лесах Северного Предуралья»; Д.А. Белова «Комплекс энтомофагов – открыто живущих и минирующих членистоногих в городских насажде-

ниях Москвы. Структура и особенности»; А.А. Лихачева «Лесные экосистемы г. Королева как биоцентры локальной экологической сети»; Г.Н. Федотова, Т.Ф. Рудометкиной, В.С. Шалаева «Влияние дозы биологически активных веществ и их концентрации в растворах на стимуляцию роста растений при предпосевной обработке семян» и «Изучение органического вещества самопроизвольно выделяющихся из почв гелевых пленок»; С.П. Погибы и А.С. Рабцуна «Селекционно-генетический анализ лесных популяций».

Следующие пять статей исследуют проблемы моделирования при исследовании лесных и урбоэкосистем: С.И. Чумаченко «Концептуальная модель долгосрочного прогнозирования природной пожарной опасности для зоны тайги и смешанных лесов европейской части России»; В.Д. Буркова, В.С. Шалаева, В.Ф. Крапивина «Сбалансированная модель глобального биогеохимического круговорота углерода» и «Создание архива биометрических и продукционных характеристик растительности»; О.В. Смирновой, С.И. Чумаченко «Концептуальная модель динамики напочвенного покрова»; Ю.С. Галкина, В.Н. Потапова «Обработка модели гиперспектрального снимка с использованием дополнительных дешифровочных признаков».

В двух следующих статьях рассматриваются возможности дистанционных методов исследования почвы. Это статьи В.Ф. Давыдова, Ю.П. Батырева «Дистанционное определение деградации почвенного покрова» и В.Д. Буркова и других «Микроволновый мониторинг влажности почвы как элемента регионального водного баланса».

В заключительной части настоящего сборника приведены результаты экономико-экологических исследований. Здесь статьи Н.А. Хуторовой «Экологический менеджмент как инструмент устойчивого развития» и «Международный опыт использования инструментов экологического налогообложения в системе экологического менеджмента», Н.Н. Зениной «Теоретические основы формирования региональных лесных кластеров». Сборник завершается изложением результатов работы по развитию российского сегмента Глобальной лесной информационной службы (GFIS) как части мировой системы GFIS в статье В.С. Шалаева, С.И. Чумаченко, О.А. Кулаковой.

ИСХОДНОЕ СОСТОЯНИЕ И ЧТО НАДО СДЕЛАТЬ ДЛЯ НАВЕДЕНИЯ ДОЛЖНОГО ПОРЯДКА В ЛЕСНЫХ ДЕЛАХ РОССИИ

Н.А. МОИСЕЕВ, академик РАСХН, д-р экон. наук

moiseev@mgul.ac.ru

Сравнение исходного состояния использования лесов и ведения лесного хозяйства в России с зарубежным опытом наглядно показывает, что к числу недостатков отечественной практики всего лесного дела в стране относятся: сведение к недопустимому минимуму организационных форм лесопользования; ошибочная ориентация на расширение только одной единственно допустимой Лесным Кодексом (2006) формы аренды, расширяющей границы и без того присущей ей монополии на лесные ресурсы; нарушение баланса экономических интересов между основными субъектами лесных отношений путем использования узаконенных административных способов при установлении платы за лесные ресурсы в угоду частному капиталу; лоббистский характер формирования и принятия лесного законодательства; недееспособные формы государственного управления лесами, которые привели к убыточности лесопользования и лесного хозяйства и, как следствие, к деградации лесов и сдерживанию поступательного развития всего лесного сектора экономики.

«Управление, – как говорил известный мудрец Конфуций, – это исправление». Без устранения отмеченных недостатков невозможно представлять прогресс в лесных делах России, тем более организацию устойчивого пользования и управления лесами, требование которого лишь декларативно значится в 1 статье Лесного Кодекса, но не работает на практике.

Определение понятия устойчивого управления лесами и механизма перехода к нему с учетом исходных реалий

В специальной литературе, в т.ч. посвященной нормативно-правовому обеспечению лесных отношений, нет строгого общепринятого его определения. Авторы, занятые этой проблематикой, отмечают, что он многоас-

пектен, многомерен, «многолик». Но все они соглашаются, что фундаментальной основой является известный в многовековой истории лесопользования принцип постоянства, ныне законодательно закрепленный в формулировке принципа непрерывного неистощительного пользования лесом (ННПЛ) применительно ко всему расширяющемуся во времени ассортименту ресурсов и услуг леса (рыночных и нерыночных), которые отражают систему целей – социальных, экономических, экологических и культурных (духовных) – для лесного хозяйства на перспективу, для формирования лесов многоцелевого значения. Каждая из этих целей отражает определенный аспект или составляющую лесопользования.

Социальный аспект означает ориентацию воспроизводства в лесном хозяйстве на сбалансирование спроса и предложения на ресурсы и услуги леса для данного общества, повышение его занятости, жизненного уровня и комфортности окружающей среды, что выражается в критерии «качество жизни».

Экономический аспект этого требования означает баланс экономических интересов основных субъектов лесных отношений, который должен обеспечить безубыточность деятельности для каждого из них. Нарушение этого разрушает экономическую среду, а рыночную экономику превращает в «квазирыночную», которая и господствует в нынешнем лесном секторе России.

Экологический аспект означает такую деятельность в лесу, которая не только соответствует охране и защите лесов, но и в более широком плане охраны окружающей среды способствует их улучшению в перспективе. Эта сторона деятельности особенно важна для лесного хозяйства в связи с долгосрочной спецификой лесовыращивания как главного профиля отрасли.

Наконец, культурный (духовный) аспект предусматривает формирование лесов в

рамках ландшафтов разного уровня высоких эстетических качеств, способствующих воспитанию людей и общества в целом высокого духовного уровня.

Все эти цели должны быть тесно взаимосвязаны в общей системе многоресурсного лесопользования как главной общей мировой тенденции развития не только лесного хозяйства, но и всего лесного сектора отраслей в их органическом единстве, в рамках нередко используемого понятия «лесной кластер».

И вот тут, если не ограничиваться частностями, а руководствоваться генеральной линией развития лесопользования, в котором должны быть увязаны все цели, чтобы они не противоречили друг другу, то с позиции именно такого системного подхода – его еще нередко называют интегративным – и следует оценить, насколько ныне главенствующий тип хозяйствующего субъекта соответствует генеральной линии устойчивого развития, оценить его недостатки и наметить возможные с учетом реалий меры по их устранению или, как минимум, к смягчению. Безусловно, следует подумать, как вообще устранить монополию на пользование лесными ресурсами, сдерживающую развитие лесного сектора и государственного управления лесами, которая должна быть координатором действий для всех хозяйствующих субъектов, а не послушной слугой лоббирующих. Заслуживают особого внимания вопросы: какие дополнительные хозяйствующие субъекты могли бы «разбавить» застойную монопольную среду и как вернуть государству и его уполномоченному органу управления лесами ту роль, которую по общественному предназначению оно должно выполнять. Вот вопросы первостепенного значения, к которым и следует обратиться, несмотря на их остроту и неоднозначное понимание каждым субъектом лесных отношений.

Но прежде чем обратиться к этим вопросам, следует обозначить сам механизм организации устойчивого пользования лесами, как ту «дорожную карту», которой должны руководствоваться все основные субъекты лесных отношений: и государство как владелец лесов, и бизнес в обобщенном лице всех

лесоиспользователей, и само общество, которое выступает и владельцем лесов, и потребителем продуктов и услуг леса, и участником общего производственного процесса, и, наконец, выразителем общественных интересов, которыми должны руководствоваться все субъекты лесных отношений, в т.ч. все ветви государственной власти.

Экономический и правовой механизм организации устойчивого пользования и управления лесами должен исходить из сути этого главенствующего требования, и потому должен обеспечить не только непрерывное неистощительное пользование ресурсами и услугами, но, что не менее важно, гарантировать их воспроизводство для сохранения самих лесов, их ресурсного и экологического потенциала, включая биоразнообразие. Для гарантии воспроизводства используемых ресурсов необходимо законодательными мерами обеспечить финансирование затрат на проведение соответствующих природе лесов и условиям их произрастания региональных систем лесохозяйственных мероприятий (РСЛХМ), затраты на которые составляют себестоимость воспроизводства используемых ресурсов, которая должна быть одной из составных частей их платежей. Рыночная цена на ресурсы леса как товар на рынках, в зоне влияния которых находятся леса, должна определяться на аукционе в условиях конкуренции. Но перед выставлением на аукцион (лесные торги) органы управления лесами должны определять стартовые (не минимальные, как до сих пор) цены на основе рентообразующих факторов. Разница между рыночной ценой ресурсов леса и себестоимостью их воспроизводства и составляет чистый доход, за счет которого можно осуществлять меры по расширенному воспроизводству лесных ресурсов.

В общий механизм перехода на устойчивое развитие входит и такое адресное распределение рыночных цен за ресурсы леса по финансовым потокам, которое должно обеспечить баланс экономических интересов субъектов лесных отношений. При этом финансирование затрат на воспроизводство используемых ресурсов должно направлять-

ся на счета тех юридических лиц, которые непосредственно ответственны за обязательства по ведению лесного хозяйства. В числе их должны быть арендаторы, обремененные такими обязательствами, а на неарендованных освоенных лесных площадях – органы местного управления лесами, которые организуют за этот счет привлечение подрядчиков на контрактной основе для выполнения соответствующих лесохозяйственных мероприятий. Что касается чистого дохода, то он по законодательному соглашению должен распределяться между бюджетами разных уровней, за счет которых могут финансироваться инвестиции для создания соответствующей инфраструктуры, в т.ч. для строительства магистральных лесных дорог и противопожарного обустройства лесов, а также для реконструкции лесов, научных исследований, подготовки кадров и других мероприятий.

В практике промышленно развитых зарубежных стран с рыночной экономикой обычным приемом определения размера платы за древесину на корню является его приравнивание к остаточной стоимости, получаемой путем вычитания из рыночной цены лесоматериалов издержек производства по всей сквозной технологической цепочке, включая и нормативную прибыль предпринимателя. В составе этой остаточной стоимости выделяется плата на воспроизводство используемого ресурса, которую канадцы, например, называли «нижним порогом». Она рассчитывается по нормативам с учетом состава лесов и планируемых для их воспроизводства мероприятий и предназначена для прямого целевого использования.

В России этот «нижний порог» называли «минимальной платой», но изменили ее назначение. Вместо того чтобы ее оставить на региональном и местном уровнях для финансирования лесного хозяйства, в т.ч. и для оплаты возложенных обязанностей на арендатора, ее отправляют в федеральный бюджет (в среднем за последние три года около 75 %). Откуда по несовершенной методике в виде субвенций часть возвращается на исполнение переданных полномочий по управлению лесами. Но при этом не обеспечивается

даже простое воспроизводство используемых лесов, что приводит к продолжающейся смене пород и снижению лесного потенциала в качественном отношении.

Типы хозяйствующих субъектов и условия их кооперации в рамках лесного сектора экономики

Перейдем к вопросу, какие дополнительные хозяйствующие субъекты могут разбавить ныне существующую монополию на пользование ресурсами леса.

К числу нынешних арендаторов следует добавить в качестве хозяйствующего субъекта прежде всего мелкий и средний бизнес, которые были вытеснены крупным бизнесом после принятия последнего Лесного Кодекса.

Практика последних лет также показала, что незаслуженно принижена роль и бывших лесхозов, которые сохранились в тех субъектах РФ, где была компетентная и ответственная исполнительная власть.

Вот три типа хозяйствующих субъектов, которые должны занять достойное и подобающее им место в развитии лесного сектора экономики на перспективу. Но они должны занять только соответствующее для своего типа место в этом секторе, соответственно этому месту получить и должное функциональное назначение. Но, чтобы эти типы хозяйствующих субъектов могли слаженно функционировать и даже в идеале тесно сотрудничать между собою, не обойтись без преобразования ныне парализованного государственного управления лесами, которое должно быть не слугой подкупающего его монопольного лесопользователя, а распорядителем, эффективно регулирующим лесные отношения между всеми названными типами хозяйствующих субъектов в принадлежащих самому обществу лесах и от имени которого только и должна действовать эта уполномоченная государством власть.

Вкратце рассмотрим возможный образ названных типов субъектов лесных отношений и желательный характер их действий. Начнем с ныне действующего главного юридического лица на лесной арене – предста-

вителя крупного бизнеса в лице инвесторов, который по кодексу и в дополнение к нему известным постановлением приоритетных инвестиционных проектов был выведен на сцену, чтобы организовать и форсировать широкомасштабную глубокую переработку древесного сырья, без которой немислимо поднимать лежащий на боку нынешний лесной сектор, занимающийся преимущественно односторонней деятельностью по заготовке и механической обработке древесины.

Не будем трогать с насиженного места ныне действующие пока немногочисленные крупные компании и корпорации, уже взявшие леса в аренду. Что касается будущих инвестиционных проектов, то в части глубокой переработки, судя по их положению в условиях финансового кризиса, если они и состоятся, то за пределами наступающего десятилетия. А к тому времени может кардинально измениться и мировая, и отечественная обстановка и, вполне возможно, что им тогда, может быть, не потребуется существующая ныне весьма архаичная форма долгосрочной аренды, которая в мире отжила свой век.

По словам представителя крупного финского бизнеса Ханса Солстрема, исполнительного вице-президента ИРМ, три известных крупных корпорации Финляндии лишь на 10 % удовлетворяют потребности в древесине за счет принадлежащих им лесов. Все остальное закупают по договорам из государственных и частных лесов, пользуясь услугами подрядчиков по контрактам на аукционной основе. И оказывается, что при этом они действуют более эффективно, чем наши нынешние крупные арендаторы, пользующиеся арендными договорами.

Автор этих строк припоминает участие в крупном совещании, организованном Федеральной государственной службой лесного хозяйства России в 1997 г. в Санкт-Петербурге, посвященном арендным договорам. На этом совещании генеральный директор Сегежского ЦБК говорил примерно так, зачем ему такая обуза, как аренда лесов, и необходимость связывать себя с несвойственными профилю предприятия обязательствами по лесному хозяйству, когда ему и без всякой

аренды поставят по предварительно заключенным договорам необходимые балансы в виде мелкотоварной древесины и древесных отходов, от которых рады освободиться руководители лесозаготовительных и лесопильных предприятий. В принципе он был прав, и это могло бы вполне состояться и быть даже более эффективным вариантом кооперации данного ЦБК с предприятиями по заготовке древесины и лесопилению, чем та аренда, которую позже заключили другие много раз сменившиеся собственники и руководители этого ЦБК, но которая так и не смогла удовлетворительно решить проблему обеспечения древесным сырьем. Чтобы реализовать первоначально предлагавшийся вариант, руководство республики Карелии в партнерстве с предпринимателями могли бы и должны были организовать должную кооперацию между хозяйствующими субъектами, занятыми лесным бизнесом, и отрегулировать их экономические отношения. Эта проблема остается злободневной и поныне.

С самого начала надо четко определить место арендной формы лесопользования в лесах России. Как по первоначальной концепции предлагалось, ее место только в тех многолесных районах, где отсутствует конкуренция на лесные ресурсы и где доминируют леса эксплуатационного назначения. Ибо, как наглядно доказала мировая практика, лесной бизнес, мотивированный, как и любой другой, на максимализацию прибыли, не заинтересован в сохранении и тем более в воспроизводстве нерыночных ресурсов и услуг – общественных благ, которые не дают дохода, а сопряжены с расходами. Попытки же искусственной их коммерциализации, как показывает практика аренды рекреационных услуг, мотивирована лишь скрытым желанием «тихой» приватизации этих лесов и перевода их под другие категории землепользования, в т.ч. под строительство, что наглядно подтверждают многие подобные случаи в лесах Московской области (и не только), ставшие достоянием прессы.

Между тем, как характеризуют данные таблицы, аренда оказалась широко представленной во всех регионах, в т.ч. в малолесных

Характеристика удельного веса арендной формы лесопользования и среднего размера платежей по Федеральным округам в 2010 г.

Наименование	Ед. измер.	Рослесхоз	Малолесные и среднелесистые					Многолесные			
			Центральный ФО	Приволжский ФО	Уральский ФО	Южный и Северо-Кавказский ФО	Всего	Северо-Западный ФО	Сибирский ФО	Дальневосточн. ФО	Всего
Объем заготовки	млн м ³	173,6	16,7	28,5	15,0	0,9	61,1	46,9	50,4	15,2	112,5
в т.ч. по аренде	млн м ³	120,7	10,9	16,5	9,7	0,1	37,2	36,8	34,6	12,1	83,5
Уд. вес аренды	% %	69,5	65,2	57,9	64,7	11,1	60,9	78,5	68,7	79,6	74,2
Платежи за древесину на корню	руб./м ³	78,7	100	86	68,5	92	85,5	96	57	69	75

и среднелесистых (за исключением Южного и Северо-Кавказского), относящихся к «эпицентру» внутреннего лесопотребления, где аренда тоже занимает доминирующий удельный вес, в среднем около 60 %, как и в многолесных регионах (74 %), несмотря на то что леса здесь давно освоены, имеют многоцелевое значение и все предпосылки для других (помимо аренды) организационных форм лесопользования, в т.ч. «купли-продажи» древесины на корню через аукционы.

Из-за преобладания аренды невысока средняя обезличенная цена древесины на корню, незначительно и их различие по двум группам округов (85,5 и 75 руб./м³) относительно средней цены по Рослесхозу (79 руб./м³).

Отсюда и низкая доходность лесопользования в целом по стране, уступающая в среднем за последние годы в два раза величине расходов на лесное хозяйство, которое остается на крайне экстенсивном уровне.

Недостатки аренды лесов в части выполнения обязательств по лесному хозяйству общеизвестны. Во-первых, эти обязательства далеко не охватывают все необходимые лесохозяйственные мероприятия в общей системе. За пределами их не номинально, а практически остаются меры по охране лесов от пожаров, защите от вредителей и болезней, а также от всякого рода лесонарушений. А при плохом лесоуправлении именно эти мероприятия выходят на первый план, почему, например, и горят в первую очередь плохо управля-

емые леса. Во-вторых, у арендаторов неважно обстоят дела и с лесовосстановлением, что особенно касается уходов за формирующимися молодняками на протяжении первых двух десятилетий, что обесценивает значение всех других проводимых мер в этом направлении. Выполнение вышеуказанных мер при неподготовленности самих арендаторов возможно и целесообразно путем привлечения лесхозов по предварительно заключенным с ними договорам там, где эти организации еще сохранились. В пользу этого варианта говорит положительный пример отдельных субъектов, например, республик Татарстана, Башкирии, Удмуртии, Марий-Эл, где лесхозы технически оснащены, в т.ч. и противопожарным оборудованием, и обеспечивают эффективную охрану лесов от пожаров и от лесонарушений, а также лесовосстановление.

И, в-третьих, следует подчеркнуть, что весьма пагубным обстоятельством явилась преждевременная замена разрешительного порядка лесопользования (он до сих пор остается в силе в Канаде, опыт которого пробуют использовать в России) на заявительный, при котором даже введенный многоступенчатый допуск арендатора к ресурсам (договор, проект освоения лесов, его экспертиза и затем ежегодные декларации) на практике остается фикцией, ибо при этом новом порядке отсутствует материально-денежная оценка древостоев, отводимых в рубку, и потому резко занижается лесной доход, а арендная плата не заменяет ее, ибо она не более чем плата за

допуск к праву пользования лесом, но отнюдь не за ежегодно отводимые древостои в рубку. Как следствие, арендатор, пользуясь искусственно заниженной стоимостью древесины, стремится к первоочередной вырубке лучших высокоствольных древостоев, оставляя на корню худшие, ускоряя истощение закрепленных за ним лесов по типу выбытия известных в истории периодически действующих или временных предприятий.

Проект освоения лесов представляет не перспективный план сбалансированных способов рубок и лесовосстановления, а лишь набор кварталов с перечнем выделов, их запасов и породного состава, со ссылкой на лесохозяйственный регламент по лесничеству, который, как средняя температура по больнице, не соответствует ни характеру лесов арендатора, ни способам их рубок и возобновления леса.

Теперь даже у руководства государственных органов управления лесами, включая Рослесхоз, созрело убеждение, что арендные отношения требуют совершенствования. Но чтобы приступить к решению этой злободневной задачи, назрела необходимость вначале провести тщательную инвентаризацию положения дел при этой форме лесопользования, притом, по примеру Канады, обязательно с помощью независимой организации от лесопользователя и от органов управления лесами, которые до сих пор мирились с существующими недостатками нерадивых арендаторов. На первом этапе проверку следует начать с выборки отдельных типичных субъектов по федеральным округам. В последующем же должен стать нормой периодически (через каждые пять лет, как в Канаде) независимый аудит по всем без исключения арендаторам для решения вопросов о сохранении арендных договоров и неукоснительного устранения вскрытых недостатков. Только такой подход может помочь усовершенствовать эту форму лесопользования, пока она окончательно не дискредитировала себя.

Усилия отдельных представителей бизнеса перевести арендованные леса в частные лесовладения рассчитаны на возможность использования лесов по своему усмотрению,

ухода от общественного контроля. В монографии «Политика лесных концессий» проф. Дж. А. Грей, обобщив опыт многих стран мира, делает аргументированный вывод, что приватизация государственных лесов в медленно растущих бореальных лесах неэффективна и уступает государственной форме собственности на леса, которая лучше соответствует общественным интересам. И он же делает вывод, что приватизация эффективна лишь для быстрорастущих промышленных древесных плантаций с короткими оборотами рубок. Что, например, привлекло финские корпорации в Латинской Америке? Возможность получить там посредством плантаций за 8–10 лет ту же кондиционную древесину, на выращивание которой в бореальной зоне требуется 50–80 лет.

К тому же надо иметь в виду, что во всех странах мира усиливается давление общественности на ограничение концессий и аренд, на допуск принимаемых в них решений и даже на участие в управлении ими местного населения, особенно коренного, в защиту прав которых все настойчивее выступают представители разных слоев общества.

Демократизация обстановки, связанной с арендой как монопольной формы пользования лесом, возможна и должна бы совершаться за счет более широкого привлечения мелкого и среднего бизнеса, оказавшегося «за бортом» после принятия Кодекса. В прошлом именно с этим бизнесом была тесно связана занятость местного населения и его жизненный уровень.

Но сотрудничество крупного бизнеса с мелким и средним должно быть не в порядке снисхождения первого по отношению ко вторым, а на паритетных началах, которые должны выстраиваться на балансе их экономических интересов. Но, как показывает практика лесного бизнеса, добровольно никто не уступает своих прав в пользу других. И без участия государства, его исполнительной власти, в обязанности которой входит регулирование лесных отношений, в т.ч. и в особенности экономических, сами по себе возникающие конфликты стихийно не разрешаются. В этом отношении весьма ха-

рактен недавний пример разрешения конфликта, связанного с монополией «Монди СЛПК» на окружающем его рынке балансовой древесины, где доля влияния последнего достигает 85 %. Этот монополист предлагал лесозаготовительным предприятиям цены за балансы значительно ниже их себестоимости, несмотря на систематический рост энергетических и транспортных тарифов и рост цен на продукцию у самого «Монди СЛПК», что не давало шансов на развитие предприятий-поставщиков. В разрешение конфликта вынуждено было вмешаться Правительство Республики Коми. По его настоянию «Монди» вынужден был скорректировать цены на листовые балансы, повысив их на 32 %, хотя в целом ценовая политика еще не обеспечивает эффективной работы лесозаготовительных предприятий.

Отмеченная конфликтная ситуация не единственная, она присуща многим крупным компаниям, в т.ч. и по отношению даже к собственным леспромхозам, принадлежащим им. Периодически знакомясь с лесными предприятиями Архангельской области, автор этих строк убеждался в наличии тех же конфликтных ситуаций, являющихся следствием монопольного положения крупного арендатора в зоне его деятельности.

Устранение этой уже многолетней хронической болезни возможно, если власть всех уровней, в т.ч. и ее антимонопольные органы, будут не безучастными созерцателями, а участниками регулирования экономических отношений между хозяйствующими субъектами по всей сквозной технологической цепочке, в особенности при регулировании ценовой политики. Пример такого рода показали даже первые лица государства, вынужденные принимать участие в регулировании ценовой политики в агропромышленном комплексе (АПК), поскольку это было непосредственно связано с продовольственной безопасностью страны и уровнем жизнеобеспечения населения. Кардинально же изменить ситуацию возможно, если ограничить форму аренды только многолесными регионами и устранить отмеченные недостатки, в т.ч. принятием мер государственного регулирования.

Что же касается регионов с освоенными лесами, в т.ч. «эпицентра» внутреннего рынка лесопотребления, где более высокая плотность населения, есть необходимая инфраструктура и большие резервы неиспользуемого годичного прироста в размере, превышающем объем лесозаготовок в целом по стране, то здесь для крупных инвестиционных проектов в обеспечении их древесным сырьем следует по примеру промышленно развитых стран с продвинутым лесным сектором (Финляндия, США и др.) шире переходить на привлечение малого и среднего бизнеса на контрактной основе через аукционы, что будет способствовать демократизации ситуации в лесном секторе, несравнимо расширит участие населения, его занятость и платежеспособность, что явится толчком и к развитию внутреннего рынка, а соответственно и к подъему лесного сектора. В этих районах важно развивать такие жизненно необходимые направления для населения, как домостроение, а также производства таких импортозамещающих товаров, как бумага, картон, а в будущем и продуктов биоэнергетики, что удешевит энергообеспечение производств в ЛПК и местного населения в зоне их деятельности.

Формы участия мелкого и среднего бизнеса могут быть самыми разными, от индивидуальных и семейных подрядов до объединений предпринимателей в ассоциации, а при государственной поддержке на начальном этапе в народные предприятия и даже корпорации, которые занимают значимое место в разных странах, в т.ч. в США.

Однако нельзя умолчать о важной роли, которую могут и должны сыграть лесхозы в форме государственных предприятий, государственных и автономных учреждений. Оценивая роль этого хозяйствующего субъекта в перспективе следует иметь в виду, что за арендной формой лесопользования закреплено около 140 млн га, или 18 % от всей лесопокрытой площади страны, с установленным отпуском древесины около 200 млн м³, из которых в 2010–2011 гг. освоено было лишь 60–70 % названного норматива.

Если в ближайшие 5–10 лет арендатор освоит полностью эту часть лесопокрытой площади, встает вопрос, а кто будет охранять леса и вести хозяйство, включая и использование лесов на остальной площади лесного фонда? Претендента на решение этой задачи, кроме лесхоза, пока не предвидится. Не говоря уже о том, что в защитных лесах, доминирующих в малолесных и среднелесистых районах, сохраняется строгий режим рубок леса и где давно назрела нужда в обновлении и реконструкции накопившихся здесь спелых и перестойных древостоев. Но более подготовленного субъекта для решения такой задачи не подобрать. Тем более, как показывает опыт Польши, именно на базе лесхозов возможно широкое привлечение мелкого и среднего бизнеса на контрактной аукционной основе к выполнению самых разнообразных лесных работ: от заготовки древесины до лесовосстановления и других лесохозяйственных мероприятий.

Более того, именно лесхозам можно доверить хозяйство в рекреационных лесах, которые обеспечат облагораживание лесов, очистку от накопившегося хлама, создадут условия для массового отдыха людей и охрану от пожаров и лесонарушений, особенно в опасный пик совпадений с массовым наплывом людей именно в летний период. Все эти работы довольно затратны и на начальном этапе низкорентабельны, если не убыточны даже на заготовке древесины при разработке прошлых ветровалов, горельников и древостоев, пострадавших от вредителей (типа короеда типографа) и болезней (корневая губка).

Есть и дополнительная проблема защитного лесоразведения, которая для засушливых малолесных и безлесных регионов остается важнейшей стратегической государственной задачей. Засуха, посетившая эти регионы летом 2012 г., напомнила о значимости этой задачи.

Но в услугах лесхозов будут нуждаться и не подготовленные к лесному хозяйству арендаторы.

Как видим, по общей совокупности задач, объему и значимости лесхозы в пер-

спективе могут выйти на первый план не только в области лесного хозяйства, но даже и по удельному весу заготовки древесины в общем объеме по стране. Тем более, что именно они являются более демократичной площадкой для объединения усилий широкого круга мелких и средних представителей лесного бизнеса и именно они способны открыть широкий доступ населению к трудовой занятости в условиях второй волны мирового кризиса.

Поэтому лесхозам, которые государственными органами незаслуженно были задвинуты в ходе необдуманных реформ на задний план, предстоит выйти на передний. И этому, безусловно, должны способствовать и государственная власть, и само предпринимательское сообщество, в т.ч. униженный мелкий бизнес, оказавшийся за бортом после революционных законодательных реформ. Лесхозы, безусловно, заслуживают особого внимания научного сообщества, ибо на базе этих организаций гораздо легче проводить инновационные эксперименты. Практика показала, что крупный лесной бизнес пока скуп на сотрудничество с наукой. Подтвердил это и бывший Президент РФ Д.А. Медведев, заявив, что пока этот бизнес «спит», не проявляет заинтересованности в инновациях.

Но полноценное государственно-частное партнерство для организации устойчивого управления и пользования лесами может состояться при условии, если к этому будет не просто привлечено, а в авангарде эффективное государственное управление лесами на всех его уровнях.

Вкратце охарактеризуем, каким оно в последние годы стало и каким оно должно быть в интересах подъема всего лесного сектора экономики. О нынешнем его состоянии автор уже писал в недавних публикациях, характеризуя его как «парализованное» («Лесная газета» от 14 и 17 июля 2012 г.).

Для России как федерального государства с лесами, находящимися в федеральной собственности, государственное управление лесами должно сохранять преемственную органическую связь его органов по всей федеральной вертикали. При смене политических и экономических систем на протяжении

последних более чем двух столетий это положение для государственных лесов оставалось незыблемым постулатом. Совершенная с 2006 г. передача субъектам РФ управления, владения и пользования федеральными лесами означает резкое снижение его качества и переход к конфедеративному типу государственного управления лесами, подобно Канаде с ее государственным устройством по типу конфедерации. Представим ситуацию, когда по примеру лесов в ведение субъектов будут переданы и другие природные ресурсы, в т.ч. рудные, месторождения газа и нефти, золотые и алмазные прииски, которые неравномерно размещены по территории страны. При слабости федеральной власти Президент России Б.Н. Ельцин, чтобы локализовать противостояние с властью субъектов, пошел на соглашения, заключая договора с отдельными из них, в которых подтверждалась собственность субъектов на природные ресурсы. Придя ему на смену, В.В. Путин, чтобы спасти страну от распада и укрепить федеральную вертикаль, по существу аннулировал соглашения о собственности субъектов на природные ресурсы, в т.ч. и на леса.

Никакой необходимости не было возвращаться к шагам вспять, ибо это не укрепляет государственную власть и не способствует более эффективному управлению лесами. Наоборот, оно по существу оказалось вообще недееспособным.

Переваливание всех накопившихся проблем лесного сектора с федерального уровня на региональный, многие из которых вообще не решаемы на уровне субъектов РФ из-за отсутствия таких возможностей, лишь отодвигает их решение на неопределенное будущее. К числу таких проблем, например, относятся: определение и реализация национальной лесной политики, разработка федеральных программ с обоснованием оптимального размещения в масштабах страны наиболее значимых инвестиционных проектов (разработанная «Стратегия развития лесного комплекса России до 2020 г.» пока не может приниматься в расчет, ибо она даже не удостоилась внимания Правительства и утверждения); создание разрушенного в

ходе перестройки лесного машиностроения; строительство магистральных лесных дорог для освоения резервных лесов; возрождение доведенной до жалкого состояния сферы высшего и среднего профессионального образования и отраслевой лесной науки, без чего несерьезно говорить о модернизации и об инновациях в лесном секторе. Это только выборочный перечень проблем, которые не решаются на уровне субъектов РФ и относятся к сфере государственного управления на федеральном уровне. Последнее отвечает не только за состояние лесов, но и за их использование и хозяйство в них, которые осуществляются посредством обоснованного взаимодействия всех субъектов лесных отношений на всех уровнях управления лесами.

В нынешнем виде Рослесхоз как федеральный орган, призванный, казалось бы, отвечать за эффективное государственное управление лесами по всему спектру задач, не располагает такими полномочиями, кроме функции надзора, которая ни в коей мере не может подменять государственное управление лесами и определять его результативность. При этом невольно вспоминаются слова господина Г. Грефа, бывшего Министра МЭРТ как идеолога последнего лесного кодекса, заявившего в одном из интервью после принятия кодекса, что он теперь не видит места Федеральному агентству лесного хозяйства. Такой момент, по-видимому, теперь наступил, когда благодаря принятому вопреки общественному мнению кодексу федеральный орган лишился основных полномочий по управлению лесами.

Не в лучшем положении оказался и местный орган управления, на который всегда опиралась верховная власть в общей системе государственного управления. Оно так же сведено до надзорной функции, которую этот орган не способен осуществлять из-за малочисленности при больших площадях (в среднем до 750 тыс. га на районное лесничество) при бумагообороте, до 75 % отнимающего рабочее время. По существу ни федеральный, ни местные органы управления лесами при нынешнем их состоянии недееспособны, чтобы обеспечить должное государственное уп-

равление лесами. Но даже если бы они обладали возможностями контроля, то и при этом, по словам отечественного лидера лесопромышленности проф. М.М. Орлова, сам по себе контроль лишь регистрирует недостатки, которые при долгосрочном периоде лесовыращивания часто уже неисправимы. А потому важно не допускать их, что возможно только в результате контроля, совмещенного с руководством самим процессом управления лесами.

Итак, когда многие проблемы лесного сектора не решаемы на региональном уровне из-за отсутствия необходимых для этого возможностей, а федеральный и местный уровни управления лишены необходимых для этого полномочий, то о каком государственном управлении лесами в России может вообще идти речь? В итоге нет должного управления лесами, нет надежной охраны, нет и надлежащего хозяйства в них. Полный простор в лесу для свободы действий главного лица, заинтересованного в прибыли. Каков будет результат, остается только догадываться.

Хотелось бы надеяться и рассчитывать, что первые лица государства, без которых обычно не решаются судьбоносные вопросы, вмешаются в неблагоприятное положение с управлением лесами, как это было после катастрофических пожаров лета 2010 г., и исправят недопустимое отношение к лесам самой многолесной державы, которая у всего мира на виду.

Что же следовало бы предпринять в качестве первоочередных мер для исправления отмеченного выше исходного положения?

Чтобы не доводить дело до крайностей, следует, прежде всего, восстановить федеральную вертикаль управления лесами в составе единого федерального органа, придав ему отнятые с мая 2006 г. элементарные полномочия, которыми владеют государственные лесные службы других стран, например США, Финляндии, Германии.

В составе федеральной вертикали особого внимания заслуживает укрепление лесничества как органа управления на местном уровне, где и «кипят» основные страсти. Исторически, как подчеркивал и проф. М.М. Орлов, лесничий должен быть «центром и ду-

шой» государственного лесопромышленного управления, ибо именно ему доверено большое «государственное имущество», которое он призван не только охранять, но и организовать наиболее эффективное использование. Каждое лесничество, как писал в 20-х гг. XX столетия акад. В. Переход, должно быть рентабельным, обеспечивая не только самоокупаемость лесного хозяйства, но и получение максимально возможного чистого дохода в казну государства. Как не раз напоминает член-корр. РАН И.В. Шутов, лесное хозяйство в казенных лесах царской России было высокорентабельным.

Но и предприниматель не может быть в убытке. Искусство государственного управления лесами сводится к тому, чтобы деятельность обеих сторон – владельца лесов (государства и его специально уполномоченного органа) и предпринимателя были бы эффективны и создавали взаимозаинтересованный баланс экономических интересов. Что это вполне возможно, показывает опыт многих стран. И на международной конференции 19–21 июля 2012 г. «Устойчивое развитие лесного сектора: вызовы рынка» (в г. Пушкино Московской обл.) докладчики многих стран (Польши, Канады, скандинавских стран и др.) наглядно демонстрировали это. Только несведущим людям непонятна аксиома, что в освоенных лесах деятельность обоих партнеров – и лесничества, и предпринимателя – не может быть убыточной.

Но как это ни парадоксально, лесное хозяйство в России вот уже два десятка лет оказывается убыточным и держится только на дотациях государства, а потому и остается крайне экстенсивным.

Чтобы организовать эффективное пользование и управление лесами, надо начинать с планирования, без которого в лесном хозяйстве не обходится ни одна страна мира. Лесной план был основой деятельности и в царское время, и в советское. И вот теперь, в ходе перестройки, когда надо переходить к организации устойчивого пользования и управления лесами, что стало требованием для всех стран мира, реформаторы России решили последним кодексом упразднить лесной

план для лесничества, а чтобы никто не сумел к этому вернуться, заодно ликвидировали и лесоустройство, основной функцией которого на протяжении 200-летней истории лесоуправления было лесное планирование на местном уровне как важнейший инструмент лесоуправления. Как это понимать, задаются вопросом многие профессионалы, глядя наверх, где были те, кто делал и принимал такой пагубный закон.

Восстановить службу лесоустройства, восстановить лесное планирование на уровне лесничества и субъекта РФ (в нынешнем виде лесной план субъекта РФ не выдерживает никакой критики) необходимо, чтобы организовать эффективную практическую деятельность.

С бывшим руководителем Совета по развитию лесного комплекса при Правительстве РФ В.А. Зубковым в 2011 г. были достигнуты понимание и договоренность специально рассмотреть на отдельном заседании Совета вопрос о статусе лесоустройства и источника его финансирования. Хотелось бы

надеяться, что сменивший В.А. Зубкова на этом посту А.В. Дворкович поддержит ранее достигнутую договоренность и вернется к обсуждаемому вопросу о восстановлении лесоустройства и с помощью его лесного планирования. Этому должна помочь и недавняя (09.08.12) беседа Президента России В.В. Путина с губернатором Костромской области, где вопрос о лесоустройстве, которого не было в этой области более 15 лет, был обострен до предела и, кажется, получил понимание у Президента.

Выше было акцентировано внимание на главных, первоочередных вопросах управления и пользования лесами, с чего только и начинается упорядочение лесных дел в стране и обдуманый переход к организации устойчивого и эффективного развития лесного сектора и в его составе лесного хозяйства.

Главное, чтобы голос профессионального сообщества доходил до первых лиц государства, без которых в сложившейся практике принятия решений ни один важный вопрос в стране, к сожалению, не решается.

СТРУКТУРНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ КАК ИНДИКАТОР ИХ НАРУШЕННОСТИ И ОСНОВА ДЛЯ ПРИРОДООХРАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВА ГОРОДСКИХ ООПТ

О.В. БЕДНОВА, доц. каф. экологии и защиты леса МГУЛ, канд. биол. наук

caf-ecology@mgul.ac.ru

В основе идеи сохранения биоразнообразия посредством создания особо охраняемых природных территорий (ООПТ) лежит принцип охраны биологических видов в естественной среде их обитания, качество которой необходимо поддерживать, а следовательно, и контролировать.

Многочисленными биоэкологическими исследованиями продемонстрировано, что популяции и сообщества видов откликаются изменениями структуры на внешние воздействия как природного, так и антропогенного происхождения. Поэтому количественные и структурные характеристики популяций (численность, структура – демографичес-

кая, половая, виталитетная, генотипическая и т.д.) и сообществ (число видов, отдельных таксономических и экологических групп и их соотношения) приобретают значение биоиндикационных параметров, с помощью которых можно судить о качественном состоянии экосистемы. Так, исследование биоразнообразия на уровне сообщества имеет два аспекта – таксономическое (композиционное) разнообразие, представленное максимально полным списком обнаруженных видов, и эколого-структурное – определение численных соотношений (обилий) видов, входящих в сообщество. Это положение отражает современные представления о видовом биоразно-

образии как функции от двух компонентов – видового богатства (общего числа видов) и выравненности (равномерности распределения видов по их обилию или биомассе). На основе этих двух параметров разработан ряд интегральных показателей – индексов разнообразия (индексов неоднородности), позволяющих оценить биоразнообразие количественно. Их аналитический обзор приводится в ряде известных монографий [1–4].

При использовании биотических интегральных показателей в экологическом мониторинге необходимо, чтобы они не только адекватно отражали структурно-функциональные характеристики сообществ, но и давали бы представление о степени отклонения состояния экосистем от нормы в условиях антропогенного воздействия [2, 5]. В урбанизированных условиях нарушенность лесной экосистемы можно оценить через степень нативности представленного видового разнообразия. Для этого необходимо получить представление о таксономическом разнообразии в сообществе и сравнить его с таковым в фоновых условиях. Но это непросто – трудоемок сбор первичного материала по множеству групп организмов сообщества, и полное исследование видового разнообразия – трудно выполнимая задача. Есть другой способ – выбор отдельных групп организмов в качестве биоиндикаторов. Этот подход в ряде случаев демонстрирует хорошие результаты по характеристике загрязненности воздуха или воды, изменении гидрологического режима территории, рекреационной нагрузке, но при этом не идет речь об интегральной оценке состояния биотической составляющей экосистемы. Возможно, выход может быть найден в развитии более обобщенного подхода.

Учитывая, что в экосистемах разнообразие порождает разнообразие [6], то при экологических оценках логично воспользоваться не только видовым, но и другими формами разнообразия. В исследовательской практике известны примеры использования мер видового разнообразия в ином контексте – для оценки разнообразия других компонентов экосистем, так или иначе косвенно определяющих или отражающих видовую структуру

сообществ [3] экосистем разного территориального масштаба. В общем виде этот прием можно обозначить как *оценку структурного разнообразия*.

Исследование лесных экосистем разных территориальных масштабов как нельзя лучше соответствуют возможностям структурного подхода. Внутри экосистемы дифференцируется разнообразие местообитаний сообществ, т.е. биотопов, и число их типов на определенной территории дает общее представление о видовом богатстве последней. Структурное разнообразие отдельных сообществ в составе лесной экосистемы включает, прежде всего, разнообразие элементов вертикальной и горизонтальной структуры фитоценоза, таких как возрастные парцеллы, ярусы, микрогруппировки и др.; элементы ветровально-почвенных комплексов, включая валеж (лежащие на земле стволы деревьев); обилие стоящих мертвых деревьев (сухостоя). Кроме того, в качестве признаков структурного разнообразия рассматривают разнообразие синузий, жизненных форм растений (деревья, травы, кустарники, лианы, эпифиты и др.), слагающих их популяций, параметров особей внутри популяций. Использование оценки структурного разнообразия лесных сообществ в целях исследования их сукцессионного состояния продемонстрировано в работах О.В. Смирновой с соавторами [7, 8]. Этими исследователями показано, что в нарушенных лесных сообществах ведущим фактором формирования мозаично-ярусной структуры выступает популяционная жизнь деревьев, следствием которой является формирование «окон возобновления» и ветровально-почвенных комплексов. Структура лесного сообщества в итоге представляет собой совокупность этих структурных элементов, находящихся на разных стадиях развития.

Главной задачей при оценке структурного разнообразия является адекватный выбор структур и их классификация в соответствии с целью исследования. Логичным в этой связи представляется оперирование структурой местообитаний. Так, каждый однородный участок леса (например в границах

лесотаксационного/лесопатологического выдела) является примером разнообразия биогеоценотических элементов: ярусность фитоценоза, древостой с разнообразием деревьев по породам, пологам, разнообразный спектр неживых элементов биогеоценоза, используемых в качестве пищевых субстратов или мест для укрытий лесных животных (дупла, валеж, пни, крупные камни, ямы и др.), высотные слои кроны отдельного дерева, различающиеся плотностью листвы и т.д. Через представленность и соотношение разнообразных структурных элементов косвенно можно получить представление о разнообразии видов разных таксономических, экологических групп. Например, концепция структурного разнообразия (числа вертикальных ярусов и обилия растительности в их пределах) сыграла большую роль при изучении разнообразия сообществ лесных птиц. Так, Элтоном и Маккартуром было установлено, что структурное разнообразие умеренных лесов Северной Америки гораздо лучше, чем разнообразие видов растений, отражает видовое разнообразие птиц [15].

Используя структурный подход, исследователь переходит на другой уровень экологической оценки – от оценки разнообразия видового к оценке разнообразия экологического, т.е. разнообразия территориальных и пространственных сочетаний организмов. Когда определены типы структур и местообитаний, количественно оценить их разнообразие довольно просто. Можно оперировать простыми индексами типа видового богатства [1, 3], но это будет оценка в первом приближении, хотя и она вполне может быть востребована при выявлении общей природоохранной ценности территории в целом, например по числу биотопов. Поэтому довольно популярен индекс Шеннона, что не удивительно, поскольку этот индекс заимствован из теории информации (индекс известен также как информационная мера Шеннона, энтропийная мера Шеннона, индекс Шеннона-Уивера) и причисляется к универсальным мерам разнообразия [4, 10]. Введение этого индекса в сферу биоэкологических исследований связано с Р. Маргалеефом: в 1960 г. он продемон-

стрировал применение информационной меры для измерения разнообразия сообществ, опубликовав статью «Теория информации в экологии» [3]. С тех пор индекс Шеннона в экологической трактовке это

$$H = -\sum p_i \ln p_i, \quad (1)$$

где p_i – доля особей i -го вида в сообществе.

Но в целях поиска наиболее оптимального способа оценки видового разнообразия неоднократно предпринимался и, скорее всего, будет предприниматься и далее сравнительный анализ прикладной ценности непараметрических индексов разнообразия. В ряде аналитических работ [3, 4, 9, 10] отмечается объективный характер трудностей, связанных с оптимальным выбором мер разнообразия, и это положение связывают со сложным и комплексным характером самой интерпретируемой величины, отсутствием какой-либо шкалы отсчета разнообразия, не зависимость от концепции, принятой исследователем на основе его субъективных представлений. Сама идея биологического мониторинга и мониторинга биоразнообразия как конкретной его прикладной подсистемы определяет важное свойство, которым должна обладать мера разнообразия – она должна отражать видовое богатство и близость эмпирического распределения обилий видов к некоторому «экологическому эталону». А как подчеркнуто в работе [4], «индексы разнообразия, базирующиеся на лучшей (по некоторым данным) мере энтропии по Шеннону, основываются на экологически сомнительной концепции: в качестве эталона принимается экосистема с равными обилиями всех видов, что не соответствует структуре реальных природных сообществ». В лучшем случае оценка на основе меры разнообразия Шеннона позволяет дифференцировать сообщества с одинаковым видовым богатством, но с разной степенью доминирования тех или иных видов.

Таким образом, для того, чтобы индексы разнообразия были бы действительно информативны, они должны улавливать неочевидные различия между выборками (т.е. отличаться высокой дискриминантной способностью), а их значения должны давать

представление о степени отхождения состояния биотической составляющей экосистемы от нормы. Переключение оценки с видового аспекта на структурный, возможно, позволит добиться такого результата. Это положение проверялось на основе результатов лесоэкологического мониторинга в городских и пригородных лесах Москвы и Подмосковья [14].

Главным фактором ухудшения состояния городских и пригородных лесов в настоящее время является рекреация (конечно, при условии, если леса не находятся в зоне влияния сильного азротехногенного загрязнения). Известно, что восстановление сильно нарушенных рекреацией участков леса начинается обычно с появления и разрастания подраста и подлеска, затем внедряются лесные травы. Но на более ранних, промежуточных фазах рекреационной измененности уловить направление процессов в лесном биогеоценозе не всегда просто. При этом в реальности относимые к одной стадии рекреационной дигрессии участки леса могут выигрывать по одним параметрам и проигрывать по другим в сравнении друг с другом. Например, в участках тенистого широколиственного леса, изрезанных сетью тропинок, (т.е. картина ячеистой структуры фитоценозы) довольно долго сохраняется высокая представленность лесных видов в травяно-кустарничковом ярусе и подлеске, имеется небольшой потенциал естественного возобновления. Именно такие фрагменты леса могут содействовать демулационным процессам на территории. Но по степени пространственной нарушенности – это явные кандидаты попадания в зону четвертой стадии рекреационной дигрессии или даже пограничную с пятой (в данном случае принимается во внимание диагностическая шкала Г.А. Поляковой [11]). Именно такие участки зачастую и вовлекаются в осуществление проектов по активному благоустройству городских ООПТ (печальные примеры тому «Царицыно», а совсем недавно и «Сувороковский парк» – часть Фили-Кунцевского лесопарка вдоль Крылатской улицы). Как следствие они быстро утрачивают функции фокусов лесного биоразнообразия. Поэтому для получения объективной картины при-

родоохранной ценности городского лесного массива нужен количественный интегральный показатель с хорошими дискриминантными свойствами, способный уловить направленность даже малозаметных визуальных изменений в состоянии биоценоза, ведь даже в диапазоне одной стадии рекреационной дигрессии возможны варианты.

При знакомстве со специальной литературой по измерению и оценке биоразнообразия внимание на себя обратила нечасто применяемая ввиду довольно сложного вычисления (используются факториальные значения) информационная мера Бриллюэна. В качестве причины ограниченного использования также указывается необходимость неслучайности выборки и требования полного учета элементов системы [9]. При оперировании структурой местообитаний в биогеоценозе эти ограничения смягчаются: учеты упрощаются – число местообитаний в сравнении с разнообразием видов явно значительно меньше, охватить весь спектр элементов проще. К тому же при современных вычислительных технологиях расчеты на основе факториальных значений уже не представляют трудностей. И надо подчеркнуть, что именно факториальные значения показателей адекватнее отражают возможное число взаимодействий в системе и комбинаторную природу разнообразия в целом [12].

Показатель, интегрирующий информацию о структурном разнообразии местообитаний в лесных биогеоценозах, можно обозначить как *индекс структурного разнообразия лесного биогеоценоза*, а для расчета его значений использовать формулу информационной меры Бриллюэна. В логической подоснове этого показателя идея выравнивания (в случае видовой разнообразия – видовой неоднородности), но вместо соотношения обилий видов оценивается соотношение числа различных местообитаний – ключевых элементов структурного разнообразия в лесном биогеоценозе. Индекс рассчитывается по формуле

$$H_{str} = -\frac{1}{M} \ln \frac{m_1! m_2! m_3! \dots m_l!}{M!}, \quad (2)$$

где m_i – значение i -го элемента структурного разнообразия, т.е. вида местообитания (например деревья, пни, временные водоемы);

M – суммарная оценка по всем структурным элементам биогеоценоза.

В работе Клауснитцера [13] описан опыт использования индекса Бриллюэна для оценки зависимости видового разнообразия птиц от разнообразия местообитаний, для чего была предложена схема учета элементов структурного разнообразия биоценозов. При этом часть значений, учтенных в полевых условиях элементов структурного разнообразия, для сравнимости переводится в бонитировочную шкалу. Спектр учитываемых элементов структурного разнообразия в наших исследованиях был расширен применительно к условиям лесного биогеоценоза, а оценочная шкала усовершенствована: она учитывает значимость (вес) числа отдельных микростообитаний для формирования лесной среды (табл. 1).

Учет элементов в полевых условиях проводился на пунктах постоянных наблюдений (ППН) сети лесопатологического мониторинга размером в 0,05 га по всей площади, за исключением учета естественного возобновления. Последнее учитывалось на пробной площадке в 25 м² заложенной вокруг центрального дерева ППН с последующим пересчетом на плотность в шт. экз./м² а при редком размещении подростка – по всей площади.

Диапазон значений индекса структурного разнообразия по результатам обработки данных полевых учетов включает значения от 0,89 (площадь сбоя практически 100 %, отсутствие подростка и подлеска, т.е. фактически только изреженный древостой) до 2,01 (структура лесного биогеоценоза не нарушена). Для градуировки значений индекса был использован метод функции желательности Харрингтона (МФЖ), обоснование которого приведено в работе [14]. На основе анализа эмпирических данных в качестве базовых для построения обобщенной функции желательности целесообразно использовать значения индекса в 1,85 (нарушение структуры

на уровне второй стадии рекреационной дигрессии, соответствует частной желательности 0,8 – граница «хорошо–очень хорошо») и 1,45 (состояние, соответствующее пятой стадии рекреационной дигрессии, когда при площади сбоя на уровне 90 % встречаются единичные экземпляры лесных трав, подлеска и/или подростка, в соответствие поставлено значение частной функции желательности в 0,2, т.е. граница «плохо–очень плохо»). В результате обработки эмпирических данных с помощью МФЖ были получены интервальные оценки значений индекса, отражающие уровень утраты/сохранности биогеоценозом элементов лесного структурного разнообразия. Они приведены в табл. 2, где для наглядности сопоставлены со стадиями рекреационной дигрессии.

В качестве примера применения данного методического подхода можно привести результаты оценки структурного разнообразия в границах лесного массива «Троекуровский лес», расположенного на западе Москвы – между МКАД и Рябиновой улицей (табл. 3).

Согласно интервальным оценкам (табл. 2), территория лесного урочища характеризуется сохранностью структуры лесных биогеоценозов на уровне «очень хорошо – хорошо», а следовательно, ее можно рассматривать как уникальный биоцентр в западной части московского мегаполиса. Положение ядер биоразнообразия и общую оценку биоразнообразия лесного массива можно визуализировать с помощью ГИС-технологий. В результате полученную информацию о биотической составляющей лесной экосистемы можно использовать в качестве основы для природоохранного зонирования территории. Соответствующий пример представлен на рис. 1 и 2. Для визуализации результатов в данном случае использованы возможности геоинформационной системы *Golden Software Surfer 10*.

Структурный подход можно использовать и в другом аспекте – для выявления динамики состояния лесных биогеоценозов в городских лесах. В качестве примера показательны результаты мониторинга состояния

Шкала оценки структурного разнообразия лесных биогеоценозов

Ключевые элементы структурного разнообразия	Результаты полевых учетов	Численная оценка, баллы
1. Число видов сосудистых растений, шт.	до 10 11–25 более 25	1 5 10
2. Общее количество деревьев на ПП, шт.	до 15 16–30 31 и более	1 5 10
3. Количество деревьев с диаметром более 10 см, шт.	до 15 16–30 от 31 и более	1 5 10
4. Количество растений подлесочных пород, шт.	Отсутствуют или представлены только малиной и бузиной до 10 от 11 до 25 от 26 до 50 от 51 до 75 от 76 до 100 более 100	0 1 2 4 6 8 10
5. Подрост, шт.экз/м ²	0–0,1 от 0,1 до 1 от 1 до 5 от 5 и более	0 1 5 10
6. Лесные виды в составе травянисто-кустарничкового яруса (доля в суммарном обилии травянисто-кустарничкового яруса, %)	до 5 от 5 до 25 от 26 до 50 от 51 до 75 от 76 и более	0 1 3 5 10
7. Глубина лесной подстилки, см	до 1 от 1 до 2	1 2
8. Состав лесной подстилки	Хвоя или листва Хвоя и листва	1 2
9. Пни	Число пар на расстоянии друг от друга: более 5 м 2 м – 5 м менее 2 м	За каждую пару пней 1 2 3
10. Валеж разных категорий (более 2 м в длину, диаметром от 8 см), шт.	Количество экземпляров, шт.	1 (за каждый экземпляр)
11. Расстояние до водоемов или переувлажненных участков (низины, ямы, канавы, заполняющиеся водой), с которыми есть биотическое взаимодействие, м	Более 5, но биотического взаимодействия нет более 5 от 2 до 5 менее 2	0 1 5 10
12. Старовозрастные деревья, шт.	Количество экземпляров	1 (за каждое дерево)

лесных биогеоценозов в границах лесного массива Волынский лес. В 2005 г. в Волынском лесу была организована сеть пунктов

постоянных наблюдений (ПНП) лесоэкологического мониторинга. В начале мая 2006 г. участок лесного массива, занятый слож-

Интервальная оценка значений индекса структурного разнообразия

Количественные отметки на шкале желательности и желательность значения отклика	Диапазоны значений индекса структурного разнообразия	Стадии рекреационной дигрессии
От 0,80 до 1,0: очень хорошо	от 1,85 и более	II–I
От 0,63 до 0,80: хорошо	от 1,70 до 1,85	III
От 0,37 до 0,63: удовлетворительно	от 1,55 до 1,70	III–IV (ячеистая структура фитоценоза)
От 0,20 до 0,37: плохо	от 1,45 до 1,55	IV
От 0 до 0,20: очень плохо	до 1,45	V

Т а б л и ц а 3

Интегральная оценка состояния лесных биогеоценозов в границах лесного массива «Троекуровский лес»

Тип лесного биогеоценоза	Индекс структурного разнообразия H_{str}	Значение частной функции желательности (d) и его интервальная оценка
Березняк зеленчуково-снытевый	1,74	0,681 хорошо.
Липняк зеленчуково-снытевый с подростом ели	1,91	0,847 очень хорошо.
Сосняк яснотково-снытевый с липой (л/к)	1,74	0,681 хорошо.
Березняк зеленчуково-снытевый приручьевой	1,83	0,782 хорошо.
Березняк зеленчуково-снытевый с липой	1,88	0,825 очень хорошо.
Липняк с серой ольхой зеленчуково-снытевый	1,96	0,878 очень хорошо.
Лесной массив в целом		0,778 хорошо.

ными сосняками, пройден низовым пожаром сильной интенсивности. Повторные учеты по программе мониторинга проводились на ППН в июле–августе 2006 г. (т.е. непосредственно после пожара), а далее 2008 и 2012 гг. На основе результатов учета элементов структурного разнообразия рассчитаны значения интегрального индекса, которые приведены в табл. 4.

Рассматриваемый участок леса прежде подвергался достаточно сильной рекреационной нагрузке – об этом свидетельствуют пространственная неоднородность сохранности лесной среды и достаточно развитая тропиновая сеть. Но со временем лес оказался удаленным от селитебной зоны, заброшенным в хозяйственном отношении, и стимул получили демулационные процессы – разрастание подлеска и естественное возобновление листовых пород. Посещаемость леса стала незначительной, но, к сожалению, несмотря на вхождение территории в состав ООПТ «Природный заказник «Долина реки Сетунь» – неконтролируемой. На период проведения первого мониторинга в 2005 г. отмечалось заметное скопление отпада (от 2,6 до 17,0 %), но распределение сухостоя, валежа и

бурелома не носило патологического (агрегативного) характера. Основную долю отпада и захламленности составляли единичные старовозрастные деревья с признаками гнилей, подвергающиеся бурелому и вывалу. Они активно заселялись сапротрофами. О сохранении естественных биоценологических связей свидетельствовала встречаемость достаточно редких для городских лесов видов птиц – поползня, пищухи, гнездили ворон, а на крупномерном буреломе на присаде можно было встретить тетерева (гнездится в ближайшем ельнике Кунцевской дачи), развитый подлесок привлекал представителей мелких воробьиных. При этом в стороне от тропинок и прогалин фрагментарно сохранялись экологические ниши не только для типичных лесных видов трав (вороний глаз, папоротники – кочедыжник женский, щитовники мужской и игольчатый, копытень европейский и др.), но и для видов с природоохранным статусом – ландыша майского, колокольчика крапиволистного (в одном из участках леса он фиксировался даже в составе группы доминантов (табл. 5), воронца колосистого, а в осветленных участках леса отмечались фиалки – холмовая и опушенная.

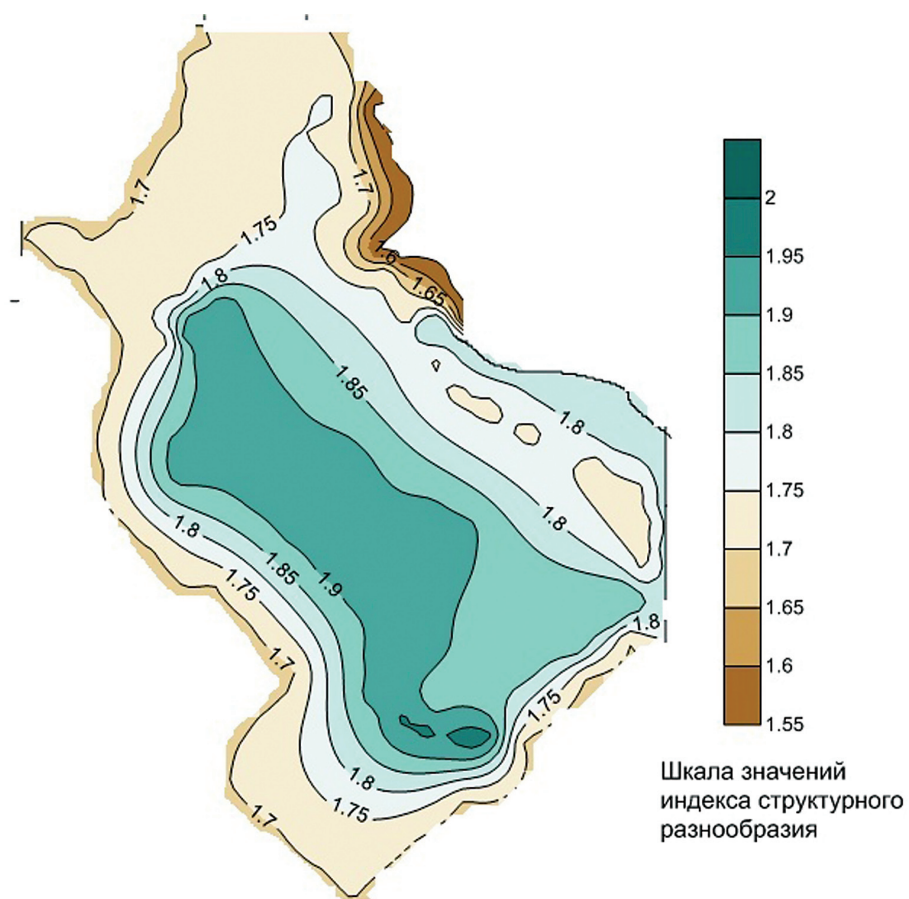


Рис. 1. Структурное разнообразие лесных биогеоценозов в границах лесного массива «Троекуровский лес»

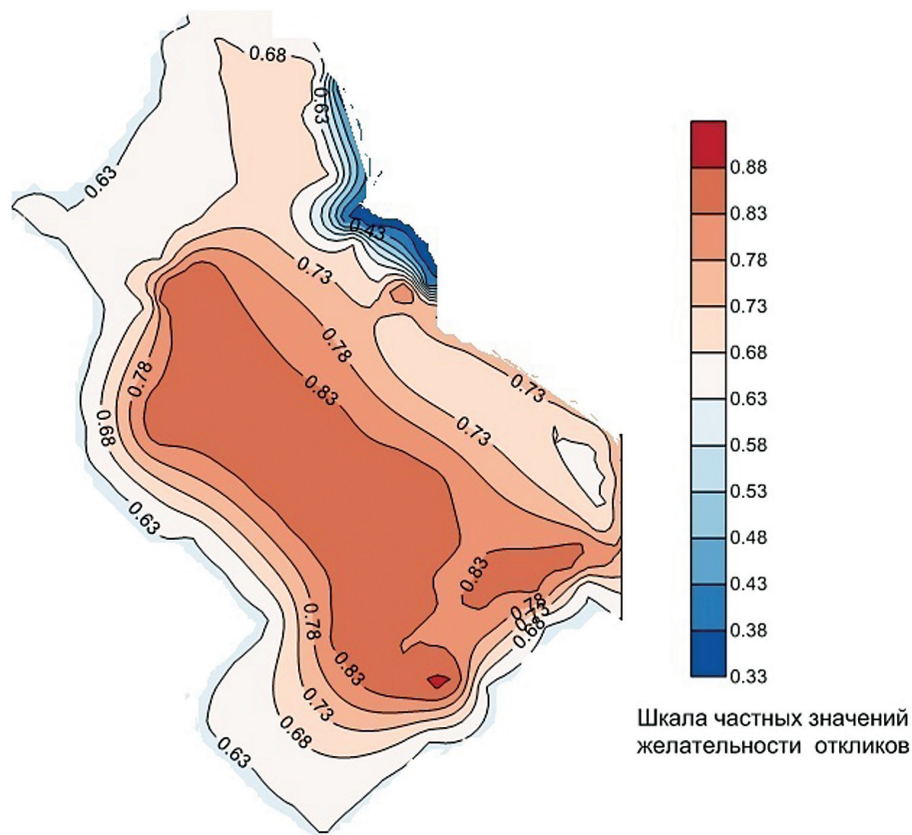


Рис. 2. Сохранность лесной среды в границах лесного массива «Троекуровский лес»

Динамика структурного разнообразия в участке сосново-широколиственного леса, пройденном низовым пожаром *

ППН \ Год	209 **Сосняк с липой и ольхой серой разнотравный с недотрогой	210 Сосняк с рябиной и черемухой гравилатово-разнотравный	211 Сосняк с березой и рябиной разнотравный с недотрогой	212 Сероольшаник с сосной и кленом папоротниково-разнотравный
2005	1,96	1,88	1,87	2,01
2006	1,88 (повреждение подроста, подлеска; единично – вывал старовозрастных деревьев)	1,80 (единичный отпад поврежденных при пожаре деревьев, частичная гибель подлеска и подроста)	1,86 (единичный отпад поврежденных тонкомерных деревьев и вывал старовозрастных)	1,97 (практически полное выгорание подроста и подлеска)
2008	1,89 (частичный отпад поврежденных при пожаре деревьев, ВСП, разрастание подлеска)	1,76 (частичный отпад поврежденных деревьев, ВСП, подрост и подлесок – тенденция к восстановлению, уменьшение доли лесных видов в ТРЯ)	1,83 (единичный отпад поврежденных при пожаре тонкомерных деревьев, ВСП)	1,92 (изреживание древостоя: отпад поврежденных при пожаре деревьев, ВСП, естественное выпадение ольхи серой, подрост и подлесок восстанавливаются)
2012	1,91 (единичный отпад поврежденных при пожаре деревьев, пополнение древостоя из подроста)	1,82 (отпад поврежденных при пожаре деревьев еще наблюдается, разрастание подлеска, единично – пополнение древостоя из подроста)	1,90 (частичное пополнение древостоя из подроста)	1,91 (изреживание древостоя продолжается, подрост и подлесок восстанавливаются)

Примечания: * в скобках конкретизируются изменения в структурном разнообразии, наиболее отразившиеся на изменении значения индекса; ** приводятся названия типов лесных сообществ, которые идентифицировались по состоянию на 2005 г.

Низовой пожар привел к заметным изменениям в состоянии лесных биогеоценозов. Проиллюстрируем это на примере четырех участков леса, являющихся основными ядрами лесного биоразнообразия в лесном массиве, используя значения индекса структурного разнообразия (табл. 4). Так, охарактеризованное состояние лесного массива по результатам мониторинга в 2005 г. отобразилось в высоких значениях индекса структурного разнообразия: все они на уровне «очень хорошо» согласно интервальным оценкам (табл. 2). Пожар в некотором роде выполнил «санитарную» роль, уничтожив захламленность и часть сухостойных и буреломных деревьев. К концу лета 2006 г. по всему насаждению вырос объем текущего отпада в сравнении с предыдущим годом, но незначительно и, главным образом, за счет липы и рябины низших ступеней толщины (эта порода в данных лесорастительных условиях входит во 2-й ярус в древесном пологе). Более су-

щественные последствия воздействие пожара имело для подлесочного яруса и подроста. Наиболее пострадал участок сероольшаника (ППН-212). Погибли 86 % подроста (клен остролистный, ольха серая), часть подлеска, представленного черемухой, боярышником, смородиной – пород, чрезвычайно привлекательных для полезных в лесовозобновительном отношении видов птиц. Мертвый древесный субстрат, образовавшийся после пожара летом 2006 г., активно заселялся и дорабатывался типичными лесными сапротрофами: миксомицет *Fuligo septica*, грибы – *Bisporela citrina* (дискомицет), представители порядка *Hypocreales* класса пиреномицеты – *Nectria cucurbitaria* и *Nectria cinnabarina*. Травянокустарничковый ярус на нарушенной территории отреагировал, главным образом, снижением проективного покрытия, при этом доля участия лесных видов в суммарном обилии даже выросла, а активное заселение освободившихся экологических ниш сорными

и светолюбивыми видами стало очевидно в следующем сезоне.

Негативные процессы в древостое и подлесочном ярусе становятся наиболее очевидными на следующий год после пожара: продолжается вывал деревьев, становятся заметным снижение жизнеспособности и новая волна усыхания молодых деревьев, поврежденных при пожаре. На ослабленных рябинах массово проявляются признаки цитоспороза (возбудитель сумчатый гриб: конидиальная стадия *Cytospora rubescens*, сумчатая стадия *Valsa sorbi*), на молодых кленах появляются прикомлевые сухобочины, прогрессирующие в ступенчатые раны. На этом фоне в 2007 г. проводятся интенсивная выборочная санитарная рубка и уборка захламленности.

В 2008 г. в насаждении имеют место разнонаправленные в лесоэкологическом отношении процессы. Подлесок и подрост проявляли тенденцию к восстановлению. Но отпад деревьев, жизнеспособность которых нарушена вследствие пожара, продолжался. Динамика древесного отпада активизировала роль дереворазрушающих грибов. Это, главным образом, были облигатные сапротрофы, реже факультативные паразиты. Их видовой состав в насаждении разнообразен, что является признаком сохранения в экосистеме нормальных биоценологических связей. Отмершую древесину рябины и ольхи в насаждении заселяет дальдиния конценорическая (*Daldinia concentrica*). На валежных и буреломных остатках ольхи встречаются вешенка устричная (*Pleurotus ostreatus*), стереум жестко-волосистый (*Stereum hirsutum*), лентитес березовый (*Lenzites betulina*). На стволиках усохших рябин встречается ирпекс (*Irpex lacteus*). На пнях (липа, береза) обнаруживаются плодовые тела плоского трутовика (*Ganoderma lipsiense* (= *G. applanatum*)), на валеже и буреломных остатках преимущественно хвойных пород отмечаются плодовые окаймленного трутовика (*Fomitopsis pinicola*). Вид развивается преимущественно на мертвом субстрате и лиственных, и хвойных пород. Мощный и сапротрофный, и патогенный фон одновременно ИЗ-ЗА своих биологических особенностей создает опенок (*Armillaria mellea*).

Особенно этот вид в данных условиях значим для ускорения отмирания ольховых деревьев, подошедших к возрастному пределу.

О сохранении структуры лесных биоценологических связей свидетельствует и видовое разнообразие насекомых-ксилофагов. Наличие древесного отпада, пней определяют присутствие в биоценозе многочисленных ксилофагов – представителей подсемейства Короеды (*Scolytinae*, семейство *Curculionidae*) и семейства Дровосеки (*Cerambycidae*). Местом их локализации в насаждении на настоящее время являются единичные буреломные деревья, сухостой, пни. Поселений на жизнеспособных деревьях не найдено. В этот комплекс, связанный с хвойными породами, входят: *Hylurgops palliatus*, садовник лесной большой, или большой сосновый лубоед, (*Tomicus piniperda*), садовник лесной малый, или малый сосновый лубоед (*Tomicus minor*), древесинник полосатый (*Trypodendron lineatum*). В ольшаниковом участке обнаружен короед непарный ольховый (*Xyleborinus alni*), являющийся в основном не ксилофагом, а мицетофагом, т.е. питающимся тканями дереворазрушающих грибов. Крифал липовый (*Ernoporus tiliae*) селится под корой тонких стволов и ветвей валежных и отмирающих лип. Из дровосеков обнаружены только виды, личинки которых развиваются в древесине отмирающих или мертвых деревьев: дровосек-кожевник (*Prionus coriarius*), короткоус сельский *Arhopalus* (= *Criocephalus*) *rusticus* – на сосне, усач сельский (*Xylotrechus rusticus*) – на осине, усач черный еловый большой *Monochamus urussovii* – на ели, *Pogonocherus hispidulus* – обнаружен на погибшей рябине. Разнообразие дереворазрушающих грибов определяет и разнообразие ксилофагов-мицетофагов.

В травяно-кустарничковом ярусе вследствие нарушений, вызванных пожаром, сформировались новые экологические ниши, которые заполняют новые виды, не зафиксированные до пожара (растет количество обнаруженных видов – признак роста нарушенности среды), происходят перестройки в группе доминирующих видов: растут суммарные обилия сорных, заносных (главным

Динамика доминирования в травяно-кустарничковом ярусе

ППН	Год проведения мониторинга	Виды-доминанты	Встречаемость, %	Суммарное обилие, баллы
209	2005	Недотрога мелкоцветковая	100	25
		Чесночница черешковая	100	19
		Кислица обыкновенная	100	16
		Живучка ползучая	100	15
		Колокольчик крапиволистный	50	10
	2008	Недотрога мелкоцветковая	100	25
		Живучка ползучая	100	22
		Чесночница черешковая	100	19
		Кислица обыкновенная	83	26
2012	Сныть	33	10	
	Недотрога мелкоцветковая	100	36	
	Кислица обыкновенная	100	27	
	Живучка ползучая	100	26	
	Ландыш майский	83	16	
210	2005	Сныть	50	14
		Гравилат городской	100	27
		Недотрога мелкоцветковая	100	16
		Вербейник монетчатый	83	17
		Чесночница черешковая	83	13
	Живучка ползучая	83	12	
2008	Недотрога мелкоцветковая	100	30	
	Мерингия трехжилковая	100	26	
	Крапива двудомная	83	22	
	Живучка ползучая	83	20	
2012	Недотрога мелкоцветковая	100	39	
	Крапива двудомная	83	27	
	Живучка ползучая	83	24	
	Вербейник монетчатый	83	22	
211	2005	Недотрога мелкоцветковая	100	26
		Гравилат городской	100	19
		Живучка ползучая	83	22
		Ландыш майский	67	12
		Кислица обыкновенная	67	11
	2008	Недотрога мелкоцветковая	100	20
		Гравилат городской	100	18
		Крапива двудомная	100	18
		Ландыш майский	100	17
		Живучка ползучая	83	25
	2012	Кислица обыкновенная	83	14
		Недотрога мелкоцветковая	83	23
Ландыш майский		83	16	
Живучка ползучая		83	14	
212	2005	Будра плющевидная	67	17
		Кислица обыкновенная	67	12
		Гравилат городской	67	11
		Чесночница черешковая	100	27
		Гравилат городской	100	19
2005	Недотрога мелкоцветковая	100	18	
	Крапива двудомная	100	17	
	Щитовник игольчатый	83	12	
	Кочедыжник женский	67	14	
	Сныть	33	10	

ППН	Год проведения мониторинга	Виды-доминанты	Встречаемость, %	Суммарное обилие, баллы
212	2008	Чесночница черешковая	100	23
		Недотрога мелкоцветковая	100	20
		Гравилат городской	100	17
		Крапива двудомная	100	15
		Щитовник игольчатый	83	11
		Кочедыжник женский	67	15
		Сныть	33	11
	2012	Недотрога мелкоцветковая	100	37
		Яснотка пятнистая	100	25
		Крапива двудомная	100	22
		Гравилат городской	100	16
		Кочедыжник женский	83	26
		Вербейник монетчатый	83	20
		Щитовник игольчатый	67	9
Шитовник мужской	50	7		
Сныть	50	10		

Т а б л и ц а 6

Распределение видов травяно-кустарничкового яруса по эколого-фитоценотическим группам (%)

№ ППН	Год	Количество учтенных видов, шт.	Эколого-фитоценотические группы								Доля лесных видов в суммарном обилии, %
			Неморальные	Неморально-бореальные	Тажные	Боровые	Березняковые	Ольшаниковые	Сорные и заносные	Лугово-лесные	
209	2005	26	15,8	30,7	0	2,5	4,0	10,4	12,4	24,2	63,4
	2008	30	11,2	33,6	0	4,6	4,2	11,2	14,3	20,9	64,8
	2012	22	11,1	36,9	0	1,8	4,8	12,2	18,8	14,4	66,8
210	2005	39	15,3	8,9	0	2,9	7,9	22,6	15,8	26,6	57,3
	2008	48	7,9	15,2	0	1,5	2,4	20,0	19,4	33,6	47,0
	2012	34	8,0	9,5	0	1,5	5,8	23,4	26,6	25,2	48,2
211	2005	30	10,5	25,3	0	2,1	4,7	9,5	21,1	26,8	52,1
	2008	38	7,9	31,0	0	0,4	3,7	14,1	13,6	29,3	57,1
	2012	21	6,9	34,0	0	0	2,5	16,3	23,9	16,4	59,7
212	2005	32	13,5	22,3	0	0,5	3,7	14,9	16,7	28,4	54,9
	2008	33	12,5	23,7	0	0,4	4,3	16,4	14,2	28,5	57,3
	2012	25	11,8	22,0	0	0,4	2,5	20,7	21,1	21,5	57,4

образом недотрога) и лугово-лесных видов (табл. 5, 6).

Нарушения в лесных биогеоценозах, вызванные пожаром, в целом отражаются в понижении уровня значений индекса структурного разнообразия, рассчитанного на основе наблюдений на ППН в 2008 г. (табл. 4). Значения индекса по результатам мониторинга 2012 г. растут, что свидетельствует об усилении демулационных процессов в насаждении. Подлесок разрастается, идет

незначительное пополнение древостоя деревьями из подроста лиственных пород (клен, режа – липа), т.е. усиливается неморализация сообщества. Анализ данных геоботанических обследований свидетельствует, что доля участия лесных видов в суммарном обилии на большей части территории не уменьшилась и наблюдается даже тенденция к ее повышению. Но при этом наблюдается изменение соотношения представителей разных эколого-фитоценотических групп

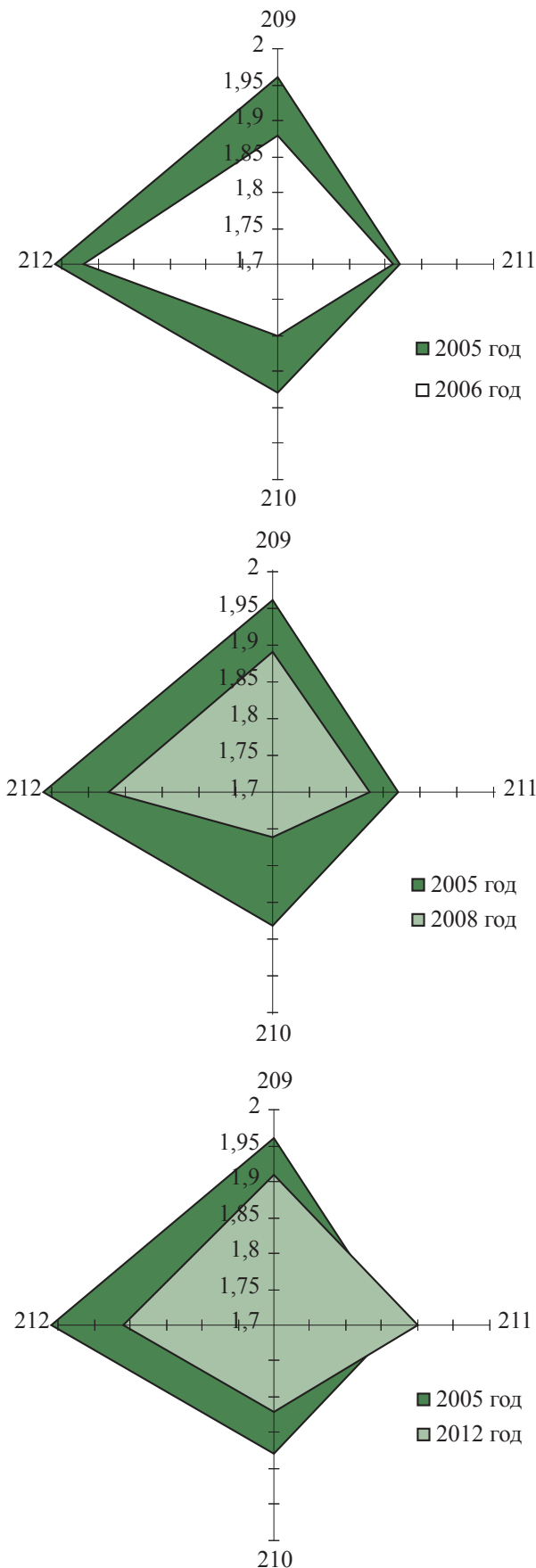


Рис. 3. Динамика структурного разнообразия в участке леса, нарушенном низовым пожаром

лесных видов. Так, усиливают пространственные позиции, характерные для осветленных лесов, светолюбивые березняковые и ольшаниковые виды (табл. 6). Изменения, произошедшие в верхних по отношению травяному покрову ярусах фитоценоза, отразились на характере доминирования. По всей площади увеличилось обилие недотроги мелкоцветковой, усилили доминирование некоторые виды лесолуговой группы (живучка ползучая, будра плющевидная, яснотка пятнистая). На период последнего учета повсеместно из списка доминантов выпала чесночница черешковая, а в сероольшанике (ППН 212) ее позицию заняла яснотка пятнистая, характерная для более нарушенной лесной среды. Но есть и позитивные изменения в структуре доминантов. Так, в участке сосняка с липой и ольхой серой (ППН 209) в состав доминантов выбился ландыш майский и вернула свои позиции кислица обыкновенная (оба вида – неморально-бореальные). В сероольшанике пока еще демонстрируют тенденцию к разрастанию папоротники неморально-бореальной группы, и несколько выросла встречаемость сныти (неморальный вид).

Анализ динамики состояния лесных биогеоценозов свидетельствуют о том, что в насаждении идут восстановительные процессы, но интенсивность и характер их проявления неоднозначны – они зависят от исходных характеристик лесных участков: естественных лесоэкологических особенностей и степени рекреационной нарушенности и силы воздействия пожара. Как и следовало ожидать, наиболее благоприятно обстоят дела в участках, наименее пострадавших от пожара (сектор 211), значение индекса указывает на полное восстановление структуры лесного биогеоценоза. Наибольшие опасения с точки зрения перспективы обеднения лесной среды связаны с сектором насаждения, где прежде преобладала ольха серая. Древостой здесь наиболее пострадал от пожара – незначительный отпад поврежденных молодых деревьев (клен остролистный с прикомлевыми сухобочинами) отмечается до сих пор, также продолжается естествен-

ное выпадение недолговечной ольхи серой. Регулярно здесь проводятся санитарные мероприятия – удаление сухостоя и валежа, а пополнения древостоя из подроста в ближайшей перспективе не предвидится. Естественное возобновление обильное (клен), но представлено особями первого класса высот (от 0 до 0,5 м).

На диаграммах (рис. 3) представлена динамика биогеоценотической структуры по данным лесоэкологического мониторинга в 2005, 2006, 2008 и 2012 гг., отображенная с помощью значений интегрального индикаторного показателя – индекса структурного разнообразия. При этом каждая серия мониторинга сопоставлена с исходным – «допожарным» состоянием, т.е. с ситуацией на 2005 г. Очевидно, что нарушение структуры лесных биогеоценозов, отразившееся на снижении значений индекса, прогрессировало в течение нескольких лет.

Несмотря на невысокую рекреационную нагрузку и выраженность демутиационных процессов, состояние лесной среды в дестабилизированном низовым пожаром насаждении в целом к настоящему времени еще не вернулось к прежнему уровню. Но, тем не менее, значения интегрального показателя структурного разнообразия свидетельствуют, что данный участок лесного массива по-прежнему является значимым в природоохранном отношении биоцентром. Важно сохранить это положение, с максимальной осторожностью подойдя к реализации проектов по благоустройству и проведению санитарных мероприятий.

Таким образом, предлагаемый способ интегральной оценки состояния биотической составляющей лесной экосистемы удовлетворил поставленным целям: получено представление о степени сохранности лесной среды (а следовательно – о природоохранной ценности территории) и выявлена картина динамики состояния лесных биогеоценозов в условиях антропогенного воздействия.

Библиографический список

1. Лебедева, Н.В. Биологическое разнообразие: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н.В. Лебедева, Н.Н. Дроздов, Д.А. Криволицкий – М.: Гуманит. издательский центр ВЛАДОС, 2004. – 432 с.
2. Левич, А.П. Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга / А.П. Левич, Н.Г. Булгаков, В.Н. Максимов. – М.: НИИ-Природа, 2004. – 271 с.
3. Мэгарран, Э. Экологическое разнообразие и его измерение. Пер. с англ. / Э. Мэгарран. – М.: Мир, 1992. – 181 с.
4. Шитиков, В.К. Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг // Количественные методы экологии и гидробиологии. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2005. – С. 91–129.
5. Воробейчик, Е.Л. Экологическое нормирование техногенных загрязнений / Е.Л. Воробейчик, О.Ф. Садыков, М.Г. Фарафонов. – Екатеринбург: Наука, 1994. – 280 с.
6. Уиттекер, Р. Сообщества и экосистемы / Р. Уиттекер. – М.: Наука, 1980. – 328 с.
7. Восточноевропейские широколиственные леса. – М.: Наука, 1994. – 362 с.
8. Оценка и сохранение биоразнообразия лесного покрова в заповедниках европейской части России: под ред. Л.Б. Заугольной. – М.: Научный мир, 2000. – 185 с.
9. Песенко, Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях / Ю.А. Песенко. – М.: Наука, 1982. – 287 с.
10. Розенберг, Г.С. Информационный индекс и разнообразие: Больцман, Котельников, Шеннон, Уивер... / Г.С. Розенберг // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии, 2010 – Т. 19. – № 2. – С. 4–25.
11. Полякова, Г.А. Антропогенная трансформация и разнообразие естественных и искусственных рекреационных насаждений московского региона: дисс. ... д-ра биол. наук / Г.А. Полякова. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2005. – 52 с.
12. Артюхов, В.В. Теоретические основы оценки разнообразия / В.В. Артюхов // Атлас биологического разнообразия лесов Европейской России и сопредельных территорий. – М.: ПАИССМ, 1996. – С. 106–115.
13. Клауснитцер Б. Экология городской фауны; пер. с нем. / Б. Клауснитцер. – М.: Мир, 1980. – 246 с.
14. Беднова О.В. Использование функции желательности Харрингтона для оптимизации многокритериальной оценки состояния лесных экосистем в условиях урбанизированной территории / О.В. Беднова // Вестник МГУЛ–Лесной вестник. – 2011. – № 7(83). – С. 35–41.
15. MacArthur R.H., Recher H.F., Cody M.I. On the relation between habitat selection and species diversity / Amer. Nat. – 1966 – V. 100. – P. 319–327.

О РОЛИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА

В.Д. БУРКОВ, проф., д-р техн. наук, МГУЛ,

В.С. ШАЛАЕВ, проф., директор ИСИЛ, д-р техн. наук,

В.Ф. КРАПИВИН, проф., д-р физ.-мат. наук, Фрязинское отделение Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

burkov@mgul.ac.ru

В последние годы проблема воздействия атмосферного углекислого газа на глобальный климат Земли усиленно обсуждается учеными и политиками [1–22]. Одни считают, что человечество за счет усиления парникового эффекта неизбежно изменит климатическую обстановку на земном шаре, а вследствие этого поменяются условия жизни, возможно, в худшую сторону. А потому необходимо ограничить промышленные выбросы CO_2 . Другие, соглашаясь с последствиями парникового эффекта, отрицают выдвинутую хорошо известным Протоколом Киото стратегию и полагают, что указанное ограничение (квоты) приведет к ухудшению экономики многих регионов земного шара, не решив проблему парникового эффекта и еще более обострив глобальную экологическую обстановку. Противники стратегии Киото считают, что предотвратить парниковый эффект можно только правильным управлением структурой земных покровов и введением жесткого контроля за загрязнением Мирового океана [2, 4, 6]. В связи с этим Межправительственная комиссия по изменению климата на 8-й сессии 1–2 июня 1998 г. в Бонне и на 14-ой сессии 1–3 октября 1998 г. в Вене подготовила специальный доклад о роли стратегии использования земных покровов (особенно лесов) в глобальном балансе CO_2 . Этот доклад обсуждает проблему взаимосвязи антропогенной активности в области реконструкции земных покровов с распределением CO_2 и других парниковых газов в биосфере. Оцениваются различные сценарии, вытекающие из Протокола Киото и касающиеся проблемы воздействия человеческого общества на структуру земных покровов вообще и на залесенность территорий, в частности. Здесь дается анализ ряда проблем, возникающих из указанного доклада.

В области оценки роли лесов в регулировании парникового эффекта нет единого мнения среди экологов, так как используемые ими технологии оценки этой роли часто носят неконструктивный характер и не опираются на формализованные процедуры сбора и обработки данных мониторинга. Основное расхождение среди исследователей возникает в вопросе оценки возрастной роли лесов при связывании углекислого газа из атмосферы. Согласно общепринятой точке зрения, в связывании углекислого газа первостепенную роль играют только молодые растущие леса. Роль же старых лесов незначительна, поскольку потребление ими CO_2 в процессе фотосинтеза уравнивается выделением того же газа в среду при дыхании грибов и бактерий, разлагающих органическое вещество отмерших растительных остатков, а также при дыхании самих растений. И поэтому леса, в которых много старых деревьев, для снижения содержания углекислого газа в атмосфере особой ценности не представляют. Более важная роль отводится молодым лесам, поскольку до тех пор пока увеличивается масса древостоя, увеличивается и количество связанного, выведенного из круговорота углерода. Так это или нет можно понять только с помощью глобальной модели круговорота углерода, в которой учитывается классификация почвенно-растительных формаций [2, 3, 8, 10].

Леса как стоки углекислого газа

Статья 3.1 и приложение 1 Протокола Киото предусматривают ограничение, а затем сокращение эмиссии парниковых газов в период 2008–2012 гг. При этом планируется решить цикл задач по оценке роли использования земной поверхности. В частности, сюда входят задачи формализованного описания

Запасы углерода в растительности и метровом слое почвы [21]

Биом	площадь 10 ⁹ га	Запасы углерода, ГтС		
		Растительность	Почва	Сумма
Тропические леса	1,76	212	216	428
Умеренные леса	1,04	59	100	159
Бореальные леса	1,37	88	471	559
Тропические саванны	2,25	66	264	330
Умеренные луга	1,25	9	295	304
Пустыни и полупустыни	4,25	8	191	199
Тундра	0,95	6	121	127
Болота	0,35	15	225	240
Засаеваемые площади	1,60	3	128	131
Итого	15,12	466	2011	2477

процессов изменения структуры земных покровов, таких как облесение, лесонасаждение и обезлесивание, а также связанных с ними запасов углерода. Понимание метеорологических процессов как функций парниковых газов относится к одной из ключевых проблем человечества в первом десятилетии третьего тысячелетия. Только знание корреляций метеорологических явлений различного пространственно-временного масштаба с запасами CO₂ и других парниковых газов позволит принять корректные и конструктивные решения в области охраны глобальной окружающей среды.

Динамика наземных экосистем зависит от взаимодействий между биогеохимическими циклами, которые в последнее десятилетие XX-го столетия подверглись антропогенной модификации. Особенно это касается циклов углерода, азота и воды. Наземные экосистемы, в которых углерод сохраняется в живой биомассе, разлагающемся органическом веществе и почве, играют важную роль в глобальном круговороте CO₂. Углерод обменивается между этими резервуарами и атмосферой через фотосинтез, дыхание, разложение и горение. Вмешательство человека в этот процесс происходит через изменение структуры земных покровов, загрязнение поверхности водных бассейнов и почвенных площадей, а также через непосредственную эмиссию CO₂ в атмосферу [2, 6].

Соотношение роли различных экосистем в формировании запасов углерода в резервуарах биосферы определяет скорость и

направленность в изменениях региональных метеорологических ситуаций и глобальном климате. Точность оценки уровня этих изменений зависит от достоверности данных инвентаризации наземных экосистем. Об этом можно судить по данным табл. 1, где значительный разброс оценок запасов углерода в растительности различных типов позволяет говорить о важности более точной классификации наземных экосистем.

Антропогенная составляющая глобального баланса углерода, начиная с середины XIX столетия, вносит нарастающую амплитуду воздействия практически на все его природные элементы. С 1850 г. по 1998 г. около 270(±60) ГтС было выброшено в виде CO₂ в атмосферу за счет сжигания топлив и производства цемента. Около 136 (±55) ГтС поступило в атмосферу в результате антропогенной реконструкции земных покровов. Это привело к возрастанию в атмосфере CO₂ на 176 (±10) ГтС, т.е. парциальное давление углекислого газа в атмосфере возросло с 285 до 366 ppm (на 28 %). Другими словами, за 148 лет 43 % выброшенного углерода осталось в атмосфере и не было поглощено наземными или океанскими экосистемами (230(±60) ГтС было поглощено).

Некоторое представление о балансе углерода в глобальных масштабах дают данные табл. 2. Эта таблица показывает, что скорости и тренды накопления углерода в наземных экосистемах весьма неопределенны. Однако все же видно, что наземные экосистемы являются важными поглотителями избыточного

Характеристика среднегодового баланса CO₂ [18, 21]

Характеристика	Оценка, ГтС/год	
	1980–89 гг.	1990–98 гг.
(1) Эмиссия CO ₂ за счет сжигания топлив и производства цемента	5,5 ± 0,5	6,3 ± 0,6
(2) Накопление CO ₂ в атмосфере	3,3 ± 0,2	3,3 ± 0,2
(3) Поглощение океанами	2,0 ± 0,8	2,3 ± 0,8
(4) (1) – [(2) + (3)]	0,2 ± 1,0	0,7 ± 1,0
(5) Эмиссия CO ₂ за счет изменения в использовании земельными ресурсами	1,7 ± 0,8	1,6 ± 0,8
(4)+(5)	1,9 ± 1,3	2,3 ± 1,3

CO₂. Понять детали такого поглощения можно только при моделировании процесса роста растений, т.е. при учете влияния на фотосинтез растений биогенных элементов почвы и других биофизических факторов.

Согласно табл. 1, наибольшее внимание детальному изучению следует уделять лесным экосистемам и связанными с ними процессами естественного облесения, восстановления и сведения лесов. Об этом говорят статьи 3.3 и 3.4 Протокола Киото, где указано на необходимость определения национальных и международных стратегий управления лесами. Ведь объем резервуара для стока CO₂ из атмосферы в лесном массиве является функцией плотности его полога, а во временном промежутке изменение этого объема определяется уровнем и характером динамических процессов перехода леса данного типа в другое состояние. Причем причины этого перехода могут быть естественными, антропогенными и смешанными. Биоценология пытается создать универсальную теорию таких переходов, но пока имеется только качественное описание наблюдаемых в действительности переходов. Как отмечается в Протоколе Киото, важным является правильное определение понятий облесения, восстановления лесов и обезлесивания. Под облесением понимают размещение леса на участке суши, который до этого был без леса в течение некоторого периода (20–50 лет и более) и был использован для других целей. Обычно этим термином определяют процесс естественной сукцессии за счет распространения леса на другие территории без вмешательства человека [12]. Процесс восстановления лесов определяется как замена лесом другого типа

наземных экосистем путем высадки деревьев. Обезлесивание – это замена территории леса другой экосистемой. Таким образом, в динамике лесной экосистемы возможны два противоположных процесса, управлять которыми могут и природа и человек. Каждый из этих процессов имеет разветвления, характеризующиеся спецификой динамики растительного покрова данной территории. Особый статус приобретает процесс высадки деревьев на территории, где исторически их никогда не было. В этом случае происходит скачок значимости данной территории в динамике CO₂.

Табл. 3 иллюстрирует влияние процессов облесения/обезлесивания на запасы углерода при антропогенном сценарии ФАО [21], где под лесом понимается участок суши не менее 0,5 га с деревьями высотой более 5 м, крона которых занимает более 10 % площади. Обезлесивание определяется как изменение земного покрова с сокращением площади кроны деревьев менее чем до 10 % площади, а также изменение класса леса с негативными последствиями (например уменьшение продуктивности). Под облесением подразумевается искусственное размещение леса на территории, на которой ранее его никогда не было. Заметим, что «естественное расширение» (т.е. распространение леса на сельскохозяйственной территории без прямого насаждения) также в сценарии ФАО относится к процессу облесения. Наконец, под восстановлением леса понимается прямое искусственное насаждение деревьев на территориях, где лес ранее был удален.

Технология рассмотрения сценариев типа приведенного в табл. 3 не дает возмож-

Оценка рассчитанного изменения среднегодового запаса углерода для сценариев облесения / обезлесивания [5]

Регион	RF	AF	TR		FR	
			A	B	A	B
Бореальный	35	0,4–1,2	0,5	0,1	-18	-185
Умеренный	60	1,5–4,5	2,1	1,9	-90	-501
Тропический	120	4–8	13,7	2,6	-1644	-1352

Обозначения: *A* – обезлесивание, *B* – облесение, *RF* – изменение среднего запаса С при обезлесивании, тС/га; *AF* – средняя скорость поглощения CO₂ при облесении, тС/(га·год); *TR* – изменение площади (10⁶га/год) в результате перехода между отсутствием леса и лесом; *FR*-прогноз изменения запасов углерода (10⁶ т С/год) в 2008–2012 гг. в рамках сценария FAO

ности найти тот сценарий, который можно рекомендовать для использования. Слишком упрощенный подход предложен в Протоколе Киото, чтобы можно было получить достоверные оценки динамики CO₂ как функции многих природных и антропогенных параметров.

Глобальные круговороты парниковых газов

Уже тот факт, что расхождение в оценках глобальных потоков углерода у различных авторов достигает 100 %, говорит о невозможности на современном уровне знания достаточно достоверно рассчитать глобальную динамику CO₂ и, следовательно, указать объективные причины для принятия решений (рекомендаций), аналогичных Протоколу Киото.

Углекислый газ, который растворяется в океанах и поглощается растительностью, уходит из атмосферы через сложные механизмы биосферного круговорота вещества и энергии. В океанах таким механизмом является их карбонатная система, которая при определенных сочетаниях параметров окружающей среды отсасывает атмосферный CO₂ и отправляет его в донные отложения. Судьба CO₂, который фиксируется на суше, зависит от того, какая экосистема и какой резервуар углерода являются его поглотителем (например, живая биомасса или почва). Углерод, фиксированный в резервуаре, через год или менее (листья, тонкие корни) возвращается в атмосферу или переходит в резервуары с временем оборота от декады до столетий (стволы, стебли, сучья, органическое веществ-

во почвы). В результате формируется чистый поток углерода между наземными экосистемами и атмосферой, внося небольшую неустойчивость между поглощением при фотосинтезе и различными процессами возврата углерода в атмосферу. Растения, микроорганизмы почвы, биохимические процессы и животные участвуют в формировании такой неустойчивости.

Изменение климата и активность человека вносят определенный вклад в этот процесс путем трансформации структуры земных экосистем и загрязнения окружающей среды. По имеющимся оценкам, чистое поглощение CO₂ наземной биосферой составляло 0,2 ± 1,0 ГтС / год в период 1980–1989 гг. и 0,7 ± 1,0 ГтС/год за 1989–1998 гг. (табл. 2). В то же время чистая эмиссия CO₂ по причинам антропогенного вмешательства в структуру земных покровов составляла 1,7±0,8 ГтС/год и 1,6±0,8 ГтС/год соответственно. В целом вариации глобального потока углерода оцениваются величиной ±1 ГтС/год и наблюдается четкая их корреляция с такими явлениями, как Эль-Ниньо или извержение вулканов [6, 7]. Суммарно поглощаемый растениями из атмосферы поток углерода приблизительно колеблется около величины 120 ГтС/год. Обрато в атмосферу часть углерода возвращается довольно быстро за счет транспирации (≈ 60 ГтС/год) и разложения мертвого органического вещества (≈ 10 ГтС/год). Леса в этот баланс вносят наибольший вклад (табл. 1). При этом, как следует из рис. 1, различные леса могут иметь значительно расходящиеся внутренние и внешние запасы и потоки углерода. Отсюда следует, что усредненные по

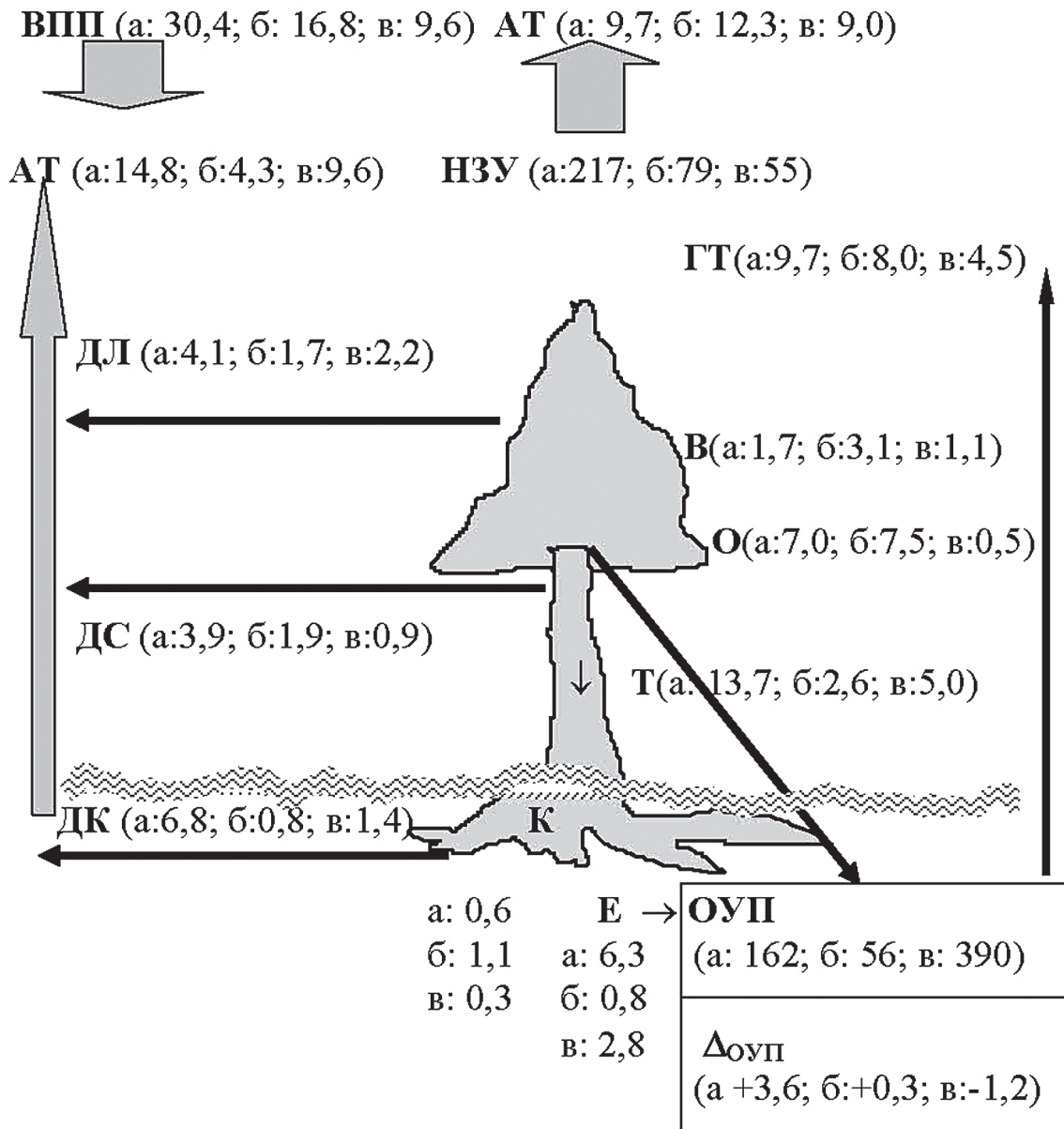


Рис. 1. Годовые запасы (тС/га) и потоки (тС·га⁻¹·год⁻¹) углерода для тропических (а), умеренных (б) и бореальных (в) лесов [21], учитываемые в глобальной модели круговорота углерода. Обозначения: ДК – дыхание корней; ДС – дыхание стволов; ДЛ – дыхание листьев; Т – перемещение углерода из наземной части дерева в корневую часть; В – чистый прирост наземной биомассы; ВПП – валовая первичная продукция; О – опад и отмершая биомасса; К – чистый прирост биомассы корней; Е – отмирание корней; АТ – дыхание; ОУП – органический углерод почвы; Δ_{ОУП} – чистый прирост ОУП; НЗУ – наземный запас углерода

большим территориям оценки потоков углерода не дают даже приблизительной картины изменения его запасов в резервуарах биосферы и, тем более, с учетом их динамики. Поэтому многочисленные циркуляционные модели углерода, опирающиеся на такие данные, не могут быть объективным инструментом принятия решений.

Аналогичный вывод следует и относительно других парниковых газов, таких как

CH₄ и N₂O [1]. Концентрация метана возросла с 700 ppbv в преиндустриальную эпоху до 1700 ppbv в современности. Около 550·10⁶ т CH₄/год выбрасывается в атмосферу из различных источников. С 1980 г. и по 1990 г. возрастание содержания CH₄ в атмосфере шло со скоростью 13 ppbv / год, а в 1990 г. и 1996 г. она имела оценки 8 ppbv/год и 4 ppbv/год соответственно. Время жизни метана составляет около 9 лет. Вклад антропогенных источ-

ников метана в полный его поток в атмосферу оценивается величиной 70 %. Ясно, что в эту долю вносят вклад не только непосредственные выбросы метана в промышленности и сельском хозяйстве, но и производимые человеком реконструкции земных покровов.

Источники другого важного парникового газа N_2O также тесно связаны со структурой земных покровов. Глобальная эмиссия N_2O оценивается величиной $14 \cdot 10^6$ т N/год, причем антропогенный вклад в нее составляет 50 %. На эту величину существенное воздействие оказывают сельскохозяйственное использование земель, тропические леса и особенно состояние увлажнения почв. Микробиологические процессы в почвах являются первичными источниками N_2O .

Использование земли напрямую влияет на процессы обмена парниковыми газами между наземными экосистемами и атмосферой. Изменения в использовании земли, такие как расчистка леса для расширения сельскохозяйственных угодий или населенных пунктов, вызывают синхронные (или с небольшим запозданием) изменения структуры земных покровов и распределения запасов углерода в наземных экосистемах. Эти действия связаны с необходимостью увеличения производства пищи, создания новых площадей для проживания и отдыха населения. Поэтому проблема сбалансированного регулирования процессов землепользования становится все актуальнее. Решить эту проблему с помощью предлагаемых в Протоколе Киото подходов невозможно. Необходимо внедрять методы экоинформатики, которые позволяют изучать систему *Природа/Общество* как единое целое, основываясь на комплексной глобальной модели, описывающей совокупность биогеохимических, биогеоценотических, климатических, демографических и социально-экономических процессов с их привязкой к пространственным масштабам и временным шкалам. Идея такой модели изложена в книге [5]. Один из вариантов глобальной модели, описанный в работе [2], использует пространственную географическую сетку $4^\circ \times 5^\circ$ с детализацией лесных массивов по схеме рис. 1. Эта модель дает оценку поглощения CO_2 , которая принци-

пиально изменяет приводимые в [15] данные сценарного моделирования. Соответственно изменяются и прогноз и выводы. Безусловно, при этом необходимо учитывать все многообразие возможных сценариев [19].

Первичная продукция и углекислый газ

Взаимосвязь между глобальным циклом CO_2 и наземной растительностью проявляется через зависимость первичной продукции и скорости разложения отмершей биомассы от температуры и концентрации CO_2 в атмосфере. Температурная зависимость наиболее ощутима в северных широтах, где среднегодовые вариации температуры могут достигать до $85^\circ C$, а период вегетации растений изменяется от 2 до 7 месяцев. Влияние атмосферного CO_2 на рост растений зависит от многих факторов. Различают два основных типа растений по форме их реакции на изменения парциального давления атмосферного CO_2 . Первый наиболее распространенный тип растений (тип C_3) обладает способностью фотореспирации, реализуемой за счет ферментов, которые могут одновременно поглощать и выделять CO_2 и O_2 . Этот процесс имеет так называемую компенсационную точку Γ , когда сбалансированность всех функций растения по отношению к CO_2 является оптимальной. Эта точка характеризуется величиной $\Gamma \cong 50$ ммоль/моль при $25^\circ C$, растет с увеличением температуры и пропорциональна концентрации O_2 . Скорость насыщения светом фотосинтеза растений пропорциональна величине $(C_a - \Gamma)$ вплоть до уровня 1000 ммоль/моль, а эффективность начального использования света возрастает с увеличением CO_2 пропорционально отношению $(C_a - \Gamma)/(C_a + \Gamma)$ [13].

Растения другого типа (тип C_4), такие как высокие тропические травы (маис, сахарный тростник, просо, сорго) усваивают CO_2 из атмосферы вне зависимости от концентрации O_2 , так что Γ остается практически неизменным и на низком уровне $\cong 5$ ммоль/моль. Эти растения слабо реагируют на изменение концентрации углекислого газа.

Многочисленные лабораторные исследования реакций растений обоих типов на изменение величины C_a говорят о большом

**Изменение содержания биогенных элементов в деревьях
в результате воздействия в течение двух лет измененной концентрацией CO₂
для *Acer pseudoplatanus* (A) и *Fagus sylvatica* (F) [9, 10]**

Химический элемент	Концентрация CO ₂ , ммоль/моль					
	370		520		670	
	A	F	A	F	A	F
N	1	1	1,09	1,11	1,17	1,21
P	1	1	1,10	1,33	1,20	1,50
K	1	1	1,15	1,21	1,27	1,33
Ca	1	1	1,17	1,13	1,25	1,23
Mg	1	1	1,14	1,22	1,29	1,22
Mn	1	1	1,00	1,08	1,07	1,25
Fe	1	1	1,43	1,17	1,54	1,50

разбросе количественных оценок вариаций фотосинтеза для типа C₃. В среднем растения реагируют на изменение концентрации CO₂ с задержкой порядка одного месяца. При этом удвоение CO₂ может вызвать возрастание скорости фотосинтеза от 10 до 100 %. Дальнейшее увеличение C_a вплоть до 400 % приводит к появлению у некоторых растений эффекта насыщения фотосинтеза, т.е. добавка в скорости фотосинтеза может составлять еще до 20 %, а в некоторых случаях (например, для *Setaria lutescens*) наблюдается угнетение фотосинтеза [9, 10]. Практически растения типа C₄ даже при современном значении C_a находятся в состоянии насыщения фотосинтеза. Так авторы [22] изучили влияние сезонной доступности воды для травяной экосистемы C₃/C₄ на чувствительность фотосинтетических реакций. Было показано, что в зависимости от сочетания температуры и осадков преобладает продукция то одного, то другого типа растений.

Влияние CO₂ на растения имеет многогранный аспект, проявляющийся в изменении биогенного режима фотосинтеза. Пример такого влияния приведен в табл. 4. Конечно элементный состав тела растения многообразнее. Он включает C, O, H, N, S, P, K, Ca, Mg, Fe. и обменные процессы в системе *растение-атмосфера* затрагивают такие химические соединения, как CO₂, CH₄, H₂O, H₂S, NH₃ и NO₂. Живое растение состоит на 50÷95 % из воды, а остальное так называемое сухое вещество включает 70÷98 % сгораемое ор-

ганическое вещество. Другими словами, каждое растение на Земле характеризуется индивидуальной ролью в глобальном биогеохимическом цикле CO₂ и других химических элементов. Поэтому все существующие модели круговорота CO₂, опирающиеся на грубые классификации почвенно-растительных формаций, являются неточными и вряд ли возможно оценить их достоверность в рамках существующих баз данных о растительном покрове и его параметрах.

Особое место занимают тундровые и лесотундровые биоценозы, на долю которых приходится около 4 % поверхности суши. Их роль в поглощении или выделении CO₂ имеет сезонный характер. Тундра с ее болотами, водоемами и озерами является поставщиком CO₂ в арктическую атмосферу [17]. Почвы арктической тундры играют в этом процессе особую роль. В период таяния снега они выделяют окись углерода (CO) и над поверхностью почв парциальное давление CO может достигать величины 100 ppm при среднегодовой величине в 0,05 ppm [16]. Содержание CO в пузырьках воздуха, выделяемых в водоемах и озерах при гниении биомассы, оценивается величинами 5÷20 ppm. У основания тундровых растений в весенний период воздух характеризуется парциальным давлением CO в 40 ppm, заметно уменьшающимся к концу лета. Как результат весной приповерхностная атмосфера в арктической тундре может иметь парциальное давление CO₂ до 2100 ppm. Что происходит с обменом

CO₂ на границе *атмосфера–тундра* зимой практически неизвестно. Но имеются данные о фотосинтетической и респираторной активности тундровой растительности, из которых следует, что она сохраняется даже при освещенности 5÷7 Вт·м⁻¹сут⁻¹ и температуре ниже 0° С [22]. А это означает, что тундровая растительность в конце лета и начале зимнего периода может быть стоком атмосферного CO₂. Имеется оценка оттока CO₂ из атмосферы за счет поглощения тундровой растительностью в 146 г·м⁻²сут⁻¹ [17]. Поэтому для оценки роли почвенно-растительных формаций в глобальном цикле CO₂ необходимо в модели иметь достаточно детальную их пространственную и предметную классификацию. К сожалению, такие сведения в виде, пригодном для включения в модели, не существуют. А поэтому опубликованные оценки роли почвенно-растительных формаций, учтенных в глобальных моделях круговорота CO₂, нельзя признать достаточно точными. Хотя, например, приведенные в работе [5] оценки роли наземной растительности (по классификации Н.И. Базилевич) в поглощении CO₂ на территории стран СНГ кажутся реалистическими.

Один из обнадеживающих результатов моделирования эффекта «фертилизации» за счет изменения концентрации атмосферного CO₂ приводится в работе [8], где на основе модели TsuViMo получена глобально распределенная оценка вклада различных типов растительности в изменение потока CO₂ на границе атмосферы и суши. Для сравнения этого результата с данными глобального моделирования (рис. 2, табл. 5) [2] на рис. 3 приведены две кривые зависимости чистой первичной продукции наземной растительности от изменения парциального давления атмосферного CO₂. Имеющиеся различия между этими кривыми говорят о том, что учет в глобальной модели дополнительных обратных связей по сравнению с простой моделью TsuViMo уточняет указанную зависимость и наводит на мысль о необходимости более тщательного структурирования блоков глобальной модели. Тем не менее, следует также иметь в виду, что,

несмотря на кажущуюся простоту параметрических описаний, принятых в TsuViMo, полученный с ее помощью результат достоверен из-за достаточно детального описания пространственной структуры растительных покровов (50×50 км). Поэтому стратегия моделирования глобального круговорота углекислого газа должна следовать парадигме полноты описания всей совокупности прямых и обратных связей с использованием наборов функциональных зависимостей, выбор между которыми осуществляется в процессе адаптивно-эволюционного имитационного эксперимента.

Потоки углерода между атмосферой и сушей

Взаимодействие между двумя резервуарами углерода – атмосферой и сушей – выражается наличием потоков углерода, формируемых экологическими, геофизическими и геохимическими процессами. Сюда относятся фотосинтез, респирация растений и животных, разложение мертвого органического вещества, сжигание растительности и топлива, вулканические эманации, выветривание горных пород и т.п. Какой из этих процессов может оказаться преобладающим, зависит от многих факторов. Поэтому в схеме рис. 2 и табл. 5 они учтены все.

Наиболее важным моментом в изучении глобального цикла углерода является поиск зависимости между наземной растительностью и атмосферой в плане обмена CO₂. Основой этой зависимости является то, что все растения создают свою биомассу за счет усвоения атмосферных элементов С, O₂, H, N, S, P, K, Ca, Mg, Fe, среди которых главными являются углерод, кислород, азот и сера. Ясно, что при детальном анализе процесса фотосинтеза необходимо также учитывать кинетику CO₂, CH₄, H₂O, H₂S, NH₃ и NO₂. Минимальным требованием при обеспечении ассимиляции CO₂ является наличие CO₂, H₂O, света, хлорофилла и подходящих условий окружающей среды (температуры и влажности). Поэтому простейшая ассимиляционная формула может быть записана в следующем виде

CO ₂		+ H ₂ O		+ 675	kcal	→	C ₆ H ₁₂ O ₆		+ 2O ₂		+ H ₂ O	
Moles	6	moles	12	sun	energy		mol	1		6	moles	6
246	g	216	G				180	g		g	108	g

Эта формула применима для расчета баланса между растениями и атмосферой только по обмену углекислым газом, но не применима для воды, так как вода является лимитирующим фактором для фотосинтеза, и растения за счет неучтенной в формуле транспирации используют значительно больше воды. Более детальную картину вариации углеродного обмена можно восстановить на основе данных табл. 6. В моделях глобального уровня детализация процесса ассимиляции углерода должна вестись осторожно из-за опасности нарушения равновесного описания других процессов. Обычно это реализуется введением необходимых поправок [5]. Например, учитываются возможные потери в балансовом соотношении фотосинтеза. По умолчанию эти потери составляют 20–30 %, т.е. в среднем из 6 молей CO₂ получается 0,75 молей глюкозы.

Также необходимо учитывать пространственную неоднородность земных покровов, отличающихся по плотности биомассы и интенсивности образования органического вещества. Действительно, в среднем 90 % общей биомассы (≈830 ГтС) занимают лесные массивы (≈50 млн м²), из них 50 % составляют тропические леса (≈24,5 млн км²) и только 10 % (≈ 84 ГтС) относится к кустарникам, саваннам, лугам, пустыням, полупустыням, болотам и культивируемым землям. При этом процесс образования органического вещества характеризуется высокой неоднородностью: лесные массивы – 33 ГтС / год, вся остальная растительность – 20 ГтС/год. Эти неоднородности приводят к мозаичной картине солнечной энергетике и поэтому должны учитываться при синтезе модели.

Взаимосвязь между глобальным циклом CO₂ и наземной растительностью проявляется через зависимость первичной продукции и скорости разложения отмершей биомассы от температуры и концентрации CO₂ в атмосфере с учетом указанной выше

бинарной дискретизации типов растений на два класса.

Обозначим через $R_k(\varphi, \lambda, t)$ продукцию фотосинтеза для растительности типа k на широте φ и долготе λ в момент времени t . Тогда поток CO₂ из атмосферы в живую биомассу можно описать простой моделью

$$H_6^C(\varphi, \lambda, t) = C_{23} R_k(\varphi, \lambda, t),$$

где коэффициент C_{23} отражает эффективность механизма реакции фотосинтеза и в среднем оценивается величиной $C_{23} \cong 0,549$. Bjorkstrom [11] предложил поглощение CO₂ растительностью аппроксимировать формулой

$$H_6^C = k_b(1 + \beta \ln[C_A/C_A^*])C_k,$$

где параметр $\beta \in [0,1]$ является мерой способности растительной системы откликаться на увеличение парциального давления атмосферного CO₂;

C_k – содержание углерода в биомассе k -го типа растительности;

k_b – коэффициент пропорциональности, зависящий от температуры и типа растительности;

C_A – концентрация углекислого газа в атмосфере в доиндустриальный период.

Разные авторы дают оценку потока $H_6^C(\varphi, \lambda, t)$ в пределах от 16,7 до 35 ГтС /год. Такой значительный разброс этих оценок не позволяет надежно оценить коэффициенты в аппроксимациях H_6^C . Более точное описание H_6^C требует построения дополнительного блока модели, учитывающего взаимозависимость между [CO₂] и функционированием наземных биомов данной территории. Такие уточнения сделаны в работе [2]. Для описания функции R_k дополнительно используются эмпирические зависимости. В базу данных моделирующей системы заносится информация, подобная этой, а также сведения о параметрах почвенно-растительных формаций. Конечно, мировые данные о балансе CO₂ в биосфере достаточно противоречивы и формируются с опозданием и с усреднением за

Резервуары и потоки углерода в форме CO₂ в биосфере, учитываемые в имитационной модели глобального биогеохимического круговорота углекислого газа, представленной на рис. 2

Резервуары и потоки углекислого газа	Идентификатор в модели	Средняя оценка резервуара (10 ⁹ т) и потока (10 ⁹ т/год)
Углерод атмосферы	C_A	650–750
фотического слоя океана	C_U	580–1020
глубоких слоев океана	C_L	34500–37890
гумуса почв	C_S	1500–3000
Выделение при сжигании растительности	H_8^C	6,9
ископаемого топлива	H_1^C	3,6
Десорбция	H_2^C	97,08
Сорбция	H_3^C	100
Выветривание горных пород	H_4^C	0,04
Вулканические эманации	H_5^C	2,7
Поглощение наземной растительностью	H_6^C	224,4
Дыхание растений	H_7^C	50–59,3
людей	H_{10}^C	0,7
животных	H_{11}^C	4,1
Выделение при разложении гумуса почв	H_9^C	139,5
корнями растений	H_{15}^C	56,1
Жизнедеятельность населения	H_{12}^C	0,3
животных	H_{13}^C	3,1
Отмирание растительности	H_{14}^C	31,5–50
Выпадение в донные осадки	H_{16}^C	0,1–0,2
Растворение морских отложений	H_{17}^C	0,1
Разложение детрита в фотическом слое	H_{22}^C	35
в глубоких слоях океана	H_{18}^C	5
Подъем с глубинными водами	H_{19}^C	45
Опускание с поверхностными водами и за счет гравитационного оседания	H_{20}^C	40
Фотосинтез	H_{21}^C	69
Подземный сток	H_{23}^C	0,5
Поверхностный сток	H_{24}^C	0,5–0,6
Дыхание живых организмов в океане	H_{25}^C	25

Т а б л и ц а 6

Направленность изменений запасов углерода при различных формах реконструкции земных покровов [21]

Тип реконструкции земного покрова	Направление изменений в запасах углерода					
	Биомасса		Подстилка/древесина		Q	M
	H	P	K	D		
Культивируемая земля → лес	↑	↑	–	↑	↑	↑
Некультивируемая земля → лес	↑	↑	–	↑	?	↑
Лес → культивируемая земля	↓↓	↓	↓	↓	↓	–
Лес → пастбище	↓↓	↓	↑	↓	?	–

Обозначения: Н – надземная, Р – подземная, К – коротко живущая, D – долго живущая, Q – органическое вещество, M – производство древесины

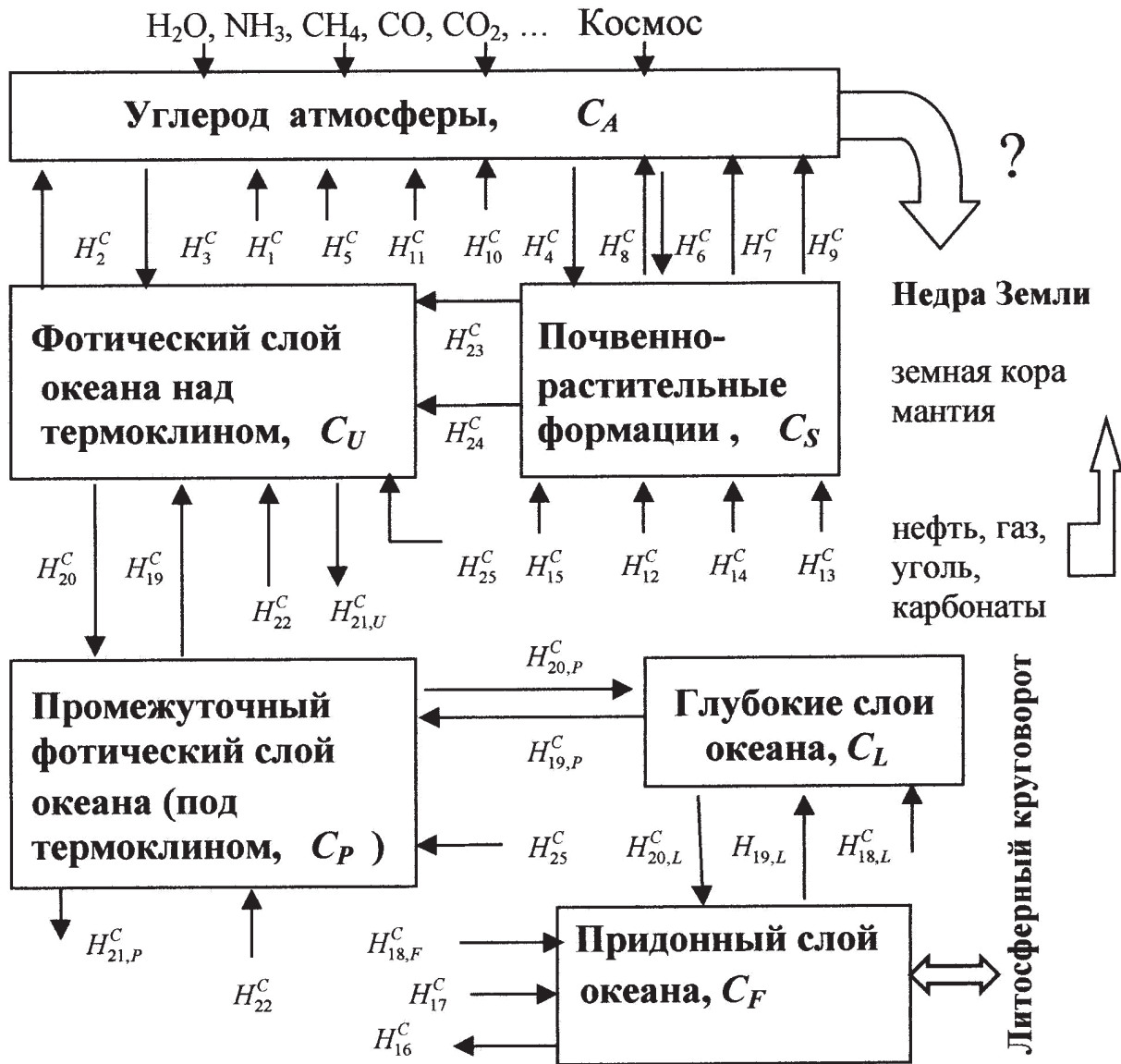


Рис. 2. Блок-схема глобального биогеохимического круговорота углекислого газа в системе атмосфера–суша–океан. Описание резервуаров и потоков CO₂ дается в табл. 5

большие промежутки времени. Формулы регрессии, позволяющие рассчитывать продуктивность $F(T_a, W)$, запасы гумуса $H^o(T_a, W)$ и запасы фитомассы $B^o(T_a, W)$ в зависимости от температуры атмосферы T_a (°C) и осадков W (мм/год) описаны в [2].

Для взаимодействия растительности с атмосферой характерно наличие потока CO₂ H_7^C , возникающего в результате процесса респирации. Поэтому, если T_k есть потери валовой продукции растениями типа k в процессе дыхания, то $H_7^C = C_{26} T_k$. В первом приближении можно положить $T_k = \gamma B_k$, где B_k – биомасса растительности, произведение γC_{26} отражает долю органического углерода,

уходящего в единицу времени с поверхности растительного покрова в атмосферу.

Функционирование границы атмосфера–суша в процессе обмена CO₂ включает также потоки H_9^C, H_{14}^C и H_{15}^C , которые играют важную роль в углеродном балансе биосферы. Vjorkstrom [19] в модели биосферного баланса CO₂ использовал следующие соотношения для описания этих потоков

$$H_9^C = B_k / \theta_9, H_{14}^C + H_{15}^C = B_k / \theta_{14,15},$$

где θ_9 – время оборота углерода в почве; $\theta_{14,15}$ – характерное время перехода углерода живой биомассы в почву (около 1000 лет).

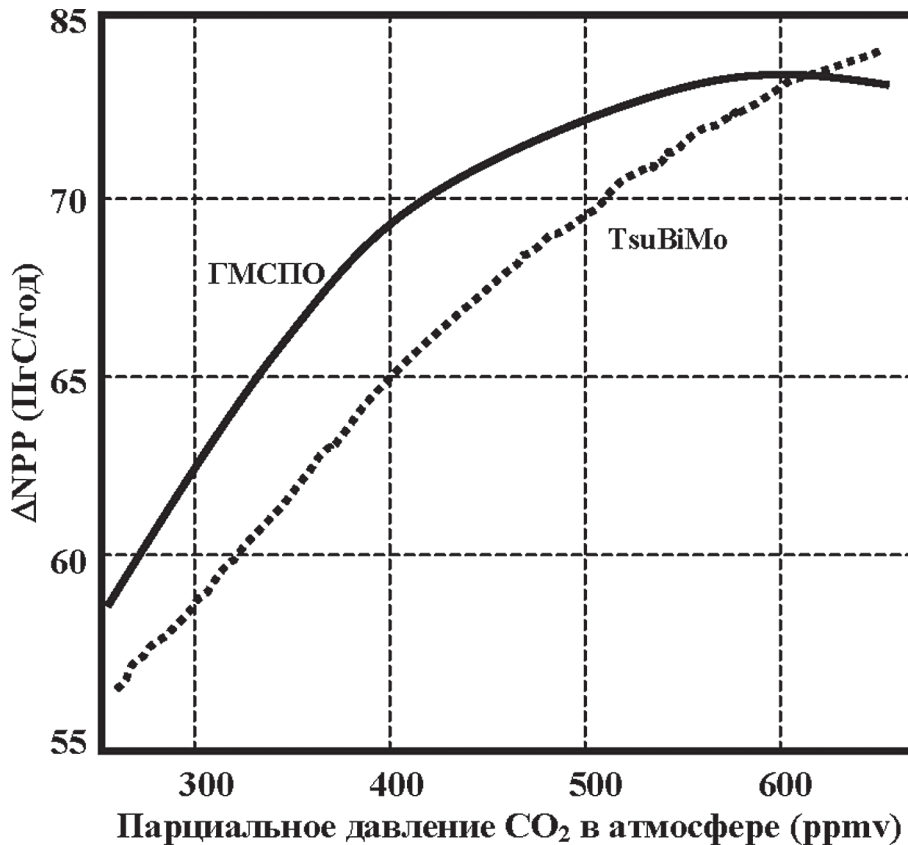


Рис. 3. Сравнение двух моделей глобального круговорота углерода по оценке отклика чистой первичной продукции растительности на изменение концентрации атмосферного CO₂. Обозначения: ГМСПО – глобальная модель системы природа-общество [2], TsuBiMo – биосферная модель университета Tsukuba (Япония) [8]

Если же через R_0 обозначить скорость разложения гумуса и через M_k скорость отмирания растительности, то

$$H_9^c = C_{30}R_0, H_{14}^c = C_{18}M_k, H_{15}^c = C_{15}B_k.$$

Если оценить запас углерода в подстилке величиной 421,1 т/км², из которых 12,95 т/км² ежегодно вымывается в почву, причем 82,5 % от этого количества задерживается в верхнем слое почвы мощностью до 8 см. Отсюда получаем оценку $C_{18} = 0,31$.

Поток H_9^c имеет более сложную зависимость от параметров окружающей среды, таких как температура и влажность почвы. В глобальной модели по умолчанию H_9^c считается линейной возрастающей функцией. Нелинейные эффекты учитываются за счет неоднородности типов почв, проявляющейся через процессы окисления органического вещества. Наиболее инерционной системой является торф, занимающий около 4,3 млн км² и содержащий 860 Гт органического углеро-

да. В устойчивом состоянии органическое вещество почвы в процессе окисления выделяет CO₂ и столько же углерода накапливает в процессе отмирания растений

$$(H_9^c = H_{14}^c + H_{15}^c + H_{12}^c + H_{13}^c).$$

Для торфа и тропических лесов этот баланс не выполняется. Почва в тропических лесах выделяет CO₂ со скоростью, превышающей почти в два раза скорость поступления CO₂ в почву с отмершими растениями. Также большая неопределенность имеется относительно соотношения потоков углерода на территориях старовозрастных лесов, занимающих почти 15 % залесенных площадей. Тем не менее, существующие оценки показывают, что эти леса обеспечивают связывание примерно 10 % от общего количества CO₂, потребляемого за год всеми лесами планеты.

Чтобы модель обмена CO₂ на границе атмосфера–почва была полной, необходимо учесть геофизические и демографические ас-

пекты формирования дополнительных потоков углерода. К ним относятся вулканические эманации (H_5^C), выветривание горных пород (H_4^C), жизнедеятельность животных (H_{11}^C , H_{13}^C) и человека (H_{10}^C , H_{12}^C) и сжигание растительности (H_8^C). Хотя некоторые из них в современную эпоху не играют существенной роли в общем балансе CO_2 , тем не менее учет этих потоков целесообразен для большей адекватности откликов модели в условиях стрессовых имитационных экспериментов. В моделях поток H_5^C обычно задается в виде функции времени и пространственных координат φ и λ как сценарий, потоки H_i^C ($i = 10, \dots, 13$) считаются пропорциональными численности населения G и животных F

$$H_{10}^C = C_3 G, H_{11}^C = C_2 F, H_{12}^C = C_{22} G, H_{13}^C = C_{21} F.$$

Относительно потока H_4^C известно, что при выветривании силикатных пород скорость экстракции CO_2 из атмосферы незначительна по сравнению с аналогичным процессом для карбонатных пород. Поэтому рассмотрим вклад этих пород в поток H_4^C . В условиях равновесия выполняется соотношение $[Ca^{2+}][HCO_3^-]^2/p_a = \text{const}$. Обычно полагают $2[Ca^{2+}] = [HCO_3^-]$, а потому $\Delta[HCO_3^-]/[HCO_3^-] = (\Delta p_a/p_a + 1)^{1/3} - 1$.

Поток H_8^C отражает фрагмент антропогенного вмешательства в глобальный круговорот углекислого газа. Образование индустриального CO_2 может быть с достаточной точностью описано законом

$$H_1^C + H_8^C = \gamma_0 [\exp(rt)]^6,$$

где $r \approx 0,029 \text{ год}^{-1}$.

Наземный круговорот углерода, безусловно, является более сложным. Поэтому детализацию наземного цикла углерода можно продолжить расчленением тела растений и почвы на составляющие. Этот процесс требует обширных знаний о биогеоценотических параметрах, что в глобальных масштабах возможно лишь в форме средних оценок фитомассы, биомассы стволов и корней, запасов органического вещества в подстилке и гумусе.

Затронутая здесь проблема, безусловно, актуальна не только с точки зрения глобальных изменений окружающей среды, если

понимать их с экологических позиций, но она важна и с экономической стороны. Объединяя эти стороны, необходимо найти эффективный механизм управления лесным хозяйством планеты. Нельзя решать эту проблему изолированно от других природоохранных задач. По-видимому, даже на локальном уровне решение об изменении облика земного покрова должно приниматься на основе оценки глобальных последствий в будущем. Технология принятия таких взвешенных решений предлагается в работе Угольницкого и др. [7], и она уже получила название ГИМС-технологии [4–6].

Возвращаясь к Протоколу Киото, заметим, что, несмотря на многие вполне приемлемые заключения и сценарии, рекомендации о введении квот на выбросы парниковых газов не выдерживают критики в силу недостаточной обоснованности и научной оправданности. Ведь даже самые пессимистические оценки роли лесных экосистем в поглощении CO_2 из атмосферы имеют разброс от 10 до 27 %.

Решить проблему согласованного с динамикой глобальных изменений использования лесов можно с помощью ГИМС-технологии, включающей модель динамики лесного фонда, которая описывает изменения структуры лесных площадей и таксационных показателей древостоя во времени в результате естественного роста насаждений и комплекса целенаправленных внешних воздействий

С точки зрения всего человечества было бы и выгодно и целесообразно сосредоточить усилия специалистов различных наук, занимающихся проблемой глобального моделирования, в единый коллектив при какой-либо международной организации, создав, например, Международный центр информационного обеспечения исследований системы природа–общество [3, 6].

Библиографический список

1. Исидоров, В.А. О проблеме глобального круговорота углерода / В.А. Исидоров, К.Я. Кондратьев // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – 2001. – № 5. – С. 56–83.
2. Кондратьев, К.Я. Моделирование глобального круговорота углерода / К.Я. Кондратьев, В.Ф. Крапивин. – М.: Наука. – 2004. – 335 с.

3. Кондратьев, К.Я. Экспертная система для контроля парникового эффекта // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов/ К.Я.Кондратьев, В.Ф. Крапивин. – 2001. – № 6. – С. 23–39.
4. Кондратьев, К.Я. Глобализация и устойчивое развитие: экологические аспекты. Введение / К.Я. Кондратьев, В.Ф. Крапивин, Х. Лакаса, В.П. Савиных. – С.-Пб.: Наука. – 2005.– 241 с.
5. Крапивин, В.Ф. Глобальные изменения окружающей среды: экоинформатика / В.Ф. Крапивин, К.Я. Кондратьев. – С.-Пб.: Санкт-Петербургский ун-т. – 2002. – 724 с.
6. Kondratyev K. Ya., Krapivin V. F., and Varotsos C. A. Global Carbon Cycle and Climate Change. – Chichester: Springer-Praxis. – 2003. – 344 pp.
7. Угольницкий, Г.А. Управление эколого-экономических системами. – М.: Вузовская книга. – 1999. – 132 с.
8. Alexandrov, G. and Oikawa T. TsuBiMo: a biosphere model of the CO₂ – fertilization effect // Climate Res. – 2002. – No. 19. – P. 265–270.
9. Bazzaz F.A. Global CO₂ levels and the response of plants at the population and community levels. In: C. Rozenzweig and R. Dickinson (eds). Climate-Vegetation Interactions. UCAR, Maryland. – 1986. – P. 31–35.
10. Bazzaz, F. A. Tropical forests in a future climate: Changes in biological diversity and impact on the global carbon cycle // Climate Change. – 1998. – 39. – No. 2-3. – p. 317–336.
11. Bjorkstrom, A.A. A model of CO₂ interaction between atmosphere, ocean and land biota. In: Global Carbon Cycle. SCOPE-13. – New York: Wiley. – 1979. – P. 403–458.
12. Goldstein, M.I., Corson M.S., Lacher T.E., and Grant W.E. (2003). Managed forests and migratory bird populations: evaluating spatial configurations through simulation // Ecological Modelling. – 2003. – 162. – No.(1-2). – P.155–175.
13. Goudrian J., van Keulen H. and van Laar H.H. (eds.). The greenhouse effect and primary productivity in European agro-ecosystems. – Wageningen: Pudoc. – 1990. – 90 pp.
14. Hernandez, P. A., Notsu K., Salazar J. M., Mori T., Natale G., Okada H., Virgili G., Shimoke Y., Sato M., and Pérez N. M. Carbon dioxide degassing by advective flow from Usu volcano, Japan // Science. – 2001. – 292. – No. 5514. – P. 83–87.
15. Jones, C. D. and Cox P. M. Modelling the volcanic signal in the atmospheric CO₂ record // Global Biogeochem. Cycles. – 2001. – 15. – No. 2. –P. 453–466.
16. Kelley J.J. Carbon dioxide in the Arctic environment // The Journal of Earth Sci. – 1987. – 35. – No. 2. – P. 341–354.
17. Laffleur P. M., Roulet N. T., and Admiral S. W. Annual cycle of CO₂ exchange at a bog peat-land // J. Geophys. Res. – 2001. – 106. – No. D. – P. 3071–3082.
18. Lee, K., Wannikhof R., Takahashi T., Doney S. C., and Feely R. A. Low interannual variability in recent oceanic uptake of atmospheric carbon dioxide // Nature. – 1998. – 396. – No. 6707. – P. 155–159.
19. Oppenheimer, C. Volcanism // Geography. – 1996. – 81. – No. 1. – P.65–81.
20. Tiezen, L.L. Photosynthesis and respiration in arctic tundra grasses: field light intensity and temperature responses // Arctic and Alpine Res.– 1973. – No. 5. – P. 239 – 251.
21. Watson R.T., Noble I.R., Bolin B., Ravindranath N.H., Verardo D.J, and Dokken D.J. (eds). Land use, land-use change, and forestry. – Cambridge: Cambridge University Press. – 2000. – 377 pp.
22. Winslow, J.C., Hunt E.R., and Piper S.C. The influence of seasonal water availability on global C₃ versus C₄ grassland biomass and its implications for climate change research // Ecological Modelling. – 2003. – 163. – No. 1-2. – P. 153–173.

РОЛЬ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНЫХ ФОРМАЦИЙ И ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ В БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЦИКЛАХ

В.Д. БУРКОВ, *проф., д-р техн. наук, МГУЛ,*

В.Ф. КРАПИВИН, *проф., д-р физ.-мат. наук, Фрязинское отделение Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,*

В.С. ШАЛАЕВ, *проф., директор ИСИЛ, д-р техн. наук*

burkov@mgul.ac.ru

Биогеохимические круговороты и наземные экосистемы

Почвенно-растительные формации играют важную роль в биогеохимическом круговороте химических элементов и соединений,

таких как кислород, углекислый газ, метан, вода, азот, фосфор и др. Эта роль реализуется через такие процессы, как фотосинтез, дыхание и разложение. Фотосинтез зависит от доступной фотосинтетически активной радиации, приход которой определяется качеством

Оценки содержания углерода и азота в метровом слое почвы в некоторых почвенно-растительных зонах
(<http://www.biology.ualberta.ca/courses.hp/bio366/nitrogen-cycle.htm>)

Зона	Площадь, млн км ²	Содержание углерода, млрд т С	Содержание азота, млн т N
Покрытые льдом площади	2,071	0	0
Тундра	4,228	61,5	3664,6
Бореальные пустыни	0,022	0,2	11,0
Бореальные засушливые кустарники	1,262	13,1	808,9
Бореальные леса	17,375	272,3	17877,4
Холодные умеренные пустыни	4,812	47,4	3405,2
Холодные умеренные степи	9,045	120,3	9336,2
Холодные умеренные леса	11,226	145,8	7568,3
Теплые умеренные пустыни	6,805	32,1	1671,7
Теплые умеренные степи с колючим кустарником	5,171	39,3	2782,0
Теплые умеренные засушливые леса	7,543	62,6	4863,7
Теплые умеренные влажные леса	8,400	88,7	6112,7
Субтропические пустыни	2,920	6,5	3642,3
Субтропические засушливые леса	5,151	49,2	4372,6
Субтропические влажные леса	8,498	78,4	9320,6
Тропические пустыни	10,741	10,7	537,1
Тропические засушливые леса	17,081	140,8	12311,0
Тропические влажные леса	8,986	10,4	7158,5
Вся суша	131,336	1272,4	95433,7

Т а б л и ц а 2

Накопление углерода и азота в лесных экосистемах

Тип лесной экосистемы	Органический углерод, 10 ³ т/км ²			Азот, т/км ²		
	C _T	C _Σ	Δ _{CA}	N _T	N _Σ	Δ _{NA}
Бореальные хвойные леса	5,1	22,6	19	11,6	325,0	4
Бореальные листопадные леса	9,7	49,1	20	22,1	378,0	6
Умеренные хвойные леса	30,7	61,8	54	47,9	730,0	7
Умеренные листопадные леса	15,2	38,9	40	44,2	561,9	8
Леса Средиземноморского региона	26,9	32,6	83	74,5	102,5	73

Обозначения: C_T – запас углерода в деревьях, C_Σ – полный запас углерода, Δ_{CA} – доля углерода над поверхностью почвы (%), N_T – запас азота в деревьях, N_Σ – полный запас азота, Δ_{NA} – доля азота над поверхностью почвы (%) (<http://www.biology.ualberta.ca/courses.hp/bio366/nitrogen-cycle.htm>)

Т а б л и ц а 3

Среднее время обращения химических элементов N, K, Ca, Mg, P и органического вещества (ОМ) в лесной подстилке (годы)
(<http://www.biology.ualberta.ca/courses.hp/bio366/nitrogen-cycle.htm>)

Тип лесной экосистемы	ОМ	N	K	Ca	Mg	P
Бореальные хвойные леса	353	230,0	94,0	149,0	455,0	324,0
Бореальные листопадные леса	26	27,1	10,0	13,8	14,2	15,2
Умеренные хвойные леса	17	17,9	2,2	5,9	12,9	15,3
Умеренные листопадные леса	4	5,5	1,3	3,0	3,4	5,8
Леса Средиземноморского региона	3	3,6	0,2	3,8	2,2	0,9
Все леса	12	34,1	13,0	21,8	61,4	46,0

атмосферы, а также от температуры и содержания биогенных элементов и воды в почве. Особенно это заметно в экосистемах, функционирующих в условиях ограниченности воды [4]. Эпизодическая доступность воды для растений наблюдается в пустынных и полупустынных экосистемах. В таких условиях функционирование микробиологических процессов в почве, а следовательно, круговорот углерода и азота подчинены условиям изменения влажности почвы, которая зависит от типа растительного покрова, топографии местности и структуры самой почвы. Конечно, наиболее мобильными в плане круговорота минеральных элементов являются залесенные территории. Примерно 20 % азота почв находится в почвах бореальных регионов. Табл. 1–3 характеризуют соотношение между содержанием углерода и азота в различных экосистемах.

Наземные биомы чувствительны к содержанию CO_2 в атмосфере, и поэтому скорость циркуляции углерода в системе *атмосфера–растительность–почва* является функцией всей совокупности характеристик окружающей среды. В среднем скорость обращения углерода между атмосферой и почвенно-растительными формациями оценивается величиной 50–60 млрд тС/год. С учетом имеющихся оценок размеров этих резервуаров углерода характерное время круговорота углерода в атмосфере и земной биоте составляет 12–15 лет, а в почве – 25–30 лет. Но с учетом пространственного распределения растительных покровов и почв эти оценки становятся другими. Так время круговорота углерода в северных лесах составляет около 100 лет, а в тропических лесах – только 20–30 лет. Все это убедительно доказывает тот факт, что характеристики биогеохимических круговоротов и наземных экосистем изменяются со временем в режиме взаимной зависимости и их анализ возможен лишь при совместном рассмотрении всех параметров системы *атмосфера–растительность–почва* [3].

Существует множество моделей наземных экосистем, различающихся по количеству отраженных в них типов рас-

тительных биомов, пространственными масштабами и множеством других учитываемых характеристик и параметров окружающей среды. Одна из таких моделей (ТЕМ– Terrestrial Ecosystem Model) была создана междисциплинарной научной группой НАСА [7, 12]. Эта модель охватывает пространственные масштабы от регионального до глобального с разрешением $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ и месячным шагом по времени. Региональный уровень модели обеспечивает параметризацию потоков углерода и азота на площади 200 тыс. км² с пространственным разрешением от 10 м до 1 км в зависимости от версии модели. При этом модель позволяет изучать региональную динамику биогеохимических и гидрологических процессов в контексте изменчивости климата и антропогенного воздействия с выделением специфических типов экосистем, таких как агроэкосистемы и тундра. Версия модели ТЕМ-5.0 учитывает температурную зависимость продуктивности растений и скорости разложения гумуса, а также доступность для растений почвенного азота. Версии ТЕМ-1.0 и ТЕМ-2.0 рассчитывают NPP (Net Primary Production) в Южной и Северной Америке соответственно. Отклик NPP и запасов углерода в наземной растительности на изменения климата и концентрации атмосферного CO_2 в глобальных и континентальных масштабах оценивается в рамках версии ТЕМ-3.0. Наиболее обширными функциями наделена версия ТЕМ-4.0, которая, являясь развитием версии ТЕМ-3.0, осуществляет:

- расчет изменения глобального NPP в зависимости от вариаций климата и атмосферной концентрации CO_2 в прошлом с выделением экосистем бассейна р. Амазонки, США и северных широт;

- оценку временной изменчивости запасов углерода в наземных экосистемах в прошлом в зависимости от изменений концентрации атмосферного CO_2 и озона, а также от стратегии использования земель.

Такая конфигурация модели ТЕМ позволила в рамках научного проекта NASA EOS «Изменения в биогеохимических круговоротах» с использованием измерений

Сравнение свойств экосистем для кислой и некислой тундр [18]

Свойство экосистемы тундры	Кислая среда	Некислая среда
РН верхнего минерального горизонта	6,9	5,2
Средняя высота полога растительного покрова, см	3,9	6,5
Индекс площади листа, м ² /м ²	0,5	0,84
Моховый покров, %	65	79
NDVI	0,28	0,41
Толщина О-горизонта	11	21
Доля покрова под голый почвой, %	7,5	0,8
Тепловой поток из почвы, МДж/м ² /сут.	3,13	1,83
Глубина оттаивания почвы, см	52	39
Полная первичная продукция, мгСО ₂ -С/м ² /сут.	940	1820
чистое поглощение СО ₂	670	950
потери на дыхание	270	870
Выделение СН ₄ , мгСН ₄ /м ² /сут	69	449
Органический углерод в метровом слое, кгС/м ³	40	88
Запасы кальция в активном слое почвы, моль(+)/м ³	400	35

с помощью AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) и Landsat собрать огромный запас данных о земных покровах и их изменениях. Центры данных EROS (Earth Resources Observation Systems) и дистанционного зондирования TRSC (Tropical Remote Sensing Center) накопили большое количество информации об эпизодах изменения земных покровов в глобальных масштабах. Например, в рамках программы RADAM (Radar на Amazonia) по территории Бразилии с использованием радарных спутниковых измерений, самолетных фотографий и наземных наблюдений на основе идентификации классов растительности по спектральному анализу вегетационного индекса составлена карта в масштабе 1 : 250000 для растительных покровов, что дает возможность понять роль происходящего тропического обезлесивания в изменении биогеохимического круговорота углерода, а следовательно, оценить изменение радиационного баланса на данной территории. Ведь изменения в использовании земель в экваториальных регионах являются важной составляющей изменения климата. Участки лесов в Южной Америке, Центральной Африке и Юго-Восточной Азии, расчищенных для обработки почвы, могут вносить 20–30 % глобального поступления СО₂ в атмосферу, а также способствовать поступлению в атмосферу больших количеств других ра-

диационно активных МГК (малых газовых компонентов). К сожалению, хорошо документированные данные об этих процессах в глобальных масштабах отсутствуют, что не способствует снижению неопределенности в климатических прогнозах.

Наряду с важной ролью тропических экосистем в регулировании биогеохимических круговоротов, как отмечают Walker *et al.* [18], не менее важно знание процессов газового обмена в системе атмосфера–вечная мерзлота. Ведь знание процессов разложения органического вещества и жизнедеятельности скудных растительных покровов в арктических широтах, несомненно, позволит значительно снизить неопределенность в оценке источников и стоков парниковых газов и, в первую очередь, углекислого газа. В частности, как видно из данных табл. 4, даже разделение почв тундры на кислые и некислые, может значительно повлиять на эти оценки. Изучению арктических экосистем и их роли в биогеохимических круговоротах посвящен ряд научных программ, среди которых выделяются LAII (Land-Atmosphere-Ice Interactions) и ATLAS (Arctic Transitions in the Land-Atmosphere System). Основная цель этих программ состоит в изучении потоков энергии, воды и МГК в Арктике, а также картирование растительных покровов и почв, построение карт спектральной отражательной способ-

ности и фиксирование зональных границ между экосистемами.

Получение данных об элементах управления тепловым балансом в Арктике поможет рассчитать с большей надежностью изменения парникового эффекта в глобальных масштабах. Известно, что с 1750 г. возрастание концентрации в атмосфере CO_2 и CH_4 , ответственных за улавливание 1,46 Вт/м² и 0,48 Вт/м² соответственно, привело к заметному изменению радиационного баланса Земли. В настоящее время из природных источников в атмосферу поступает 270 Тг CH_4 /год, из которых 65 Тг CH_4 /год выделяется ветлами северных широт. Торфяники ответственны за 60 % выбросов CH_4 в зоне 50°–70° с.ш. Примерно 50 % из 700 ПгС, содержащегося в тундре и бореальных биомах (~30 % глобальных запасов углерода), относится к территории России. При этом 20 % запасов углерода (120 ПгС) в торфяниках принадлежит России. Поэтому изучение компонентов биогеохимических круговоротов в северных регионах Евразии становится все более актуальным [10].

Параметризация роли растительных покровов в регулировании газового режима системы атмосфера–растительность–почва должна осуществляться с учетом пространственной структуры распределения типов растительных биомов, а описание функций отдельного биома возможно через параметризацию роли отдельного растения. Динамику общей биомассы отдельного растения многие авторы описывают в форме логистического уравнения

$$dB/dt = k(B_{\text{lim}} - B)B,$$

где B – биомасса;

B_{lim} – предельная величина биомассы;

k – коэффициент, отражающий влияние факторов окружающей среды и типа растения на его рост.

Для описания динамики роста дерева часто применяют простейшие функции, такие как уравнение Теразаки $B = a \exp(-b/t)$, функция Коллера $B = ax^b c^{-ct}$, аппроксимация Корсуня и Бакмана $B = a \exp(b \ln t + c \ln^2 t)$ и др. Впервые более сложная модель роста дерева,

описываемая системой обыкновенных дифференциальных уравнений, была предложена Бихеле и др. [1]

$$dB_j = K_\Phi - k_R R_j - V_j + K_M,$$

где $K_\Phi = k_F \sum_{i=1}^4 \alpha_{ij} \Phi_i$; $K_M = M \sum_{i=1}^4 \beta_{ij}$;

B_j – биомасса отдельных органов растения ($j = 1, 2, 3, 4$);

M – сухая биомасса целого растения;

Φ_i – количество углекислого газа, поглощенное за сутки i -м органом растения ($k_F \Phi_i$ – эквивалентная сухая биомасса, k_F – коэффициент эквивалентности);

R_i – количество углекислого газа, выделенное за сутки i -м органом растения ($k_R R_i$ – эквивалентная сухая биомасса, k_R – коэффициент эквивалентности);

V_i – сухая биомасса отпавшей в течение суток части i -го органа;

α_{ij} – доля созданных за сутки в i -м органе растения «свежих» ассимилятов, оттекаемая в течение тех же суток в j -й орган растения;

β_{ij} – обмен «старых» ассимилятов за сутки между i -м и j -м органами, отнесенный к одному грамму сухой биомассы целого растения;

K_Φ – прирост биомассы за счет фотосинтеза и перераспределения свежих ассимилятов;

K_M – прирост, связанный с перераспределением старых ассимилятов;

$k_R R_j$ – расходы биомассы на дыхание.

Коэффициенты приведенной модели, безусловно, являются функциями параметров окружающей среды. Учет влияния факторов внешней среды на динамику роста дерева, как правило, реализуется в рамках принципа лимитирующих факторов Либиха. Среди факторов внешней среды выделяются ФАР (фотосинтетически активная радиация), двуокись углерода, влажность, температура, минеральные соли в почве. По принципу лимитирующих факторов рост растения происходит до тех пор, пока «ресурсы» некоторого фактора не исчерпаны. Внедрение этого принципа связано со многими неопределенностями, а поэтому в конкретных ситуациях всегда необходимы

его проверки с применением экспериментальных оценок.

Более развитые модели роста дерева вместо набора эмпирических параметров, неточности которых часто являются большим препятствием практического применения моделей, включают функциональные зависимости элементов роста дерева от факторов окружающей среды. Здесь важен принимаемый за основу принцип лимитирования роста дерева этими факторами. Среди наиболее распространенных и часто применяемых является критерий Либиха, говорящий о том, что рост растения ограничивается элементом, концентрация которого лежит в минимуме. По этому критерию рост растения или его органов происходит до тех пор, пока ресурсы некоторого элемента, например, фотоактивной радиации, влаги, температуры, углекислого газа, питательных солей не исчерпаны. Существуют и другие критерии, которые говорят о взвешенном влиянии всех факторов окружающей среды, причем эти веса являются характерными показателями типа растения.

Процесс роста дерева можно представить как результат взаимодействия трех ростовых процессов: изменение листовой (хвойной) массы, рост ствола и нарастание корней. Обозначим биомассы листы, ствола и корней дерева через x_1 , x_2 и x_3 соответственно. Тогда балансовые уравнения модели дерева запишутся в виде

$$x_i(t+\Delta t) = x_i(t) + \varepsilon_i(t) \{R_x - T_x\} \Delta t, (i=1,2,3)$$

где Δt – характерный шаг по времени,

R_x – валовая продуктивность дерева за счет фотосинтеза,

T_x – расход биомассы на дыхание,

ε_i – доля новой биомассы, переходящая в биомассу i -го органа дерева.

Параметры ε_i являются управляющими функциями времени и других параметров окружающей среды. Следуя принципу максимальной выживаемости, можно предположить, что действует принцип максимальной первичной продуктивности

$$\tilde{Y}^*(t + \Delta t) = \max_{\{\varepsilon_i(t)\}} Y \{x_i(t) + \varepsilon_i(t) Y[x_i(t), E(t, \varphi, \lambda), C_A, T_A] \Delta t, E, C_A, T_A\}.$$

Располагая моделью отдельного растения и имея набор биометрических и геофизических характеристик данного пикселя пространственной дискретизации суши, легко синтезировать блок ГМСПО (глобальная модель системы «природа–общество»), который позволит оценивать входные параметры биогеохимических блоков глобальной модели, отражающих динамику изменчивости потоков парниковых газов в зоне влияния конкретного биома. Однако при этом необходимо учитывать воздействие кислотных осадков на продуктивность растительных сообществ. Табл. 1–3 содержат некоторую полезную для использования в модели информацию.

Биогеохимические круговороты и водные экосистемы

Роль биогеохимических круговоротов в глобальной экодинамике имеет многогранное проявление. Наряду с сокращением антропогенных выбросов CO_2 не менее остро стоит вопрос о регулировании биогеохимических круговоротов серы и азота, которые являются генераторами кислотных осадков, приводящих к закислению водоемов. Например, в США для решения возникающих здесь проблем в 1990 г. были приняты поправки к закону о чистом воздухе (CAAA–Clean Air Act Amendments) и начали реализовываться национальные программы по мониторингу атмосферных осадков (NADP–National Atmospheric Deposition Program) с особым акцентом на кислотные осадки (NAPAP – National Acidic Precipitation Assessment Program). В то же время циркуляция азота и фосфора в водных экосистемах связана с таким процессом, как эвтрофикация. Особую роль здесь играют водоросли, которые регулируют потоки биогенных солей и поддерживают устойчивый режим функционирования водных экосистем прибрежных акваторий. Так, Plus *et al.* [13] с помощью моделирования изучили сезонную динамику биомассы водорослей и содержания азота в них в лагуне Thau на Средиземноморском побережье Франции в зависимости от освещенности и температуры и показали, что прибрежные экосистемы играют ключевую роль в регулировании биогеохимических

круговоротов биогенных элементов, а их моделирование позволяет сократить неопределенность в оценках газового обмена на границе *атмосфера–океан*.

Химический механизм формирования кислотных осадков основан на взаимодействии NO_x и SO_x с атмосферной влагой. Этот процесс может происходить как по естественным (начиная с извержения вулканов и разряда молнии и кончая жизнедеятельностью бактерий) и антропогенным причинам. Чистый дождь, проходящий через незагрязненный воздух, представляет собой водный раствор с $\text{pH} = 5,6$. Принято считать дождь кислотным, если его pH ниже 5,0. В современном промышленном мире избыточная кислотность дождя обусловлена в основном присутствием оксидов серы и азота. Оксиды серы попадают в атмосферу главным образом при извержениях вулканов и в результате сжигания природного топлива. Уголь и нефть содержат небольшое количество серы. При сжигании этих видов топлива в атмосферу попадает сера в соединении с кислородом. Растворяясь в дождевых каплях, оксид серы образует серную кислоту. Процесс формирования в атмосфере оксидов азота связан с грозовой активностью, но основная часть оксидов образуется при сжигании бензина в двигателях внутреннего сгорания или при сжигании угля. При растворении этих веществ в капельках воды образуется азотная кислота. Таким образом, дожди становятся кислотными при вымывании из воздуха серных и азотных соединений, что создает угрозу флоре и фауне на суше и в водных экосистемах.

Кислотный дождь оказывает отрицательное воздействие на водоемы, повышая их кислотность до такого уровня, что в них погибает флора и фауна [8]. Наиболее благоприятным значением pH для водных растений является диапазон между 7,0 и 9,2. С увеличением кислотности растения начинают погибать. При кислотности $\text{pH} = 6,0$ погибают пресноводные креветки. Когда кислотность повышается до $\text{pH} = 5,5$, погибают донные бактерии, которые разлагают органические вещества, и органический мусор начинает скапливаться на дне водоема. Затем гибнет планктон, кото-

рый составляет основу пищевой цепи водоема и питается веществами, образующимися при разложении бактериями органических веществ. Когда кислотность достигает $\text{pH} = 4,5$, погибает вся рыба, большинство лягушек и насекомых. В целом, значение pH является индикатором состояния водной экосистемы, и управление этим показателем позволяет регулировать трофическую структуру водоема и тем самым управлять его продуктивностью. В глобальном масштабе выбросы окислов серы ответственны за 60–70 % кислотных осадков, а более чем 90 % находящейся в атмосфере серы имеет антропогенное происхождение.

Другим последствием антропогенного изменения биогеохимических круговоротов является эвтрофирование водоемов, возникающее по причине перенасыщения водной среды биогенными элементами. Антропогенное эвтрофирование вызывает целый ряд нарушений нормального функционирования водных экосистем, к важнейшим из которых относятся дефицит кислорода и другие аномалии газового режима. Изучением биогеохимических круговоротов биогенных солей в морских средах занимается исследовательский институт MBARI (Monterey Bay Aquarium Research Institute), где для этой цели создана специализированная заякоренная система MOSS (Monterey Ocean Observing System), которая оснащена солнечными аккумуляторами и антеннами спутниковой связи, а также электрооптическим волоконным кабелем длиной 60 км, уложенным на глубине 1 км, связанная с Monterey Bay. Система располагает сетью выносных автономных роботов и лабораторий для выполнения измерений.

Обширные исследования по управлению процессом эвтрофикации водоемов на национальном уровне ведутся во многих странах. Например, в Австралии такие исследования начали проводиться с 1995 г. в рамках соответствующей национальной программы [14]. В Швеции такой программой предусмотрено сокращение поступления фосфора и азота в водоемы к 2010 г. на 20 % и 30 % по сравнению с 1995 г. соответственно. Безусловно, наиболее развитой и хорошо оснащенной является национальная програм-

Ежегодные стоки биогенных элементов в океаны [2]

Река	Сток в океан, 1000 мг/год		
	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P
Онега	1,6	0,99	0,15
Северная Двина	14,96	6,7	2,0
Мезень	2,2	0,71	0,44
Печора	17,8	7,1	4,2
Обь	287,4	34,8	23,5
Пур	24,3	0,74	3,0
Таз	30,5	0,75	2,8
Надым	12,2	0,55	2,2
Енисей	207,8	18,4	6,2
Оленек	2,7	0,78	0,23
Лена	39,4	19,5	3,5
Яна	6,8	1,2	0,36
Индигирка	3,8	2,3	0,35
Колыма	5,2	2,5	0,76
Амазонка	131,8	1021,5	160,7
Миссисипи	21,2	740,6	71,4
Юкон	9,1	21,7	2,1
Макензи	–	23,6	1,5

ма США по эвтрофикации [5]. Она охватывает более ста эстуариев на атлантическом и тихоокеанском побережьях. Для Европы действует программа, разработанная OSPAR комиссией, созданной в 1992 г. на совещании министров иностранных дел Европы. Эта программа предусматривает сокращение поступления загрязняющих веществ в морскую среду северо-восточного сектора Атлантики к 2020 г. до уровня естественного шума [11]. Основной причиной эвтрофикации водной среды является избыточное поступление азота и фосфора из внешних источников, как правило, сельскохозяйственного происхождения. Органический и неорганический фосфор с участием бактериопланктона стимулирует рост фитопланктона, что приводит к уменьшению содержания кислорода и, в конечном счете, повышает смертность живых организмов.

В целом все биогеохимические и физические процессы перемещения и преобразования биогенных и других химических соединений в водной среде являются теми механизмами, которые формируют и управляют *физическим* и *биологическим* насосами, регулирующими поглощение CO₂ океанами из атмосферы. Биологический насос дейс-

твует за счет фотосинтетической активности и экспорта органического углерода. Углерод не является лимитирующим фактором для первичной продукции океана. Фитопланктон поглощает и выделяет основные биогенные элементы в соответствии с постоянным отношением к растворенному неорганическому углероду, но эта закономерность подвергается мощному антропогенному изменению и как результат изменения состава биогенных элементов карбонатная система океана может изменить устойчивое состояние с непредсказуемыми последствиями для функционирования биологического насоса [6]. Ясно, что изучение всех этих взаимодействий невозможно без учета изменений в распределении озона, облаков, аэрозолей и МГК в атмосфере, что проявляется в изменении спектрального состава приходящей солнечной радиации, что в результате приводит к изменению фотосинтеза и других фотохимических процессов.

Одним из эффективных методов изучения биогеохимических круговоротов в водной среде является разработка моделей, основанных на наблюдениях и физических и биохимических принципах преобразования биогенных элементов. Успешным примером развития такого подхода является трехмерная

модель циркуляции океана с учетом биогеохимического круговорота биогенных солей и солей кремниевой кислоты, CaCO_3 , O_2Si и органического углерода, созданная в Alfred-Wegener институте полярных и морских исследований [17]. Несомненную обеспокоенность в связи с проблемой загрязнения вызывает арктический бассейн, где применение математических моделей особенно важно по причине невозможности получения эмпирических данных о многих процессах. Особую озабоченность вызывает проблема контроля речного стока в российский сектор Арктики [2, 15, 16]. В табл. 5 приведены сведения о потоках некоторых химических элементов в Арктический бассейн.

Вообще вынос осадочных пород с суши в Мировой океан играет важную роль в функционировании биохимических механизмов преобразования вещества и энергии в океанских экосистемах. Масштабы этих выносов оцениваются следующими показателями [16]:

- основным механизмом переноса осадочных материалов с суши в океан является речной сток, за счет которого в Мировой океан ежегодно поступает 18 Гт взвешенных веществ, 5 Гт растворенных веществ и 2 Гт донных отложений;

- за счет ветра и эрозии берегов в Мировой океан ежегодно поступает 0,7 и 0,4 Гт материалов соответственно;

- глобальное перемещение пыли и аэрозоль через атмосферу и их осаждение на ледники, морской лед и айсберги с последующим перемещением в водную среду океанов характеризуется величиной 0,7 Гт/год.

Учет информации о потоках веществ, поступающих в Мировой океан с речным стоком, в ГМСПО позволяет более точно рассчитать биогенную нагрузку на соответствующие экологические системы. Роль биогеохимических круговоротов в Мировом океане может проявляться непредсказуемым образом в зависимости от сочетания огромного количества параметров. К этому необходимо добавить высокую чувствительность морских экосистем к смещению режимов поступления биогенных элементов, а значит, роль Мирово-

го океана как биологического насоса, откачивающего CO_2 из атмосферы, также многообразна и трудно предсказуема. Очевидно, что наиболее важными с точки зрения стабилизационной роли океанов, являются апвеллинговые зоны. Предложенная в работе Кондратьева и др. [9] методика оценки биологической сложности морских экосистем позволяет с помощью одного параметра осуществлять классификацию акваторий Мирового океана по их роли в биогеохимическом круговороте углекислого газа. Применение модели апвеллинговой экосистемы в качестве одного из блоков ГМСПО позволяет рассчитать вертикальное распределение потока углерода и оценить состояние карбонатной системы океана в данном пикселе его пространственной дискретизации. Для восстановления полной мозаики направленности потоков CO_2 на границе атмосфера–океан необходимо знать структуру и состояние термоклина, набор метеорологических параметров, структуру течений, объем и состав речного стока. Проведение исследований биогеохимических круговоротов с полным учетом таких данных является одной из проблем современной экодинамики.

Библиографический список

1. Бихеле, И. Субмодель распределения ассимилятов и роста растения при водном дефиците / И. Бихеле, Х. Молдау, Ю. Росс // Препринт № А-5. – Тарту: Тартуская астрофизическая обсерватория. – 1980. – 22 с.
2. Гордеев, В.В. Речной сток биогенов в российскую Арктику: достижения и проблемы / В.В. Гордеев, А.В. Жулидов, Р. Холмс, Б. Петерсон // Труды II Сессии «Экология пойм сибирских рек и Арктики», 24–26 ноября 2000 г., Томск. – Томск: Томский политехнический ун-т. – 2000. – С. 108–113.
3. Тарко, А.М. Математическое моделирование антропогенных изменений глобальных биосферных процессов / А.М. Тарко. – М.: Физматлит. – 2005. – 278 с.
4. Austin, A.T., Yahdjian L., Stark J.M., Belnap J., Porporato A., Norton U., Ravetta D.A., and Schaeffer S.M. Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems // *Oecologia*. – 2004. – 141. – P. 221–235.
5. Bricker, S.B., Clement C.G., Pirhalla D.E., Orlando S.P., and Farrow D.R.G. National estuarine eutrophication assessment: effects of nutrient

- enrichment in the Nation's estuaries. Silver Spring, M.D.: NOAA, National Ocean Service, Special Projects Office and the National Centers for Coastal Ocean Science. – 1999. – 71 pp.
6. Falkowski, P.G. Evolution of nitrogen cycle and its influence on the biological sequestration of CO₂ in the ocean // *Nature*. – 1997. – 387. – P. 272–275.
 7. Felzer, B., Kicklighter D.W., Melillo J.M., Wang C., Zhuang Q., and Prinn R. Effects of Ozone on Net Primary Production and Carbon Sequestration in the Conterminous United States using a Biogeochemistry Model // *Tellus*. – 2004. – № 56B. – P. 230–248.
 8. Han, Z., Ueda H., and Sakurai T. Model study on acidifying wet deposition in East Asia during wintertime // *Atmospheric Environment*. – 2006. – 40. – № 13. – P. 2360–2373.
 9. Kondratyev, K.Ya., Krapivin V.F., Varotsos C.A., and Savinikh V.P. *Global Ecodynamics: A Multidimensional Analysis*. – Chichester: Springer/PRAXIS. – 2004. – 649 pp.
 10. Monson, R. **Ecological aspects of biogeochemical cycles**. Report from a NEON Science Workshop, August 24-25 2004, Tucson, A.Z. – Boulder, CO: AIBS Publ. – 2004. – 25 pp.
 11. OSPAR Commission. Annual Report 2002-2003, Volume 2.– London: OSPAR Commission. – 2003. – 111 pp.
 12. Pan, Y, McGuire A.D., Melillo J.M., Kicklighter D.W., Sitch S., and Prentice I.C. A biogeochemistry-based dynamic vegetation model and its application along a moisture gradient in the continental United States // *Journal of Vegetation Science*. – 2002. – № 13. – P. 369–382.
 13. Plus, M., Chapelle A., Mynesguen A., Deslous-Paoli J.-M., and Auby I. Modelling seasonal dynamics of biomasses and nitrogen contents in a seagrass meadow (*Zostera noltii* Hornem.): application to the Thau lagoon (French Mediterranean coast) // *Ecological Modelling*. – 2003. – 161. – P. 213–238.
 14. Schofield, N., Burt A., and Connell D. Environmental water allocation: principles, policies and practices. – Canberra: Land & Water Australia. – 2003. – 39 pp.
 15. Smith, S.V., Swaney D.P., MCManus L. T., Bartley J.D., Sandhei P.T., McLaughlin C.J., Dupra V.C., Crossland C.J., Buddemeier R.W., Maxwell B.A., and Wulff F. Humans, Hydrology, and the Distribution of Inorganic Nutrient Loading to the Ocean // *BioScience*. – 2003. – 53. – № 3. – P. 235–245.
 16. Syvitski, J.P.M., Peckham S.D., Hilberman R., and Mulder T. Predicting the terrestrial flux of sediment to the global ocean: a planetary perspective // *Sedimentary Geology*. – 2003. – 162. – P. 5–24.
 17. Usbeck, R. Modeling of marine biogeochemical cycles with an emphasis on vertical particulate fluxes. – Bremenhaven: Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung. – 1999. – 112 pp.
 18. Walker, D.A., Bockheim J.G., Chapin F.S., Eugster W., King J.Y., McFadden J., Michaelson G.J., Nelson F.E., Oechel W.C., Ping C.L., Reeburgh W.S., Regli S., Shiklomanov N.I., and Vourlitis G.L. Energy and trace-gas fluxes across a soil-pH boundary in the Arctic // *Nature*. – 1998. – № 394. – P. 469–472.

ХАРАКТЕРИСТИКА ЕСТЕСТВЕННОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ КЕДРА СИБИРСКОГО (*PINUS SIBIRICA*) В КРУПНОПАПОРОТНИКОВЫХ И ВЫСОКОТРАВНЫХ ЛЕСАХ СЕВЕРНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

А.А. АЛЕЙНИКОВ, *с. н. с. лаборатории структурно-функциональной организации и устойчивости лесных экосистем Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, канд. биол. наук,*

А.С. ЕФИМЕНКО, *студент лесохозяйственного факультета БрГИТА*

Темнохвойные леса Северного Предуралья сформированы пихтой сибирской (*Abies sibirica*), елью сибирской (*Picea obovata*) и кедром сибирским (*Pinus sibirica*). В отличие от ели и пихты, которые образуют полночленные устойчивые ценопопуляции в спонтанно развивающихся сообществах, ценопопуляции кедра в этих же сообществах крайне неустойчивы [1, 7]. Популяционно-демографический анализ современных древостоев крупнопоротниковых и высокотравных лесов, от-

aaacastor@gmail.com; aseforests@gmail.com

личающихся мощным травяным покровом, показал, что в древесном ярусе практически полностью отсутствуют поздние виргинильные и молодые генеративные растения кедра, то есть ценопопуляции кедра имеют неполночленный регрессивный спектр [3, 14]. Такой тип спектра чаще всего формируется при неудовлетворительном возобновлении вида. Несмотря на подробные исследования особенностей возобновления кедра в среднетаежных лесах [9, 12], крупнопоротниковые

и высокотравные леса ранее не исследовались ввиду их исключительной редкости. Кроме того, в литературе [10, 11, 16–18] показано, что микросайты, формирующиеся в результате жизни и смерти взрослых и старых деревьев, играют существенную роль в возобновлении древесных видов, поэтому для более полного выявления факторов, влияющих на возобновление кедр, мы использовали современные представления о микро мозаичной организации лесных сообществ. Цель исследования – изучить особенности естественного возобновления кедр в крупнопоротниковых и высокотравных лесах и выявить роль микросайтов в возобновительном процессе.

Исследования проводили в бассейне р. Большая Порожня, правого притока р. Печоры (60°02' с. ш. и 58°59' в. д.). По лесорастительному районированию Урала [15] эта территория отнесена к Западно-Уральской предгорной увалисто-равнинной провинции Уральской горно-увалисто-равнинной области. Подробная характеристика района исследований приведена ранее [4].

Материалы и методы

Возобновление кедр учитывали на постоянных пробных площадях размером 0,5–1,0 га, заложенных в елово-пихтарнике крупнопоротниковом и пихто-ельнике высокотравном. Краткая характеристика пробных площадей представлена в табл. 1.

В обоих сообществах древостой сходен по структуре и строению: разновозрастный, разновысотный, без четко выраженных ярусов. Парцеллы деревьев перемежаются с открытыми полянами. Доля кедр сибирского в составе древостоя этих сообществ приблизительно одинакова (табл. 1). Травяно-кустарничковый ярус крупнопоротниковых лесов

монодоминантный с проективным покрытием 80–100 %. Абсолютный доминант – крупный папоротник *Dryopteris dilatata*, под покровом которого в небольшом обилии встречаются мелкие бореальные травы и кустарнички: *Gymnocarpium dryopteris*, *Maianthemum bifolium*, *Oxalis acetosella*, *Linnaea borealis*, *Vaccinium myrtillus*. Покров из зеленых бореальных мхов развит очень слабо. В травяно-кустарничковом ярусе высокотравных лесов проективное покрытие 70–90 %. Этот ярус состоит из трех и более подъярусов. В верхнем подъярусе преобладают виды бореального высокотравья: *Aconitum septentrionale*, *Actaea erythrocarpa*, *Cacalia hastata*, *Crepis sibirica*, *Delphinium elatum*, *Paeonia anomala* и другие, в среднем подъярусе – неморальные, нитрофильные и лугово-опушечные: *Milium effusum*, *Stellaria holostea*, *St. nemorum*, *Ranunculus propinquus*, *Vicia sepium* и другие; в нижнем – бореальные кустарнички и бореальное мелкотравье [14].

У каждой особи подрост кедр в пределах пробной площади определяли жизненность, онтогенетическое состояние и микросайт, на котором она произрастала. К подросту относили особи начальных этапов онтогенеза [6, 11, 13]: ювенильные (*j*), ранние имматурные (*im*₁), поздние имматурные (*im*₂) и ранние виргинильные растения (*v*₁). К *j* растениям относили однолетние и многолетние сеянцы высотой до 15 см без ветвления стволика, представляющие собой побег ось 1-го порядка с хвоей ювенильного и взрослого типов; к *im*₁ – растения высотой от 16 до 90 см, с ветвлением 2–3 порядка, с редкой несформированной кроной; к *im*₂ – растения высотой до 2,5 м, с развивающейся кроной средней густоты и с более высоким порядком ветвления (4-й порядок); к *v*₁ – растения с хорошо

Т а б л и ц а 1

Характеристика пробных площадей для учета возобновления кедр

Тип леса	Площадь, га	Высота н.у.м	Уклон, экспозиция	Почва	Состав древостоя
крупнопоротниковый	0,5	340–345	1°, восточная	подзолы иллювиально-железистые на элюво-делювии горных пород	4,9П 3,0Е 2,0К 0,1Б
высокотравный	1,0	310–320	3°, восточная	буроземы грубогумусные на элюво-делювии горных пород	5,7Е 2,8П 1,4К 0,1Б

развитой, островершинной кроной, высотой от 2,5–3,0 м и более.

Жизненность (виталитет) особей определялась по трехбалльной шкале с учетом морфологических признаков растения: высоты особи, длины приростов по высоте за последние 10 лет, наличия механических повреждений и перевершиниваний за последние 10 лет, доли отмирающих и растущих скелетных ветвей, густоты и островершинности кроны, а также охвоения ветвей. У особей нормальной жизненности хорошо выражен ствол, растения для своего возраста имеют наибольшие размеры и максимальные приросты по высоте, отсутствуют механические повреждения и перевершинивания, отсутствуют или единичны отмирающие скелетные ветви, крона густая и островершинная, все ветви максимально охвоены. Растения пониженной жизненности развиваются медленнее, поэтому их размеры и приросты по высоте в каждом онтогенетическом состоянии меньше, крона менее остроконечная, возможны отмирающие скелетные ветви и перевершинивание стволика. Однако при улучшении светового режима возможно повышение жизненного состояния этих растений. У растений низкой жизненности ствол и скелетные ветви часто перевершинивались, они значительно меньше особей нормальной и пониженной жизненности. Приросты по высоте небольшие, крона редкая и часто односторонняя, охвоение ветвей незначительное, много отмирающих скелетных ветвей.

Для каждого растения назван тип микросайта. К микросайтам относили элементы ветровально-почвенного (валежины, ямы, бугры), ветровального (пни, валежины) комплексов; пристволовые повышения (далее – пп) живых и мертвых деревьев, ровные поверхности [2]. Положение каждого микросайта определяли относительно крон деревьев (подкороновое или межкороновое пространства).

Результаты и обсуждение

Плотность подроста кедров сильно варьирует в зависимости от типа леса. По литературным данным, наибольшая (2000–5000 ос./га) плотность отмечена в ельниках чер-

ничных, чернично-долгомошных и хвощево-черничных, а наименьшая – в ельниках папоротничковых (800 ос./га) и ельниках кисличных (40–180 ос./га) [12]. В результате проведенных исследований выяснилось, что плотность подростов кедров в крупнопоротниковом и высокотравном сообществах составляет соответственно 200 и 80 ос./га (рис. 1а). Анализ онтогенетической структуры показал, что в обоих сообществах преобладают ювенильные особи, причем в елово-пихтарнике крупнопоротниковом их в более чем в 2 раза больше, чем в пихто-ельнике высокотравном. Соотношение особей по уровню жизненности в обоих сообществах примерно одинаково: 54 % – особи нормальной жизненности, 29 % – пониженной и 17 % – низкой.

При переходе растений из j в im_1 -состояние часть особей отмирает: в елово-пихтарнике крупнопоротниковом im_1 -растений на 17 % меньше, чем j -растений. Среди ранних иматурных растений по-прежнему доминируют особи нормальной и пониженной жизненности (рис. 1б). В пихто-ельнике высокотравном im_1 -растений на 30 % меньше, чем j -растений. Распределение растений по жизненности схоже с предыдущим. Значительно больше подростов отмирает в обоих сообществах при переходе из im_1 в im_2 . Так, в елово-пихтарнике крупнопоротниковом im_2 растений меньше на 86 % чем im_1 . Кроме того, в этой онтогенетической группе резко меняется виталитетная структура: теперь преобладают особи низкой жизненности, но еще достаточно высока доля растений нормальной и пониженной жизненности. В пихто-ельнике высокотравном плотность im_2 -растений сократилась на 90 %, выжившие единичные растения – низкой и нормальной жизненности. В крупнопоротниковом сообществе подрост кедров максимально отмирает при переходе к v_1 -состоянию, до которого доживают только единичные растения. Таким образом, несмотря на существенную разницу в численности растений начальных этапов онтогенеза (j и im_1), до раннего виргинильного состояния в обоих сообществах доживают единичные особи пониженной и низкой жизненности.

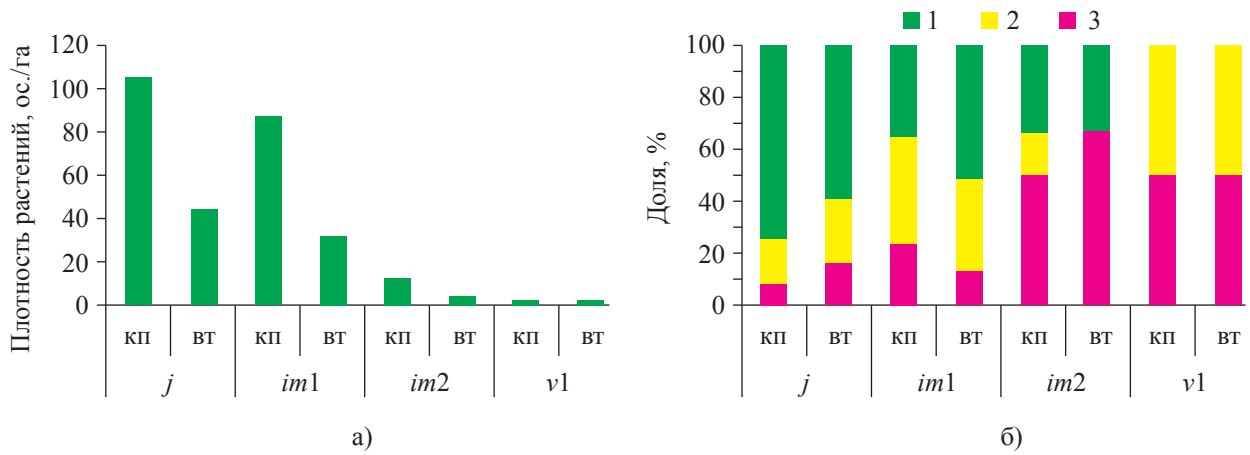


Рис. 1. Число особей (а) и доля (б) подроста кедра с учетом онтогенетического состояния и жизненности в высокотравных и крупнопоротниковых лесах. Условные обозначения. Типы леса: вт – пихто-ельник высокотравный, кп – елово-пихтарник крупнопоротниковый. Онтогенетические состояния: *j* – ювенильные растения, *im₁* – ранние иматурные растения, *im₂* – поздние иматурные растения, *v₁* – ранние виргинильные растения. Уровни жизненности: 1 – нормальная, 2 – пониженная, 3 – низкая

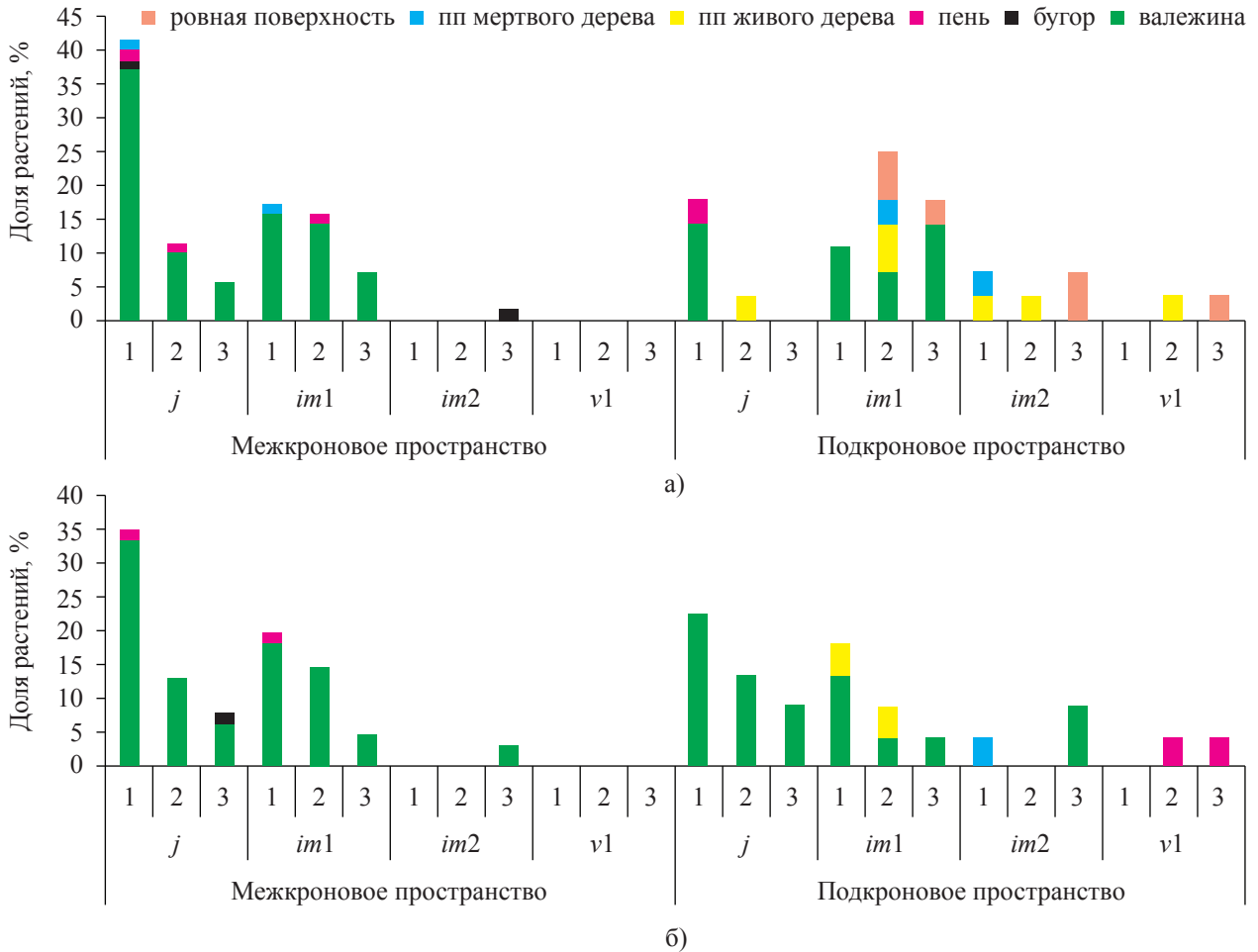


Рис. 2. Приуроченность особей кедра разных онтогенетических состояний и жизненности к микросайтам в елово-пихтарнике крупнопоротниковом (а) и пихто-ельнике высокотравном (б). Условные обозначения онтогенетических состояний и уровней жизненности см. на рис. 1

Приуроченность к микросайтам. Отличительный признак изучаемых сообществ – мощное развитие травяного покрова высотой до 1,5 м от поверхности почвы. Такой покров создает особые условия освещенности, негативно влияя на возобновление древесных видов. При этом особые, более благоприятные условия образуются на различных элементах микрорельефа – микросайтах, сформированных в результате жизни и смерти деревьев.

В елово-пихтарнике крупнопоротниковом значительная часть подроста кедрa произрастает в межкроновом пространстве (60 %) и в 1,5 раза меньше (40 %) – в подкroновом. В межкroновых пространствах подрост отмечен на валежинах, буграх, пнях и пристволовых повышениях мертвых деревьев, онтогенетическая структура фрагментарная. Большая часть (90,0 % подростa кедрa в крупнопоротниковом сообществе) j и im_1 -растений всех жизненных состояний отмечена на валежинах. Единичные j и im_1 -растения нормальной и пониженной жизненности встречаются на пнях (2,8 %) и на пристволовых повышениях мертвых деревьев (2,8 %). Единственное im_2 -растение отмечено на бугре (1,4 %). В подкroновых пространствах на валежинах, пнях, ровной поверхности, пристволовых повышениях живых и мертвых деревьев встречаются особи подростa всех онтогенетических состояний. Так же как и в межкroновом пространстве, значительная часть подростa (46,1 %) отмечена на валежинах (j -растения нормальной жизненности, im_1 всех жизненных состояний). На пнях отмечены только единичные j -растения нормальной жизненности (3,6 %). Пристволовые повышения живых деревьев – единственный тип микросайта, на котором встречены особи всех онтогенетических состояний и уровней жизненности (21,4 %), а на пристволовых повышениях мертвых деревьев – единичные im_1 и im_2 -растения нормальной и низкой жизненности (7,2 %). На ровной поверхности отмечены im_1 , im_2 , v_1 -растения пониженной и низкой жизненности (21,4 %).

В межкroновых пространствах пихтоельника высокотравного обнаружено в 3 раза больше подростa кедрa, чем в подкroновых

пространствах. В межкroновых пространствах набор типов микросайтов, на которых встречается подрост кедрa, значительно меньше: пни, валежины и бугры. Онтогенетическая структура фрагментарная, так как отсутствуют v_1 -растения. На валежинах сосредоточена большая часть j , im_1 и im_2 -растений всех жизненностей (95 % подростa кедрa в пихто-ельнике высокотравном). На бугре обнаружены единичные j -растения низкой жизненности (1,7 %), на пне – единичные im_1 -растения нормальной жизненности (3,4 %). В подкroновом пространстве подрост встречается на валежинах, пнях и пристволовых повышениях живых и мертвых деревьев, онтогенетическая структура фрагментарная. На валежинах отмечена значительная часть j , im_1 и im_2 растений разных уровней жизненности (26,3 %). На пристволовом повышении живого дерева обнаружено одно im_1 -растение нормальной жизненности (2,6 %), на пне – единичные v_1 -растения пониженной и низкой жизненности (5,2 %).

Несмотря на присутствие в древостое изучаемых сообществ генеративных особей кедрa, плотность его подростa крайне низкая. В обоих сообществах онтогенетические спектры подростa полночленны, при этом его плотность в елово-пихтарнике крупнопоротниковом в 4 раза больше, чем в пихтоельнике высокотравном за счет ювенильных и ранних имматурных растений. При этом наибольшее значение при оценке успешности возобновления имеют v_1 -растения, которые уже преодолели травяной покров и в будущем могут войти в состав древесного яруса. В исследуемых лесах растения этого возраста единичны. Вполне возможно, что такая численность v_1 -растений нормальна и ценопопуляции кедрa будут иметь полночленный онтогенетический спектр с очень низкой плотностью особей.

Появление подростa на микросайтах, вероятно, происходит двумя путями. На микросайтах с развитым моховым покровом (валежины, пни, пристволовые повышения деревьев) подрост появляется из семян, которые прячет кедровка. На остальных микросайтах (ровные поверхности, бугры, пристволовые

повышения живых и мертвых деревьев) подрост кедрa появляется из семян, потерянных кедровкой при расшелушивании шишек. Анализ пространственного распределения подраста относительно крон деревьев выявил следующие закономерности: в межкрупном пространстве отмечены только j , im_1 и im_2 растения на микросайтах, возвышающихся над травяно-кустарничковым ярусом (валежины, пни, бугры, пристволовые повышения). Большая часть этого подраста со временем погибает или из-за специфических условий микросайта (например незначительный корневоступный слой на валежинах) или из-за конкуренции с травяным покровом. В подкрупном пространстве, несмотря на небольшую численность, отмечены растения всех онтогенетических состояний подраста (j , im_1 , im_2 и v_1). Большинство молодых растений (j и im_1) погибает, но единичные растения, произрастающие на ровной поверхности и пристволовых повышениях деревьев, доживают до v_1 состояния. Таким образом, наиболее благоприятные микросайты для естественного возобновления кедрa – ровные поверхности и пристволовые повышения, расположенные в подкрупных пространствах. Дальнейшая судьба этого подраста полностью зависит от судьбы дерева, в подкрупном пространстве которого они растут. Наиболее благоприятно для дальнейшего роста и развития приживание подраста под старыми и больными деревьями. В этом случае возможны два варианта развития. В первом, оптимальном варианте, взрослое дерево в течение первых 5–10 лет ломается, образуя пень и валежину, и подрост кедрa, получив дополнительное освещение, постепенно входит в состав древостоя. Во втором варианте дерево вываливается, формируя элементы ветровально-почвенного комплекса, при этом все подкрупное пространство выворачивается и все, что в нем произрастало, погибает. Если кедр прижился в подкрупном пространстве молодых и здоровых деревьев, которые продолжают расти, то вероятнее всего он погибнет.

Работа выполнена при поддержке фонда РФФИ (проекты № 10-04-00355 и № 12-04-01786а) и гранта Президента РФ (проект МК-2102.2012.4).

Библиографический список

1. Алейников, А.А. Состав и строение древостоев сфагновых ельников в верховьях реки Печора (Печоро-Ильчский заповедник) / А.А. Алейников // Известия Самарского НЦ РАН. – Т. 13 (39). – № 1 (4). – 2011. – С. 960–964.
2. Алейников, А.А. Микромозаичная организация крупнопоротниковых и высокотравных пихто-ельников Печоро-Ильчского заповедника / А.А. Алейников, А.Д. Бовкунов // Известия ПГПУ им. В. Г. Беллинского. – 2011. – № 25. – С. 38–46.
3. Алейников, А.А. Популяционная структура древесных видов разновозрастных елово-пихтарников Северного Предуралья / А.А. Алейников, А.А. Лазников // Вестник МГУЛ–Лесной вестник. – 2012. – № 2. – С. 32–37.
4. Алейников, А.А. Парцеллярная организация крупнопоротниковых лесов верховьев реки Печоры / А.А. Алейников, А.А. Лазников // Известия Самарского НЦ РАН. 2012. – Т.4. – № 1 (5). – С. 1180–1183.
5. Атлас Республики Коми по климату и гидрологии. – М., 1997. – 116 с.
6. Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений. Деревья и кустарники. 1989. – М.: Прометей. – 106 с.
7. Ефименко, А.С. Особенности возобновления кедрa сибирского в различных типах леса бассейна реки Б. Порожня (Печоро-Ильчский заповедник) / А.С. Ефименко, А.А. Лазников, А.А. Алейников // Ломоносов-2011: XVIII Межд. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых; секция «Биология»: тезисы докладов. – М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2011. – С. 319.
8. Ильчуков, С.В. Ландшафты Печоро-Ильчского биосферного заповедника / С.В. Ильчуков // Тр. Печоро-Ильчского заповедника. – Сыктывкар, 2010. – Вып. 16. – С. 68–83.
9. Ланина, Л.Б. Сибирский кедр в Печоро-Ильчском заповеднике / Л.Б. Ланина // Тр. Печоро-Ильчского заповедника. – Сыктывкар, 1963. – Вып. 10. – С. 89–220.
10. Луговая, Д.Л. Микромозаичная организация и фитомасса напочвенного покрова в основных типах темнохвойных лесов Печоро-Ильчского заповедника / Д.Л. Луговая, О.В. Смирнова, М.В. Запрудина, А.А. Алейников и др. // Экология. – 2013. – № 1. – С. 3–8.
11. Методические подходы к экологической оценке лесного покрова в бассейне малой реки / Под ред. Л.Б. Заугольной, Т.Ю. Браславской. – М.: Товарищество научных изданий. – КМК, 2010. – 383 с.
12. Непомилуева, Н.И. Кедр на северо-востоке европейской части России / Н.И. Непомилуева. – Л.: Наука, 1974. – 185 с.
13. Николаева, С.А. Онтогенез кедрa сибирского в условиях Кеть-Чулымского междуречья / С.А. Ни-

- колаева, С.Н. Велисевич, Д.А. Савчук // Вестник Томского гос. ун-та. Биология. – № 1. – С. 13–22.
14. Смирнова, О.В. Пространственная неоднородность почвенно-растительного покрова темнохвойных лесов Печоро-Ильчского заповедника / О.В. Смирнова, А.А. Алейников, А.А. Семиколенных, А.Д. Бовкунов и др. // Лесоведение, 2011. – № 6. – С. 67–78.
 15. Смолоногов, Е.П. Комплексное районирование Урала / Е.П. Смолоногов // Леса Урала и хозяйство в них. – Екатеринбург: УГЛТА, 1995. – Вып. 18. – С. 24–41.
 16. Bolton, N.W., D'Amato A.W. Regeneration responses to gap size and coarse woody debris within natural disturbance-based silvicultural systems in northeastern Minnesota, USA. // Forest Ecology and Management. 2011. № 262. С. 1215–1222.
 17. Kuuluvainen, T. Gap disturbance, ground microtopography, and the regeneration dynamics of boreal coniferous forests in Finland: a review // Ann. Zool. Fennici. 1994. V. 31. P. 35–51.
 18. McCarthy, J. Gap dynamics of forest trees: A review with particular attention to boreal forest // Environ. Rev. 2001. Vol. 9. P 1–59.

КОМПЛЕКС ЭНТОМОФАГОВ ОТКРЫТО ЖИВУЩИХ И МИНИРУЮЩИХ ЧЛЕНИСТОНОГИХ В ГОРОДСКИХ НАСАЖДЕНИЯХ МОСКВЫ. СТРУКТУРА И ОСОБЕННОСТИ

Д.А. БЕЛОВ, доц., канд. биол. наук, каф. экологии и защиты леса МГУЛ

belov@mgul.ac.ru

Разнообразие организмов – один из важнейших ресурсов биосферы

Современная интегрированная защита растений от членистоногих вредителей строится на оптимизации всего комплекса разнообразных по направлениям и методам мероприятий, включая и рациональное использование природных энтомофагов самой экологической системы.

Активизация естественных популяций, создание наиболее благоприятных условий для существования энтомофагов, мероприятия по их привлечению и охране декларируются в качестве одного из главных и наиболее эффективных методов защиты растений в целом, в том числе и в городских насаждениях (обеспечение нектароносов для дополнительного питания, сохранение подстилки и листового опада, подходящих убежищ для переживания неблагоприятных условий, устройство ремиз, малых водоемов, система охраны муравьиных колоний, размещение в специальных местах кладок и гнезд фитофагов, пораженных специфическими энтомофагами, накладка на стволы деревьев сепарирующих поясов, задерживающих членистоногих вредителей, но не препятствующих вылету их энтомофагов и др.) [15].

В типичных городских насаждениях складываются условия, контрастные по сравнению с естественной лесной средой. Интродуцированные элементы флоры и фауны сочетаются с аборигенными. Городские насаждения не имеют аналогов ни в естественных биоценозах, ни в агроценозах. Также как и агроценозы, они обладают малой экологической надежностью, биотическое сообщество в них нуждается в регулярной поддержке со стороны человека, а богатство комплексов фитофагов находится в зависимости от наличия в его составе естественной стаии [24].

Для сохранности типичных городских насаждений важное практическое значение имеет группа растительноядных членистоногих, трофически связанных с листовым аппаратом растений. Практически все представители данной группы членистоногих вредителей растений присутствуют в городских насаждениях при плотности популяции, не представляющей серьезной угрозы. Но при определенных условиях численность отдельных групп и видов может резко вырасти, и тогда они будут давать вспышки массового размножения, нанося значительный ущерб городским насаждениям.

Открыто живущие листогрызущие и минирующие насекомые в условиях Моск-

вы наиболее многочисленны и разнообразно представлены [1, 2, 9, 10, 12, 13].

В литературе, посвященной комплексам членистоногих фитофагов, развивающихся в насаждениях других городов, также отмечается, что данные группы насекомых преобладают по количеству зарегистрированных видов [18].

Рациональное использование комплексов энтомофагов открыто живущих листогрызущих и минирующих насекомых может позволить снизить наносимый ими ущерб и минимизировать проведение активных защитных мероприятий, связанных с внесением в насаждения разнообразных синтетических химических соединений, уничтожающих не только организмы, вредящие растениям, но и нейтральные, полезные с точки зрения человека.

Исследования по фауне энтомофагов показали резкое обеднение их комплексов в городских насаждениях, в частности наездников-ихневмонид [16], паразитов моли-пестрянки тополевой нижнесторонней [2, 25], листовичной чехликовой моли [2], комплекса горностаевых молей [26] и непарного шелкопряда [1].

В результате проведенных исследований и сопоставления полученных данных с литературными, был выявлен 81 вид паразитических насекомых, участвующих в регуляции численности открыто живущих листогрызущих и минирующих насекомых, наносящих вред городским насаждениям. Выявленные виды принадлежат к отрядам перепончатокрылых (*Hymenoptera*) и двукрылых (*Diptera*) насекомых. Наибольшее количество видов являются представителями семейств *Ichneumonidae* – 31 вид, *Eulophidae* – 21, *Braconidae* – 16 и *Tachinidae* – 10 видов.

Подавляющее большинство видов являются личиночными, личиночно-куколочными или куколочными паразитами. Наибольшая плотность наблюдалась у *Cirrospilus pictus* Nees., *Chrysocharis* sp. Forster., *Sympiesis gordius* Walker., *S. sericeicornis* Nees. (сем. Eulophidae), *Campoplex* sp. Grav. (сем. Ichneumonidae), *Apanteles colephora* Welk., *Meteorus versicolor* Wes. (сем. Braconidae),

Pseudoperichaeta insidiosa R.-D. (сем. Tachinidae).

На комплексе видов, относящихся к семейству листоверток (*Tortricidae*), паразитирует 16 видов энтомофагов, среди которых по 6 видов относятся к сем. *Ichneumonidae* и *Tachinidae*, 2 вида – к сем. *Braconidae* и 1 вид – к сем. *Encyrtidae*. Кроме того, на 9 достоверно определенных видах листоверток в насаждениях Москвы, паразитируют 10 видов энтомофагов – 8 представителей сем. *Ichneumonidae* и 2 – сем. *Braconidae* (хозяином обоих видов является плодовая листовертка – *Hedya nubiferana* Hw.). На представителях близкородственных видов листоверток развиваются близкородственные виды паразитов. Например, на видах рода *Zeiraphera* развиваются ихневмонины из рода *Tycherus*.

На двух видах горностаевых молей черемуховой и плодовой (*Yponomeuta evonomellus* L. и *Y. padellus* L.) и одном близком к ним в систематическом плане виде из сем. Аргеристиид (*Argyresthidae*) в городских насаждениях Москвы паразитирует 8 видов энтомофагов. Пять видов из сем. *Ichneumonidae* являются общими для обоих видов горностаевых молей, *Ageniaspis fuscicollis* Dalman. (сем. *Encyrtidae*) и *Tetrastichus evonimellae* Veb. (сем. Eulophidae) развиваются только на особях *Yponomeuta evonomellus* L., а ихневмонид *Mevesia arguta* Wesm. – на *Argyresthia ephippella* P. Ихневмонид *Pimpla turionella* L. также входит в комплекс паразитов кольчатого коконопряда (*Malacosoma neustria* L.).

Наиболее массовым и эффективным паразитом черемуховой горностаевой моли является *Ageniaspis fuscicollis* Dalm. (до 70–75 % от общего количества паразитированных особей). В развитии его и хозяина наблюдается почти полная синхронность. Все стадии у паразита растянуты так же, как у хозяина. Они как бы «накладываются» одна на другую [23].

В конце развития зараженные паразитом гусеницы черемуховой моли легко отличаются от незараженных. Они не питаются, почти неподвижны. Тело их вздутое, слегка затвердевшее. В этот период постепенно происходит «перегораживание» внутренней

части тела гусеницы на камеры, в которых заключено по одной личинке паразита. Позднее на поверхности зараженной гусеницы видны овальной формы кокончики паразита.

Численность его различна в разных частях кроны и колеблется в зависимости от освещенности и направления господствующих ветров [26].

Самки наездника *Diadegma armillata* Grav. заражают перезимовавших молодых гусениц молей (до 35–40 % от общего количества всех паразитированных особей хозяина). В гусеницах моли развивается по одной личинке паразита. Перед окукливанием личинка паразита внутри выеденной гусеницы прядет овально-цилиндрический кокон, из которого через 4–5 дней за неделю до вылета бабочек моли отрождается наездник. Продолжительность развития паразита зависит от погодных условий вегетационного сезона [26].

Несмотря на то, что в лесах Подмосковья численность непарного шелкопряда (*Lymantria dispar* L.) в последние два десятка лет прошлого века не достигала высоких уровней, в городских насаждениях вспышка массового размножения непарного шелкопряда реализовалась и завершилась в 1999 г.

В городских условиях непарный шелкопряд является хозяином 8 видов энтомофагов. Один вид является хищником – это кожеед ветчинный (*Dermestes lardarius* L.), повреждающий яйцекладки непарника – до 3,2 % от общего количества отложенных яиц. В среднем в городских насаждениях личинками кожееда повреждалось до 29,3 % кладок, из которых 3,4 % выедались полностью.

Паразитами непарного шелкопряда являются 7 видов энтомофагов: по 3 вида принадлежат к сем. Ichneumonidae и сем. Tachinidae и 1 вид – к сем. Braconidae. По литературным данным, основным хозяином ихневмонида *Theronia atalantae* Poda являются нимфалиды [15].

В целом активность паразитов приводила в городских насаждениях Москвы к гибели 2,0–11,9 % особей непарного шелкопряда. Несмотря на то, что основные паразиты: наездник *Apanteles lacteicolor* Viet. (сем. Braconidae), мухи – *Carcelia gnava* Mg. и

Exorista larvarum L. (сем. Tachinidae) паразитируют на фазе гусеницы, в городских насаждениях Москвы от действий паразитов погибали до 20 % куколок непарного шелкопряда, что может свидетельствовать о замедлении цикла развития паразитов в гусеницах непарного шелкопряда в связи с неблагоприятным воздействием городской среды.

Согласно литературным данным, пораженность мухами-тахинами даже при малой численности непарного шелкопряда остается высокой (20–30 %) [17]. В насаждениях Москвы наиболее многочисленна была *Exorista larvarum* L. Ее лёт происходит с конца мая до начала сентября. Самка откладывает яйца преимущественно на первые сегменты тела гусениц. Отродившиеся личинки сразу же проникают сквозь хитиновые покровы внутрь тела хозяина. Достигнув полного развития, личинка выходит из хозяина на фазе взрослой гусеницы, в исключительных случаях куколки. Окукливание происходит в теле хозяина, его коконе или в подстилке. В течение вегетации этот вид может дать несколько поколений и нуждается в дополнительных хозяевах. Она паразитирует более чем на 50 видах бабочек, преимущественно коконопрядов, а также на пилильщиках [15].

Согласно литературным данным у *Exorista larvarum* L. нередок групповой паразитизм [15]. В городских насаждениях Москвы из одной особи хозяина выходила, в основном, одна муха. Однако изредка в одной особи хозяина развивалось до 6 тахин. В этом случае лишь две или три из них были нормальной величины (10–13 мм), остальные – значительно меньше (до 5 мм).

Кроме того, кладки непарного шелкопряда и его бабочек-самок в городе поедали мелкие насекомоядные птицы – домовый воробей (*Passer domesticus* L.) и славка-черноголовка (*Sylvia utricapilla* L.), а в уличных насаждениях на 1, 2-ой Дубровских улицах в 1996 г. были найдены коконы яйцеда, предположительно относящегося к эвпельмидам рода *Anastatus*.

Другой вид волнянок, дающих локальные очаги массового размножения в отдельных типах городских насаждений Москвы,

ивовая волнянка (*Stilpnotia salicis* L.) имеет комплекс из пяти видов паразитов, два вида являются наездниками из сем. Braconidae, три вида являются мухами из сем. Tachinidae [8].

Таким образом, два вида тахин *Carcelia gnava* Mg. и *Exorista larvarum* L. являются общими для комплексов энтомофагов близкородственных видов бабочек-волнянок.

Комплексы энтомофагов дубовой побеговой моли (*Stenolechia gemella* L.) [27], пяденицы серой волосистой (*Phidalia pedaria* F.), пяденицы-шелкопряда бурополосой (*Lycia hirtaria* L.) [4], кольчатого коконопряда (*Malacosoma neustria* L.), представителей совок (сем. Noctuidae) и вида из сем. серпокрылые моли (Plutellidae) *Plutella maculipennis* Curtis. [16], состоят из одного вида энтомофага. Для пядениц это виды из сем. Braconidae, для совок – сем. Tachinidae, для остальных видов – сем. Ichneumonidae. Следует также указать, что тахина *Pseudoperichaeta insidiosa* R.-D. паразитирует также на листовертках.

Из особей черного ясеневое пилильщика (*Tomostethus nigritus* F.) выведен только один паразит – *Rhaetus* sp. Thoms. (сем. Ichneumonidae) [7].

В городских насаждениях Москвы наиболее распространены четыре вида насекомых-минеров: моль-пестрянка тополевая нижнесторонняя (*Phyllonorycter populifoliella* Tr.), сиреневая моль-пестрянка (*Gracillaria syringella* F.), березовая коричневая чехликовая моль (*Coleophora fuscedinella* L.) и листовничная чехликовая моль (*Coleophora sibiricella* Fl.).

В Московском регионе было выявлено 7 видов энтомофагов моли-пестрянки тополевой нижнесторонней (*Phyllonorycter populifoliella* Tr.) [2, 3]. Их видовой состав включал исключительно наездников: *Cirrospilus pictus* Nees., *Chrysocharis* sp. Forster., *Pnigalia* sp. Schrank., *Sympiesis gordius* Walker., *S. serciicornis* Nees., (сем. Eulophidae), *Apanteles bicolor* Nees. и *A. circumscriptus* Nees. (сем. Braconidae).

Смертность моли-пестрянки тополевой нижнесторонней от энтомофагов была относительно мала: на фазе гусеницы до 13,1 %, на фазе куколки – до 9,0 %. Наиболь-

шую численность имели *Chrysocharis* sp. Forster. – 39,4 %, *Sympiesis gordius* Wainer. и *S. serciicornis* Nees. – по 15,8 % и *Cirrospilus pictus* Nees. – 12,7 % от общего числа особей паразитов.

В начале 90-х гг. прошлого века в насаждениях Москвы было выявлено присутствие еще 13 видов паразитов моли-пестрянки тополевой нижнесторонней [25], что, очевидно, связано с длительным течением вспышки массового размножения данного минера (более 15 лет) и значительной площадью его очагов на территории города. 10 из паразитов были отнесены к сем. Eulophidae, 3 – к сем. Ichneumonidae. По одному виду из обеих семейств являются эктопаразитами (*Elachertus inunetus* Nees. (Eulophidae) и *Seambus signatus* Pfeffer. (Ichneumonidae)), а эвлофид *Pediobius alcaeus* Grav. может быть и первичным и вторичным паразитом.

Все указанные энтомофаги являются личиночными, личиночно-куколочными или куколочными паразитами. В процессе исследований различными авторами не было выявлено яйцеедов, хотя на других видах рода *Lithocolletis* они развиваются [29].

Несмотря на внушительный список видового состава, комплекс паразитов тополевой моли-пестрянки нижнесторонней в условиях насаждений Москвы исключительно обеднен. Сравнительно небольшую зараженность паразитами тополевой моли ранее наблюдали и другие исследователи. Так, Н.Д. Румянцев [21] приводит 5 видов паразитов, из которых до вида определено только два; В.Г. Полежаев [19] – 11; Н.Г. Скопин [22] – более 10 видов наездников-хальцид (Chalcidoidea) и проктотрупид (Proctotrupoidea); К.Е. Романенко [20] – 4 вида; Фулмек (*Fulmek* L.) [31] – 32, в том числе 27 видов сем. Chalcididae.

Интересно отметить, что В.Г. Полежаев [19] в качестве основного паразита указывает *Chrysocharis smirnovi* Buk. n. sp., а П.Д. Румянцев [21] – *Chrysocharis boops* Thoms. Согласно В. Буковскому [14] – это один и тот же вид. Вероятно, этим же видом является и *Chrysocharis* sp. Forster., поскольку он определялся проф. В.А. Тряпицыным, в чьих работах *Ch. smirnovi* Buk. n. sp. отсутствует.

На сиреновой моли-пестрянке (*Gracillariasyringella* F.) паразитирует один энтомофаг, относящийся к сем. Ichneumonidae.

На березовой коричневой чехликовой моли (*Coleophora fuscedinella* L.) паразитирует 7 видов наездников: 4 вида из сем. Braconidae, 2 – сем. Eulophidae и 1 из сем. Ichneumonidae. Оба вида из сем. Eulophidae также входят и в паразитокомплекс листовенничной чехликовой моли (*Coleophora sibiricella* Fl.).

На листовенничной чехликовой моли паразитирует 6 видов наездников: 3 вида из сем. Eulophidae, 2 – Braconidae и по 1 виду из сем. Pteromalidae и Ichneumonidae [2, 5].

В Швеции важнейшим ее паразитом является *Chrysocharis nitetis* Walk. Он составлял 81 % от всех вылетевших особей паразитов [30]. Этот же вид вывел в Австрии Ф. Шреммер (Schremmer F.) [36], он считал его важнейшим паразитом листовенничной чехликовой моли. Возможно, выведенный из особей московской популяции листовенничной чехликовой моли эвлофид *Chrysocharis sp.* Forster. также является видом *Chrysocharis nitetis* Walk.

В последние годы паразитам листовенничной чехликовой моли за рубежом в связи с их интродукцией в США и Канаду уделялось много внимания. Установлено, что разнообразие энтомокомплекса этого вида растет с продвижением на юг, а также увеличивается в естественных листовенничных насаждениях, где очень высокая плотность популяций этого вида возникает довольно часто.

Наиболее подробный обзор литературы по паразитам листовенничной чехликовой моли для разных регионов приводит Ягш (Jagsch A.) [33]. В его списке перечислено 37 видов. В Швеции Х.Х. Эйдманн (Eidmann Н.Н.) [30] обнаружил всего лишь 10 видов энтомофагов листовенничной чехликовой моли. В книге Л. Фулмека (Fulmek L.) [31] о паразитических насекомых минеров листовенных растений в Европе приводится 42 вида паразитов листовенничной чехликовой моли.

Таким образом, следует заключить, что комплекс энтомофагов листовенничной чехликовой моли в насаждениях Москвы исключительно обеднен. Важнейшими видами в годы

исследований были *Chrysocharis sp.* Forster. и *Cirrospilus pictus* Nees. (сем. Eulophidae) – по 43,3 % от общего числа вылетевших паразитов. В целом энтомофаги на стадии гусеницы чехликовой моли 1 и 2-го возрастов играют незначительную роль. От их деятельности погибает в среднем соответственно 6,5 % и 7,2 % гусениц. Влияние энтомофагов на гусениц старших возрастов и куколок еще менее значимо, так как плотность популяций энтомофагов резко сокращается во время зимовки.

Часть паразитов листовенничной чехликовой моли – полифаги, паразитирующие на различных видах хозяев одного и того же рода (и разных родов) из числа минирующих и открыто живущих листогрызущих насекомых.

При сравнении энтомокомплексов видно, что виды *Cirrospilus pictus* Nees. и *Chrysocharis sp.* Forster. (сем. Eulophidae), имеющие несколько генераций за вегетационный период, являются также и основными паразитами тополевой моли-пестрянки нижнесторонней, поочередно развиваясь на популяциях обоих хозяев соответственно их биологии.

Этот факт важен для биологической защиты городских насаждений, так как, несмотря на значительные различия (систематическую принадлежность – сем. Coleophoridae и сем. Gracillariidae, кормовую специализацию, биологию), очаги массового размножения листовенничной чехликовой моли и тополевой моли-пестрянки нижнесторонней часто соседствуют в городских насаждениях (тополь и листовенница – одни из наиболее востребованных древесных видов в озеленении городских объектов).

Вначале наездники-эвлофиды развиваются в гусеницах старшего возраста, а потом и в куколках листовенничной чехликовой моли. В конце мая паразиты вылетают из куколок листовенничной чехликовой моли и заражают в минах на листьях тополей гусениц тополевой моли-пестрянки нижнесторонней, которые к этому времени достигают 2–3-го возрастов. Новое поколение наездников развивается, и молодые взрослые особи нового

поколения вылетают в конце июля из куколок тополевой моли и вновь заражают гусениц листовенничной чехликовой моли, которые к этому времени достигают 2-го возраста.

Часть популяции может зимовать в опавших листьях тополя, находясь внутри пораженных куколок, в минах. Весной они вылетают и заражают гусениц 3 – 4-го возрастов листовенничной чехликовой моли, которые к этому времени уже вышли из диапаузы.

При постоянном развитии на листовенничной чехликовой моли, паразит, так же как и хозяин, зимой находится в диапаузе, а весной продолжает развиваться в гусеницах или куколках листовенничной чехликовой моли.

Наблюдения и учеты в насаждениях Москвы показали, что наиболее значимым фактором смертности листовенничной чехликовой моли является гибель гусениц 3-го возраста (зимой) и гусениц 4-го возраста (весной) в результате деятельности насекомоядных птиц. Листовенничная чехлоноски в московских насаждениях поедается 12-ю видами птиц: москвкой (*Parus ater* L.), большой синицей (*P. major* L.), лазоревкой (*P. coeruleus* L.), хохлатой синицей (*P. cristatus* L.), черноголовой гаичкой (*P. palustris* L.), длиннохвостой синицей (*Aegithalos caudatus* L.), обыкновенным снегирем (*Pyrrhula pyrrhula* L.), коноплянкой (*Carduelis cannabina* L.), чижом (*C. spinus* L.), щеглом (*C. carduelis* L.), желтоголовым корольком (*Regulus regulus* L.) и обыкновенным поползнем (*Sitta europaea* L.) [2].

Листовенничная чехликовая моль является пищей для птиц в течение всего года, но наиболее активно она уничтожается зимой, так как зимние чехлики хорошо заметны и более доступны для птиц на обесхвоенном дереве. Так, при исследовании желудка королька рубиновоголового (*Regulus calendula* L.) было обнаружено более чем 400 шт. гусениц чехликовой моли, а также куколки и даже бабочки этого насекомого [37].

Птицы разрывают чехлики и вынимают их содержимое, остаток чехлика остается при этом на дереве, или же удаляют насекомое вместе с чехликом. Первые порванные чехлики обнаруживаются уже в октябре, но чаще

всего они появляются в ноябре или декабре, максимума количество поврежденных чехликов достигает в апреле. По данным Н.Ф. Слоуэн и Н.К. Коппел (Sloan N.F., Coppel N.C.) [37], большинство видов насекомоядных птиц проглатывают гусениц. Исключение составляет пухляк, или буроголовая гаичка (*Parus atricapillus* L.), которая весной, передвигаясь по деревьям, отделяет гусеницу от чехлика и сбрасывает ее на землю.

В насаждениях Москвы непосредственно перед зимовкой наибольшее количество гусениц листовенничной чехликовой моли сосредотачивается в верхней части кроны, поэтому гибель насекомого от птиц в верхней части кроны больше, чем в средней и нижней.

Весной на стадии гусеницы 4-го возраста птицы поедают в среднем до 41,8 % особей чехлоноски, а на фазе куколки – 20,6 % особей.

На крупных скелетных ветвях птицами уничтожается значительно большее количество чехликов, чем на тонких длинных и свисающих. Это объясняется тем, что на последних птицы не находят достаточно прочной опоры.

В литературных источниках сведения по значимости смертности листовенничной чехликовой моли от воздействия насекомоядных птиц противоречивы. Некоторые авторы ее не отмечали вовсе, другие – напротив, подчеркивали активную деятельность насекомоядных птиц.

Смертность чехлоноски от деятельности птиц зависит от времени года, плотности популяции моли, существования аналогичного по качеству и количеству иного корма, характера насаждения и видового состава насекомоядных птиц. Так, А.Р. Грэхем (Graham A.R.) [32] установил, что до 21 % зимних чехликов листовенничной чехликовой моли разрушается птицами. А.Б. Бейрд (Baird A.B.) [28] оценивал местами смертность моли от действий птиц весной до 73 %, а в среднем 25 %. И.У. Шаффнер (Schaffner jr., I.U.) [34] определил смертность зимующих особей чехлоноски от действий птиц до 45 %. Некоторые авторы подчеркивают большое значе-

ние синиц как истребителей листовичной чехликовой моли [30, 33, 35].

Птицы поедают как здоровых, так и паразитированных особей чехлоноски. По литературным данным, от деятельности птиц погибает зимой 23,5 % гусениц листовичной чехликовой моли, из которых только 30–40 % непаразитированные [37].

Таким образом, птицы, снижая уровень численности листовичной чехликовой моли, снижают численность и количество генераций паразитических перепончатокрылых, а также нарушают синхронность развития их популяций с популяциями хозяина. Деятельность насекомоядных птиц как хищников не только значительный фактор смертности листовичной чехликовой моли, но и фактор снижения численности паразитических перепончатокрылых.

В насаждениях Москвы птицы не только подавили вспышку массового размножения листовичной чехликовой моли (1994–1995), они снизили численность паразитических перепончатокрылых, практически уничтожили популяцию их хозяина и нарушили синхронность их развития. Имея только одного хозяина – тополевую моль-пестрянку нижнестороннюю, эвлофид *Chrysocharis sp.* Forster. сократил число генераций, что способствовало дальнейшему снижению его общего уровня численности в городских биоценозах [11].

Для того чтобы прогнозировать степень ограничивающего воздействия энтомофага на размножение того или иного фитофага, недостаточно знать видовой состав энтомофагов и их плотность. Комплекс факторов влияющих на активность энтомофагов многогранен.

В развитии паразита и хозяина должна наблюдаться определенная синхронность. Например, лёт весеннего поколения *Apanteles bicolor* Nees. начинается позже лёта бабочек тополевой моли-пестрянки нижнесторонней. За период между началом лета хозяина и паразита гусеницы хозяина успевают достигнуть 4–5-го возраста и только незначительное их количество находится в 1–2-ом возрасте, благоприятном заражения.

Существует прямая зависимость между наличием цветущей растительности и пораженностью минирующих молей энтомофагами: чем больше цветущей растительности, тем выше процент гибели вредителя от энтомопаразитов. Это объясняется тем, что реализация потенциальной плодовитости многих видов наездников зависит от дополнительного питания в имагинальной стадии.

Эффективность действия вида-энтомофага может зависеть от численности других видов. Некоторые хальциды, паразитирующие на гусеницах и куколках тополевой моли, являются факультативно вторичными паразитами браконид. Доля *Sympiesis serciicornis* Nees. в комплексе энтомофагов тополевой моли составляет 16 %, а *Apanteles bicolor* Nees. – всего 3 % от общего числа вылетевших паразитов. Следовательно, *Sympiesis serciicornis* Nees. подавляет развитие *Apanteles bicolor* Nees.

Полученные данные характеризуют сложность и неоднозначность взаимосвязей между энтомофагами и дендрофагами в насаждениях и необходимость изучения и учета этой сложности при попытке использования биологических факторов в системе управления популяциями членистоногих вредителей в городе.

Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам ЗИН РАН В.А. Тряпицыну, В.И. Тобиасу, В.А. Рихтеру за неоценимую помощь в определении насекомых.

Библиографический список

1. Белов, Д.А. Грызущие и минирующие листву насекомые в зеленых насаждениях Москвы: дисс.... канд. биол. наук / Д.А. Белов. – М.: МГУЛ, 2000. – 28 с.
2. Белова, Н.К. Чешуекрылые насекомые – вредители декоративных посадок окрестностей г. Москвы: дисс.... канд. биол. наук / Н.К. Белова. – М.: МЛТИ, 1982. – 20 с.
3. Белова, Н.К. Факторы смертности тополевой моли-пестрянки / Н.К. Белова // Экология и защита леса. Взаимодействие компонентов лесных экосистем. – Л.: ЛТА, 1985. – С. 89–93.
4. Белова, Н.К. Пяденица-шелкопряд бурополося (*Lycia hirtaria* Cl.) в зеленых насаждениях г. Москвы / Н.К. Белова, Н.Г. Николаевская // Рациональное использование, охрана и воспроизводство

- лесных ресурсов. – М.: МЛТИ, 1986. – Вып. 184. – С. 66–69.
5. Белова, Н.К. Факторы смертности лиственничной чехлоноски / Н.К. Белова // Тезисы докладов всесоюзной научно-практической конф. «Достижения науки и передового опыта защиты леса от вредителей и болезней». – М.: 1987. – С. 14–15.
 6. Белова, Н.К. Тополевая моль / Н.К. Белова, А.И. Воронцов // Защита растений. – М.: 1987. – № 7. – С. 32–35.
 7. Белова, Н.К. Ясеневиный черный пилильщик в зеленых насаждениях Подмосковья / Н.К. Белова // Экология и защита леса. – Л.: ЛТА, 1987. – С. 54–57.
 8. Белова, Н.К. Ивовая волнянка в зеленых насаждениях Москвы / Н.К. Белова, С.И. Полетаева // Экология и защита леса. – Л.: ЛТА, 1989. – С. 65–68.
 9. Белова, Н.К. Массовые виды филофагов в зеленых насаждениях г. Москвы / Н.К. Белова // Вопросы защиты, охраны леса и озеленения городов. – М.: МЛТИ, 1990. – Вып. 224. – С. 58–64.
 10. Белова, Н.К. Комплекс вредителей листвы и хвои в зеленых насаждениях г. Москвы / Н.К. Белова // Защита растений. – М.: 1994. – № 8. – С. 37–38.
 11. Белова, Н.К. Влияние птиц на популяцию лиственничной чехлоноски и ее паразитов в городских и пригородных насаждениях / Н.К. Белова // Международная научная конференция «Влияние атмосферного загрязнения и других антропогенных и природных факторов на дестабилизацию состояния лесов Центральной и Восточной Европы». Тезисы докладов. – М.: МГУЛ, 1996. – Т. 1. – С. 155–156.
 12. Белова, Н.К. Видовой состав членистоногих филофагов в насаждениях Москвы / Н.К. Белова, Д.А. Белов // Лесной вестник. – М.: МГУЛ, 1999. – № 2. – С. 151–165.
 13. Белова, Н.К. Видовой состав и структура комплекса вредителей древесных растений в насаждениях Москвы / Н.К. Белова, Д.А. Белов // Мониторинг состояния лесных и городских экосистем / Под ред. В.С. Шалаева, Е.Г. Мозолевской. – М.: МГУЛ, 2004. – С. 196–208.
 14. Буковский, В. Новые малоизвестные хальциды (Hymenoptera, Chalcidoidea) / В. Буковский // Энтомологическое обозрение. – 1938. – Т. 27. – № 3–4. – С. 152–171.
 15. Воронцов, А.И. Биологическая защита леса / А.И. Воронцов. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 260 с.
 16. Гохман, В.Е. Наездники-ихневмониды трибы Phaeogenini (Hymenoptera, Ichneumonidae) Московской области / В.Е. Гохман // Насекомые Московской области: проблемы кадастра и охраны. – М.: Наука, 1988. – С. 98–127.
 17. Евстафьев, И.Л. К эколого-биологической характеристике яйцекладок непарного шелкопряда / И.Л. Евстафьев // Вопросы защиты леса. – М.: МЛТИ, 1986. – Вып. 52. – С. 150–152.
 18. Кривошеина, Н.П. Современные представления о насекомых-дендробионтах городских экосистем / Н.П. Кривошеина // Дендробионтные насекомые зеленых насаждений г. Москвы. – М.: Наука, 1992. – С. 5–51.
 19. Полежаев, В.Г. Борьба за существование у тополевой моли (*Lithocolletis populifoliella* Tr.) / В.Г. Полежаев // Зоологический журнал. – М.: 1934. – Т. 13. – Вып. 3. – С. 485–506.
 20. Романенко, К.Е. Нижняя тополевая моль (*L. populifoliella* Tr.) и ее естественные враги в Киргизии / К.Е. Романенко // Труды Киргизской лесной опытной станции. – Фрунзе: 1959. – Вып. 2. – С. 249–257.
 21. Румянцев, П.Д. Биология тополевой моли (*Lithocolletis populifoliella* Tr.) в условиях Москвы / П.Д. Румянцев // Зоологический журнал. – М.: 1934. – Т. 13. – Вып. 2. – С. 257–279.
 22. Скопин, В.Г. О некоторых пилильщиках и чешуекрылых – первичных вредителей тополей в Юго-Восточном Казахстане / В.Г. Скопин // Ученые записки Казахского университета. – Алма-Ата: 1957. – Т. 29. – С. 103–117.
 23. Славгородская-Курпиева, Л.Е. Агениаспис и пути использования его для борьбы с горностаевыми молями рода *Huronomeuta* / Л.Е. Славгородская-Курпиева. – Киев: 1982. – 38 с.
 24. Сторчевая, Е.М. Влияние агроландшафтных условий на формирование комплексов чешуекрылых вредителей сада и их природных энтомофагов / Е.М. Сторчевая // XII Съезд Русского энтомологического общества (Санкт-Петербург, 19–24 августа 2002 г.). Тезисы докладов. – С.-Пб: 2002. – С. 335–336.
 25. Сулханов, А.В. Видовой состав и пространственное распределение паразитов тополевой моли (*Phyllonorycter populipholiella* Tr.) / А.В. Сулханов // Биологические науки. – 1990. – № 7. – С. 33–40.
 26. Сураппаева, В.М. Состав и структура филофагов городских лесов Москвы и динамика их популяции: дисс. канд. биол. наук / В.М. Сураппаева. – М.: МГУЛ, 1996. – 18 с.
 27. Трофимов, В.Н. К биологии дубовой побеговой моли / В.Н. Трофимов // Вопросы защиты леса. – М.: МЛТИ, 1971. – Вып. 38. – С. 96–105.
 28. Baird, A.B. Some notes on the natural control of the larch sawfly and larch case bearer in New Brunswick in 1922 / Baird A.B. // Proc. Acad. Ent. Soc. – 1923. – V. 8. – P. 158 – 171.
 29. Boucek, Z. Hymenoptera:Chalcidoidea, Palearctic Eulophidae (excl. Tetrastichinae) / Z. Boucek, R. Askew // Index of Entomophagous Insects. – Paris: Le Francois, 1968. – P. 1 – 254.
 30. Eidmann, H.N. Okologische und physiologische Studien über die Larchenminiermotte *Coleophora laricella* Hbn. / H.N. Eidmann. – Stockholm: Skogshogskolan, 1965. – V. 32. – S. 226.

31. Fulmek, L. Parasitinsekten der Blattminierer Europas / L. Fulmek. – Den Haag: 1962. – 203 s.
32. Graham, A.R. Effectiveness of two introduced parasites of the larch casebearer *Coleophora laricella* (Hbn.) (Lepidoptera, Coleophoridae) in Ontario / A.R. Graham // Annual report of the Entomological soc. of Ontario. – 1957. – Vol. 88. – P. 37 – 40.
33. Jagsch, A. Populations dynamik und Parasitenkomplex der Larchenminiermotte *Coleophora laricella* Hbn., im natürlichen Verbreitungsgebiet der Europäischen Larsche, *Larix decidua* Mull / A. Jagsch // Z. angew. Entomol. – 1973. – Bd. 73. – H. 1. – S. 1 – 42.
34. Schaffner jr., I.U. The larch case bearer (*Coleophora laricella* Hbn.) / I.U. Schaffner // Mass. Forest park association. Tree pest leaflet. – 1937. – V. 12. – P. 4.
35. Schindler, U. Einfluss der Meisen (Peridae) auf die Populations dichte der Larchenminiermotte (*Coleophora laricella* Hbn.) im Kalamitatsgebiet des Emslandes / U. Schindler // Ally: Forst. – 1972. – Lg. 143. – H. 1. S. 17 – 20.
36. Schremmer, F. Beobachtungen und Untersuchungen uber die Insekten fauna der Larche (*Larix decidua*) im ostlichen Randgebiet ihrer natuerlichen Verbreitung, mit besonderer Beruecksichtigung einer Grosstadtlarche / F. Schremmer // Z. ung. ent.. – 1959. – Teil 1 – 2. – V. 45. – S. 1 – 48, 113 – 153.
37. Sloan, N.F. Ecological implications of bird predators on the larch casebearer in Wisconsin / N.F. Sloan, N.C. Coppel. // L. econ. Entomol.. – 1968. – Vol. 61. – № 4. – P. 1067 – 1070.

ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ ГОРОДА КОРОЛЕВА КАК БИОЦЕНТРЫ ЛОКАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ

А.А. ЛИХАЧЕВ, асп. каф. экологии и защиты леса МГУЛ

a.a.lihachev@gmail.com

Уже к 90-м гг. прошлого века в экологическом сообществе достигнуто общее понимание недостаточной эффективности охраны отдельных природных объектов. Сформировались родственные, но не идентичные концепции экологической сети, экологического каркаса, природного каркаса, системы охраняемых природных территорий. Все эти концепции объединяет то, что охраняемые природные территории в большинстве случаев неэффективны поодиночке, не самодостаточны, а потому должны проектироваться таким образом, чтобы поддерживать устойчивое функционирование друг друга. Но наряду с ООПТ важна охрана экосистем, играющих связующую роль между особо ценными природными объектами. Такой подход отражен в концепции экологических сетей, которые представляют собой систему функционально взаимосвязанных экологических компонентов, предназначенных для сохранения естественных экологических систем, биологического и ландшафтного разнообразия, а также обеспечения непрерывности среды обитания объектов животного мира [11]. Компоненты сети выполняют три функции, а именно:

1. Ключевые территории обеспечивают оптимально достижимое качество и количество экологического пространства.

2. Транзитные территории осуществляют необходимую связь между ключевыми территориями.

3. Буферные территории защищают ключевые и транзитные территории от потенциально опасных внешних воздействий [1].

Объектами настоящего исследования являются биоцентры локальной экологической сети. Биоцентр – это территориально замкнутый участок с природной либо близкой к ней растительностью, который сохраняет генотип ландшафта, оптимизирует влияние на прилегающие территории. В урболандшафте роль биоцентров выполняют парки, лесопарки, скверы и др. Все эти участки отличаются от фона, т.е. прилегающих территорий, значительно большим биоразнообразием, хотя оно может быть далеким от некоторой природной нормы. То есть биоцентр – это природное ядро локальной экологической сети. Он функционирует как центр расселения и сохранения видов для ограниченных по площади участков [2].

Природные комплексы города Королева представляют собой единую систему связанных между собой и с пригородным окружением, посредством экологических коридоров, природных территорий и, в целом,

соответствуют понятию экологической сети. Разнообразие лесных экосистем на территории г. Королева определяется тем, что он включает различные по экологическим условиям природные территории и представляет собой неоднородную по характеру рельефа и степени антропогенной трансформации территорию, с достаточно сложной экологической ситуацией.

Учитывая небольшую (около 52 км²) площадь города, он является уникальной модельной территорией для исследования функционирования экосети локального масштаба. В предыдущих исследованиях [3, 4] устойчивость экосети оценивалась по критериям функционирования системы в целом (число биоцентров и экологических коридоров, природоохранный статус). С накоплением достаточного количества данных появилась возможность оценить устойчивость экосети исходя из внутренних закономерностей функционирования входящих в нее биоцентров. Поскольку лишь некоторые биоцентры существующей экосети (рис. 1) связаны между собой экологическими коридорами, утрата или существенное нарушение одного из них способно привести к разрушению всей системы. Поэтому была поставлена задача оценки сохранности лесной среды и видового богатства в городских экосистемах по интегральным показателям.

Методика исследования

В рамках исследования в 2010–2012 гг. были обследованы участки леса, лежащие в узлах городской экологической сети. На их территории были заложены площадки лесоэкологического мониторинга [5] с таким расчетом, чтобы максимально охватить различные типы леса в пределах биоцентров. Предварительные данные о характере распределения растительности в городских лесах были взяты из проведенных ранее исследований [6–8].

Всего было обследовано 6 природных объектов, лежащих в узлах экологической сети города: участки леса 45-й квартал, Сосновый бор, Комитетский лес, лес рядом с ж/д платформой «Валентиновка», лесные насаждения к югу от Мемориала Славы и территория лет-

них детских садов МГУ (рис. 2). В зависимости от размера природной территории (исследовались участки леса площадью от 7 до 29 га) и разнообразия растительных сообществ в каждом из биоцентров было заложено от 1 до 8 площадок лесоэкологического мониторинга. Всего было заложено 23 площадки

Собранные полевые данные позволили рассчитать значения индикаторных показателей: индекса состояния древостоя и индекса структурного разнообразия лесного биогеоценоза для различных типов леса.

В основе *индекса состояния древостоя* лежит интегральный показатель состояния древостоя, характеризующийся суммарной облиственностью древостоя, которая вычисляется по соотношению деревьев разных категорий состояния в насаждении, при этом доля каждой категории рассчитывается с учетом размеров (площади поперечного сечения деревьев) и их коэффициента облиственности. Индекс состояния древостоя определяется как

$$I_D = \sum Q_i f_i,$$

где Q_i – доля суммы площадей сечения деревьев i -й категории состояния в общей сумме площадей поперечного сечения;

f_i – коэффициенты облиственности деревьев разных категорий состояния.

В качестве показателя, интегрирующего информацию о структурном разнообразии местообитаний, отражающем степень сохранности лесного видового разнообразия, был использован *индекс структурного разнообразия лесного биогеоценоза*, который определяется соотношением числа местообитаний разных категорий – ключевых элементов структурного разнообразия в лесном биогеоценозе. Его формула выглядит следующим образом

$$H_{str} = -\frac{1}{M} \ln \frac{m_1! m_2! m_3! \dots m_l!}{M!},$$

где m_i – значение i -го элемента структурного разнообразия в баллах,

M – суммарная оценка по всем структурным элементам биогеоценоза [9].

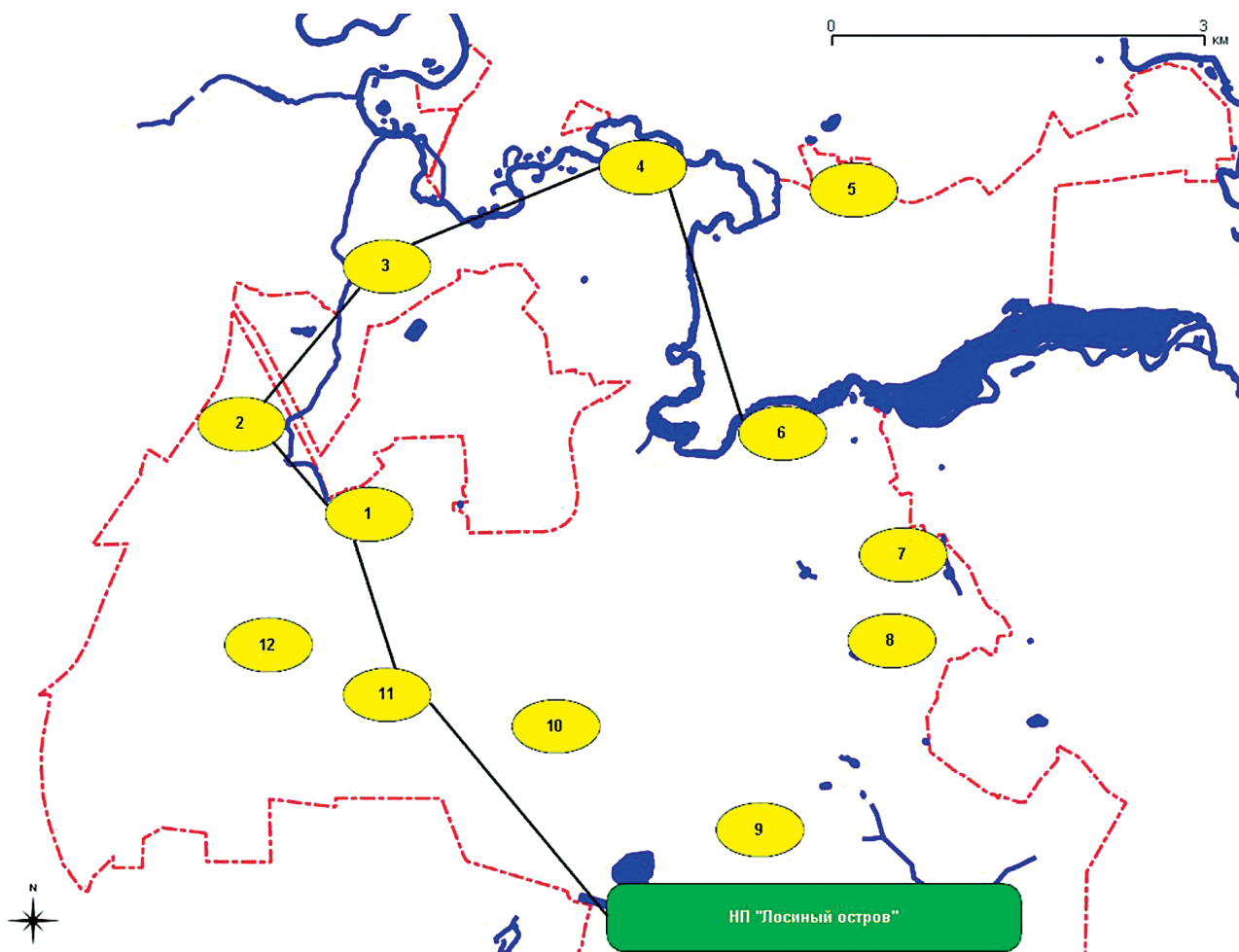


Рис. 1. Схема (граф) экологической сети города

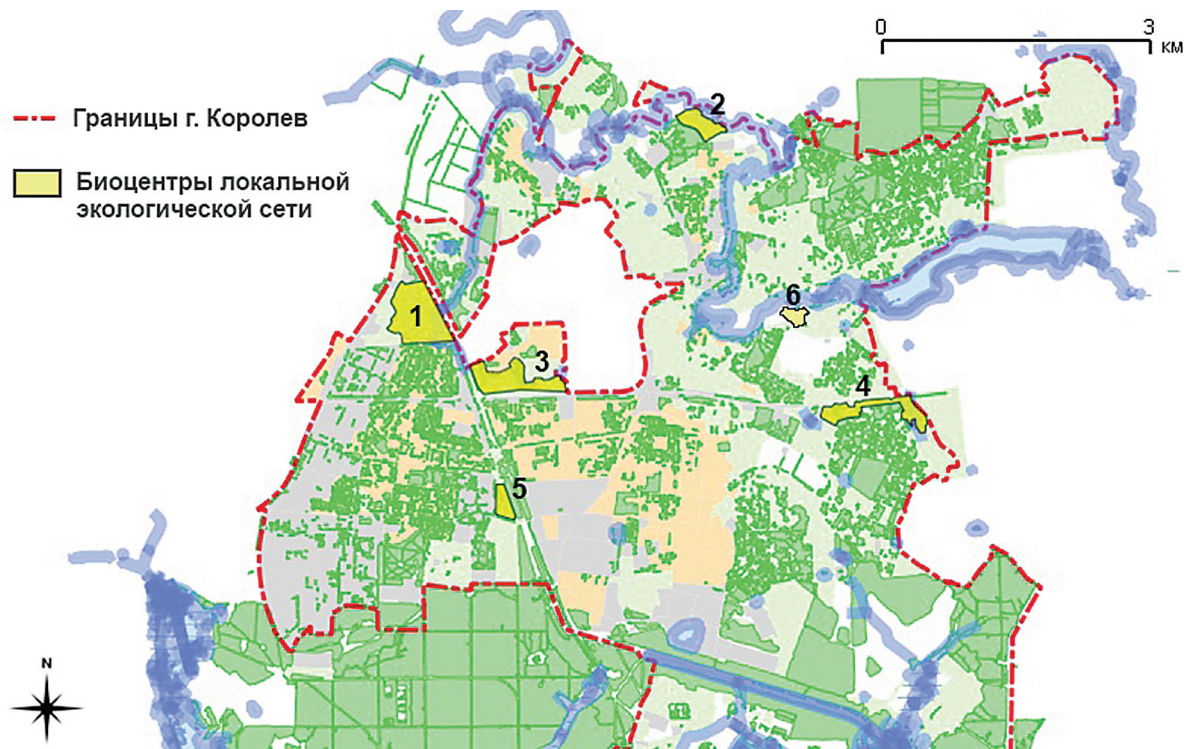


Рис. 2. Положение биоцентров локальной экологической сети г. Королева

Интервальная оценка значений индекса структурного разнообразия

Количественные отметки на шкале желательности и желательность значения отклика	Диапазоны значений экологических индикаторов		Уровень рекреационной дигрессии
	Индекс состояния древостоя	Индекс структурного разнообразия	
От 0,80 до 1,0: очень хорошо	От 9,0 и более	От 1,85 и более	II-I
От 0,63 до 0,80: хорошо	От 7,17 до 9,0	От 1,70 до 1,85	III
От 0,37 до 0,63: удовлетворительно	От 5,23 до 7,17	От 1,55 до 1,70	III-IV (ячеистая структура фитоценоза)
От 0,20 до 0,37: плохо	От 4,0 до 5,23	От 1,45 до 1,55	IV
От 0 до 0,20: очень плохо	До 4,0	До 1,45	V

Для диагностики состояния отдельных участков леса и экосистемы городского леса в целом использованы интервальные оценки значений экологических индикаторов, полученные О.В. Бедновой [10] на основе обработки результатов лесоэкологического мониторинга в городских лесных экосистемах с использованием метода функций желательности Харрингтона (табл. 1).

Состояние городских лесных экосистем г. Королева

В соответствии с приведенными диапазонами значений экологических индикаторов, были дифференцированы все показатели индекса состояния древостоя в лесных экосистемах г. Королева (рис. 3). В одинаковом числе биогеоценозов (по 10) отмечаются значения показателей, соответствующие диапазону

значений «хорошо» и «удовлетворительно». Лишь в одном случае отмечается значение индекса состояния древостоя, соответствующее диапазону значений «очень хорошо». Практически не встречаются значения показателей значения индекса состояния древостоя, соответствующие диапазону значений «плохо», но в двух случаях индекс состояние древостоя попадает в диапазон «очень плохо».

Максимальное значение индекса состояния древостоя (9,53) отмечается в березняке злаково-разнотравном (лес рядом с ж/д платформой «Валентиновка»).

Аномально низкие значения индекса состояния древостоя на двух площадках связаны с локальным усыханием деревьев от болезней: в первом случае это окно вывала в очаге корневой губки, во втором – гибель елового древостоя в очаге короеда-типографа.

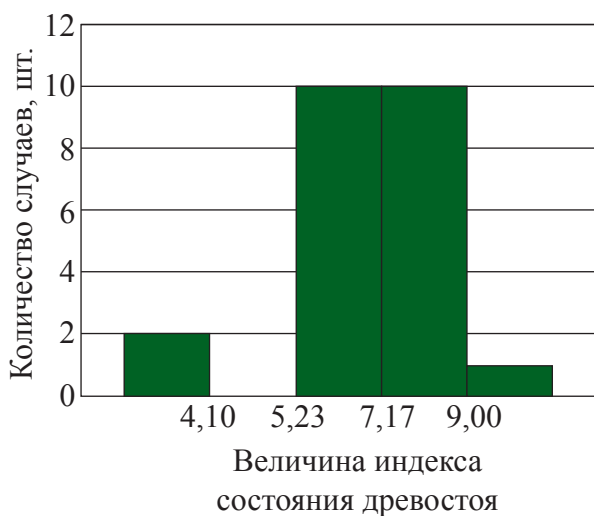


Рис. 3. Гистограмма распределения значений индекса состояния древостоя в лесных экосистемах г. Королев

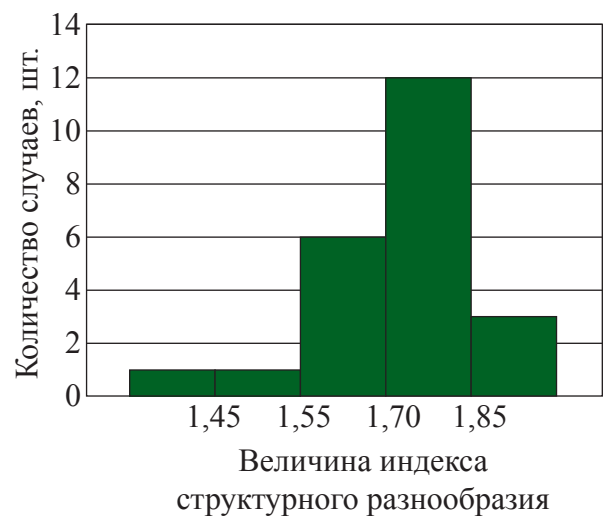


Рис. 4. Гистограмма распределения значений индекса структурного разнообразия в лесных экосистемах г. Королев

Среднее значение индекса состояния древостоя для г. Королева составляет 6,54. Таким образом, в целом, состояние древостоя оценивается как удовлетворительное. При этом за период проведения исследований отмечены негативные тенденции, способные в ближайшие несколько лет изменить картину по состоянию древостоев.

Другую картину демонстрирует распределение значений индекса структурного разнообразия (рис. 4). Большинство значений показателей (12) попадает в интервал, соответствующий диапазону «хорошо». Вдвое меньше показателей соответствуют диапазону «удовлетворительно». В диапазон «очень хорошо» попадают согласно значению 3 значения индекса структурного разнообразия. По 1 значению приходится на диапазоны «плохо» и «очень плохо».

Максимальные значения индекса структурного разнообразия в городских лесах приурочены к старовозрастным разнотравным соснякам (1,94 – сосняк папоротниково-разнотравный в биоцентре Сосновый бор, 1,89 – сосняк с елью разнотравный в лесу у платформы Валентиновка, 1,87 – сосняк с елью недотрогово-разнотравный в Комитетском лесу). Это наиболее ценные сообщества, формирующие ядра этих биоцентров.

Среднее значение индекса структурного разнообразия для лесных экосистем г. Королева составляет 1,76 («хорошо» по шкале желательности). Анализ распределения значений индекса структурного разнообразия показывает, что в целом для городских лесных экосистем характерно сохранение лесной структуры.

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы о функционировании лесных экосистем в условиях города.

1. В лесных экосистемах на территории г. Королева преобладают биогеоценозы, характеризующиеся показателями индекса состояния древостоя, соответствующими диапазону значений «удовлетворительно – хорошо» по шкале желательности. В целом лесные экосистемы города характеризуются удовлетворительным состоянием древостоя.

Однако при постоянном увеличении антропогенной нагрузки в городских лесах практически не проводятся мероприятия по экологически обоснованному благоустройству, что ведет к ухудшению состояния насаждений.

2. Большинство биоцентров характеризуется показателями индекса структурного разнообразия, соответствующими значениям «хорошо» по шкале желательности. Это говорит о достаточной в условиях города сохранности структуры лесных экосистем, что является предпосылкой для их устойчивого функционирования при сохранении существующего уровня антропогенной нагрузки. В связи с этим при планировании развития природных территорий города основное внимание следует уделить предотвращению их дальнейшей фрагментации и мероприятиям по упорядочиванию рекреационной нагрузки.

Библиографический список

1. Рабочая группа по экологическим сетям Северной Евразии (РГЭССЕ). Информационные материалы по экологическим сетям. Вып. 4. – Москва: ЦОДП, 2000. – 32 с.
2. Шеляг-Сосонко, Ю. Р. Концепция, методы и критерии создания экосети Украины / Шеляг-Сосонко Ю. Р., Гродзинский М. Д., Романенко В. Д. – Киев: Фитосоцицентр, 2004. – 144 с.
3. Лихачев, А.А. Подсистема локальных ООПТ в системе экологической сети как основа устойчивого функционирования природной среды города (на примере г. Королев Московской области) / А.А. Лихачев, В.М. Феодоритов // Биология – наука XXI века: 14-я Пушкинская международная школа-конф. молодых ученых (Пушино, 19–23 апреля 2010 г.) сб. тезисов. – Том 2. – Пушино, 2010. – С. 55.
4. Лихачев, А.А. Методика проектирования локальной экологической сети на основе городских лесных экосистем / А.А. Лихачев // Образование и наука для устойчивого развития. Международная научно-практическая конф. и научная школа молодых ученых и студентов: материалы конф. Ч. 2. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2012. – С. 58–62.
5. Беднова, О.В. Мониторинг биоразнообразия лесных и урбозкосистем / О.В. Беднова // Мониторинг состояния лесных и городских экосистем: / Под ред. В.С. Шалаева, Е.Г. Мозолева. – М.: МГУЛ, 2004. – С. 39–51.
6. Королева, Е.Г. Опыт планирования ООПТ местного значения на территории городского округа Королев Московской области / Е.Г. Королева,

- А.А. Лихачев, В.М. Феодоритов // Самарская лука: проблемы региональной и глобальной экологии – 2009 – Т. 18. – № 2. – Самара, 2009. – С. 26–30.
7. Лихачев, А.А. Опыт биогеографического исследования территории городского округа Королев в целях обоснования создания сети ООПТ местного значения / А.А. Лихачев // Материалы докладов XVI международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» / Отв. ред. И.А. Алешковский, П.Н. Костылев, А.И. Андреев. [Электронный ресурс] – М.: МГУ, 2009. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
 8. Соболева, Е.Д. Состояние и проблемы лесов городского округа Королева / Е.Д. Соболева, О.А. Саватеева // Сб. статей «Научный потенциал Московской области – устойчивому развитию территории центрального региона России». – Ярославль-Королев: Канцлер, 2009. – С. 47–55.
 9. Беднова, О.В. Структурное разнообразие лесных биогеоценозов как параметр лесозоологического мониторинга городских охраняемых природных территорий / О.В. Беднова // Вестник МГУЛ–Лесной вестник. – 2009.– № 5(68). – С. 182–191.
 10. Беднова, О.В. Использование функции желательности Харрингтона для оптимизации многокритериальной оценки состояния лесных экосистем в условиях урбанизированной территории / О.В. Беднова // Вестник МГУЛ–Лесной вестник. – 2011.– № 7(83). – С. 35–41.
 11. Jongman, R. Ecological Networks and Greenways: Concept, design, implementation / R. Jongman, G. Pungetti. – Cambridge: CUP, 2004 – 344 pp.

ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И ИХ КОНЦЕНТРАЦИИ В РАСТВОРАХ НА СТИМУЛЯЦИЮ РОСТА РАСТЕНИЙ ПРИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКЕ СЕМЯН

Г.Н. ФЕДОТОВ, *ст. научн. сотр. института экологического почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, д-р биол. наук,*
 Т.Ф. РУДОМЕТКИНА, *ст. научн. сотр., канд. хим. наук,*
 В.С. ШАЛАЕВ, *проф., директор ИСИЛ, д-р техн. наук*

gennadiy.fedotov@gmail.com

Повышение урожайности за счет предпосевной обработки семян биологически активными веществами (БАВ) зависит от многих факторов [1, 2]:

- условий выращивания семян, подвергаемых обработке БАВ (место выращивания растений, климатические условия их произрастания, состояние почв, наличие сорняков, болезней и вредителей, применение пестицидов при выращивании и др.);

- условий уборки и хранения посевного материала;

- способов предпосевной подготовки и обработки семян, включая сортировку;

- методов посева обработанных семян (предшественники, глубина заделки семян, густота посева и т.д.);

- условий выращивания (место выращивания растений, климатические условия их произрастания, состояние почв, наличие сорняков, болезней и вредителей, применение пестицидов и др.).

Невозможность контроля и управления всеми перечисленными выше факторами

затрудняет процесс исследования и зачастую делает невозможным получение воспроизводимых результатов при изучении влияния предпосевной обработки семян БАВ на урожай сельскохозяйственных растений.

Кроме того, при перенесении результатов лабораторных по предпосевной обработке семян БАВ в полевые условия возникают достаточно большие сложности. Как правило, в лабораторных условиях проводят обработку семян, смачивая их растворами с определенной концентрацией. В результате на семенах остается раствор, содержащий БАВ, причем количество БАВ на семенах пропорционально количеству остающегося на них раствора. При лабораторной обработке объем раствора значительно превышает объем раствора, остающегося на семени при обработке в протравочной машине при расходе 10 л раствора на тонну семян.

Хорошо известно, что в медицине и токсикологии эффект воздействия БАВ пропорционален дозе БАВ – массе БАВ, приходящейся на единицу массы биологического

Результаты обработки семян пшеницы сорта «Оренбургская-10» препаратом «Форасид» в различных условиях после выращивания в течение 3 дней

№	Концентрация рецептуры и способ обработки	Средняя длина корня, мм
1	С (в проволочных каркасах)	168
2	С × 19 (в проволочных каркасах)	125
3	С (в аналоге протр. машины)	170
4	С × 19 (в аналоге протр. машины)	124

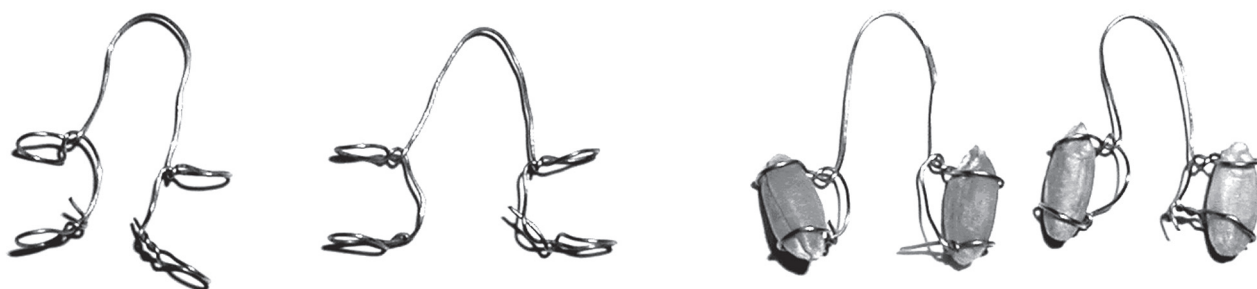


Рисунок. Проволочные каркасы пустые и с семенами пшеницы

материала. Взаимосвязь же параметров дозы и концентрации БАВ при предпосевной обработке семян нам в литературе обнаружить не удалось.

Целью работы было исследование вопроса – какие параметры раствора надо использовать при предпосевной обработке семян на протравочной машине, имея результаты лабораторных испытаний?

Анализ литературных данных позволяет заключить, что для многих БАВ существует некая оптимальная концентрация растворов, которая оказывает максимальное стимулирующее влияние на развитие семян. Причем эффективность обработки снижается при использовании растворов как с более высокими, так и с более низкими концентрациями. Наличие подобного эффекта позволяет при помощи экспериментов получить ответ на вопрос о соотношении понятий концентрации и дозы при обработке семян БАВ.

В работе использовали семена пшеницы сорта «Оренбургская-10» и ячменя сорта «Атаман». В качестве БАВ использовали препарат «Альбит» [7] и разработанный нами экспериментальный препарат «Форасид».

При оценке различия в дозах БАВ при лабораторной обработке и на стандартной протравочной машине семена пшеницы и ячменя помещали в проволочные каркасы (ри-

сунок), опускали в раствор, избыток раствора стряхивали, и сушили семена в каркасах в подвешенном состоянии.

Было установлено, что доза БАВ, рассчитанная по количеству остающегося на семенах раствора, превышает для пшеницы дозу при полевых обработках на стандартном оборотовании в 19 раз, а для ячменя – в 25 раз.

Для оценки влияния стимулирующего эффекта параметров раствора определяли силу роста семян [1] в реальных почвах. Семена проращивали в небольших пластиковых чашечках диаметром 70 мм в конкретных почвах, в темноте, в течение 3 суток при температуре 22 °С. В одну чашечку помещали от 10 семян. Оценку эффективности проводили по 3 параметрам: среднему числу первичных корней, средней длине первичных корней и средней длине ростка. Наиболее чувствительным оказался параметр – «средняя длина первичных корней».

Была проведена обработка семян пшеницы сорта «Оренбургская-10» путем смачивания в растворах БАВ в проволочных каркасах и на аналоге протравочной машины, обеспечивающей расход раствора 10 литров на тонну семян (таблица).

В первом и третьем опытах для разных способов обработки совпадают концентрации, а в первом и четвертом опытах – дозы.

Из полученных данных хорошо видно, что при разных способах обработки эффект действия БАВ определяется концентрацией раствора, а не дозой БАВ, попадающей на семяна.

Данный результат оказался довольно неожиданным, так как количество БАВ на семени (доза) никак не влияло на эффективность действия препаратов. Для объяснения полученных результатов рассмотрим данные по изучению механизма взаимодействия воды с семенами.

Существуют разные объяснения стимулирующего механизма действия БАВ при обработке семян. Наиболее проработанными можно считать представления о действии гиббереллинов [3–5]. Выдвигается предположение о том, что гиббереллины осуществляют деблокирование ферментов (амилаз) и и-РНК, обеспечивающих синтез амилаз. В результате возрастает концентрация амилаз и, как следствие, концентрация сахаров, образующихся при гидролизе амилазами крахмала эндосперма. Это и приводит к ускорению развития семян и более полному использованию запасов питательных веществ эндосперма. С точки зрения эволюции (сохранения растений) в семенах запасается питательных веществ значительно больше, чем нужно для развития из них растений. Природа ориентирует растения на запасание питательных веществ в семенах на самые неблагоприятные погодные условия. Как следствие, при прорастании семян до 50 % запасных питательных веществ не используется при развитии [6]. Стимуляция семян БАВ позволяет увеличить скорость переработки этих запасов и приводит к росту вырабатываемой в единицу времени энергии в семени. Эта энергия расходуется на ускорение развития семян, но ее вырабатываемого избытка хватает и для синтеза ферментов, если необходимо противостоять неблагоприятным факторам среды.

Однако подобный подход с биохимических позиций никак не коррелирует с полученными данными. Из этого механизма следует, что чем больше молекул БАВ будет участвовать в деблокировании, тем активнее должно функционировать семя, чего в реаль-

ности не наблюдается. Это позволяет сделать вывод, что механизм является более сложным и, по-видимому, многостадийным. Разработанные представления о механизме действия гиббереллинов являются чисто биохимическими и позволяют нам понять, как действуют гиббереллины, попав в нужное место семени. Однако вполне очевидно, что для реализации этих механизмов БАВ должны попасть при обработке внутрь семян. При этом не возникает никаких сомнений, что от эффективности их попадания в нужную точку семени процесс активации прорастания будет зависеть никак не в меньшей степени, чем от взаимодействия БАВ с объектами-мишенями, о природе которых достоверная информация в настоящее время отсутствует. Для того чтобы лучше разобраться в этом вопросе, рассмотрим процесс проникновения в семена воды.

Методом спинового эха ЯМР было показано [8–10], что поступающая вода, по крайней мере на начальных этапах набухания семян пшеницы, распределена неравномерно. В семенах довольно быстро появляется вода в жидкой фазе, тогда как ее проникновение в клетки эндосперма, несмотря на быстрое распространение воды в капиллярном и межклеточном пространстве, оказывается существенно замедленным. Однако необходимо отметить, что используемый метод спинового эха ЯМР не дает прямых сведений о пространственной локализации зон с водой в жидкой фазе.

Такая возможность открывается при использовании метода ЭПР-томографии, который основан на регистрации спектра электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) электронно-спиновых центров в неоднородном магнитном поле и позволяет восстановить пространственную картину распределения этих центров [11–12].

Было показано, что через 12 ч водный раствор, содержащий спиновый зонд, находится практически лишь в центральной части среза, где имеются сосудистый пучок и крупная воздушная полость, образованная в результате неплотного срастания перикарпия с семенной оболочкой. Распространение зонда в эндосперме зерна происходит в основном в продольном

направлении со стороны зародыша, причем и здесь можно выделить определенные пути перемещения водного раствора зонда, по-видимому, связанные с капиллярной системой.

Из изложенного следует, что при взаимодействии семян с водой последняя распределяется в них пространственно и физико-химически неравномерно, заполняя на начальном этапе сосудистый пучок и перемещаясь по нему к зародышу.

Эти данные позволяют объяснить полученные нами результаты. Очевидно, что объем сосудистого пучка достаточно мал. Поэтому любые используемые нами количества растворов БАВ при лабораторной обработке или при обработке семян в протравителе обеспечивают заполнение доступного объема сосудистого пучка, а избыточный раствор БАВ не попадает в сосудистый пучок и не оказывает никакого действия на семена.

Таким образом, при обработке семян растворами БАВ мы имеем дело с многостадийным процессом, включающим доставку БАВ к объектам-мишеням внутри семени и взаимодействию БАВ с ними. Причем, эффективность стимуляции будет определяться суммарной результативностью всего процесса.

Библиографический список

1. Сечняк, Л.К. Экология семян пшеницы / Л.К. Сечняк, Н.А. Киндрук, О.К. Слюсаренко, В.Г. Иващенко и др. – М.: Колос, 1983. – 350 с.
2. Зарецкий, А.Ф. Посевные и урожайные качества семян ярового ячменя / А.Ф. Зарецкий. – Мн.: Ураджай, 1979. – 88 с.
3. Вардапетян, Р.Р. Биохимические механизмы действия гиббереллина на прорастание изолированных зародышей пшеницы: дисс. ... д-ра биол. наук / Р.Р. Вардапетян. – Ереван, 1970. – 47 с.
4. Джонс, Р.Л. Гиббереллины и прорастание семян. В кн.: Физиология и биохимия покоя и прорастания семян / Р.Л. Джонс, Дж.Л. Стодарт. – М.: Колос, 1982. – С. 99–132.
5. Майса, Махамед Мнзель Влияние гиббереллина на активность α -амилазы в проростках злаковых культур / Майса Махамед Мнзель, М.К. Манаков // Физиология и биохимия культурных растений, 1991. – Т. 23. – № 4. – С. 340–343.
6. Васько, В.Т. Основы семеноведения полевых культур: учеб. пос. / В.Т. Васько. – С-Пб.: Лань, 2012. – 304 с.
7. Рябчинская, Т.А. Полифункциональное действие препарата Альбит при предпосевной обработке семян яровой пшеницы / Т.А. Рябчинская, Г.Л. Харченко, Н.А. Саранцева, И.Ю. Бобрешова и др. // Агрохимия, 2009. – № 10. – С. 39–47.
8. Аксенов, С.И. Изучение состояния воды в семенах разного качественного состава и его изменения при температурных воздействиях / С.И. Аксенов, Н.А. Аскоченская, Е.А. Головина // Физиология растений, 1977. – Т. 24. – Вып. 6. – С. 1251.
9. Аксенов, С.И. Исследование начальных этапов набухания семян пшеницы методом спинного эха ЯМР / С.И. Аксенов, Н.А. Аскоченская, Е.А. Головина // Докл. АН СССР, 1982. – Т. 264. – № 3. – С. 725.
10. Аксенов, С.И. Спектроскопия спинного эха для исследования состояния воды в растительных и животных тканях / С.И. Аксенов, Л.Е. Воронков, Г.М. Николаев и др. // Научн. докл. высш. школы. Биол. науки, 1971. – № 12. – С. 109.
11. Якимченко, О.Е. ЭПР-томография / О.Е. Якимченко, Я.С. Лебедев // Химическая физика. – 1983. – Т. 2. – № 4. – С. 445.
12. Ohno, K. ERS imaging and its applications // Applied Spectroscopy Rev. 1986. V. 22. № 1 P. 1.

ИЗУЧЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА САМОПРОИЗВОЛЬНО ВЫДЕЛЯЮЩИХСЯ ИЗ ПОЧВ ГЕЛЕВЫХ ПЛЕНОК

Г.Н. ФЕДОТОВ, *ст. научн. сотр. института экологического почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, д-р биол. наук,*

Т.Ф. РУДОМЕТКИНА, *ст. научн. сотр., канд. хим. наук,*

В.С. ШАЛАЕВ, *проф., директор ИСИЛ, д-р техн. наук*

gennadiy.fedotov@gmail.com

В настоящее время общепринято, что почвенные коллоиды в виде гелей покрывают и связывают почвенные частицы между собой, обеспечивая существование почвы как

системы с определенным набором свойств [1–3].

В течение длительного времени проводили исследование почвенных гелей, выделяя

их из почв при помощи различных воздействий [3–7]. Однако это не позволяло сохранять почвенные гели в нативном состоянии и изучать их наноструктурную организацию.

Ранее было показано [14], что при помещении предварительно высушенных капиллярно увлажненных агрегатов в воду на ее поверхности появляется гелевая пленка. Эти пленки было легко выделять из почв, наносить на атомно гладкие подложки и исследовать их наноструктурную организацию.

Однако возникали сомнения, что выделяющиеся таким образом из почв гелевые пленки позволяют получать представления о реально существующих в почвах гелях, а не являются неким артефактом, связанным с выделениями почвенных микроорганизмов.

Целью нашей работы было выяснение состава и уточнение природы самопроизвольно выделяющихся из воздушно-сухих почв гелевых пленок.

Основным критерием правомерности отождествления самопроизвольно выделяющихся из почв гелевых пленок с почвенными гелями является состав их органической части, наличие в ее основе гумусовых веществ (ГВ).

В работе приведены признаки отнесения органических веществ к ГВ [8]. Для этого необходимо:

1. Содержание углерода для ГВ – 36–61 % (Для гуминовых кислот (ГК) в пределах 46–61 % и для фульвокислот (ФК) – 36–44 %);

2. Наличие определенных электронных спектров поглощения, чтобы величина поглощения при 0,001 % ГК при длине волны 465 нм в кювете 1 см составляла порядка 0,01–0,2 (гуминовые кислоты и фульвокислоты отличаются отсутствием четко выраженных максимумов поглощения в области 220–750 нм, их спектры выглядят как пологие кривые с постепенным уменьшением оптической плотности от 220 до 750 нм).

3. Наличие определенных инфракрасных (ИК) спектров поглощения.

Для установления природы органического вещества в самопроизвольно выделяющихся из почв гелевых пленках было

необходимо их выделить в количестве, достаточном для проведения аналитических исследований.

В работе использовали образец суглинистой дерново-подзолистой почвы, отобранный из пахотного горизонта в окрестностях поймы р. Яхромы.

Гели выделяли из почв, помещая воздушно-сухие почвенные агрегаты размером несколько миллиметров в чашки Петри, капиллярно их увлажняя, а затем поднимая уровень воды. Это приводило к отделению от почвенных агрегатов и подъему на поверхность воды гелевых пленок, которые собирали и сушили.

Проводили фракционирование гумусовых веществ в исходной дерново-подзолистой почве и в почвенных гелях, используя воздушно-сухие образцы. Пробы растирали до состояния пудры и отбирали навески, позволяющие выделить гуминовые кислоты в достаточном для последующих исследований количествах по схеме И.В. Тюрина в модификации Пономаревой-Плотниковой [8].

Гелевые пленки содержат большое количество неорганических частиц. Поэтому для определения содержания углерода в органическом веществе (ОВ) гелевых пленок сначала определяли прокаливанием при температуре 525 °С [9] содержание ОВ в образце гелевых пленок, а затем на элементном анализаторе – содержание углерода в гелевых пленках. В связи с тем, что ранее было показано сходство минералогических составов в почвах и гелевых пленках [10], подобный подход можно считать правомерным.

Для дальнейших исследований выделяли и использовали фракцию ГК, переходящую в 0,1 н раствор щелочи после декальцирования образца 0,1 н серной кислотой (ГК-1), и фракцию ГК, переходящую из остатка в 0,02 н раствор щелочи при кипячении в течение 6 часов (ГК-2). Для сравнительных исследований ГК-1 и ГК-2 были выделены из исходной почвы.

Элементный состав почвенных гелей и ГК определяли на элементном анализаторе «Vario EL III» (фирма Elementar, Германия) (авторы выражают благодарность Ю.А. За-

Содержание углерода, азота и серы в дерново-подзолистой почве, в гелевых пленках, выделенных из почвы, и в ГК-1 и ГК-2, выделенных из гелевых пленок и из почвы

Образцы	Содержание С, %	Содержание N, %	Содержание S, %
Почва	2,08	0,21 C/N = 9,9	0,10 C/S = 20,8
ГК-1 из почвы	26,05	4,4 C/N = 8,9	1,65 C/S = 15,8
ГК-2 из почвы	24,12	2,95 C/N = 8,2	1,29 C/S = 18,8
Гелевые пленки	8,19	1,31 C/N = 6,3	0,40 C/S = 20,5
ГК-1 из гелевых пленок	26,00	3,06 C/N = 8,5	0,92 C/S = 28,3
ГК-2 из гелевых пленок	10,37	1,73 C/N = 6,0	0,77 C/S = 13,5

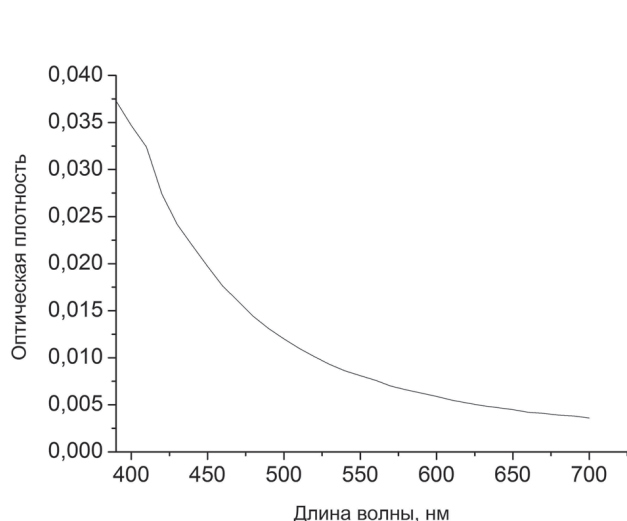


Рис. 1. Спектр 0,001 % раствора гумусовых веществ гелевой пленки в 1 см кювете

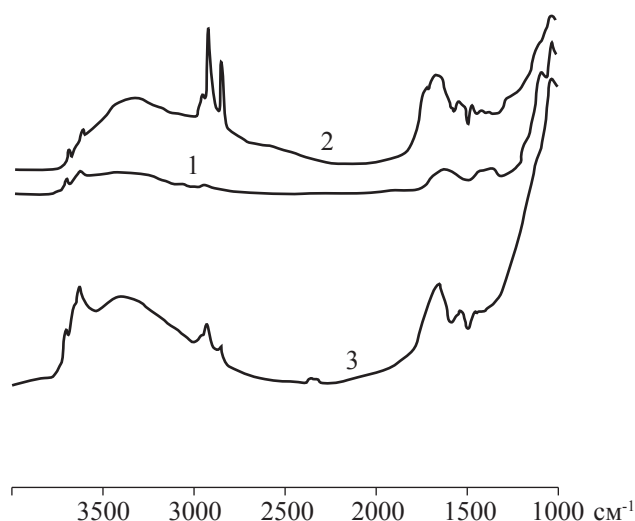


Рис. 2. Инфракрасные спектры гелевой пленки (1), ГК-1 (2) и ГК-2 (3), выделенных из гелевой пленки

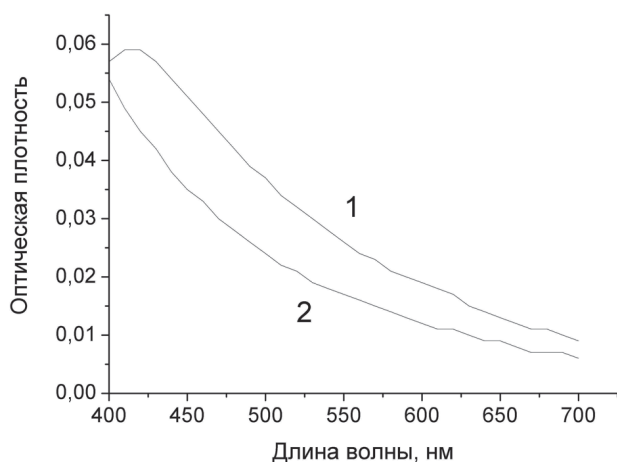


Рис. 3. Спектр 0,001 % раствора ГК-1, выделенных из почвы (1) и гелевой пленки (2) в 1 см кювете

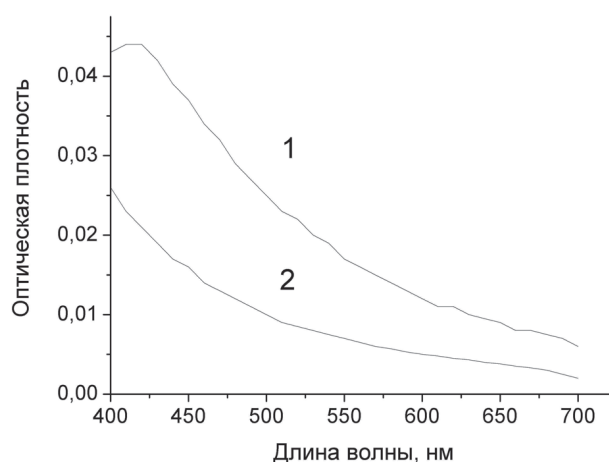


Рис. 4. Спектр 0,001 % раствора ГК-2, выделенных из почвы (1) и гелевой пленки (2) в 1 см кювете

Максимумы полос поглощения и характеристика пиков на ИК-спектрах гелевых пленок из дерново-подзолистой почвы и ГК, выделенных из гелевых пленок

Образец	Максимумы полос поглощения (см ⁻¹) и характеристика пиков
Гелевые пленки	3697 (небольшой узкий пик на восходящей ветви) 3622 (небольшой узкий пик на восходящей ветви) 3399 (широкий пик) 1635 (небольшой средний по ширине пик) 1384 (небольшой средний по ширине пик) 1087 (большой пик) 1036 (большой пик)
ГК-1 из гелевых пленок	3697 (небольшой узкий пик на восходящей ветви) 3622 (небольшой узкий пик на восходящей ветви) 3348 (широкий пик) 2957 (средний узкий пик) 2919 (высокий узкий пик) 2850 (высокий узкий пик) 1716 (высокий пик) 1657 (высокий пик) 1540 (высокий пик) 1462 (средний пик на восходящей ветви) 1419 (небольшой пик на восходящей ветви) 1378 (небольшой пик на восходящей ветви) 1030 (большой пик)
ГК-2 из гелевых пленок	3698 (небольшой узкий пик на восходящей ветви) 3623 (средний пик на восходящей ветви) 3384 (широкий пик) 2927 (средний узкий пик) 2855 (небольшой узкий пик на нисходящей ветви) 2360 (небольшой пик) 1654 (средний пик) 1540 (небольшой пик на восходящей ветви) 1456 (небольшой пик на восходящей ветви) 1419 (небольшой пик на восходящей ветви) 1031 (большой пик)

вгородней за помощь в определении элементного состава образцов).

Электронные спектры поглощения изучали на фотоколориметре КФК-3 (Россия).

ИК-спектры были получены на ИК-спектрометре «FTIR Tenzor-27» (фирма Bruker, Германия) с применением КВr-техники (авторы выражают благодарность В.В. Демину за помощь в проведении исследований методом ИК-спектроскопии).

Проведенные исследования показали, гелевые пленки содержат 8,19 % углерода (табл. 1) и 20,99 % ОВ. Это позволило вычислить содержание углерода в ОВ почвенных гелей, которое составило более 39 %, что в соответствии с 1 критерием позволяет отнести ОВ почвенных гелей к ГВ.

Характер электронных спектров поглощения органического вещества гелевых пленок (рис. 1) соответствует таковому для гумусовых веществ, а величина поглощения при 0,001 % ГК при длине волны 465 нм в кювете 1 см составляет 0,017. Таким образом, и второй критерий отнесения ОВ почвенных гелей к ГВ выполняется.

При сравнительном изучении спектров гумусовых кислот было четко выявлено, что ГК, выделяемые из различных типов почв, имеют однотипные ИК-спектры [11].

Для повышения информативности полученных методом ИК-спектроскопии данных исследовали не только сами гелевые пленки, но и выделенные из них ГК-1 и ГК-2 (рис. 2, табл. 2). Следует отметить, что

при фракционировании ОВ почвенных гелей 53 % попадает в ГК-1, 21 % в ГК-2 и 26 % в растворимую фракцию.

Для ИК-спектров ГВ [11] характерна широкая полоса поглощения в интервале 3600–3300 см⁻¹, которая обнаруживается во всех трех исследованных нами препаратах. Полоса 3030 см⁻¹, характерная для –С–Н-группы ароматических соединений [11], очень слабо проявляется только в спектре ГК-1 (рис. 2, табл. 2), в котором все полосы имеют большую интенсивность. В спектрах препаратов ГК обнаруживается одна полоса (2900) или две полосы с максимумами 2920 и 2860–2850 см⁻¹ [11].

Эти полосы, имеющие очень слабую интенсивность, обнаруживаются в образце гелевой пленки и полосы высокой интенсивности наблюдаются в образцах ГК-1 и ГК-2 (рис. 2, табл. 2). В области 2800–1750 см⁻¹ ГВ поглощают сравнительно слабо [11], что соответствует ИК-спектрам и наших образцов (хотя для ГК-2 и гелевой пленки наблюдаются слабые пики в области 2380–2300 см⁻¹). Для ГВ характерны пики поглощения в интервале 1710–1610 см⁻¹ [11], которые сливаются в наших образцах, давая один сложный пик (рис. 2, табл. 2). Пики в области 1540 см⁻¹ могут относиться как к ионизированной карбоксильной группе, так и к амидной группе [11]. В области 1470–1370 см⁻¹ спектры всех ГВ имеют несколько полос [11]. Именно такая картина характерна и для наших образцов. В области 1100–1000 см⁻¹ начинают интенсивно поглощать минералы, присутствующие в ГВ и ГК [11], что наблюдается и в наших образцах (рис. 2, табл. 2).

Проведенный анализ ИК-спектров гелевых пленок и ГК-1 и ГК-2, выделенных из гелевых пленок, позволяет сделать вывод, что их ИК-спектры подобны ИК-спектрам ранее изученных гумусовых веществ. Следовательно, выполняется и третий критерий отнесения ОВ гелевых пленок к ГВ.

Для уточнения наших представлений о гелевых пленках, самопроизвольно выделяющихся из почв, было проведено сравнительное изучение электронных спектров и эле-

ментного состава ГК-1 и ГК-2, выделенных из гелевых пленок и из почвы.

Из полученных данных (рис. 3–4) видно, что ГК из гелевых пленок имеют меньшую оптическую плотность. Можно предположить, что они содержат меньшее количество ароматических соединений [11]. Это коррелирует с наличием в ИК-спектрах ГК из гелевых пленок сильных полос в районе 2920 и 2860–2850 см⁻¹ характерных для СН₃ и СН₂ групп (рис. 2, табл. 2).

Обращает на себя внимание наличие у выделяемых из почв ГК пика поглощения в области 420–430 нм, который в значительно меньшей степени характерен и для ОВ гелевой пленки (рис. 1) (речь идет об изломе на кривой поглощения в этой области), но отсутствует у выделенных из нее ГК. Из литературных данных можно заключить [11], что этот максимум поглощения характеризует наличие в ГВ зеленого пигмента, который при фракционировании не переходит из ОВ гелевых пленок в ГК-1 и ГК-2. Наличие данного пигмента характерно для почв, испытывающих хотя бы некоторое избыточное увлажнение [11]. В связи с тем, что для внутренних областей почвенных агрегатов избыточное увлажнение характерно в значительно большей степени, чем для их поверхностных слоев [12], снижение количества зеленого пигмента в гелевых пленках позволяет предположить, что они выделяются преимущественно из поверхностных областей почвенных агрегатов. В этих областях микробиологические процессы протекают иначе, что и приводит к возникновению ГВ несколько иной природы. Косвенно об этом свидетельствуют данные о закреплении в почвах Zn и Cu. Было показано [12], что в гелевых пленках меди содержится в 10–150 раз больше, чем в почвах, а цинка примерно в 40–400 раз меньше.

Изучение элементного состава ГК-1 и ГК-2 показало (табл. 1), что содержание минеральных компонентов и отношение С/ N в ГК-1, выделенных из гелевых пленок и из почв, практически совпадают. При этом в ГК-2, выделенных из гелевых пленок, почти в 2 раза больше минеральных частиц и в 1,5

раза меньше соотношение C/N, чем в ГК-2 из почв. Подтверждают разное качества ОБ в ГК, выделенных из гелевых пленок и почв, данные по сере (табл. 1). В почвах и гелевых пленках соотношение C/S практически равны, а в ГК они сильно отличаются. Для ГК-1 из гелевых пленок и почв почти в 2 раза, а для ГК-2 – примерно в полтора раза.

Таким образом, на основании проведенных экспериментов и анализа полученных результатов можно заключить, что органическое вещество гелевых пленок представляет собой набор гумусовых веществ – ГК и ФК, а гелевые пленки выделяются преимущественно из поверхностных слоев почвенных агрегатов.

Библиографический список

1. Ганжара, Н.Ф. Почвоведение / Н.Ф. Ганжара. – М.: Агроконсалт, 2001. – 392 с.
2. Почвоведение: учеб. для ун-тов. Почва и почвообразование. Ч. 1./ под ред. В.А. Ковды. – М.: Высш. шк., 1988. – 400 с.
3. Тюлин, А.Ф. Органо-минеральные коллоиды в почве, их генезис и значение для корневого питания высших растений / А.Ф. Тюлин. – М.: АН СССР, 1958. – 52 с.
4. Беседин, П.Н. Состав и свойства коллоидно-илистых фракций и водопрочных агрегатов сероземов и луговых почв / П.Н. Беседин. – Ташкент: САГУ, 1954. – 84 с.
5. Лобицкая, Л.В. Характеристика органической и минеральной частей коллоидов дерново-подзолистой почвы, чернозема и краснозема: дисс. ... канд. с.-х. наук / Л.В. Лобицкая. – Л., 1966. – 16 с.
6. Надь, М. Природа органо-минеральных коллоидов почвы: дисс. ... канд. с.-х. наук / М. Надь. – Л., 1957. – 17 с.
7. Ванюшина, А.Я. Органо-минеральные взаимодействия в почвах (обзор литературы) / А.Я. Ванюшина, Л.С. Травникова // Почвоведение, 2003. – № 4. – С. 418–428.
8. Орлов, Д.С. Практикум по химии гумуса: учеб. пособие / Д.С. Орлов, Л.А. Гришина. – М.: МГУ, 1981. – 272 с.
9. ГОСТ 27753.10-88 Почвы. Методы определения органического вещества.
10. Назарова, А.Е. Минералы в гелевых пленках / А.Е. Назарова, Г.Н. Федотов, В.И. Путляев // Доклады АН РФ, 2009. – Т. 424. – № 4. – С. 484–488.
11. Орлов, Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д.С. Орлов. – М.: МГУ, 1990. – 352 с.
12. Милановский, Е.Ю. Функциональная роль амфифильных компонентов гумусовых веществ в процессах гумусо-структурообразования и в генезисе почв / Е.Ю. Милановский, Е.В. Шеин // Почвоведение, 2002. – № 10. – С. 1201–1213.
13. Федотов, Г.Н. О наноструктурной организации почв / Г.Н. Федотов, О.Н. Быстрова, Е.А. Мартынкина // Доклады АН РФ, 2009. – Т. 425. – № 4. – С. 492–496.
14. Grossman, R.B., Lynn W.C. Gel-Like Films that May Form at the Air-Water Interface in Soils. Soil Sci. Amer. Proc., 1967. vol. 31, pp. 259–262.

СЕЛЕКЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛЕСНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ

С.П. ПОГИБА, *проф. каф. селекции, генетики и дендрологии МГУЛ, канд. с.-х. наук,*
 А.С. РАБЦУН, *асп. каф. селекции, генетики и дендрологии МГУЛ*

s.pogiba@mail.ru, zhu4ok69@rambler.ru

Генетический анализ лесных популяций и дальнейшая их селекционная оценка весьма проблематичны, так как выход на ген-признак у древесных растений затруднен, а использование гибридологического анализа требует значительного времени для смены поколений. Учение о генетических процессах в популяции особенно важно для лесоводов, т.к. включает вопросы динамики, численности вида, систематики и таксономии, генетический анализ. Все популяционные модели базируются на законе

Харди-Вайнберга, представляющем собой схему-формулу бесконечно большой идеальной популяции, где нет давления отбора, мутаций, миграций, дрейфа генов и где осуществляется панмиксия. Частоты генотипов в такой популяции сохраняются постоянными. В природе таких популяций не существует, сложность генетических и экологических явлений делает невозможным анализ всей системы факторов. По мнению некоторых ученых [9], это приводит к упрощению популяционных моделей. Кроме того,

большинство признаков, с которыми работают лесные селекционеры, относятся к количественным (высоты, диаметр, приросты и др.). Эти признаки чаще полигенны и контролируются аддитивными или суммарными генами. Н.В. Тимофеев-Ресовский (1925) предложил использовать в таком случае термин «фен». В 1976 г. решением I Всесоюзного совещания по фенетике популяций термин «фен» и «фенетика» были закреплены официально. Фенетика – это распространение генетических подходов и принципов на формы, собственно генетическое изучение которых затруднено или невозможно. Предметом фенетики является внутривидовая изменчивость, доводимая в конечном итоге до рассмотрения дискретных альтернативных признаков – фенов [12]. Фен представляет собой дискретный, альтернативный простой признак, отражающий особенности данного генотипа. Элементарность признака не обязательно сопровождается моногенностью и может быть результатом взаимодействия нескольких генов. Кроме этого неделимый фен может представлять собой коррелятивно сцепленную группу признаков. Именно этот постулат был использован нами при проведении фенетического анализа узорчатых форм карельской березы [7].

В 1982 г. Л.А. Животовский предложил математическую модель расчета морф (фенов). При этом для анализа популяционной изменчивости по полиморфным признакам постулируются следующие требования.

1. Небольшие изменения частот распространенных морф, а также появление или исчезновение редких морф мало изменяет значение показателя.

2. Показатель не зависит от параметров, дифференциально характеризующих разные морфы (от приспособляемости морф, их хозяйственной ценности и пр.)

3. Вклад морф в величину показателя должен быть пропорционален их частотам в популяциях.

4. Показатель должен иметь «простую» популяционную интерпретацию и обладать «хорошими» статистическими свойствами.

Идеальной моделью для фенетического анализа по методу Л.А. Животовского являются узорчатые формы карельской березы, представляющие собой, по мнению А.Я. Любавской (1978), самостоятельный вид, имеющий разорванный ареал. Часть этого ареала можно считать группами родственных популяций, состоящих из безузорчатых и узорчатых форм. В основе выделения форм лежит классификация А.Я. Любавской (1978) по габитусу и форме ствола, являющихся четкими маркерами для выделения фенов и морф в популяциях. Нами обследовано семь популяций карельской березы, отличающихся соотношением форм: в Телеханском заказнике Белоруссии, Заонежском и Спасогубском заказниках Карелии, Елгавском и Даугавпилсском леспромхозе Латвии [7], «Ковровском» совхозе Владимирской области и Спас-Деменском лесхозе Калужской области [4] В анализ были включены узорчатые особи: I, II, III и IV форм.

Проведенный популяционно-генетический анализ подтвердил отличие насаждений друг от друга по среднему числу фенотипов. Наибольшее формовое разнообразие выявлено в Телеханском заказнике Белоруссии, среднее число фенотипов $3,66 \pm 0,056$, представлены все формы. Преобладают особи II формы ($p_2 = 0,42$). Доля редких фенотипов (кустарниковых форм) незначительна – $0,085 \pm 0,14$. Наименьшее число фенотипов имеют латвийские популяции: Елгавская – $1,39 \pm 0,017$ и Даугавпилсская – $1,98 \pm 0,002$, но преобладают особи кустовидных форм – $p_3 = 0,96$ и $0,60$ соответственно. Редким фенотипом в обеих популяциях являются особи I высокоствольной формы. В Заонежском заказнике преобладают особи III форм ($p_3 = 0,50$), редкий фенотип – IV форма ($0,175 \pm 0,030$); в Спасогубском заказнике преобладают особи I формы ($p_1 = 0,70$), редкий фенотип – II форма ($0,16 \pm 0,035$); в совхозе «Ковровский» преобладают деревья II формы ($p_2 = 0,53$), редкий фенотип – III форма ($0,21 \pm 0,027$) и в Спас-Деменском лесхозе преобладают особи I формы ($p_1 = 0,60$), редкий фенотип – IV форма ($0,30 \pm 0,026$). Отличие популяций карельской березы по соотношению

форм достоверно на 95 и 99 % уровнях значимости ($\chi_f^2 > \chi_{st}^2$). Выделенные популяции имеют важное значение как с эволюционно-генетической точки зрения, так и с точки зрения потребителей, так как являются носителями определенного генофонда и могут служить источником для селекционной работы на декоративность древесины. В дальнейшем с помощью фенетического анализа были оценены культуры карельской березы в Белоруссии [1] и в Московской области [5].

Большинство работ по лесной селекции проведены на уровне фенов, то есть изучено формовое разнообразие вида по количественным и качественным признакам (Яблоков, 1952; Ромедер, Шенбах, 1962; Коновалов, Пугач, 1978; Молотков, Патлай и др. 1982). Эти работы носили описательный характер (цвет коры, стробилов, листьев, характер ветвления и пр.) однако они подготовили почву для выделения фенов и подбора генетических моделей лесных популяций [7]. Так А.И. Видякиным (2007) были отобраны маркеры популяционной структуры сосны с высокой генотипической детерминированностью, установлены масштабы их, выделены наиболее информативные из них. В процессе изучения индивидуальной изменчивости морфологических признаков шишек, семян, микростробилов разработана методика выделения фенов и выявлено несколько элементарных вариаций, отвечающих этому понятию. Она включает 4 этапа: первый – создание коллекций генеративных органов; второй – проверка имеющихся классификаций признаков и оценка выделяемых по ним вариаций на соответствие понятию фена; третий – выявление элементарных признаков, описание и выделение дискретных вариаций; четвертый – косвенная оценка генотипической детерминированности отобранных дискретных вариаций. Маркерами популяционного уровня структурной организации вида являются фены окраски семян первого слоя; третьего – наличие или отсутствие его; фены окраски шишек: серозеленая, коричневая, песочная, фены окраски микростробилов – желтая и красная; фены типа развития апофиза – передний (ПТРА) и задний (ЗТРА). Наиболее информативны из

них фены третьего слоя окраски семян. А.Ф. Беликова и О.А. Карацупа (1997) предлагают в качестве эффективного фена для сосны обыкновенной использовать текстуру оболочки семян сосны. Известно, что оболочка семян хвойных формируется из диплоидной ткани материнского растения, зародыш – из диплоидной ткани, включающей гомологичные хромосомы отца и матери, а эндосперм из гаплоидной ткани материнского растения. Таким образом, выделенный фен переходит из разряда описательных в разряд генетически идентифицированных фенов. Метод фенетического анализа широко используется при работах на лесосеменных плантациях, когда необходимо уточнить происхождение рамет. По перечисленным признакам их сравнивают с исходными плюсовыми деревьями, сверяют со схемой посадки и делают соответствующие выводы. Эта работа весьма трудоемка и не исключает ошибок.

В последнее время в практику входит молекулярно-генетический метод, позволяющий наиболее быстро и эффективно решить ряд вопросов, важных с точки зрения селекционно-генетической ценности объектов. Наиболее удобным для этого является один из методов анализа ДНК, именуемый RAPD – анализом (Random Amplified Polymorphic DNA – произвольно амплифицированная полиморфная ДНК). Метод достаточно прост в исполнении и не требует применения дорогостоящих реактивов [8].

Анализ непосредственно ДНК позволяет гораздо быстрее и с высокой степенью достоверности провести генетическую идентификацию. В качестве образца может использоваться любая часть растения в свежем, замороженном, заспиртованном или сухом виде. Высушенные образцы легко транспортировать и хранить. Анализ одного образца проводится в течение 2-х дней, один комплект оборудования позволяет одновременно проводить анализ 48 образцов. RAPD-анализ включает выделение ДНК, амплификацию выделенной ДНК, электрофоретическое разделение фрагментов амплифицированной ДНК и анализ полученных электрофореграмм.

Характеристика ЛСП на основании проведенного анализа

№ ЛСП	Число посадочных мест	Количество деревьев на ЛСП	Расположение согласно схеме посадки	На других посадочных местах	Происхождение неизвестно	Всего идентифицировано	Представлено рамет клонов
33	1070	566/52,8*	141/36,9	110/28,7	251/65,6	131/34,4	22
41	200	68/34	34/50	33/48,5	1/1,15	67/98,5	12
47	1235	1155/93,5	1089/94,2	41/3,5	25/2,1	1130/97,8	125
48	1180	873/73,9	744/85,2	86/9,8	43/5	830/95	85
1	1615	907/56,1	575/63,4	148/16,4	96/10,5	723/79,7**	62

*Из 566 деревьев на ЛСП 184 являются непривитыми

**88 деревьев оказались раметами неидентифицированного клона

При определении генетической принадлежности рамет клонов генетическая карта (паспорт) каждого дерева с ЛСП или архива клонов сравнивается с генетическими паспортами плюсовых деревьев, в результате чего уточняется схема расположения рамет клонов на плантации. Сумма генетических паспортов, представленных на плантации клонов, будет являться генетическим паспортом объекта. На базе ФГУ «РОСЛЕСОЗАЩИТА» нами методом RAPD– анализа исследовано пять плантаций, на которых произрастают клоны сосны обыкновенной на территории Куровского ОЛХ Московской области и Андреевского ОЛХ Владимирской области.

Анализ ДНК позволяет полностью прояснить схему расположения рамет клонов на ЛСП, выявить все ошибки, произведенные при посадке, и разработать комплекс мероприятий по дальнейшему использованию или реконструкции изучаемых объектов. Так, например, ЛСП № 33 и ЛСП № 41 Куровского ОЛХ Московской области нуждаются в полной реконструкции или переводе в категорию ПЛСУ, а ЛСП № 47, 48 – в частичной. Здесь необходимо удалить неидентифицированные раметы, количество которых менее 5 %, и произвести посадку на пустых местах. ЛСП № 1 Владимирской области нуждается в значительной реконструкции.

К настоящему времени с помощью RAPD-анализа проводится молекулярно-генетический анализ и оценка состояния генофондов популяций древесных растений. Т.Н. Светлакова (2012) провела молекулярно-гене-

тический анализ в семи популяциях *P.tremula* L. Пермского края с использованием ISSRR-PCR маркеров, амплифицированных пятью праймерами. Была выявлена генетическая структура этих популяций, в шести из которых был отмечен высокий уровень генетического разнообразия.

Перечисленные методы селекционно-генетического анализа древесных растений не исключают, а дополняют друг друга и являются частью трудоемкой и кропотливой работы людей, работающих в области лесной селекции и генетики.

Библиографический список

1. Барсукова, Т.Л. Изменчивость, отбор и разведение березы карельской в Беларуси: дисс. ... канд. с.-х. наук / Т.А. Барсукова. – Гомель, 1995. – 20 с.
2. Видякин, А.И. Фенетика, популяционная структура и сохранение генетического фонда сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / А.И. Видякин // Хвойные бореальной зоны, 2007.– № 2. – С. 159–166.
3. Животовский, Л.А. Показатели популяционной изменчивости по полиморфным признакам: в кн. «Фенетика популяции» / Л.А. Животовский. – М., 1982. – С. 38–44.
4. Казанцева, Е.В. Изменчивость и структура популяций карельской березы в центральных областях России / Е.В. Казанцева // Матер. междунар. молодежной научн. школы «Биоиндикация-98». – Петрозаводский ун-т, 1998. – Т. 2. – С. 37.
5. Курносов, Г.А. Возрастная изменчивость березы карельской в культурах центральной части зоны смешанных лесов: дисс. ... канд. с.-х. наук / Г.А. Курносов. – М.: МГУЛ, 1993. – 18 с.
6. Любавская, А.Я. Карельская береза / А.Я. Любавская – М.: Лесная пром-сть, 1978. – 156 с.

7. Погиба, С.П. Селекционно-генетические основы плантационного разведения карельской березы: дисс. ... канд. с.-х. наук / С.П. Погиба. – М., 1988. – 18 с.
8. Падутов, В.Е. Методы молекулярно-генетического анализа / В.Е. Падутов, О.Ю. Баранов, Е.В. Воропаев. – Мн.: Юнипол, 2007. – 176 с.
9. Роне, В.М. Генетический анализ лесных популяций / В.М. Роне. – М.: Наука, 1980. – 160 с.
10. Светлакова, Т.Н. Молекулярно-генетический анализ и оценка состояния генофондов популяций *Pouulus tremula L.* в Пермском крае: дисс. ... канд. биол. наук / Т.Н. Светлакова. – Уфа, 2012. – 20 с.
11. Тимофеев-Ресовский, Н.В. О фенотипическом проявлении генотипа / Н.В. Тимофеев-Ресовский // Журн. экс. биология. – 1925. – № 1. – С. 93.
12. Яблоков, А.В. Введение в фенетику популяций / А.В. Яблоков – М.: Высшая школа, 1985. – 157 с.

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИРОДНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ ЗОНЫ ТАЙГИ И СМЕШАННЫХ ЛЕСОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

С.И. ЧУМАЧЕНКО, *проф., зав. каф. информационных технологий в лесном секторе МГУЛ, д-р биол. наук*

chumachenko@mgul.ac.ru

Охрана лесов от пожаров является важнейшим направлением государственной политики, обеспечивающим экологическую безопасность страны и сохранение ресурсного потенциала лесов. В последние годы на общий рост количества лесных пожаров и их общей площади определенное влияние оказывают возросшее антропогенное воздействие на лесные территории, участвовавшие засухи и другие, так называемые, «объективные причины». Задача борьбы с лесными пожарами и их профилактика со временем становится все более актуальной.

Принято выделять 3 вида лесных пожаров: низовой, верховой и подземный. Вероятность возникновения и скорость распространения лесного пожара зависит от степени пожарной опасности, которая определяется: по характеристикам лесных участков (природная пожарная опасность) и по условиям погоды (пожарная опасность по влажности лесных горючих материалов).

Если на пожарную опасность по условиям погоды человечество еще не научилось эффективно влиять, то на природную пожарную опасность можно и должно влиять с целью минимизации ущерба от лесных пожаров. В процессе лесохозяйственной деятельности природная пожарная опасность может как увеличиваться, так и уменьшаться. При этом

следует учитывать, что лес – это очень инерционная система и последствия сегодняшних мероприятий могут сказаться через многие десятилетия.

С целью прогнозирования изменения природной пожарной опасности для конкретной лесной территории на длительный период при разных способах ведения лесного хозяйства можно применить методы математического моделирования.

Основой для построения модели будет являться табл. 1, используемая для определения по степени опасности возникновения лесном фонде пожаров согласно классификации [1].

Ранее было показано, что основными параметрами модели должны быть: категория земель, возраст насаждения, тип леса, преобладающая древесная порода, сопутствующие древесные породы, полнота насаждений, наличие пожароопасного подростка и подлеска, наличие сухостоя и захламленности, удаленность от дорог общего пользования [2].

Рассмотрим каждый из них отдельно.

1. Категория земель – необходимо из земель лесного фонда выделять вырубки, гари, расстроенные, отмирающие и сильно поврежденные древостои (сухостойники, участники бурелома и ветровала, недорубы);

Шкала оценки природной пожарной опасности в лесах

Класс пожарной опасности	Объект загорания (характерные типы леса и типы вырубок, насаждения, безлесные территории)	Наиболее вероятные виды пожаров, условия и продолжительность периода их возникновения и распространения
I Природная пожарная опасность очень высокая	Хвойные молодняки. Сплошные вырубки: лишайниковые, вересковые, вейниковые и другие типы вырубок по суходолам (особенно захламленные). Сосняки лишайниковые и верещатники. Расстроенные, отмирающие и сильно поврежденные древостой (сухостойники, участки бурелома и ветровала, недорубы), участки условно-сплошных и интенсивных выборочных рубок. Захламленные гари.	В течение всего пожароопасного сезона возможны низовые пожары, а на участках с наличием древостоя – верховые. На вейниковых и других травяных типах вырубок по суходолу особенно значительна пожарная опасность весной, а в некоторых районах и осенью.
II Природная пожарная опасность высокая	Сосняки-брусничники, особенно с наличием соснового подроста или подлеска из можжевельника выше средней густоты. Листвяг и кедровстланиковые.	Низовые пожары возможны в течение всего пожароопасного сезона; верховые – в периоды пожарных максимумов.
III Природная пожарная опасность средняя	Сосняки – кисличники и черничники. Листвяги-брусничники. Кедровники всех типов, кроме приручейных и сфагновых. Ельники-брусничники и кисличники.	Низовые и верховые пожары возможны в период летнего пожарного максимума, а в кедровниках, кроме того, в периоды весеннего и, особенно, осеннего максимумов.
IV Природная пожарная опасность слабая	Сплошные вырубки таволговых и долгомошниковых типов (особенно захламленные). Сосняки, листвяги и насаждения лиственных пород травяных типов. Сосняки и ельники сложные, липняковые, лещиновые, дубняковые. Ельники-черничники. Сосняки – сфагновые и долгомошниковые. Кедровники – прирученные и сфагновые. Березняки – брусничники, кисличники, черничники и сфагновые. Осинники – кисличники и черничники.	Возникновение пожаров (в первую очередь низовых) возможно в травяных типах леса и на таволговых вырубках в периоды весеннего и осеннего пожарных максимумов, в остальных типах леса и на долгомошниковых вырубках – в период летнего максимума.
V Природная пожарная опасность отсутствует	Ельники, березняки и осинники-долгомошники. Ельники сфагновые и прирученные. Ольшаники всех типов.	Возникновение пожара возможно только при особо неблагоприятных условиях (длительная засуха).

Примечание: 1. Пожарная опасность устанавливается на класс выше: а) для хвойных насаждений, строение или другие особенности которых способствуют переходу низового пожара в верховой (густой высокий подрост хвойных, вертикальная сомкнутость крон деревьев и кустарников, значительная захламленность и т.п.); б) для небольших участков леса на суходолах, окруженных площадями с повышенной горимостью; в) для лесных участков, примыкающих к дорогам общего пользования, железным дорогам. 2. Кедровники с наличием густого подроста или разновозрастные с вертикальной сомкнутостью полога относятся ко II классу пожарной опасности

2. Возраст насаждения – в первую очередь выделяются хвойные молодняки.

3. Тип леса – один из основных показателей при определении класса пожарной опасности. Известно, что тип леса – это динамическая переменная. И в настоящее время нет полноценной методики определения типов леса при прогнозировании динамики насаждений на длительный период при разных сценариях лесопользования. В данной реализации модели предлагается упростить задачу

и заменить тип леса на тип лесорастительных условий. В результате такого упрощения можно переосмыслить табл. 1 и на ее основе сделать табл. 2, которой и пользоваться в модели.

В дальнейшем, на наш взгляд, необходимо использовать модели динамики типов леса на основе модели динамики напочвенного покрова в зависимости от типов лесорастительных условий, состава пород, полноты насаждений и др. факторов [3].

Распределение классов пожарной опасности в зависимости от ТЛУ
(упрощенный модельный вариант)

Порода	Тип лесорастительных условий																			
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2	D3	D4	D5
Сосна	1	2	3	4	4	1	2	3	4	5	2	4	4	4	5	3	4	4	5	5
Ель	2	3	4	5	5	3	3	4	5	5	3	3	4	5	5	3	4	5	5	5
Лиственница	3	3	4	4	4	3	3	4	4	4	3	3	4	4	4	3	3	4	4	4
Дуб	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5
Липа	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5
Ясень	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5
Береза	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5
Ольха серая	2	3	4	4	5	3	4	4	5	4	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5
Осина	2	3	4	4	5	3	4	4	5	4	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5
Лещина	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5
Подлесковые породы	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5
Ольха черная	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Ива	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5
Вяз	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5
Клен	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5
Пихта	2	3	4	5	5	3	3	4	5	5	3	3	4	5	5	3	4	5	5	5
Кедр	2	3	3	3	4	2	3	3	3	4	2	3	3	3	4	2	3	3	3	4

4. Преобладающая древесная порода – один из основных показателей при определении класса пожарной опасности, который наряду с характеристиками напочвенного покрова определяет тип леса.

5. Сопутствующие древесные породы – практически никак не отражены в табл. 1. Однако всеми авторами признается факт, что смешение хвойных пород с лиственными приводит к уменьшению природной пожарной опасности. В предлагаемой модели предлагается учитывать смешение пород путем расчета средневзвешенного класса пожарной опасности с учетом доли участия пород в насаждении.

6. Полнота насаждений – необходимо выделять участки условно-сплошных и интенсивных выборочных рубок и вообще участков с полнотой 0,3–0,5.

7. Наличие пожароопасного подроста и подлеска – выделяются насаждения, имеющие подрост и подлесок хвойных пород со средней густотой и выше.

8. Наличие сухостоя и захламленности – результат как естественных процессов в лесу, так отсутствия в должной мере ухода за лесными насаждениями. Необходимо прогно-

зировать изменение естественного уровня сухостоя и валежа в зависимости от интенсивности рубок ухода и уборки захламленности.

9. Удаленность от дорог общего пользования – единственный параметр модели, зависящий от пространственного размещения выдела. Для определения расстояния от дорог необходимо использовать одну из известных геоинформационных систем. Определяются выделы, которые непосредственно примыкают к железным дорогам и дорогам общего пользования или находятся на расстоянии не более 30 м от них.

Анализ перечисленных факторов показывает, что большая их часть зависит от лесохозяйственной деятельности. Так, например, большинство насаждений из лиственных пород отнесено к низшим классам пожарной опасности. Примесь лиственных пород в хвойных насаждениях также значительно снижает степень пожарной опасности. Проведение рубок ухода с сохранением в составе лиственных пород, посадка смешанных лесных культур позволяет существенно снизить природную пожарную опасность. При этом следует учитывать, что выращивание смешанных насаждений, с экономической точки

зрения, не всегда целесообразно. Так и проведение работ по уборке захламленности не являются доходными, но их проведение снижает пожарную опасность. Следовательно, разные способы (сценарии) ведения лесного хозяйства приводят к разным экономическим и экологическим результатам.

Для разработки долгосрочного прогноза изменения природной пожарной опасности для зоны тайги и смешанных лесов европейской части России планируется использовать разработанный ранее комплекс программ FORRUS-S (Forest of Russia – STAND), предназначенный для имитационного моделирования и анализа динамических процессов, протекающих в лесных массивах. Исходной информацией для модели служат повыдельные данные таксационных описаний и планы лесных насаждений. Размеры моделируемых FORRUS-S лесных массивов составляют до нескольких десятков тысяч гектаров; шаг моделирования – 5 лет. В ходе моделирования прогнозируется изменение средних таксационных характеристик древостоя (высоты, диаметра, возраста, запаса и др.) по ярусам, изменение породного и возрастного составов лесного выдела – первичной учетной единицы лесоустройства [4, 5].

На основе предложенной концептуальной модели будет разработана математическая и имитационная модель динамики природной пожарной опасности, которая в совокупности с моделью FORRUS-S, позволит получить прогноз изменения природной

пожарной опасности при разных сценариях лесопользования на длительный период времени, вплоть до оборота рубки.

Библиографический список

1. Классификация природной пожарной опасности лесов и классификация пожарной опасности в лесах по условиям погоды, а также требований к мерам пожарной безопасности в лесах в зависимости от целевого назначения лесов, показателей природной пожарной опасности лесов и показателей пожарной опасности в лесах по условиям погоды. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Минсельхоз России) от 16 декабря 2008 г., № 532, г. Москва.
2. Чумаченко, С.И. Модель долгосрочного прогнозирования динамики показателей природной пожарной опасности для зоны тайги и смешанных лесов европейской части России. Основные параметры модели / С.И. Чумаченко, Д.Н. Маюк // Науч. труды МГУЛ. Электронный журнал, 2012. – Вып. 10. – <http://www.msfu.ru/journal>.
3. Смирнова, О.В. Концептуальная модель динамики напочвенного покрова / О.В. Смирнова, С.И. Чумаченко // Вестник МГУЛ–Лесной вестник, 2012. – № 9.
4. Чумаченко, С.И. Моделирование динамики древостоев с учетом лесохозяйственного воздействия / С.И. Чумаченко, В.В. Сысуев, М.М. Паленова, М.А. Бредихин, В.Н. Коротков / Тр. VII ежегодной конференция МАИБЛ. Устойчивое развитие борельных лесов. – М., 1997. – С. 184–190.
5. Чумаченко, С.И. Имитационное моделирование влияния лесохозяйственных воздействий на лесные экосистемы. Мониторинг биологического разнообразия лесов России: методология и методы / С.И. Чумаченко, М.М. Паленова, В.Н. Коротков, С.В. Починков / отв. ред. А.С. Исаев, ЦЭПЛ РАН. – М.: Наука, 2008. – С. 314–328.

СБАЛАНСИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ГЛОБАЛЬНОГО БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА УГЛЕРОДА

В.Д. БУРКОВ, *проф., д-р техн. наук, МГУЛ,*

В.Ф. КРАПИВИН, *проф., д-р физ.-мат. наук, Фрязинское отделение Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,*

В.С. ШАЛАЕВ, *проф., директор ИСИЛ, д-р техн. наук*

burkov@mgul.ac.ru

В соответствии с Киотским Протоколом, ориентированным на предотвращение потепления климата Земли вследствие парникового воздействия антропогенных выбро-

сов углекислого газа (CO₂), возникает настоятельная необходимость уточнения моделей циркуляции углерода в окружающей среде с целью получения более объективных оценок

степени и характера данного воздействия. Это вызвано тем, что представления о роли атмосферного CO_2 в наблюдаемых изменениях климата основаны на весьма неточных и неполных схемах, описывающих потоки углерода между его основными резервуарами на планете. Анализу возникающих здесь проблем посвящены многие исследования [1–27]. Одной из них является разработка сбалансированной схемы глобальных потоков углерода. Ведь примерно 27 % стока углерода из атмосферы в имеющихся схемах остаются необъясненными.

Исследования Кондратьева и др. [9, 10, 22–24] показали, что учет пространственной неоднородности стоков и источников атмосферного углерода и уточнение параметров его потоков на границах *атмосфера–суша* и *атмосфера–океан* повышают точность оценок, но не устраняют ни указанного дисбаланса, ни расхождений между потоками углерода и динамикой изменения парциального давления углекислого газа в земной атмосфере.

Реализуемая в рамках глобального углеродного проекта GCP (Global Carbon Project) программа контроля потоков углерода в условиях развития современной цивилизации, к сожалению, пренебрегает этим противоречием. Это в значительной мере снижает доверие к существующим сценариям ожидающих Землю природных катаклизмов, вызванных таянием арктических и антарктических льдов, и искажает реальную картину антропогенного влияния на климатические процессы.

Наиболее принципиальный недостаток программы GCP состоит в том, что она не учитывает геологическую компоненту современного круговорота углерода [2]. По имеющимся оценкам, весьма приближенным, в породах земной коры и мантии (литосфере) сосредоточено $\approx 10^{23}$ г углеродсодержащих газов [11, 14]. Находящаяся в них масса углерода в $\approx 10^4$ раз превышает его количество, присутствующее сегодня в биосфере (над земной поверхностью). Между биосферой и литосферой происходит постоянный очень интенсивный обмен углеродом, носящий самоорганизующий характер. По данным ис-

следований [1, 2], в результате действия принципа Ле Шателье содержание подвижного углерода в системе стремится к устойчивому соотношению

$$n_i/\tau_i = C = \text{const}, \quad (1)$$

где n_i и τ_i – соответственно общее количество и среднее время пребывания подвижного углерода (во всех формах) в i -м резервуаре системы;

C – константа, характеризующая скорость круговорота углерода в системе.

Для современного состояния круговорота углерода в биосфере $C = (2,7 \pm 0,05) 10^{17}$ г $\text{CO}_2/\text{год}$.

Если условие (1) выполняется, то уход углерода из одного какого-либо резервуара системы вследствие круговорота пополняется его поступлением из других резервуаров. Если условие (1) не выполняется, то в системе возникают некомпенсированные перетоки вещества, которые возвращают ее к равновесию.

В процессе глобального круговорота подвижный углерод многократно пересекает земную поверхность. Над поверхностью Земли, играющей роль «геохимического барьера», он циркулирует преимущественно в окисленном виде (CO_2), а под этой поверхностью – главным образом в восстановленной форме (CH_4). Это обстоятельство требует совместного изучения глобальных круговоротов CO_2 и CH_4 [10].

Среди всех факторов, управляющих перераспределением углерода над (и под) поверхностью планеты, наиболее важную роль в современную эпоху играют два процесса, носящих в основном региональный характер: 1) перенос углерода метеогенными водами и 2) хозяйственная деятельность человека. Благодаря первому фактору избыточный углерод на континентах поступает с метеогенными водами под земную поверхность, где, восстанавливаясь до углеводородов (УВ), участвует в процессах современного нефтегазообразования [3]. Вследствие этого промышленные месторождения нефти и газа размещаются, во-первых, в пределах крупных осадочных бассейнов, дренирующих огромные по площади территории и, во-вторых, тяготеют к

зонам разломов земной коры. Наличие разломов, с одной стороны, облегчает проникновение метеогенных вод под поверхность Земли, а с другой – способствует разгрузке этих вод от транспортируемого ими углерода [2, 4].

Фактические данные свидетельствуют [16], что заметное пополнение месторождений нефтью и газом происходит за 10–50 лет. Столь малое время формирования залежей обусловлено высокой скоростью переноса углерода через земную поверхность водами [2, 3]. По измерениям, вероятно заниженным, эта скорость в масштабе всей планеты составляет $\approx 5 \cdot 10^{15}$ гС/год [6, 7]. Данный процесс крайне неравномерен [15]. Основная масса углерода опускается «вниз» в пределах материков и на их окраинах. А поступает «наверх» в зонах срединных океанических хребтов, по континентальным разломам, а также при многочисленных вулканических извержениях на океаническом дне. Количественно эти восходящие и нисходящие потоки углерода на континентах и особенно в океанах изучены, к сожалению, пока еще крайне слабо [7]. Но это говорит о том, что глобальный круговорот углерода нельзя изучать изолированно также и от планетарного круговорота воды [9].

Антропогенный фактор перераспределения углерода между наземными и подземными резервуарами проявляется в добыче и использовании нефти (4 млрд т/год) и природного газа (350 трлн м³/год). Тем самым суммарная масса потребляемого ископаемого углерода составляет $\approx 7 \cdot 10^{15}$ гС/год, что сопоставимо с его количеством, поступающим на поверхность за счет естественной циркуляции. Поэтому хозяйственная деятельность людей, неразрывно связанная с этими объемами утилизации УВ, наряду с воздействием на климат способна во многом влиять и на региональные процессы генерации нефти и газа в недрах [4].

В проекте GCP данное обстоятельство также необходимо учитывать. Современная практика транспортировки нефти и газа на многие тысячи километров от мест добычи может привести к существенному перераспределению мировых ресурсов углеводородов, причем в ближайшие десятилетия. Интенсив-

но потребляющие нефть и газ промышленно развитые страны будут аккумулировать УВ на своей территории, тогда как страны, специализирующиеся на добыче и экспорте нефти и газа, могут быстро свои ресурсы исчерпать.

С учетом высказанных выше соображений за основу более корректного изучения парникового эффекта может быть взята общая схема круговорота углерода [10], дополненная «геологическим» блоком (рис. 1). Эта схема наряду с описанием основных потоков CO₂ в биосфере учитывает также возможность накопления подвижного углерода под земной поверхностью, чем замыкается и становится уравновешенной.

Базовая модель

Схема рис. 1 уравнивает все потоки углерода, отражая обмены углеродом на границах атмосферы с земными покровами и акваториями морей и океанов и учитывая роль дегазационных процессов и движение метеогенных вод через земную поверхность. Согласно [2] глобальный круговорот углерода включает три основных круга его циркуляции, отличающихся временем обращения углерода между его резервуарами. Для точного расчета количественных оценок всех потоков углерода необходимо определить пространственные и предметные распределения акваторий, земных покровов и геосферы с указанием их собственных характеристик. Современный уровень знаний позволяет решить эту задачу лишь частично и, тем самым, уменьшить интервал неопределенности в оценках будущего изменения климата. Однако используемая при этом модель глобального круговорота углерода должна отражать не только пространственную мозаику его резервуаров, стоков и источников, но и обеспечивать динамический расчет их мощностей. Сделанные до настоящего времени расчеты с помощью подобных моделей не в полной мере учитывали сведения о состоянии и классификации земных покровов, а тем более об изменчивости акваторий Мирового океана. Поэтому формирование схемы пространственного распределения почвенно-растительных формаций и квазиоднородных акваторий Мирового океа-

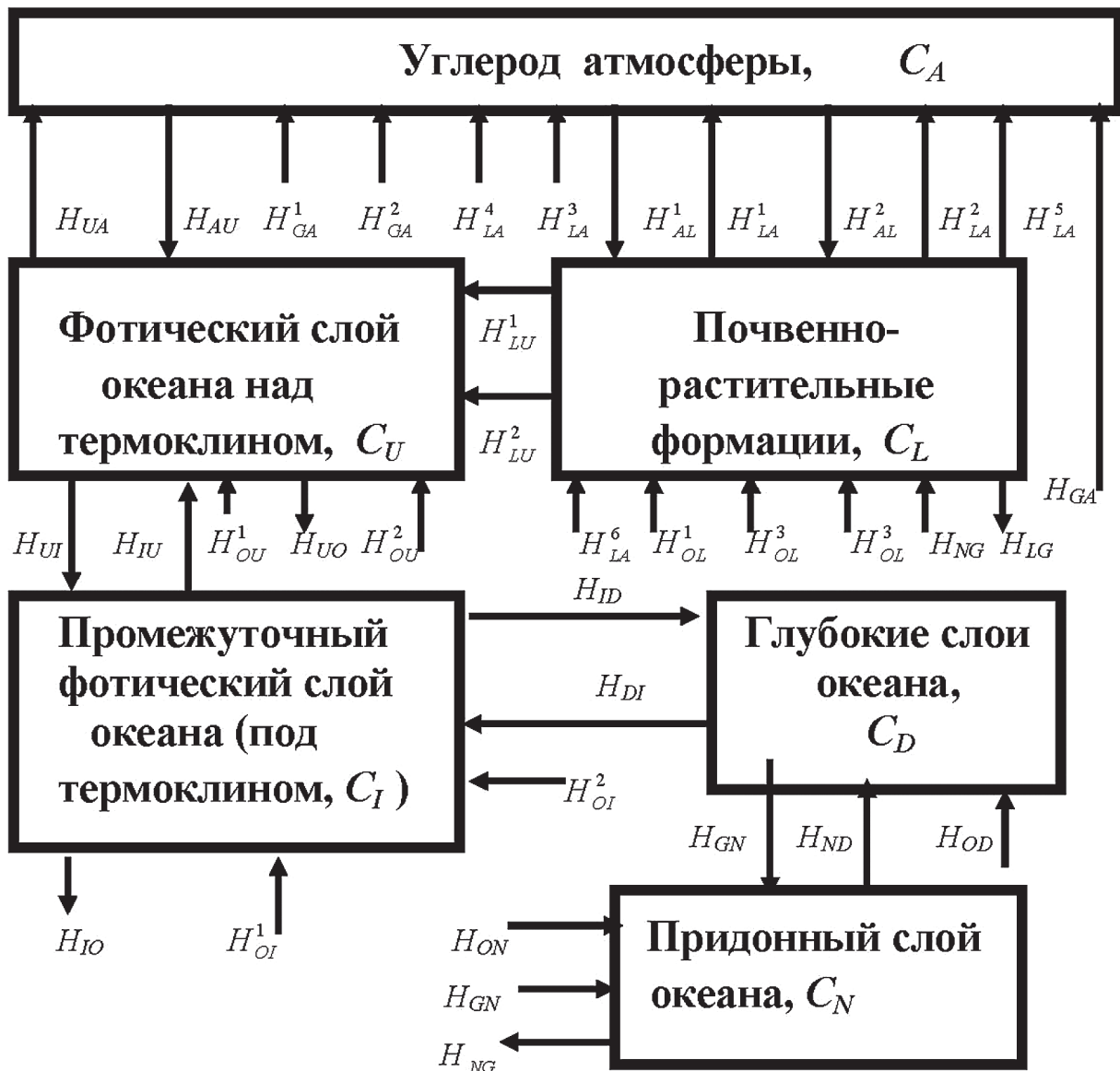


Рис. 1. Блок-схема глобального биогеохимического круговорота углерода в системе атмосфера-суша-океан-геосфера. Описание резервуаров и потоков углерода дается в табл. 1

на позволит преодолеть указанные недостатки предшествующих моделей.

Система балансовых уравнений для схемы рис. 1 с учетом обозначений таблице имеет вид

$$\frac{\partial \alpha_s(\varphi, \lambda, z, t)}{\partial t} = \sum_{j \in \Omega_s} H_{js} - \sum_{m \in \Omega_s} H_{sm}, \quad (i=1, \dots, N); \quad (2)$$

где S – резервуар углерода (A – атмосфера, U – верхний фотический слой океана над термоклином, L – суша, I – промежуточный фотический слой океана под термоклином, D – глубокие слои океана, N – придонный слой океана, G – геосфера,);

φ – широта, λ – долгота, z – глубина, t – время;

H_{js} – поток углерода из j -го резервуара в резервуар S ;

H_{sm} – сток углерода из резервуара S в m -й резервуар;

Ω_s – множество резервуаров углерода, граничащих с резервуаром S ;

α_s – запас углерода в резервуаре S .

В уравнении (2) скорость V и потоки H являются нелинейными функциями характеристик окружающей среды. Вид этих функций подробно описан, например, в работе [10]. Остановимся здесь лишь на их уточнении. В первую очередь такого уточнения тре-

Потоки углерода в форме CO₂ в биосфере, учитываемые в имитационной модели глобального биогеохимического круговорота углерода, блок-схема которой представлена на рис. 1

Поток углерода	Идентификатор	Оценка потока (ГтС/год)
Выделение при сжигании растительности	H^1_{LA}	6,9
Выделение при сжигании ископаемого топлива	H^1_{GA}	3,6
Десорбция	$H_{UA} H_{UA}$	97,08
Сорбция	H_{AU}	100
Выветривание горных пород	H^1_{AL}	0,04
Вулканические эманации	H^2_{GA}	2,7
Поглощение наземной растительностью	H^2_{AL}	224,4
Дыхание растений	H^2_{LA}	50–59,3
Дыхание людей	H^3_{LA}	0,7
Дыхание животных	H^4_{LA}	4,1
Выделение при разложении гумуса почв	H^5_{LA}	139,5
Выделение корнями растений	H^6_{LA}	56,1
Жизнедеятельность населения	H^1_{OL}	0,3
Жизнедеятельность животных	H^2_{OL}	3,1
Отмирание растительности	H^3_{OL}	31,5–50
Выпадение в донные осадки	H_{NG}	0,1–0,2
Растворение морских отложений	H_{GN}	0,1
Разложение детрита в фотическом слое океана	H^1_{OL}, H^1_{OI}	35
Разложение детрита в глубоких слоях океана	H_{OD}	5
Подъем с глубинными водами	H_{ND}, H_{DI}, H_{IU}	45
Опускание с поверхностными водами и за счет гравитационного оседания	H_{UP}, H_{ID}, H_{DN}	40
Фотосинтез	H_{UO}, H_{IO}	69
Подземный сток	H^1_{LU}	0,5
Поверхностный сток	H^2_{LU}	0,5–0,6
Дыхание живых организмов в океане	H^2_{OU}, H^2_{OI}	25
Геосферный сток углерода из биосферы	H_{LG}	70
Поступление углерода из геосферы в биосферу	H_{GA}	17

буют элементы биогеоценологического блока. Для этого всю поверхность суши Σ покроем однородной сеткой географических пикселей $\Sigma_{ij} = \{(\varphi, \lambda): \varphi_{i-1} \leq \varphi < \varphi_i; \lambda_{j-1} \leq \lambda < \lambda_j\}$ с границами по широте $(\varphi_{i-1}, \varphi_i)$ и долготе $(\lambda_{j-1}, \lambda_j)$ и площадью σ . Количество пикселей определяется доступной базой данных, т.е. выбором размеров сетки $(\Delta\varphi, \Delta\lambda): i = 1, \dots, n; n = [180/\Delta\varphi]; j = 1, \dots, k; k = [180/\Delta\lambda]$. В каждом таком пикселе возможно размещение N типов поверхностей, включая типы почвенно-растительных формаций, акваторий водных систем и антропогенных объектов. Динамика растительного покрова s -го типа подчинена закону

$$dB_s/dt = R_s - M_s - T_s, \quad (3)$$

где R_s – фотосинтез,

M_s и T_s – потери биомассы B_s за счет ее отмирания и эвапотранспирации соответственно.

Компоненты правой части уравнения (3) являются функциями характеристик окружающей среды – освещенности, температуры, влажности атмосферы и почвы, концентрации CO₂ в воздухе. Существуют различные способы и формы параметризации этих функций. Одной из них является модель Коллатца [21], послужившая базовой для глобальной биосферной модели SiB2 [25]. Температура, влажность и скорость испарения влаги в слое растительности и почве связаны зависимостями с биометрическими параметрами и энергетическими потоками в системе атмосфера–растение–почва. При этом по

аналогии с электростатикой вводится понятие «сопротивления» и потоки рассчитываются по простой формуле: *поток = разность потенциалов/сопротивление*. Модель SiB2 учитывает потоки собственного и скрытого тепла через испарение водяного пара для растительности и почвы, а потоки CO_2 разделяются по классам растительности C_3 и C_4 , что существенно повышает точность параметризации функций правой части уравнений (3). Согласно [21], три фактора регулируют функцию R_s : эффективность фотосинтетической ферментной системы, количество фотосинтетически активной радиации (ФАР), поглощенное хролофиллом клетчатки, и способность растительного вида к усвоению и экспорту во внешнюю среду продуктов фотосинтеза. Применение принципа Либиха и учет данных о распределении типов растительных покровов по пикселям $\{\Sigma_{ij}\}$, о парциальных давлениях CO_2 и O_2 , о температуре и плотности атмосферы, об уровне освещенности позволяет рассчитать значения потоков H в уравнении (2) для всех пикселей суши.

Модель круговорота углерода в системе *атмосфера–океан* подробно описана в работе [23]. Она базируется на той же сетке географических пикселей, но объединенных по зональному принципу согласно классификации Tarco [26]. Вся толща океанской среды рассматривается как единый биогеоценоз, в котором основным связующим фактором является поток органического вещества, продуцируемого в поверхностных слоях и затем проникающего до максимальных глубин океана. Регулятором потоков углерода в этой среде является карбонатная система, параметрическое описание которой дано в работе [24].

Многие параметры глобальной модели круговорота углерода могут измеряться в режиме спутникового мониторинга, что дает возможность применить адаптивную схему расчета характеристик парникового эффекта [24]. Эта схема позволяет обучать модель в непрерывном режиме коррекции ее структуры и параметров. Действительно, спутниковые измерения в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах обеспечивают оперативные оценки ФАР и таких характеристик

растительности, как зеленость растительного полога, площадь живых фотосинтетически активных элементов, влажность почвы и содержание воды в элементах растительного покрова, концентрация CO_2 на поверхности листьев и др. Режим прогнозирования биомассы растительного покрова в каждом пикселе Σ_{ij} и сравнения со спутниковыми измерениями дают возможность корректировать отдельные фрагменты модели, например, применяя дублирование ее блоков или их параметрическую настройку с целью минимизации невязки между прогнозом и измерениями. В частности, для расчета первичной продукции имеется ряд полуэмпирических моделей, использование которых возможно по выборочному критерию в различных пикселях. Определенная свобода выбора имеется также при оценке величины испарения с растительного покрова [27].

Результаты моделирования

Таким образом, замыкание потоков углерода в окружающей среде с помощью схемы рис. 1 открывает возможность для дальнейших целенаправленных исследований глобального круговорота углерода и повышения достоверности в прогнозах парникового эффекта.

По имеющимся предварительным расчетам роли наземных экосистем и Мирового океана в поглощении атмосферного CO_2 выражаются потоками $0,7 \pm 1,0$ и $2,4 \pm 0,3$ ГтС/год соответственно, а сток в геосферный резервуар равен $1,8 \pm 0,7$ ГтС/год. С ростом атмосферной концентрации CO_2 ожидается повышение роли наземной биоты и снижение потока углерода на границе *атмосфера–океан*. Геосферный сток углерода слабо зависит от климатических параметров и проявляет высокую инерционность. Также в последующем необходимо учитывать различие резервуаров углерода по характеристикам его подвижности и принимать во внимание механизмы самоорганизации глобального круговорота углерода. К сожалению, GCP не предусматривает изучение подобных механизмов захоронения углерода, а это означает, что глобальный проект в очередной раз не даст желаемых результа-

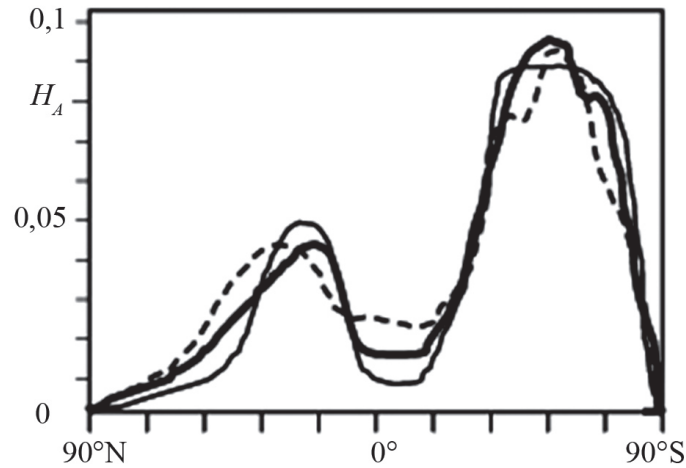


Рис. 2. Усредненные по долготе скорости поглощения атмосферного CO_2 наземными и океанскими экосистемами при трех сценариях антропогенной эмиссии углерода: 6,8 ГтС/год (пунктирная кривая, 2004 г), 10 ГтС/год (жирная сплошная кривая, прогноз на 2020 г.) и 20 ГтС/год (тонкая сплошная кривая, прогноз на 2020 г.). Обозначение: $H_A = H_{AU} + H_{AL}^2 + H_{AL}^1 - H_{UA} - H_{LA}^1 - H_{LA}^2 - H_{LA}^5$

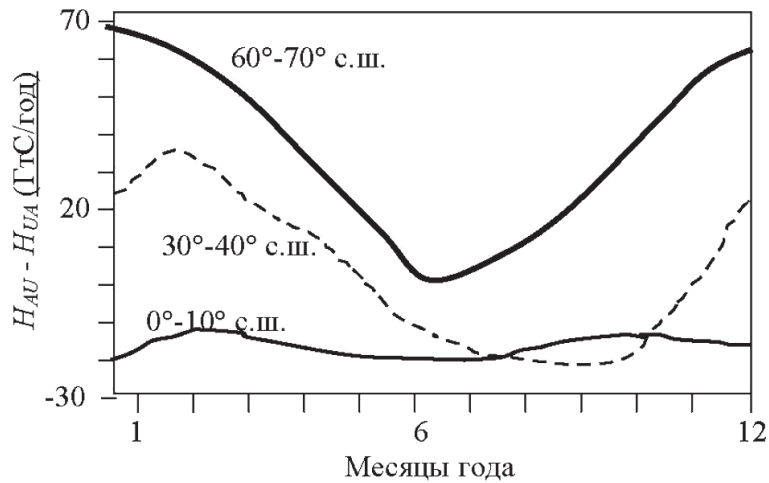


Рис. 3. Годовое распределение потока углерода через границу атмосфера–океан в различных широтных зонах

тов. В то же время предлагаемая здесь схема позволяет максимально учесть все аспекты изменчивости глобального круговорота углерода и отразить его взаимосвязь с круговоротами других химических веществ [2, 10].

Численные эксперименты требуют введения определенных предположений относительно функциональных представлений потоков углерода как функций характеристик окружающей среды и задания сценариев антропогенной активности и климатических трендов. Дополнительно к уже ранее введенным в табл. 1 параметризациям потоков определим $H_{LG} = C_B/\tau_{BG}$, $H_{GA} = C_G/\tau_{GA}$, где C_B и C_G – запасы углерода в биосфере ($4 \cdot 10^{19}$ гС) и

геосфере ($1 \cdot 10^{23}$ гС) соответственно, τ_{BG} и τ_{GA} – время жизни углерода в биосфере (600 лет) и геосфере (1,3 млн лет) соответственно.

Результаты моделирования приведены на рис. 2. Видно, что с возрастанием антропогенной нагрузки на глобальный круговорот углерода стабилизирующая роль биосферы сохраняется даже при увеличении к 2020 г. промышленных выбросов углерода в атмосферу в три раза по сравнению с современным периодом. Детальный анализ соотношения потоков углерода показывает, что эта стабилизация достигается в основном увеличением потоков H_{LG} , H_{AL}^2 и H_{AU} . Отсюда следует, что для сохранения равновесия климатической

системы необходимо предотвратить нарастание процессов обезлесивания и загрязнения Мирового океана, особенно в высоких широтах (рис. 3).

Как уже неоднократно отмечалось, внимание к проблеме углекислого газа и другим малым газовым составляющим атмосферы вызвано в основном беспокойством ученых, экономистов и политиков возможными последствиями из-за ожидаемого изменения климата. Поскольку сжигание ископаемого топлива и обезлесивание поверхности суши являются наиболее значимыми источниками антропогенного возрастания концентрации CO_2 и CH_4 в атмосфере, то именно эти газы изучаются наиболее внимательно. Оба эти газа поглощают инфракрасное излучение земной поверхности и поэтому воздействуют на планетарный климат. Возникшая в конце XX столетия перед политиками задача уменьшения этого воздействия нашла решение в виде Протокола Киото. Реальное и объективное решение этой задачи лежит в глубоком изучении биогеохимических круговоротов всех газов, так или иначе связанных с круговоротом углерода. Именно на таком подходе сосредоточено внимание Проекта GCP, который нацелен на комплексный анализ имеющихся данных о круговороте углерода в окружающей среде и на проведение необходимых измерений. Проект объединяет усилия Международной геосферно-биосферной программы (IGBP), Международной программы по изучению человеческого фактора в глобальном изменении окружающей среды (IHDP) и Всемирной программы изучения климата (WCRP). Круговорот углерода рассматривается как центральный круговорот земной системы, связанный с климатом, круговоротом воды, круговоротами биогенных солей и производством биомассы за счет фотосинтеза на суше и в океанах. Участие человеческого фактора в круговороте углерода определяется факторами производства пищи и формирования условий среды обитания. Однако Проект GCP не учитывает роль малоподвижного углерода и геосферных процессов в регулировании сбалансированного сочетания потоков углерода на Земле, без чего невозможно оце-

нить роль тех или иных процессов в формировании климата. Предложенная в данной работе структура модели глобального круговорота углерода открывает возможность для более комплексного изучения динамики его потоков между его резервуарами.

Библиографический список

1. Баренбаум, А.А. Механизмы самоорганизации при глобальном геохимическом круговороте вещества на Земле / А.А. Баренбаум // Синергетика. – М.: МГУ. – 2000. – № 3. – С. 275–295.
2. Баренбаум, А.А. Галактика, солнечная система, Земля / А.А. Баренбаум. – М.: ГЕОС, 2002. – 392 с.
3. Баренбаум, А.А. Механизм формирования скоплений нефти и газа / А.А. Баренбаум // Докл. АН. – 2004. – 399. – № 6. – С. 802–805.
4. Баренбаум, А.А. Интенсификация притока глубинных углеводородов / А.А. Баренбаум, С.Н. Закиров, Э.С. Закиров, И.М. Индрупский и др. // Доклады АН. – 2006. – 406. – № 2. – С. 221–224.
5. Барцев, С.И. Глобальные обобщенные модели динамики углекислого газа / С.И. Барцев, А.Г. Дегерменджи, Д.В. Ерохин // Пробл. окр. среды и природных ресурсов. – 2003. – № 12. – С. 11–28.
6. Войтов, Г.И. Химизм и масштабы современного потока природных газов в различных геоструктурных зонах Земли / Г.И. Войтов // Журнал Всес. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева. – 1986. – 31. – № 5. – С. 533–539.
7. Войтов, Г.И. О холодной дегазации метана в тропосферу Земли // Теоретические и региональные проблемы геодинамики / Г.И. Войтов // Тр. ГИН РАН. – М.: Наука. – 1999. – Вып. 515. – С. 242–251.
8. Дегерменджи, А.Г. Глобальные малоразмерные модели динамики и устойчивости биосферы / А.Г. Дегерменджи, С.И. Барцев // Пробл. окр. среды и природных ресурсов. – 2003. – № 7. – С. 32–49.
9. Кондратьев К.Я. Глобальный круговорот углерода и климат / К.Я. Кондратьев, В.Ф. Крапивин // Исследование Земли из космоса. – 2003. – № 1. – С. 3–15.
10. Кондратьев, К.Я. Моделирование глобального круговорота углерода / К.Я. Кондратьев, В.Ф. Крапивин. – М.: Физматлит. – 2004. – 336 с.
11. Корценштейн, В.Н. Растворенные газы подземной гидросферы Земли / В.Н. Корценштейн. – М.: Недра, 1984. – 232 с.
12. Крапивин, В.Ф. Парниковый эффект и глобальный биогеохимический цикл углекислого газа / В.Ф. Крапивин // Пробл. окр. среды и природных ресурсов. – 2000. – № 2. – С. 2–18.
13. Крапивин, В.Ф. Глобальные изменения окружающей среды / В.Ф. Крапивин, К.Я. Кондратьев. – СПб.: СПб ун-т. – 2002. – 724 с.

14. Соколов, В.А. Геохимия природных газов / В.А. Соколов. – М.: Недра, 1971. – 336 с.
15. Сывороткин, В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы / В.Л. Сывороткин. – М.: ООО «Геоинформцентр». – 2002. – 250 с.
16. V Конгресс нефтегазопромышленников России // Сб. матер. – 8–10 сентября 2004 г. – Казань: Новое знание. – 2004.
17. Caspersen, J. P., Pacala S. W., Jenkins J. C., Hurtt G. C., Moorcroft P. R., and Birdsey R. A. Contributions of land-use history to carbon accumulation in U. S. Forests // Science. – 2000. – 290ю – № 5494. P. 1148–1151.
18. Charette, M. A., Moran S. B., Pike S. M., and Smith J. N. Investigating the carbon cycle in the Gulf of Main using the natural tracer thorium 234 // J. Geophys. Res. – 2001. – 106. – № С6. P. 11,553–11,580.
19. Ciais, P. Taking the pulse of the carbon cycle // UHDP Update. – 2002. – № 2. – P. 11–12.
20. Clerbaux, C., Hadji-Lazaro J., Hauglustaine D., Megie G., Khattatov B., and Lamarque J.-F. Assimilation of carbon monoxide measured from satellite in a three-dimensional chemistry-transport model // J. Geophys. Res. – 2001. – 106. – № 14. – P. 15,385–15,394.
21. Collatz, G.J., Ribas-Carbo M., Berry J.A. Coupled photosynthesis stomatal conductance model for leaves of C₄ plants // Aust. J. Plant Physiol. -1992. – № 19. – P. 519–538.
22. Kondratyev, K.Ya., Krapivin V.F., and Phillips G.W. Global environmental change: Modelling and Monitoring. – Berlin: Springer. – 2002. – 319 pp.
23. Kondratyev, K.Ya., Krapivin V.F., and Varotsos C.A. Global Carbon Cycle and Climate Change. – Chichester. U.K: Springer/PRAXIS. – 2003. – 343 pp.
24. Kondratyev, K.Ya., Krapivin V.F., Varotsos C.A., and Savinikh V.P. Global Ecodynamics: A Multidimensional Analysis. Chichester: Springer/PRAXIS. – 2004. – 649 pp.
25. Sellers, P.J., Randall D.A., Collatz G.J., Berry J.A., Field C.B., Dazlich D.A., Zhang C., Collelo G.D., and Bounoua L. A revised land surface parametrization (SiB2) for atmospheric GCMs. Part 1: Model formulation // Journal of Climate. – 1996. – 9. – № 4. – P. 676–705.
26. Tarko, A.M. Analysis of Global and Regional Changes in Biogeochemical Carbon Cycle: A Spatially Distributed Model. – Laxenburg. Austria: Interim Report. IR-03-041, IIASA. – 2003. – 28 pp.
27. Wange, G. and Archer D.J. Evaporation of groundwater from arid playas measured by C-band SAR // IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing. – 2003. – 41. – № 7. P. 1641–1650.

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

О.В. СМИРНОВА, *зав. лаб. структурно-функциональной организации и устойчивости лесных экосистем, ЦЭПЛ РАН, д-р биол. наук,*
С.И. ЧУМАЧЕНКО, *проф., зав. каф. информационных технологий в лесном секторе МГУЛ, д-р биол. наук*

chumachenko@mgul.ac.ru

Напочвенный покров представляет собой многофункциональную составляющую лесных экосистем, которая оказывает существенное влияние на биологическую продуктивность и интенсивность трофических процессов в экосистемах в целом. Видовой состав напочвенного покрова, общее проективное покрытие, высота основного полога трав и кустарничков, фитомасса разных фракций и другие характеристики определяет особенности естественного возобновления деревьев и кустарников разных видов и индицирует основные почвенные параметры (богатство и влажность). Эти свойства определяют современное состояние древостоя и направление его развития [1, 5, 7, 13, 21]. В свою очередь,

характеристики напочвенного покрова зависят от двух основных составляющих: типа лесорастительных условий и этапа развития насаждения.

Для выяснения основных закономерностей динамики напочвенного покрова в процессе развития насаждений целесообразно использовать широко распространенное в мировой литературе представление о функциональных группах видов. В разных классификациях в качестве функциональных рассматривают структурные, ритмологические, экологические, физиологические и прочие особенности анализируемых групп видов [10, 24, 25]. В отечественной литературе в качестве аналогов функциональных групп видов

Группы типов лесорастительных условий

Группа типов лесорастительных условий	Типы лесорастительных условий
Сухие олиготрофные	A1+B1
Влажные олиготрофные	A2+A3+B2+B3
Мокрые олиготрофные	A4+A5+B4+B5
Влажные мезотрофные	C2+C3+D2+D3
Мокрые мезотрофные	C4+C5+D4+D5

выступают эколого-ценотические группы видов сосудистых растений, т.е. группы видов, сходных в отношении основных экологических требований к среде обитания и приуроченные к тем или иным типам растительных сообществ [2, 4, 12].

В настоящее время эколого-ценотические группы (ЭЦГ) видов, рассматриваемые как коллективные доминанты напочвенного покрова, широко используются в типологии и классификации лесных сообществ [9]. С функциональных позиций разные ЭЦГ, доминирующие в напочвенном покрове, маркируют основные этапы развития лесных экосистем (этапы аутогенных сукцессий), поскольку они принципиально отличаются по доле фитомассы, ежегодно поступающей в опад, и по богатству элементами минерального питания [3, 6, 8, 16–20].

На основе сопоставления наборов ЭЦГ видов напочвенного покрова и доминантов древесного яруса разработана новая типология лесов Европейской России (<http://mfd.sepl.rssi.ru/flora/>), которая успешно применяется при исследовании динамики лесных экосистем [11, 16].

В нашей работе эта типология использована для решения задачи разработки концептуальной модели динамики напочвенного покрова на основе сопоставления этапов развития древостоев и эколого-ценотической структуры напочвенного покрова.

Для этого были выявлены основные факторы, влияющие на динамику основных показателей напочвенного покрова, таких как состав, проективное покрытие и средняя высота растений доминирующей ЭЦГ. К ним мы отнесли:

– тип лесорастительных условий (ТЛУ);

– породный состав древесного полога, включая подлесок; освещенность на высоте напочвенного покрова;

– этап развития насаждения: одновозрастное – условно разновозрастное – абсолютно разновозрастное

– наличие валежа разных стадий разложения;

Для упрощения поставленной задачи все типы лесорастительных условий (ТЛУ), выделенные по богатству почвы и условиям увлажнения, объединены в 5 групп (табл. 1).

В условиях естественного произрастания состав пород в насаждении и этапы развития насаждений тесным образом связаны с составом и состоянием напочвенного покрова. Ранее нами были выделены 24 этапа развития лесных насаждений разного состава и разного сукцессионных статуса, начиная с одновозрастных насаждений раннесукцессионных видов, возникших в процессе зарастания пашен, пожарищ, вырубок, и кончая абсолютно разновозрастными насаждениями поздне-сукцессионных видов с наличием валежа разных стадий разложения [22]. Каждое конкретное насаждение может проходить следующие этапы развития: одновозрастный древостой (жердняк, спелый, перестойный), условно разновозрастный без валежа, абсолютно разновозрастный без валежа, условно разновозрастный с валежом, абсолютно разновозрастный древостой с валежом.

По мере прохождения древостоем этих стадий развития изменяется эколого-ценотический состав напочвенного покрова в целом, по наборам ЭЦГ и их соотношению.

В данной статье мы анализируем эколого-ценотический состав напочвенного покрова в основных группах типов леса юж-

ной тайги. Списки ЭЦГ видов сосудистых растений, мхов и лишайников приведены в Ценофонде ЦЭПЛ РАН (<http://mfd.cepl.rssi.ru/flora/>).

Напочвенный покров таежных лесов состоит из двух ярусов: яруса сосудистых растений (ярус С) и яруса мхов и/или лишайников (ярус Д). Растения обоих ярусов играют существенную роль в возобновлении деревьев и кустарников и в формировании почвенного покрова. Особенно велика роль яруса мхов и/или лишайников в напочвенном покрове таких широко распространенных в лесном покрове насаждений как лишайниковые сосняки, зеленомошные и сфагновые ельники и пр. [14]. В связи с этим, для решения поставленной задачи нами дополнительно выделены три эколого-ценотических группы: кустистые напочвенные лишайники, зеленые бореальные и гемибореальные мхи и сфагновые лесные мхи.

В результате в обоих ярусах напочвенного покрова выделено двенадцать ЭЦГ; в каждой из них перечислены основные виды, характерные для южной тайги:

1. Кустистые напочвенные лишайники *L. Cladina alpestris*, *C. arbuscula*, *C. rangiferina*, *Cladonia stellaris*, *Cetraria islandica*.

2. Зеленые бореальные мхи (Mg): *Dicranum scoparium*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Ptilium crista-castrensis*, *Rhytidiadelphus triquetrus*, и гемибореальные мхи: *Barbilophozia lycopodioides*, *Plagiothecium laetum*, *Plagiomnium medium*, *Rhodobryum roseum*, *Sanionia uncinata* и др.

3. Сфагновые мхи (Ms): *Sphagnum angustifolium*, *S. centrale*, *S. girgensohnii*, *S. magellanicum*, *S. russowii*.

4. Боровые травы и кустарнички (Pn): *Antennaria dioica*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Calluna vulgaris*, *Chimaphila umbellata*, *Empetrum nigrum*, *Hieracium pilosella*, *Genista tinctoria*, *Vaccinium vitis idaea*, *Veronica officinalis*.

5. Бореальные кустарнички и вечнозеленые ползучие травы (Br_dw): *Vaccinium myrtillus*, *Linnaea borealis*, *Lycopodium annotinum*, *Orthilia secunda*, *Pyrola rothundifolia*.

6. Бореальные мелкие и средние травы (Br_h): *Gymnocarpium dryopteris*, *Luzula pilosa*, *Maianthemum bifolium*, *Oxalis acetosella*, *Rubus saxatilis*, *Trientalis europaea*.

7. Неморальные мелкие и средние травы (Nm): *Aegopodium podagraria*, *Asarum europaeum*, *Convallaria majalis*, *Dryopteris cartusiana*, *Lathyrus vernus*, *Melica nutans*, *Milium effusum*, *Pulmonaria obscura*.

8. Нитрофильные мелкие и средние травы (Nt) -: *Cardamine amara*, *Chrysosplenium alternifolium*, *Lysimachia nummularia*, *Naumburgia thyrsoiflora*, *Stellaria bungeana*.

9. Высокие травы из Br, Nm, Nt групп (Hh): *Aconitum septentrionale*, *Angelica archangelica*, *Calamagrostis arundinacea*, *Chamaenerion angustifolium*, *Cirsium heterophyllum*, *Cirsium oleraceum*, *Filipendula ulmaria*, *Thalictrum minus*, *Trollius europaeus*, *Veratrum lobelianum*, *Veronica longifolia*.

10. Травы и кустарнички верховых (сфагновых) болот (Olg) -: *Andromeda polifolia*, *Carex globularis*, *Chamaedaphne calyculata*, *Drosera rotundifolia*, *Eriophorum vaginatum*, *Ledum palustre*, *Menyanthes trifoliata*, *Oxycoccus palustre*, *Vaccinium uliginosum*.

11. Травы низинных болот, прибрежно-водные и внутриводные травы (Wt): – *Caltha palustris*, *Carex vesicaria*, *Phalaroides arundinacea*, *Phragmites australis*, *Equisetum fluviatile*, *Carex elongata*, *Carex cespitosa*.

12. Луговые и степные (включая южные боровые виды) (Md) - *Dactylis glomerata*, *Dianthus superbus*, *Elytrigia repens*, *Festuca ovina*, *Pulsatilla patens*, *Thymus serpyllum*, *Lathyrus pratensis*, *Knautia arvensis*.

На основе анализа геоботанических материалов Ценофонда (<http://mfd.cepl.rssi.ru/forest/>) определены диапазоны суммарного покрытия каждой из 12 ЭЦГ в каждой группе типов леса южной тайги (табл. 2).

В напочвенном покрове групп типов леса лишайниковой секции (сухие олиготрофные условия), как следует из табл. 2, доминируют по покрытию виды ЭЦГ – кустистые лишайники, а эколого-ценотическое разнообразие минимальное, поскольку присутствуют виды только боровой ЭЦГ.

**Диапазоны проективного покрытия эколого-ценотических групп видов
напочвенного покрова разных групп типов леса южной тайги, %**

Секции	Подсекции (группы типов леса)	Проективное покрытие эколого-ценотических групп видов (лишайников, мхов и сосудистых растений), %											
		L	Mg	Ms	Pn	Br_dw	Br_h	Hh	Nm	Nt	Md	Wt	Olg
Лишайни- ковая	лишайниковая	60–80	5–10	0	5–10	0	0	0	0	0	0	0	0
	зеленомошно-лишайниковая	40–60	30–50	0	10–20	5–10	5–10	0	0	0		0	0
Зелено- мошная	кустарничково-зеленомошная	0	60–80	0	0–5	40–60	10–20	0	0	0–5	0	0	0
	мелкотравно-зеленомошная	0	50–60	0	0	10–20	40–60	0	0–5	0	0	0	0
	мелкотравно-неморально-зеленомошная	0	30–40	0	0	5–10	20–30	5–10	10–20	0	0–5	0	0
Травяная	бореально-неморальная	0	10–20	0	0	0	30–40	0–5	30–40	0	0–5	0	0
	неморальная	0	5–10	0	0	0	10–20	0–5	60–70	0	0–5	0	0
	бореально-неморально-высокотравная	0	5–10	0	0	0	5–10	40–60	20–30	0		0	0
	бореально-нитрофильно-высокотравная	0	5–10	0	0	0	0–5	10–20	5–10	50–60	5–10	0	0
Болотно- травяная		0	10–15	0	0	0	0–5	5–10	5–10	20–30	5–10	40–50	0
Сфагно- вая	долгомошно-сфагновая	0	10–15	60–70	5–10	20–30	0	0	0	0–5	0	5–10	20–30
	кустарничково-сфагновая	0	5–10	60–80	0	10–20	0	0	0	0–5	0	5–10	30–40
	травяно-сфагновая	0	0	60–90	0	5–10	0	0	0	5–10	0	5–10	40–50

В напочвенном покрове групп типов леса зеленомошной секции (влажные олиготрофные условия) доминирующие ЭЦГ различны в разных подсекциях: в экотипически более бедных условиях доминируют зеленые бореальные мхи, бореальные кустарнички и мелкие травы (кустарничково-зеленомошная и мелкотравно-зеленомошная подсекция), в более богатых местообитаниях – заметное участие в составе ЭЦГ напочвенного покрова принимают неморальные травы (Nm) и высокие травы (Hh).

В напочвенном покрове групп типов леса травяной секции (влажные мезотрофные условия) во всех подсекциях существенно меньше участие зеленых мхов, что является главным диагностическим признаком

этой секции. При этом в бореально-неморальной подсекции одинаковы доли участия ЭЦГ Br_h и Nm, а в неморальной подсекции господствует ЭЦГ Nm, при этом в обеих подсекциях доля ЭЦГ Hh очень мала. В бореально-неморально-высокотравной и бореально-неморально-нитрофильной доля видов ЭЦГ Br_h минимальна, господство по покрытию в напочвенном покрове принадлежит неморальным и высокотравным видам из разных ЭЦГ, формирующим огромную наземную фитомассу, ежегодно поступающую в опад, свидетельствует о значительном вкладе напочвенного покрова лесов этих подсекций в поддержании высокого биологического разнообразия и высокой продуктивности. Как показали исследования, бореально-неморально-высокотравные леса представляют собой

Изменение эколого-ценотического состава напочвенного покрова одновозрастных ельников по мере развития древостоя во влажных мезотрофных условиях

Доминирующая порода	Относительная освещенность, %	Сукцессионное состояние	Доли разных ЭЦГ в напочвенном покрове (баллы)	Н, см	ОПП*, %
Ель	0–10	жердняк	5Mg+4Br_h+ 1Br_dw	10	20
Ель	11–50	спелый	5Mg+3Br_dw+1Br_h+1Nm	30	160
Ель	>50	перестойный	4Mg+1Br_dw+4Br_h+ 1Nm	60	150

Примечание: *ОПП % – сумма покрытий ярусов С и Д.

заключительный этап аутогенной сукцессии во влажных мезотрофных условиях произрастания [11].

В переувлажненных богатых местообитаниях группы типов леса бореально-нитрофильно-высокотравной подсеции (влажные мезотрофные условия) и болотно-травяной секции (мокрые мезотрофные условия) господствуют неморальные, нитрофильные и прибрежно-водные ЭЦГ. Здесь так же, как и в бореально-неморально-высокотравных лесах, покрытие зелеными мхами незначительно и основной полог создают травы.

В переувлажненных бедных местообитаниях группы типов леса сфагновой секции (мокрые олиготрофные) господство от крупных сосудистых трав переходит к сфагновым мхам, препятствующим внедрению большинства видов сосудистых растений и обуславливающим стабилизацию трофических процессов на низком уровне.

Более детально процессы формирования напочвенного покрова в однотипных условиях обитания можно проследить, исследуя серию насаждений разного возраста, в которой, по мере взросления и отмирания части деревьев, увеличивается освещенность напочвенного покрова (табл. 3). Для наглядного представления доли перечисленных ранее ЭЦГ в напочвенном покрове в целом мы рассчитали их доли от суммы покрытий двух ярусов: яруса трав и кустарничков и яруса мхов и лишайников.

На стадии жердняка напочвенный покров не сформирован. Среди сосудистых растений больше теневыносливых трав, таких как *Oxalis acetosella* и *Luzula pilosa*, меньше

доля кустарничков и вечнозеленых ползучих растений, таких как *Vaccinium myrtillus* и *Lycopodium annotinum*. По преобладанию бореальных зеленых мхов и бореальных мелких трав это насаждение условно отнесено к зеленомошной секции, мелкотравно-зеленомошной подсеции.

На стадии спелого ельника в напочвенном покрове на паритетных началах сосуществуют моховой покров и покров сосудистых растений, в последнем преобладают виды ЭЦГ Br-dw, что позволяет отнести рассматриваемые ельники к кустарничко-зеленомошной подсеции. На стадии перестойного ельника доля зеленых мхов несколько меньше, а среди сосудистых растений преобладают виды ЭЦГ Br_h, что позволяет отнести эти ельники мелкотравно-зеленомошной к подсеции. Следует отметить, что в напочвенном покрове ельников двух последних стадий присутствуют виды ЭЦГ Nm (табл. 3), что подтверждает их приуроченность к южной тайге.

Более сложный эколого-ценотический состав напочвенного покрова формируется по мере преобразования одновозрастного спелого насаждения в абсолютно разновозрастное насаждение с валежом (табл. 4).

На первых этапах развития насаждений (одновозрастный и условно разновозрастный ельник) в напочвенном покрове велика доля зеленых бореальных мхов, бореальных кустарничков и мелких трав (кустарничково-зеленомошная подсеция зеленомошной секции). Такой состав напочвенного покрова характерен для темнохвойных (еловых и елово-пихтовых) лесов на средних стадиях аутогенных сукцессий.

Изменение эколого-ценотического состава напочвенного покрова ельников во влажных мезотрофных условиях произрастания при относительной освещенности 11–50 %

Доминирующая порода	Сукцессионное состояние	Доли разных ЭЦГ в напочвенном покрове (баллы)	Н, см	ОПП*, %
Ель	Одновозрастный спелый ельник	5Mg+3Br_dw+1Br_h+1Nm	30	160
Ель	Условно разновозрастный ельник без валежа	4Mg+3Br_dw+2Br_h+1Nm	30	140
Ель	Абсолютно разновозрастный ельник без валежа	4Mg+1Br_dw+3Br_h+2Nm	40	140
Ель	Условно разновозрастный ельник с валежом	3Mg+1Br_dw +2Br_h+2Nm+2Nh	80	130
Ель	Абсолютно разновозрастный ельник с валежом	3Nh +1Br_dw+2Br_h+2Nm+2Mg	100	120

ОПП*, % см. Примечание к табл. 3

Изменение эколого-ценотического состава напочвенного покрова ельников во влажных мезотрофных условиях произрастания при относительной освещенности >50 %

Доминирующая порода	Сукцессионное состояние	Доли разных ЭЦГ в напочвенном покрове (баллы)	Н, см	ОПП, %
Ель	Одновозрастный спелый ельник	2Mg+4Md+ 1Br_dw+2Br_h+1Nm	50	140
Ель	Условно разновозрастный ельник без валежа	2Mg+3 Md+ 1Br_dw+2Br_h+2Nm	50	130
Ель	Абсолютно разновозрастный ельник без валежа	2Mg+2 Md+ 1Br_dw+2Br_h+3Nm	60	130
Ель	Условно разновозрастный ельник с валежом	2Mg+1 Md+ 2Br_h+2Nm++3Nh	150	120
Ель	Абсолютно разновозрастный ельник с валежом	2Mg+ 1Br_h+4Nm++4Nh	150	120

По мере развития насаждения от условно разновозрастного к абсолютно разновозрастному в напочвенном покрове увеличивается доля ЭЦГ Nm. Формирование валежа на стадии как условно, так и абсолютно разновозрастного насаждения приводит к появлению новой группы ЭЦГ Nh-. При этом уменьшается доля зеленых бореальных мхов и увеличивается доля сосудистых растений. А среди сосудистых растений доля трав из ЭЦГ Nm и Nh составляет половину от суммарного покрытия, соответственно и возрастает доля ежегодного опада богатыми элементами минерального питания. Одновременно существенно возрастает высота основного полого трав, что

может служить препятствием для устойчивого возобновления ели. В таких лесах устойчивое возобновление ели становится возможным преимущественно на валеже средних и поздних стадий разложения, когда субстрат валежин становится проницаем для якорных корней ели.

При относительной освещенности более 50 % развитие напочвенного покрова в ельниках приобретает некоторые особенности (табл. 5): на первом этапе, в одновозрастном насаждении, наибольшая доля в общем покрытии приходится на луговые травы (ЭЦГ Md). При такой высокой освещенности создаются наиболее благоприятные условия для луговых растений, которые успешно раз-

Изменение эколого-ценотического состава напочвенного покрова сосняков во влажных мезотрофных условиях произрастания при относительной освещенности 11–50 %

Доминирующая порода	Сукцессионное состояние	Доли разных ЭЦГ в напочвенном покрове (баллы)	Н, см	ОПП, %
Сосна	Одновозрастный спелый сосняк	3Mg+2Br_dw+3Br_h+2Nm	30	140
Сосна	Условно разновозрастный сосняк без валежа	3Mg+2Br_dw+3Br_h+2Nm	40	140
Сосна	Абсолютно разновозрастный сосняк без валежа	2Mg+1Br_dw+3Br_h+3Nm	40	130
Сосна	Условно разновозрастный сосняк с валежом	2Mg+1Br_dw+1Br_h+3Nm+2Nh	80	120
Сосна	Абсолютно разновозрастный сосняк с валежом	2Mg+1Br_dw+1Br_h+3Nm+3Nh	80	110

виваются за счет почвенного блока семян и заноса семян с прилегающих открытых территорий [2, 9].

Затенение луговыми травами и их опад препятствует формированию полноценного яруса Д из зеленых бореальных мхов, поэтому доля их в общем покрытии значительно меньше, чем в таких же насаждениях при относительной освещенности 11–50 %.

Постепенно по мере формирования разных поколений ели и появления скоплений ее подроста, доля луговых растений сокращается и увеличивается доля более теневыносливых неморальных и бореальных видов. На заключительных стадиях развития господство переходит к неморальным травам и высоким травам из разных ЭЦГ. В результате доля луговых и бореальных ЭЦГ сильно сокращается и в составе напочвенного покрова остается только три ЭЦГ. Существенная доля ЭЦГ Nh в лесах с валежом, как и в предыдущем случае, препятствует развитию подроста ели, поскольку ель выживает только на тех валежинах, которые не затенены высокими травами.

В том случае, если культуры создаются на почвах менее характерных для естественного развития древесной породы, формирование и развитие напочвенного покрова как индикатора условий почвенного богатства и влажности соответствует именно условиям произрастания, а составу не древостоя. Это

положение иллюстрирует табл. 6, где развитие насаждений сосны сопровождается формированием такого же напочвенного покрова, как и в ельнике (табл. 4).

Незначительные отличия в напочвенном покрове ельников и сосняков, развивающихся при одинаковой относительной освещенности, проявляющиеся в меньшей доле бореальных зеленых мхов, видимо, можно объяснить неблагоприятным воздействием опада хвои сосны на мхи и более ранним появлением значительной доли неморальных видов.

Сходство в развитии напочвенного покрова в насаждениях ели и сосны при одинаковой освещенности, помимо однотипных условий произрастания, вероятно, определяется еще и относительным свойством хвойного опада, который разлагается значительно медленнее, чем опад лиственный. Именно эти отличия определяют специфику формирования напочвенного покрова в березняках при том же режиме освещенности и той же последовательности этапов развития древостоя (табл. 7).

Лиственный опад, неблагоприятно действуя на моховой покров, сокращает долю мхов в напочвенном покрове и способствует разрастанию луговых видов уже на первых этапах развития. Дальнейшие изменения происходят сходно с таковыми в насаждениях ели и сосны в аналогичных условиях. Формирование валежа приводит к господ-

Изменение эколого-ценотического состава напочвенного покрова березняков во влажных мезотрофных условиях произрастания при относительной освещенности 11–50 %

Доминирующая порода	Сукцессионное состояние	Доли разных ЭЦГ в напочвенном покрове (баллы)	Н, см	ОПП, %
Береза	Одновозрастный спелый березняк	5Md +2Nm+1Br_h +2Mg	40	130
Береза	Условно разновозрастный березняк без валежа	4Md+3Nm +1Br_h+2Mg	40	120
Береза	Абсолютно разновозрастный березняк без валежа	4Nm+3Md +1Br_h+2Nh+1Mg	60	120
Береза	Условно разновозрастный березняк с валежом	4Nm+2Br_H+1Br_h+2Md+ 1Mg	90	110
Береза	Абсолютно разновозрастный березняк с валежом	4Nm+4Br_H+1Br_h+1Md+ +1Mg	100	110

Т а б л и ц а 8

Результат расчета характеристик напочвенного покрова модельного одновозрастного смешанного насаждения

	Доля опада*	Сукцессионное состояние	ЭЦГ	Н, см	ОПП, %
Ель	4	одновозрастный	5Mg+3Br_dw+1Br_h+1Nm	30	160
Сосна	1	одновозрастный	3Mg+2Br_dw+3Br_h+2Nm	30	140
Береза	4	одновозрастный	5Md +2Nm+1Br_h +2Mg	40	130
Осина	1	одновозрастный	8Nm+2Mg	40	130
Подлесок	0,1		8Nm+2Mg	40	90
		Результат	3.3Mg+1.4Br_h+1.1Br_dw+ 2.2Nm+2Md	35	145

* доля опада – это отношение годичной массы опада хвои/листвы данной породы к общей массе опада зеленой фитомассы всего лесного участка [20]

тву в напочвенном покрове высокотравных и неморальных видов, причем, в отличие от развития напочвенного покрова в ельниках и сосняках, в березняках, боровые виды не сохраняются на поздних стадиях развития, но остаются луговые виды.

Проведенное исследование позволяет провести расчет основных показателей напочвенного покрова смешанных насаждений, а именно: эколого-ценотический состав, проективное покрытие и высота.

В качестве примера расчета характеристик напочвенного покрова нами был взят гипотетический лесной участок, имеющий следующие показатели: состав – 5Е1СЗБ1ОС, ТЛУ – СЗ, бонитет – 2, возраст насаждения – 60 лет, полнота – 0.7, запас – 220 м³/га; подлесок – редкий (рябина, лещина), освещенность на уровне напочвенного покрова – 15 %.

Для расчета эколого-ценотического состава напочвенного покрова, его проективного покрытия и средней высоты мы использовали соответствующие таблицы чистых насаждений (табл. 3–7). Сложность расчета состоит в необходимости учета многовидового состава древесного яруса лесного участка. На наш взгляд, смешанный состав насаждений следует учитывать по доли участия опада листвы/хвои каждой породы, образующих древесный полог, к общей массе опада листвы/хвои всего древостоя. Расчет опада осуществляется по данным В.А. Усольцева, исходя из запаса каждой породы и ее возраста [20].

Анализ результатов пробного расчета позволяет отнести гипотетически лесной участок к мелкотравно-неморально-зеленомошной подсекции бореальных лесов южной тайги.

Разработанная концептуальная модель является первым шагом к созданию компьютерной модели динамики напочвенного покрова, которая в совокупности с моделью динамики основных таксационных показателей многовидовых разновозрастных лесных массивов FORRUS-S [23] позволит более корректно моделировать процессы естественного возобновления. Добавление в разработанную модель данных о фитомассе мхов, лишайников травянистых растений позволит изучать на модельных объектах взаимовлияние древесной растительности и напочвенного покрова.

Библиографический список

1. Воробьев, Д.В. Типы лесов Европейской части СССР / Д.В. Воробьев. – Киев: АН УССР, 1953. – 452 с.
2. Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. – М.: Наука, 2004. – Кн.1. – 479 с. – Кн.2. – 575 с.
3. Запрудина, М.В. Микромозаичная организация травяно-кустарничкового и мохового покрова среднетаежных темнохвойных лесов Урала: дисс. ... канд. биол. наук / М.В. Запрудина. – М.: ЦЭПЛ РАН, 2012. – 23 с.
4. Зозулин, Г.М. Исторические свиты растительности европейской части СССР / Г.М. Зозулин // Бот. журн. – 1973. – Т. 58. – № 8. – С. 1081–1092.
5. Исаев, А.С. Депонирование углерода в лесах России / А.С. Исаев, Г.Н. Коровин // Углерод в биогеоценозах: чтения памяти академика В.Н. Сукачева, XV / отв. ред. И.А. Шилов. – М., 1997. – С. 59–98.
6. Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функция / Отв. ред. Бобкова К.С., Галенко Э.П. – СПб.: Наука, 2006. – 337 с.
7. Лесные экосистемы Енисейского меридиана / Отв. ред. Ф.И. Плешиков. Новосибирск, 2002. – 356 с.
8. Лукина, Н.В. Питательный режим почв северотаежных лесов / Н.В. Лукина, Л.М. Полянская, М.А. Орлова / отв. ред. Л.О. Карпачевский. – М.: Наука, 2008. – 342 с.
9. Методические подходы к экологической оценке лесного покрова в бассейне малой реки / отв. ред. Л.Б.Заугольнова, Т.Ю.Браславская. – М.: КМК, 2010. – 383 с.
10. Миркин, Б.М., Наумова Л.Г. Наука о растительности / Б.М. Миркин, Л.Г. Наумова. – Уфа: Гилем, 1998. – 413 с.
11. Мониторинг биологического разнообразия лесов России: методология и методы / отв. ред. А.С. Исаев. – М.: КМК, 2008. – 453 с.
12. Ниценко, А.А. Об изучении экологической структуры растительного покрова / А.А. Ниценко // Бот. журн. – 1969. – Т. 54. – № 7. – С. 1002–1014.
13. Погребняк, П.С. Основы лесной типологии / П.С. Погребняк. – Киев: АН УССР, 1955. – 435 с.
14. Растительность европейской части СССР. – Л.: Наука, 1980. – 431 с.
15. Смирнова, О.В. Пространственная неоднородность почвенно-растительного покрова темнохвойных лесов в Печоро-Ильчском заповеднике / О.В. Смирнова, А.А. Алейников, А.А. Семиколенных, А.Д. Бовкунов и др. // Лесоведение, 2011. – № 6. – С. 67–78.
16. Сукцессионные системы бореальных лесов Европейской России / О.В. Смирнова, А.А. Алейников // Известия Самарского научного центра РАН, 2012. – Том. 14. – № 5. – С. 1367–1370.
17. Родин, Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара / Л.Е. Родин, Н.И. Базилевич. – М.-Л.: Наука, 1965. – 312 с.
18. Титлянова, А.А., Тесаржова М. Режимы биологического круговорота / А.А. Титлянова, М. Тесаржова. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 150 с.
19. Тужилкина, В. Надземная фитомасса и углерод нижних ярусов растительности еловых фитоценозов / В. Тужилкина // Вестник Института Коми НЦ УрО РАН. – № 9 (167). – 2011. – С. 4–6.
20. Усольцев, В.А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – 569 с.
21. Уткин, А.И. Углеродные пулы фитомассы, почв и депонирование углерода в еловых лесах России / А.И. Уткин, Д.Г. Замолотчиков, О.В. Честных // Хвойные бореальной зоны. – 2004. – Выпуск 2. – С. 21–30.
22. Чумаченко, С.И. Моделирование развития насаждений в ходе аутогенных сукцессий / С.И. Чумаченко, О.В. Смирнова // Лесоведение. – 2009. – № 6 – С. 3–17.
23. Чумаченко, С.И. Имитационное моделирование многовидовых разновозрастных лесных насаждений. Спец. 03.00.16. Экология: дисс. ... д-ра биол. наук / С.И. Чумаченко. – М.: МГУЛ, 2006. – 287 с.
24. Tilman, Knops, Wedin, Reich, Ritchie, Siemann. The Influence of Functional Diversity and Composition on Ecosystem Processes // SCIENCE. VOL. 277. 1997. P.1300–1302.
25. Wardle, Zackrisson. Effects of species and functional group loss on island ecosystem properties// Nature l Vol. 435. 2005 P. 806–810.

СОЗДАНИЕ АРХИВА БИОМЕТРИЧЕСКИХ И ПРОДУКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСТИТЕЛЬНОСТИ

В.Д. БУРКОВ, проф., д-р техн. наук, МГУЛ,

В.С. ШАЛАЕВ, проф., директор ИСИЛ, д-р техн. наук,

В.Ф. КРАПИВИН, проф., д-р физ.-мат. наук, Фрязинское отделение Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

burkov@mgul.ac.ru

Архитектура архива

Биометрические и продукционные характеристики растительных покровов важны для решения многих задач при оценке последствий антропогенной деятельности, решении экономических проблем природопользования, оценке риска воздействия на наземные экосистемы и изучении многих других проблем, возникающих при реконструкции земных покровов (обезлесивание, лесовосстановление, замена лесных экосистем сельскохозяйственными угодьями, расширение пастбищ и т.д.). Основой создания архива долговременного хранения этих характеристик должны быть базовые про-

странственные структуры распространения почвенно-растительных формаций. Поэтому первый уровень архива биометрических и продукционных характеристик растительности (АБПХР) включает набор картосхем с указанием в каждом пикселе пространственной дискретизации земной поверхности одного типа растительности. Пример такой картосхемы приведен на рис. 1, а схема расширения информационных полей дана на рис. 2. Пользователю АБПХР достаточно указать размеры пикселя, чтобы сопровождающее АБПХР software автоматически выбрало на первом уровне соответствующую картосхему согласно процедуре топологической привязки, представленной на рис. 3.

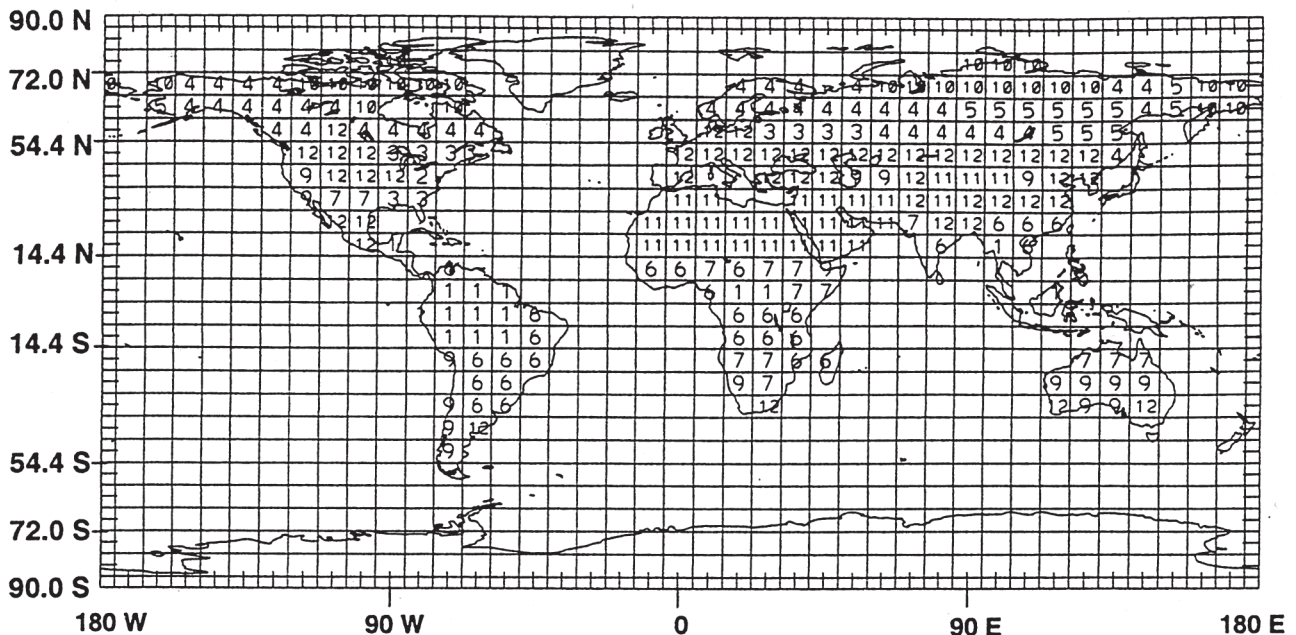


Рис. 1. Использованное в модели SiB2 пространственное распределение наземных биомов по географической сетке $7,2^\circ \times 9,0^\circ$ [1]. Обозначения: 1 – широколиственные вечнозеленые деревья (тропический лес); 2 – широколиственные листопадные деревья; 3 – смешанные широколиственные и хвойные деревья; 4 – хвойные вечнозеленые деревья; 5 – хвойные опадающей деревья; 6 – широколиственные деревья с подлеском; 7 – луга; 8 – залесенные луга; 9 – кустарники с голой почвой; 10 – карликовые деревья и кустарники (тундра); 11 – почва без растительного покрова; 12 – сельскохозяйственные растения

Земные покровы по классификации международной геосферно-биосферной программы

Номер типа земной поверхности	Тип земной поверхности
1	Вечнозеленые хвойные леса
2	Вечнозеленые широколиственные леса
3	Листопадные хвойные леса
4	Листопадные широколиственные леса
5	Леса смешанного типа
6	Изолированные кустарниковые заросли
7	Открытые кустарниковые территории
8	Залесенные саванны
9	Саванны
10	Травяные экосистемы
11	Долговременные ветланды
12	Засеянные территории
13	Территории под городами и другими постройками
14	Смешанные территории (включают сельскохозяйственные и природные ландшафты)
15	Территории, покрытые снегом и льдом
16	Голая почва с редкой растительностью
17	Водные системы

Типы земных покровов по классификации проекта QEN

Тип земного покрова	Характеристика земного покрова
Тропические дождливые леса	Вечнозеленые или полувечнозеленые леса влажных тропиков, обычно высокие деревья, часто заболоченные территории. Лиственный покров на высоте свыше восьми метров занимает 60 % пространства. Опад листьев в течение года не превышает 50 %. Произрастают в зонах с осадками 125–660 см год ⁻¹ , средней влажностью воздуха 77–88 % и температурами от 20 °С до 34 °С. Поставляют в атмосферу до 40 % кислорода.
Муссонные или сухие леса	Леса средней высоты, листопадные или преимущественно листопадные в зонах теплого климата. Сплоченность листвы и сучьев на высоте сверх восьми метров составляет более 60 % в течение месяца максимального лиственного покрова и теряют более 50 % листвы на некотором этапе года, за исключением сухих австралийских эвкалиптовых лесов, пологи которых занимают более 50 % пространства.
Тропические облесенные территории	Это относительно низкие деревья с открытым пологом, обычно листопадные. Лиственный покров вместе с сучьями на высоте более восьми метров составляет 20–60 %. Плотность биомассы оценивается величиной 70 тС га ⁻¹ .
Тропические колючие кустарники и кустарниковые заросли с редкими деревьями	Лиственный покров и сучья на высоте более восьми метров не превышает 20 %, но полный лиственный покров в диапазоне высот от 0,8 м до 8 м составляет более 20 %.
Тропические полупустыни	Это редкие кустарники или травяные покровы со сплоченностью 4–25 % до высоты 80 см и менее 2 % выше.
Тропические травяные экосистемы	Луговые ограниченные пространства без большого количества деревьев или кустарников. Растительный покров свыше 80 см составляет менее 2 %, но над уровнем почвы он превышает 25 %. Расположены в основном между 5° и 15° широт южного и северного полушарий. Осадки 100–400 мм год ⁻¹ .

Тип земного покрова	Характеристика земного покрова
Тропические экстремально пустынные территории	Очень скудная растительность или в основном голая почва. Полный растительный покров составляет менее 4 % в любое время года.
Саванны	Плотный травяной покров до 30 см высотой с редкими деревьями или кустарниками. Плотность покрова над уровнем 80 см колеблется от 2 % до 20 %.
Теплые умеренные вечнозеленые леса	Преимущественно высокие деревья, обычно много широколиственных вечнозеленых или полулистопадных покрытосемянных деревьев. Также встречаются хвойные деревья.
Холодные умеренные гигантские листопадные дождливые леса	Очень высокие деревья, пологи которых свыше 40 м над уровнем земли занимают 50 % пространства.
Монтанные тропические леса	Вечнозеленые деревья, адаптировавшиеся к прохладным температурам и высокому уровню солнечной радиации.
Средиземноморские склерафильные залесенные территории	Смесь склерафильных и листопадных деревьев и кустарников.
Холодные умеренные леса	Ограниченные залесенные территории с листопадными широколиственными деревьями, пологи которых свыше 8 м занимают более 60 % пространства. Более 50 % листвы теряется в зимний период.
Южная тайга	Высокие деревья с очень плотным пологом. Покров свыше 8 м составляет более 90 %. Более 50 % составляют хвойные деревья.
Средняя тайга	Хвойные и листопадные деревья с относительно открытым пологом. Покрытие над 8 м составляет 60–90 %.
Открытые бореальные залесенные территории	Смесь хвойных и широколиственных пород деревьев. Покрытие над 8 м составляет 20–60 %.
Полупустынные умеренные залесенные или кустарниковые территории	Хвойные и широколиственные деревья. Покров над 8 м составляет менее 20 %, а в интервале от 80 см до 8 м превышает 20 %.
Тундра	Территории, покрытые в основном травой или низкими кустарниками. Покров свыше 80 см не превышает 2 %, а над уровнем земли он превышает 4 %.
Тундровые степи	Редкие низкие кустарники и бедная растительность с покровом от 10 % до 50 %.
Полярные и альпийские пустыни	Очень бедная растительность с низким травяным покровом, не превышающим 4 %.
Умеренные пустыни	Очень бедный растительный покров, не превышающий 4 %. Холодные зимы.
Умеренные полупустыни	Разбросанные по бедному травяному покрову кустарники с общим покровом 4–25 %, а выше 80 см он не превышает 2 %.
Умеренные и горные травяные экосистемы	В основном травяные экосистемы с покровом до 2 % выше 80 см и более 25 % на уровне почвы.
Лесные степи	Отдельно стоящие деревья или кустарники на травянистых пространствах.
Лесная тундра	Главным образом травянистые покровы с разбросанными деревьями и кустарниками. Покров над 80 см составляет 2–20 %.
Болота и топи	Располагаются в тропических широтах или в зонах высоких широт. Более 50 % территории покрыто водой более шести месяцев в году.
Ледяные щиты и постоянный лед	Ледники, ледяные щиты Гренландии и Антарктиды, устойчивые многолетние ледяные покровы. Данные об этих пространствах можно найти в отчетах программы НАСА GISMO. Горные ледники занимают площадь более 50 тыс. км ² . Гренландский ледяной щит занимает 1,71 млн км ² . Антарктический ледяной щит занимает 14 млн км ² с общим объемом 30 млн км ³ .
Озера и открытые водные пространства	Поверхности, длительное время покрытые водой.

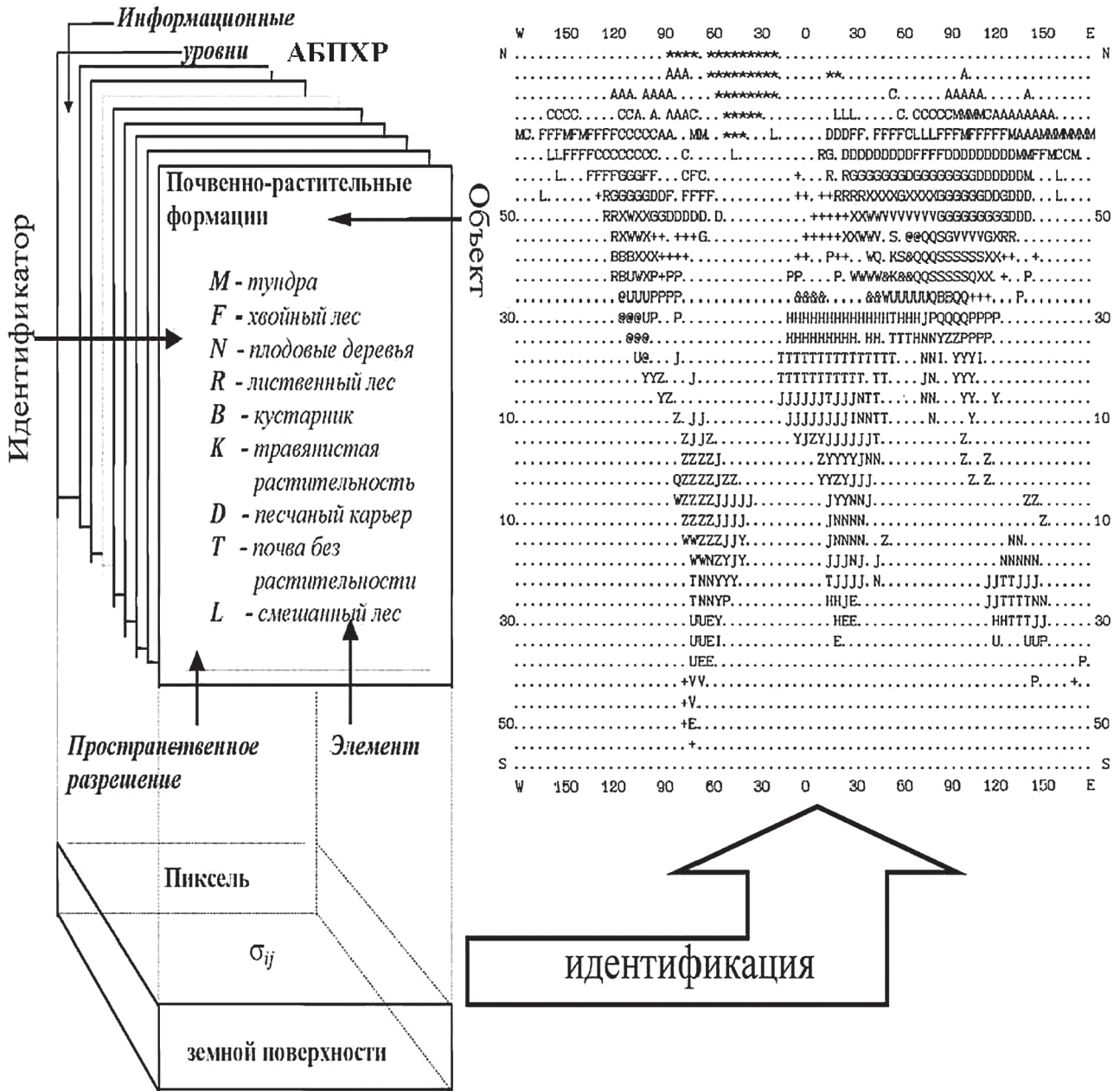


Рис. 2. Информационные уровни АБПХР и схемы их картографической идентификации [1]

В табл. 1 и 2 охарактеризованы широко используемые классификации растительных покровов.

Таким образом, структура АБПХР включает следующие основные уровни [3]:

1. Шкалы пространственной географической дискретизации земной поверхности.

2. Картограммы с указанием типов растительности в каждом пикселе пространственной дискретизации земной поверхности.

3. Биометрические и продукционные характеристики растительности в каждом пикселе земной поверхности.

Информационное содержание этих уровней обеспечивается соответствующей файловой структурой АБПХР (рис. 4, 5).

Вспомогательная информация включает данные об освещенности, содержании биогенных солей в почве, о влажности почвы и наклоне рельефа в пикселе. Информационная система управления АБПХР, которая должна обеспечивать доступ и обслуживание

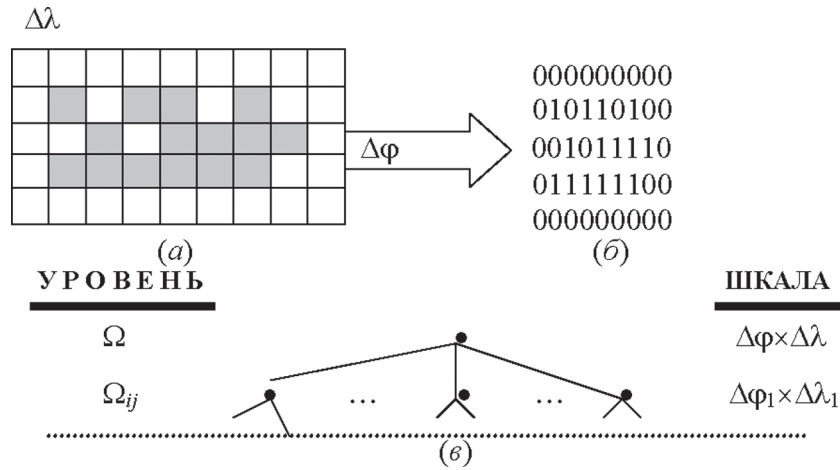


Рис. 3. Процедура топологической привязки территории к фрагментам АБПХР: а – контуры территории, б – вид идентификатора территории в базе данных, в – иерархия уровней базы данных, соответствующая пространственной и тематической структуре территории [2]

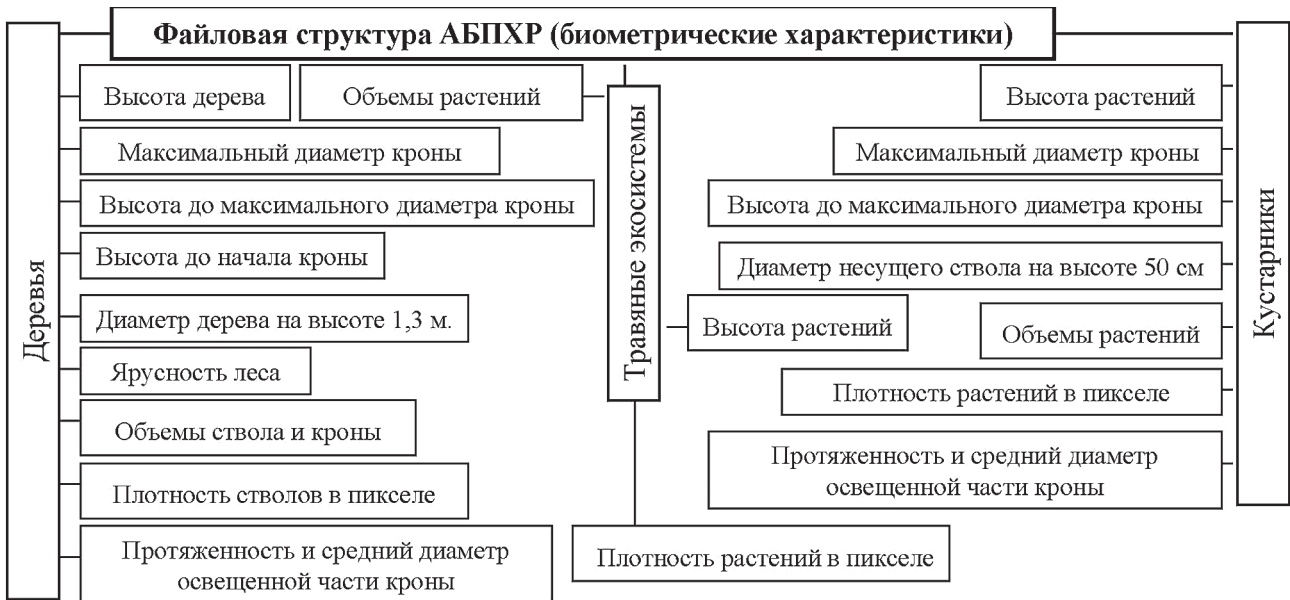


Рис. 4. Содержание биометрической части файловой структуры АБПХР



Рис. 5. Содержание продукционной части файловой структуры АБПХР

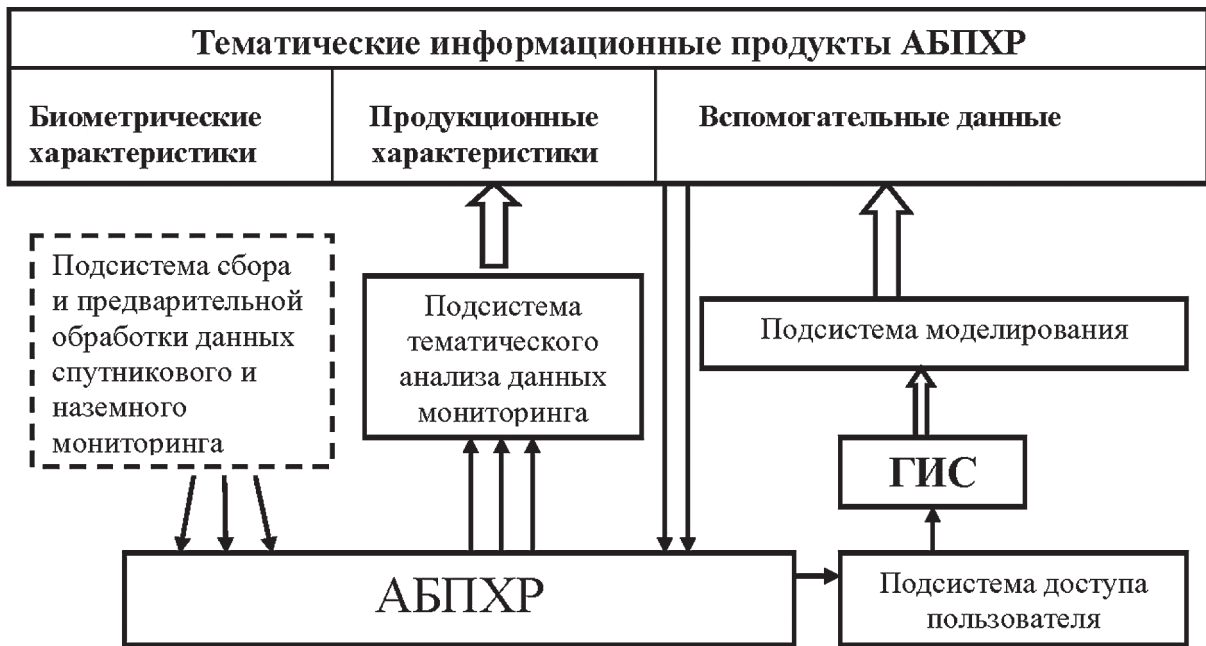


Рис. 6. Структура информационной системы обслуживания и управления АБПХР

заказов пользователей архива, охарактеризована на рис. 6.

Макет АБПХР

Рис. 7 поясняет конфигурацию макета АБПХР. Здесь файл метаданных содержит документацию, обеспечивающую правильный выбор подходящего набора данных с их кратким описанием и указаниями возможных условий или ограничений их использования. В частности, при этом могут указываться имена файлов данных, их объемы, типы расширений и т.п. Метаданные формируются с помощью шаблонов, которые содержат информацию, общую для повторяющихся наборов данных, а также позволяющих оперативно добавлять документацию о вновь внесенном в АБПХР информационном уровне (рис. 2).

Формирование функциональной структуры АБПХР и конкретизация макета АБПХР зависит от его предметной ориентации и перечня тех задач, на решение которых он нацелен. В рассматриваемом случае источниками данных о биометрических и производственных характеристиках растительных покровов являются уже имеющиеся архивы такой информации, наземные измерения и спутниковые данные. Приведение уже имеющихся данных к единому стандарту требует

создания этого стандарта и реализации всех необходимых при этом процедур документирования.

Одной из важных функций software, обслуживающей АБПХР, является формирование отчетов. Построитель отчетов должен обеспечивать путь направления отчета (веб-отчет, экранная форма, файловая реализация, принтер и т.д.) с указанием его параметров (высота и ширина страницы, форма отчета). Также необходимо обеспечивать выбор стиля отчета, включая цветовые оттенки, обрамление, шрифты и структуру страницы. Другими словами, в построителе отчетов задается вид формата отчета, а также указывается, какие данные следует получать из источника данных. Построитель отчета обладает функцией преобразования отчета для его экспорта в файл другого типа (например, форматы Excel, XML, CSV, PDF, TIFF, HTML или TXT). Эта функция позволяет:

- работать с данными отчета в других приложениях;
- сохранять данные отчета в виде файлов других форматов;
- печатать данные отчета в другом формате.

Другим назначением software в рамках АБПХР является обслуживание информаци-



Рис. 7. Основные элементы макета АБПХР

онного интерфейса между АБПХР и другими уже функционирующими архивами данных. Здесь необходимо разработать архитектуру и методики синтеза систем динамического представления данных от различных источников и результатов их обработки удаленным пользователем. Важным этапом здесь является технологический процесс архивации не стандартизованных по форме и содержанию данных из различных источников.

Синтез адаптивной информационно-измерительной системы

Наполнение АБПХР данными возможно при его привязке как подсистемы информационно-измерительной системы, ориентированной на регулярный мониторинг земных покровов в адаптивном режиме коррекции режимов сбора данных. Разработка адаптивной информационно-измерительной

системы (АИИС) с функциями автоматического контроля состояния биометрических показателей растительного покрова на данной территории возможна при использовании ГИМС-технологии, которая дает способ синтеза систем мониторинга с адаптивными возможностями использования накопленной в биоценологии априорной информации, данных моделирования и дистанционных измерений. Конструктивная особенность ГИМС-технологии базируется на согласовании набора моделей продуктивности, ориентированных на восприятие данных спутниковых измерений характеристик растительных покровов в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах.

Синтез АИИС потребует выполнения комплекса работ:

1) предметная инвентаризация баз данных и знаний о характеристиках и законо-

Теоретические и экспериментальные исследования, реализация которых обеспечит решение задачи синтеза АИИС с функциями контроля растительных покровов

Наименование этапа	Решаемые задачи
1. Формирование базы данных АИИС	1.1. Сбор и обобщение картографических данных о пространственной структуре почвенно-растительных формаций с указанием их типов. 1.2. Определение биометрических характеристик земных покровов. 1.3. Определение структуры ландшафтов с указанием их морфологии и других характеристик, необходимых для выделения фаций. 1.4. Задание картографической схемы структуры речных бассейнов и изолированных водоемов на территории.
2. Разработка типовой биометрической модели	2.1. Анализ существующих моделей функционирования растительных формаций и выбор наиболее информативных для условий изучаемого региона. 2.2. Разработка моделей фотосинтеза как элемента модели регионального баланса биомассы растительного покрова. 2.3. Выбор алгоритма согласования данных дистанционного мониторинга с построенными моделями при определении параметров моделей и на этапах оценки рассогласований между данными измерений и результатами моделирования.
3. Разработка алгоритмов согласования наземных, самолетных и спутниковых измерений характеристик экосистем	3.1. Выбор размеров пространственных пикселей, обеспечивающих необходимую точность оценки состояния биологических процессов и экосистем. 3.2. Разработка мнемонического языка согласования базы данных с блоками модели геоэкосистемы выбранной территории. 3.3. Разработка алгоритма восстановления пространственного образа геоэкосистемы территории по эпизодическим во времени и отрывочным по пространству данным дистанционных и наземных измерений. 3.4. Разработка метода преодоления нестационарности получаемых при дистанционных измерениях данных о системах региона.
4. Разработка алгоритма принятия управленческих решений при выборе стратегии измерений или модернизации типовой модели региона	4.1. Выбор шкалы и критерия оценки невязки между данными эксперимента и результатами моделирования. 4.2. Определение процедуры принятия решения о коррекции режима мониторинга или изменении параметров биометрической модели, обеспечивающей реализацию последовательной смены измерений и прогнозирования. 4.3. Подготовка документации, регламентирующей действия оператора АИИС в случае получения от системы сигнала о возможном формировании чрезвычайной ситуации (лесной пожар, засуха, заболачивание и т.п.).
5. Определение форм представления отчетов о результатах функционирования АИИС	5.1. Выбор форм отчетности, обеспечивающих потребности служб для принятия решения о проведении мероприятий по управлению экосистемой. 5.2. Компьютерная реализация выбранных форм отчетности с обеспечением информационной потребности различных служб.
6. Формулировка синоптических сценариев	6.1. Разработка положения о взаимодействии оператора АИИС с национальной и региональной метеорологическими службами. 6.2. Создание типовых синоптических сценариев для отдельных регионов и на основе изучения имеющихся глобальных и европейских сценариев изменения климата как базовых элементов АИИСЧ, используемых в режиме «по умолчанию». 6.3. Анализ климатических трендов на территории региона и разработка прогнозов изменения направленности этих трендов. 6.4. Построение эволюционной модели синоптического тренда, обеспечивающей постоянное опережение оценки синоптической обстановки в регионе по полученным метеорологическим данным.

мерностях функционирования растительного покрова на данной территории;

2) классификация моделей, развитых в биоценологии, по классам их пространственно-временной ориентации;

3) проведение имитационных исследований для выбора иерархической структуры базы данных АИИС с обеспечением информационного интерфейса с набором моделей;

4) определение информативного перечня оптических сенсоров спутникового базирования;

5) оценка вклада и необходимости использования сенсоров других диапазонов.

Тематическая и предметная ориентация компьютерных средств, необходимых для реализации всех функций АИИС, определяется структурой ее блоков. Software для ГИС широко распространено. Ряды компьютерных моделей функционирования элементов окружающей среды охватывают широкий спектр пространственных шкал от региональных до глобальных. Особое место в программном обеспечении АИИС занимают реализации алгоритмов обработки и интерпретации результатов измерений в режиме мониторинга [4, 5].

В составе АИИС имеются эффективные алгоритмы обработки данных мониторинга, которые были апробированы на многочисленных задачах диагностики элементов окружающей среды с применением дистанционных методов сбора данных. Эти алгоритмы позволяют осуществлять восстановление данных и их интерпретацию в условиях, когда их географическая привязка характеризуется наличием зон неопределенности. В частности, метод гармонических функций позволяет

восстанавливать радиояркую температуру внутри замкнутого контура только по измерениям на его границе. Метод дифференциальной аппроксимации дает конструктивную процедуру восстановления данных по отрывочным во времени и фрагментарным в пространстве измерениям.

Синтез АИИС с функциями контроля растительного покрова требует выполнения следующих этапов теоретических и экспериментальных исследований (табл. 3).

Библиографический список

1. Бурков, В.Д. Экоинформатика / В.Д. Бурков, В.Ф. Крапивин. – М.: МГУЛ. – 2009. – 430 с.
2. Крапивин, В.Ф. Методы экоинформатики / В.Ф. Крапивин, И.И. Потапов. – М.: ВИНТИ. – 2002. – 496 с.
3. Савиных, В.П. Информационные технологии в системах экологического мониторинга / В.П. Савиных, В.Ф. Крапивин, И.И. Потапов. – М.: Геодезкартиздат. – 2007. – 388 с.
4. Haarbrink, R., Krapivin, V.F., Krisilov, A., Krisilov, V., Novichikhin E.P., Shutko A.M., Sidorov I. Intelligent data processing in global monitoring and security. – Sofia-Kiev: ITNEA. – 2011. – 410 pp.
5. Shutko, A.M., Krapivin, V.F., Haarbrink R.B., Sidorov I.A., Novichikhin E.P., Archer F., and Krisilov A.D. Practical microwave radiometric risk assessment. – Sofia. – Professor Marin Drinov Academic Publishing House. – 2010. – 88 pp.

ОБРАБОТКА МОДЕЛИ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОГО СНИМКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ДЕШИФРОВОЧНЫХ ПРИЗНАКОВ

Ю.С. ГАЛКИН, *проф. каф. физики МГУЛ, д-р техн. наук*,
В.Н. ПОТАПОВ, *асп. каф. физики МГУЛ*

galkin@mgul.ac.ru

В настоящее время аэрокосмический мониторинг земной поверхности является стратегическим направлением решения многих проблем, стоящих перед обществом: климат, экология, контроль состояния и воспроизводства природных ресурсов, ход и последствия антропогенного и техногенного воздействия на экосферу и др. В соответствии с этим стремительно растет и развивается техника и технология дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) от базовых основ

до практического внедрения в производство в виде эффективных инноваций.

Базовой основой дистанционных съемок как в оптическом, так и в радиодиапазоне является физический механизм отражения электромагнитного излучения от объектов и регистрации его на борту авиационного или космического аппарата.

На данном этапе широко распространено использование для съемок оптического и ближнего инфракрасного (ИК) диапазонов,

Значения дешифровочных признаков

	сосна	ель	береза	осина	ольха
Сумма амплитуд	60	58	159	172	133
Период переколебаний	75	25	25	50	100
Разница полупериодов	45	15	45	20	45

Разрешающая способность дешифровки по каждой породе

	сосна	ель	береза	осина	ольха
Сумма амплитуд	51 %	0 % 50 %	136 %	147 %	114 %
Период переколебаний	136 %	45 %	45 %	91 %	182 %
Разница полупериодов	132 %	44 %	132 %	58 %	132 %
Дешифровка по NDVI	30 %	32 %	23 %	24 %	23 %
Дешифровка методами кластерного анализа	35 %	35 %	25 %	30 %	25 %
Дешифровка статистическими методами	25 %	25 %	20 %	20 %	20 %

в которых наиболее значимо проявляются особенности коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) и яркостных контрастов (ЯК), которые создают набор дешифровочных признаков объектов, особенно растительной природы [1].

Для обработки этой информации создан ряд мощных программных пакетов (ENVI, ERDAS и др.), имеющих широкое использование на практике.

Появление и применение нового класса регистраторов спектров – гиперспектрометров [2], обеспечивающих спектральное разрешение порядка 2–10 нм в диапазоне от 200 до 2500 нм, гармонично вписалось в существующие технологии обработки снимков, обеспечивая оператору-дешифровщику дополнительные возможности в оценке КСЯ и настройке ЯК объектов.

В то же время известно [1], что КСЯ растительных объектов различаются на 2–5 % в видимой области спектра и на 5–10 % – в инфракрасной области, что определяет их низкую помехоустойчивость при влиянии внешних факторов съемки (условий освещенности, состояния атмосферы и др.). Необходимость подбора оптимального контраста объекта относительно фона, требует участия дешифровщика, а в технологическом аспекте – наличие субъективного фактора.

Вместе с тем, в работе [3] на основе высокого спектрального разрешения гиперс-

пектрометров предложен и алгоритмически описан метод создания дополнительных к КСЯ дешифровочных признаков, которые не зависят от внешних условий съемки, формируются и обрабатываются полностью в автоматическом режиме без участия дешифровщика.

Данная статья предназначена для подтверждения работоспособности и эффективности предложенного метода обработки информации на примере модельного гиперспектрального снимка.

В качестве определяемых объектов приняты древесные породы: сосна, ель, береза, осина, ольха, для которых есть спектральные характеристики в диапазоне 400–1100 нм.

Спектральный шаг гиперспектрометра взят 10 нм.

Для приблизительной оценки ситуации данные гиперспектрометра визуализированы на рис. 1, так как таблица имеет 600 значений и менее наглядна. На рисунке видно, что листовые породы по значению КСЯ различить затруднительно.

Согласно работе [3], по данным гиперспектрометра создается разностная матрица, визуализированная на рис. 2. Здесь видно, что по ряду параметров кривые пород разделяются в большей степени, чем по спектрам. Цвет пикселя на экране монитора физической интерпретации не имеет.

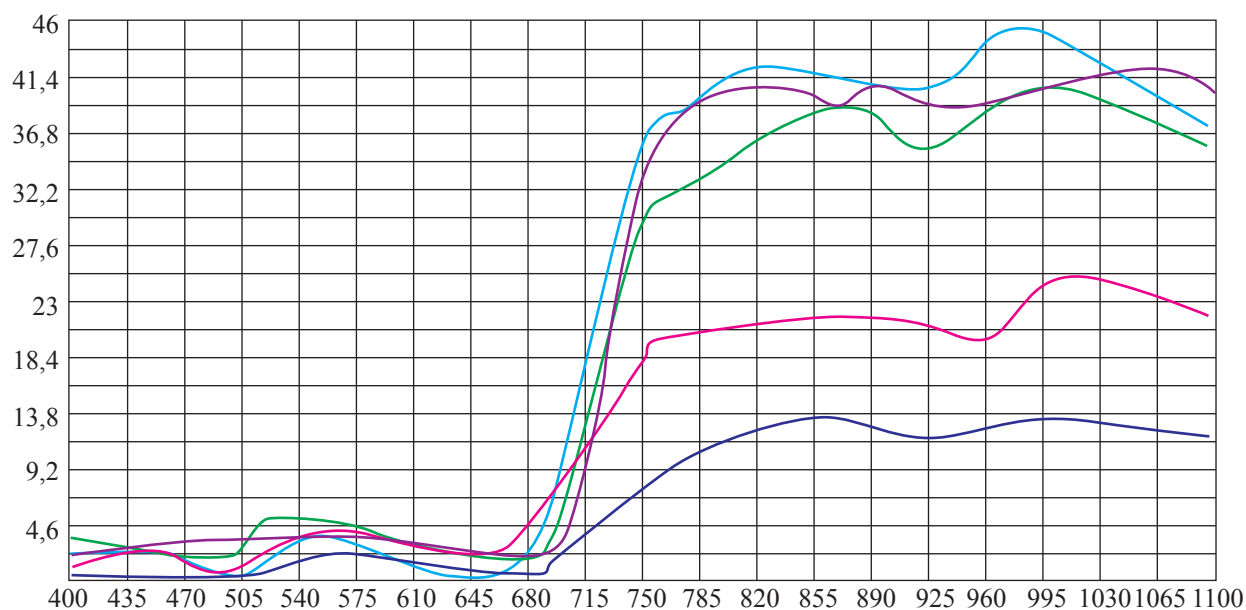


Рис. 1. Кривые отражательных способностей сосны (красный), ели (синий), березы (зеленый), осины (фиолетовый), ольхи (голубой)

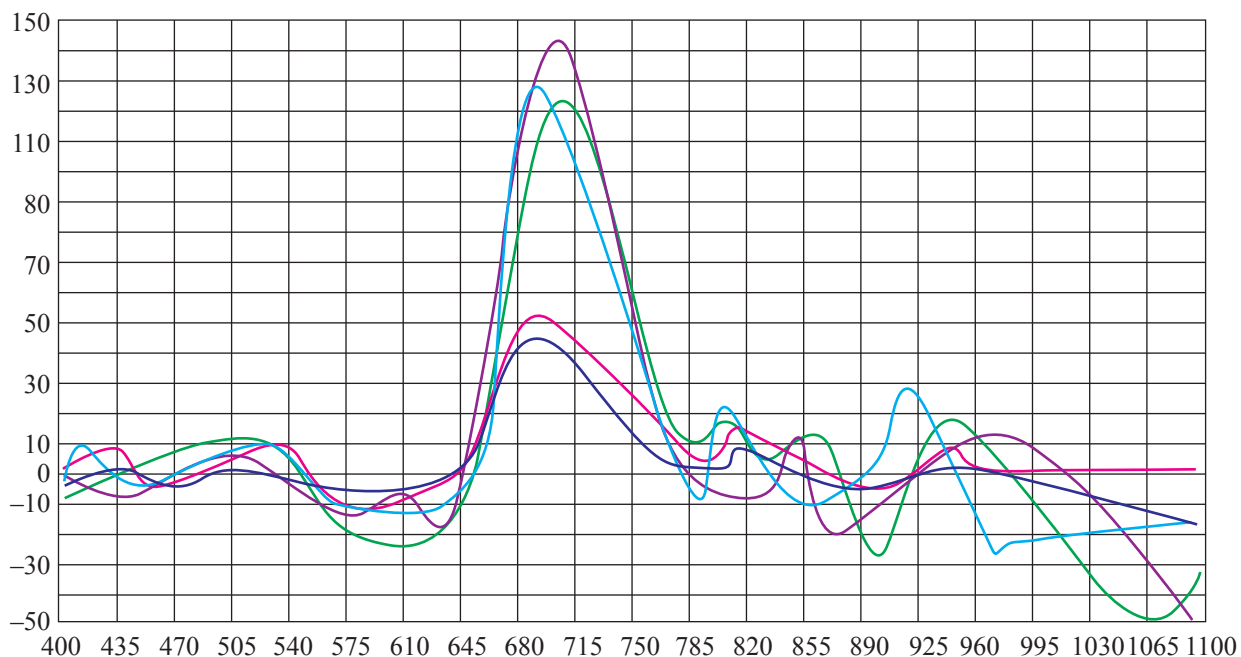


Рис. 2. Визуализация разностной матрицы

По оси y приведены значения величин элементов разностной матрицы в безразмерном масштабе. По оси x – длины волн в нанометрах.

В качестве дешифровочных признаков приняты следующие параметры:

- суммы положительных и отрицательных амплитуд значений в рядах матрицы;
- периоды переколебаний в рядах матрицы;

– разницы полупериодов переколебаний в рядах матрицы.

Полученные характеристики были нормированы на ее среднее значение (одновременное присутствие на участке всех пород) и определен процент разрешающей способности дешифровочного признака относительно указанного фона.

Проведено сравнение с аналогичной оценкой стандартных методов дешифровки,

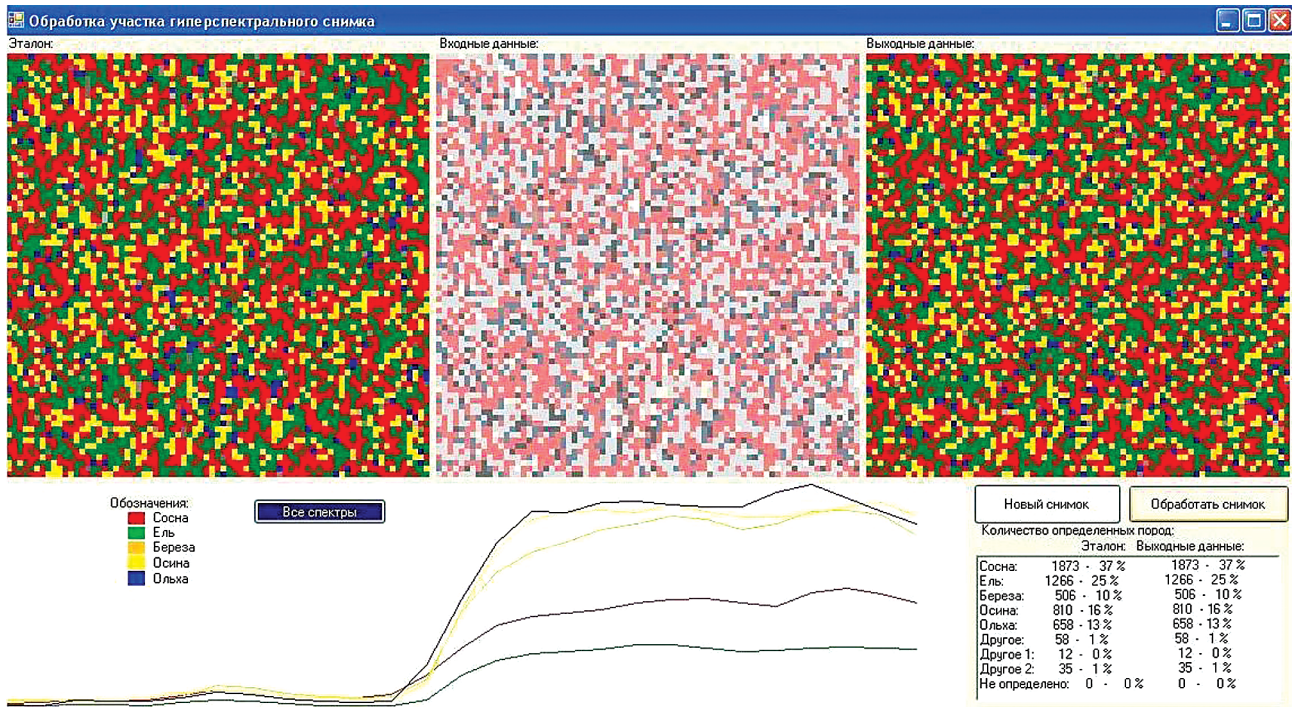


Рис. 3. Результат работы программы Trees при отсутствии шумов

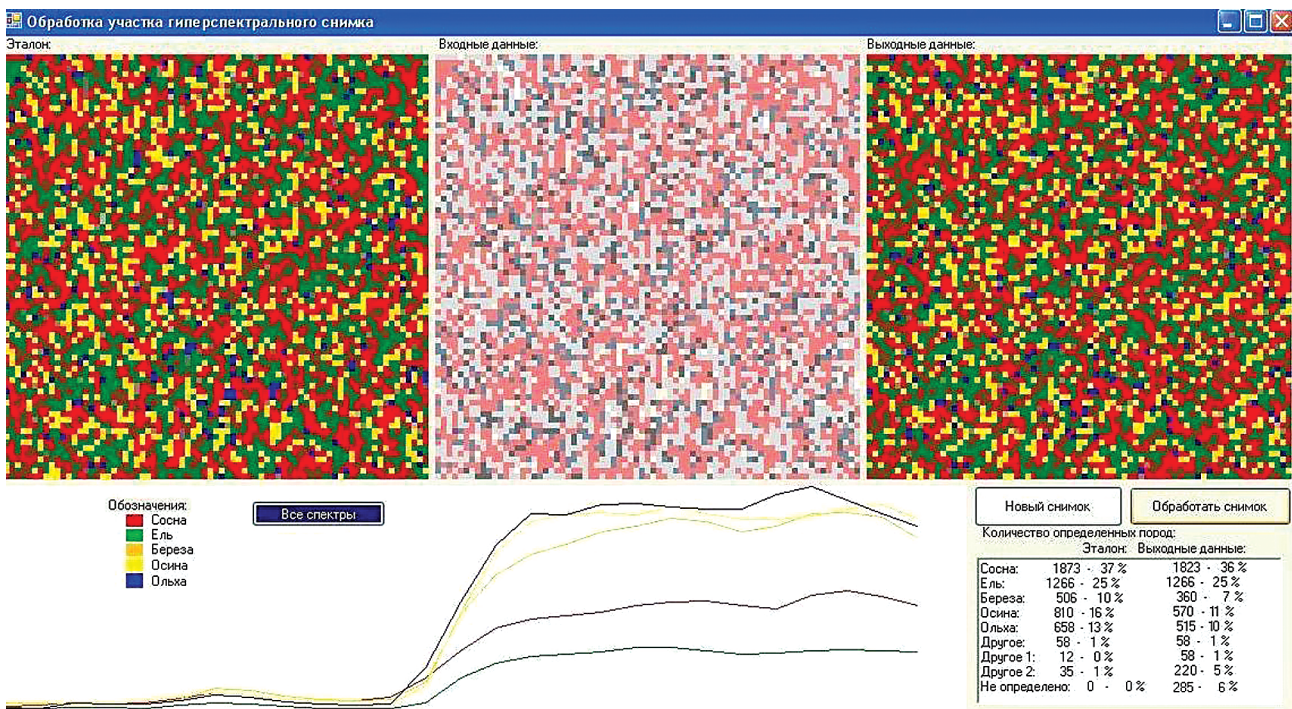


Рис. 4. Результат работы программы Trees при 15 % шумов на входе

приведенных в литературе [4], и результаты приведены в табл. 2.

Табл. 2 наглядно иллюстрирует преимущества предложенных новых дешифровочных признаков.

Для практического применения предложенных дешифровочных признаков был

разработан подробный алгоритм и специальный пакет программ Trees. Пакет позволяет из данных гиперспектрометра автоматически создать три цифровых трехмерных гиперкуба, которые реализуют разработанный метод в технологии дешифровки. Для проверки последнего положения была построена модель

гиперспектрального снимка размером 75 на 75 пикселей.

Снимок представляет собой модель лесного участка, содержащего хаотически размещенные 1873 сосен, 1266 елей, 506 берез, 810 осин, 658 деревьев ольхи и 105 деревьев с неизвестными спектральными характеристиками.

При проверке работоспособности Trees данный снимок играет роль эталона. На рис. 3 эталон приведен в левом секторе.

Центральный сектор рисунка отражает визуализацию на экране компьютера первого гиперкуба изображения. На основе данных гиперкуба программа Trees производит автоматическую дешифровку принадлежности пикселей и выдает информацию в требуемом виде в правый сектор (в данном случае – визуальном).

Одновременно программа производит сравнение с эталоном и выдает результат в табличке, приведенной в правом нижнем углу рисунка.

Учитывая, что входные данные не были искажены шумами, результирующее изображение полностью совпадает с эталонным, кроме объектов, не имеющих библиотечных спектров.

Представляется необходимым, хотя бы качественно, оценить устойчивость алгоритма и программ в условиях действия шума на входные данные, отличающие их от эталона. Для этой цели во входные данные были введены случайные шумы путем изменения амплитуд данных гиперкуба со средней ин-

тенсивностью 15 % и проведена обработка модели гиперснимка в указанных условиях.

Программа отреагировала на это, что показано на рис. 4. Правильность определения пород по сравнению с эталоном снизилась: сосна – 97 %, ель – 100 %, береза – 70 %, осина – 69 %, ольха – 77 %, другие (в целом) – 11 %.

При уровне шума 20 % правильность дешифровки получилась следующей: сосна – 95 %, ель – 88 %, береза – 30 %, осина – 37 %, ольха – 31 %, другие (в целом) – 1 %.

При этом следует учесть, что методы КСЯ при рассмотренных уровнях шума практически не дешифрируют (не различают) растительные объекты.

Таким образом, разработанный алгоритм и пакет программ Trees полностью реализуют разработанный метод автоматической дешифровки гиперспектральных снимков с использованием новых дешифровочных признаков.

Библиографический список

1. Сухих, В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве: Учебник / В.И. Сухих. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – 392 с.
2. Непобедимый, С.П. Гиперспектральное дистанционное зондирование земли / С.П. Непобедимый, И.Д. Радионов, Д.В. Воронцов и др. // Доклады АН. – 2004. – Т. 397. – № 1. – С. 45–48.
3. Галкин, Ю.С. Метод обработки информации с гиперспектрометров для определения породы растительности при дистанционном мониторинге / Ю.С. Галкин, В.С. Шалаев, Ю.П. Батырев, В.Н. Потапов и др. // Вестник МГУЛ–Лесной вестник. – 2011. – № 7(83). – С. 79–82.
4. Шовенгердт, Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. – М.: Техносфера, 2010.

ДИСТАНЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

В.Ф. ДАВЫДОВ, академик РАЕН, проф. каф. БЖД МГУЛ, канд. техн. наук,
Ю.П. БАТЫРЕВ, ст. научн. сотр. ИСИЛ МГУЛ, канд. техн. наук

batyrev@mgul.ac.ru

Почва – многокомпонентная среда. По определению основоположника почвоведения В.В. Докучаева [1] почва – самостоятельное, естественноисторическое биокосное природное тело, представляющее собой

открытую четырехфазную динамичную систему, включающую твердую фазу (полимерная органоминеральная система), жидкую фазу (вода, занимающая часть порового пространства с растворенными органическими

Критерии для определения степени деградации почвы

Критерии	Степень деградации					
	0	1	2	3	4	5
Площадь обнаженного гумусового горизонта (А), %	0	<10	10–20	21–50	51–90	>90
Мощность абиотического наноса	0	<2	2–10	11–20	21–40	>40
Площадь обнаженной почвообразующей породы (С) или подстиляющей породы (О), % от общей площади	0–2	3–5	6–10	11–15	16–25	>25
Уменьшение мощности почвенного профиля (А+В), % от исходного	0–1	1–3	3–25	26–50	51–75	>75
Уменьшение запасов гумуса в профиле почвы (А+В), % от исходного	<5	5–10	11–20	21–40	41–80	>80

Т а б л и ц а 2

Дополнительные критерии определения степени деградации почв

Критерии	Степень деградации					
	0	1	2	3	4	5
Уменьшение содержания микроэлементов (Мп, Со, Мо, В, Си, Ре), % от средней степени обеспеченности	<5	5–10	11–20	21–40	41–80	>80
Уменьшение содержания подвижного фосфора, % от средней степени обеспеченности	<5	5–10	11–20	21–40	41–80	>80
Уменьшение степени кислотности (рН сол.), % от средней степени кислотности	<5	5–10	11–15	16–20	21–25	>25
Потери почвенной массы, т/га/год	<2	2–5	6–25	26–100	100–200	>200

и минеральными веществами), газовую фазу (почвенный воздух), живую фазу (почвенная биота, населяющие почву микроорганизмы).

По мере развития промышленности прилегающие к промышленным зонам территории подвергаются все усиливающемуся потоку техногенных выбросов и антропогенных нагрузок, приводящих к деградации почв. Однако на настоящий момент нет согласованного перечня как показателей деградации почв, так и методов их определения. Не установлены также ПДК фоновых уровней загрязнителей.

Известные способы оценки устойчивости экосистем (в том числе почв) описаны в литературе [2, 3, 5]. Так, для оценки интегральной устойчивости определенной группы почв в условных баллах [2] использованы 10 показателей: кислотность, увлажненность, интенсивность разложения растительных остатков, запас гумуса, рельеф, сельскохо-

зяйственная освоенность, годичный прирост, насыщенность основания, почвообразующие породы, теплообеспеченность.

По сумме баллов выделены зоны: до 14 баллов – неустойчивая, от 18 до 20 – малоустойчивая, от 23 до 26 относительно устойчивая и устойчивая от 26 до 30 баллов.

Недостатками такого подхода следует считать:

- субъективность балльной экспертной оценки каждого из 10 показателей;
- неоперативность и трудоемкость наземного обследования больших площадей;
- недопустимо большое количество частных показателей, затрудняющих практическую применимость;
- отсутствие документально установленных границ зон.

В табл.1 представлена шкала ступеней (от 0 до 6) деградации почвы, рассмотренная в [3].

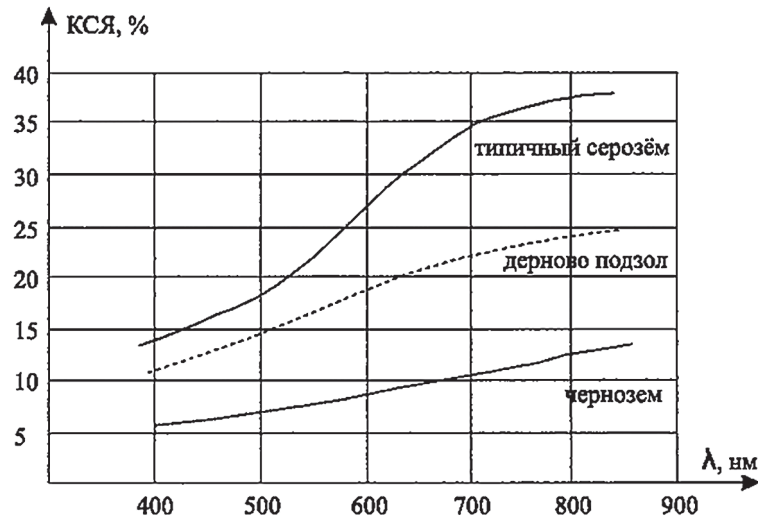


Рис. 1. Спектральные кривые гумусовых горизонтов

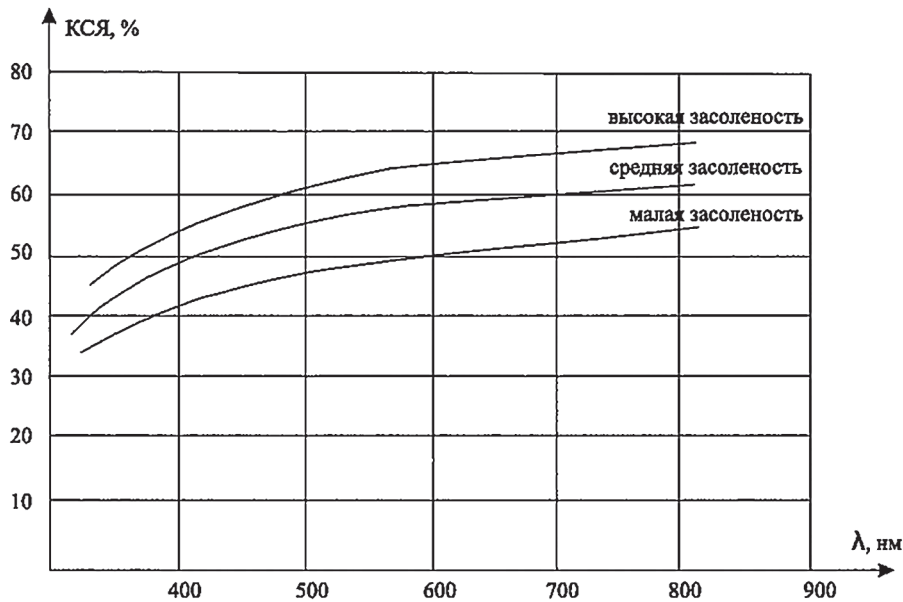


Рис. 2. Спектральные кривые засоленных горизонтов (солончаки)

К недостаткам этого подхода следует отнести:

- неопределенность расчета интегрального показателя при разных значениях частных составляющих;
- субъективность определения значений частных составляющих, неоперативность и большая трудоемкость их количественного расчета;
- отсутствие документальных измерений границ выделенных зон.

Известны также способы дистанционных измерений коэффициента спектральной яркости почв и обнажений посредством спектрометров (типа СПИ-2, СПИ-74), установ-

ленных на самолетном носителе [4]. В этом случае измеряют КСЯ (коэффициент спектральной яркости) различных типов почв, вдоль трассы полета носителя, представляющих собой семейство практически не пересекающихся функций $p(\lambda)$, ординаты которых увеличиваются с ростом длины волны (λ) (рис. 1, 2).

Вариации КСЯ как по амплитуде, так и по спектру зависят от концентрации гумуса, минерализации почв и влажности почвенных покровов. В частности, получены эмпирические зависимости КСЯ ($p_{\lambda=750}$) на длине волны $\lambda = 750 \text{ нм}$ от концентрации гумуса в почве $H_{\text{гум}}$ (%) вида $p_{750} = A \times B \times (1 + 1/K H_{\text{гум}})$,

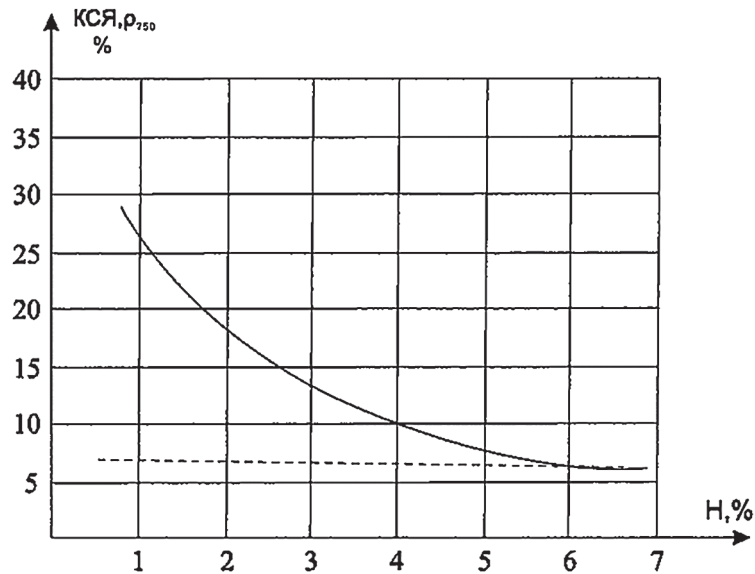


Рис. 3. Характеристика почвенного покрова в полосе 750 нм от концентрации гумуса

где $A = 50$; $K = 0,026$; $B = 8,4$ при коэффициенте корреляции между p_{750} и $H_{\text{гум}}$ (%) порядка 0,9 (рис. 3).

Недостатками такого подхода являются:

- отсутствие установленной интегральной зависимости между деградацией почвенного покрова и измеренными значениями КСЯ;
- невысокое пространственное разрешение спектрометров типа СПИ, не позволяющее выделить на изображениях участки деградации почвенных покровов площадью менее $\sim 2 \text{ км}^2$.

В предлагаемом авторами способе определения деградации почвенного покрова предлагается оперативное, количественное измерение степени деградации почвенных покровов по дистанционным мультиспектральным изображениям с выделением и оконтуриванием участков деградации размерами 0,1 га, пригодных для составления кадастра пахотных земель.

С технической стороны способ определения деградации почвенного покрова включает дистанционную регистрацию полей яркости $I(x, y)$ пахотных земель, содержащих тестовые эталонные участки многоканальным спектрометром, установленным на аэрокосмическом носителе в зональных диапазонах 450–515, 525–605, 630–690, 750–

900 и 1550–1750 нм, с одновременным получением цифровых изображений в каждом канале. Далее производится расчет частных индексов состояния по комбинации зональных отношений сигналов $I(x, y)$ в каналах для каждого пикселя изображения; индекса содержания гумуса $[H, \%]$, индекса засоленности NSI и влажностного индекса $NDWI$. В качестве интегрального критерия деградации почв выбрана многопараметрическая функция регрессии произведения перечисленных индексов, пронормированных относительно их значений для эталонных тестовых участков в виде степенных зависимостей

$$D = (H_0/H)^{1,9} (NSI/NSI_0)^{0,5} (NDWI_0/NDWI)^{0,3}.$$

Производится также пересчет математическими процедурами значений каждого пикселя изображения в масштаб интегрального показателя D выделение контуров деградации на результирующей матрице и их визуализацию в виде обработанных снимков, где D – степень (категория) деградации 1, 2, 3, 4; 1,9; 0,5; 0,3 – показатели чувствительности D к частным индексам.

Сущность предлагаемого метода определения деградации почвенного покрова состоит в следующем. Особенностью дистанционного зондирования Земли из космоса является зависимость сигнала измерений от характеристик среды (атмосферы, условий

съемки: угла визирования на объект, высоты Солнца, времени суток и т.д.), что вызывает необходимость калибровки тракта измерений. Последнее в заявленном способе достигается путем одновременной съемки тестовых (эталонных) участков, по значениям сигналов от которых осуществляют в дальнейшем калибровку трактов измерений объектов подстилающей поверхности.

Из математики известно, что для однозначного решения системы уравнений количество уравнений должно быть равным числу неизвестных. Неизвестными в данном способе являются индексы-параметры: концентрация гумуса, засоленность, влагопотери. Следовательно, для однозначного их расчета необходимо иметь не менее трех независимых сигналов, что реализуется синхронными измерениями в перечисленных зонах спектрометра.

При количественном расчете самих индексов-параметров используют различные комбинации зональных отношений [5]. Основное требование к зональным отношениям – адекватность измерений физическому процессу, высокий коэффициент корреляции между сигналом и расчетным параметром, устойчивость к внешним условиям съемки.

Концентрацию гумуса в почве (H) рассчитывают из соотношения [5]

$$H[\%] = 1/k \ln(\rho_0 - \rho_{\min})/(\rho_\lambda - \rho_{\min}),$$

где ρ_λ – коэффициент спектрального отражения почвы, $\lambda = 750\text{--}900$ нм

ρ_0 – то же для безгумусовой почвообразующей породы,

ρ_{\min} – то же для многогумусовой почвы,

k – для почв средней полосы $\sim 0,6$.

Индекс засоленности

$$NSI = (SI_{\max} - SI)/(SI_{\max} - SI_{\min}),$$

где $SI = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_3^2}$

ρ_1, ρ_3 – КСЯ пикселя в первом и третьем каналах.

Для определения нормализованного влажностного индекса $NDWI$ используются измерения интенсивности в ближнем инфракрасном диапазоне ρ_{NIR} с характерной длиной волны $\lambda = 50\text{--}900$ нм а также в коротко-

волновом инфракрасном диапазоне ρ_{SWIR} с длинами волн $\lambda = 1550\text{--}1750$ нм. При вычислении индекса $NDWI$ используется формула

$$NDWI = (\rho_{NIR} - \rho_{SWIR})/(\rho_{NIR} + \rho_{SWIR}).$$

Для выявления скрытых закономерностей между измеряемыми индексами-параметрами деградации и их вклада в результирующий (интегральный) показатель деградации использована многопараметрическая функция регрессии.

В соответствии с рекомендациями математического института им. Стеклова в качестве монотонных (не разрывных) функций следует выбирать степенные функции вида

$$D = a^x b^y c^z,$$

где D – интегральный показатель деградации;

a, b, c – индексы-параметры, определяющие степень деградации;

x, y, z – показатели степени чувствительности единичного индекса-параметра в интегральном показателе.

Количественный расчет индексов-параметров и показателей степеней многопараметрической функции приведен в примере конкретной реализации.

Предлагаемый способ определения деградации почвенного покрова может быть реализован по схеме, представленной на рис. 4. Функциональная схема устройства содержит космическую систему LandSat (1) на космических аппаратах (2) которой установлены многоканальные радиометры (3), осуществляющие регистрацию отраженного от подстилающей поверхности солнечного потока в полосе сканирования (4), шириной 185 км с пространственным разрешением на пиксель – 30 м, в четырех зональных каналах.

Трассовую съемку запланированных регионов осуществляют по командам от бортового комплекса управления (5) на основе суточной программы управления полетом космического аппарата, передаваемой из центра управления системой (6), по заявкам потребителей.

Результаты измерений записываются в буферное запоминающее устройство (7) и в

Усредненные результаты обработки по всему периоду наблюдений

Категория состояния	Степень деградации	Потеря гумуса	Индекс солености	Влагопотери
1	Норма	1,0	1,0	1,0
2	Низкая	1,4	1,12	1,05
3	средняя	1,62	1,3	1,07
4	высокая	1,75	1,6	1,14

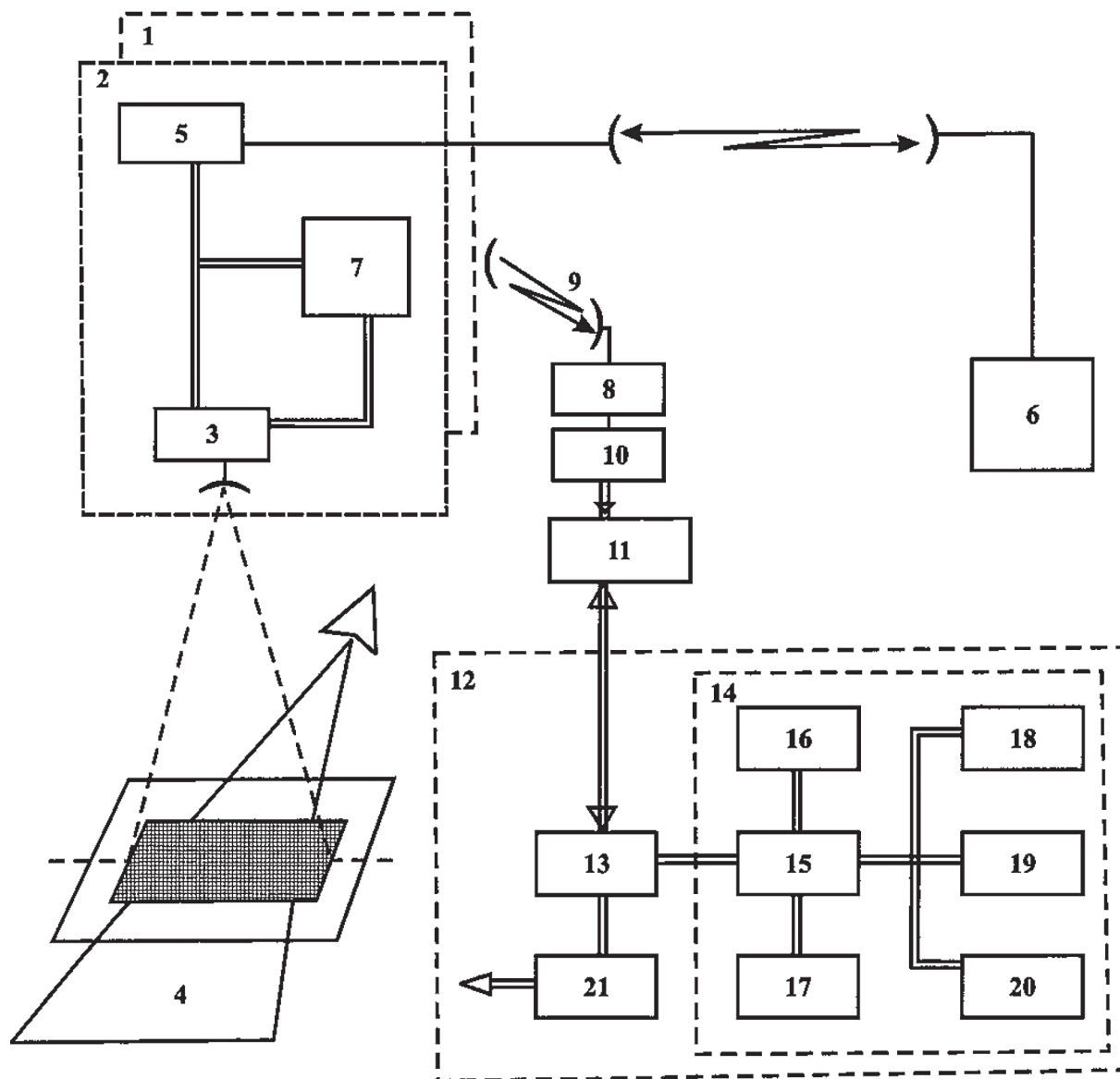


Рис. 4. Функциональная схема устройства, реализующая способ

зонах радиовидимости космического аппарата с наземных пунктов приема (8) (г. Москва, г. Красногорск, г. Новосибирск) сбрасываются по каналу передачи данных (9).

После предварительной обработки информации по служебным признакам (номер витка, время съемки, координаты) на средс-

твах (10) пункта приема информация попадает на сервер хранения данных.

Тематическую обработку изображений потребители осуществляют в центре обработки (12), где через устройство ввода и передачи (13) информация из сервера хранения поступает в электронно-вычислительную

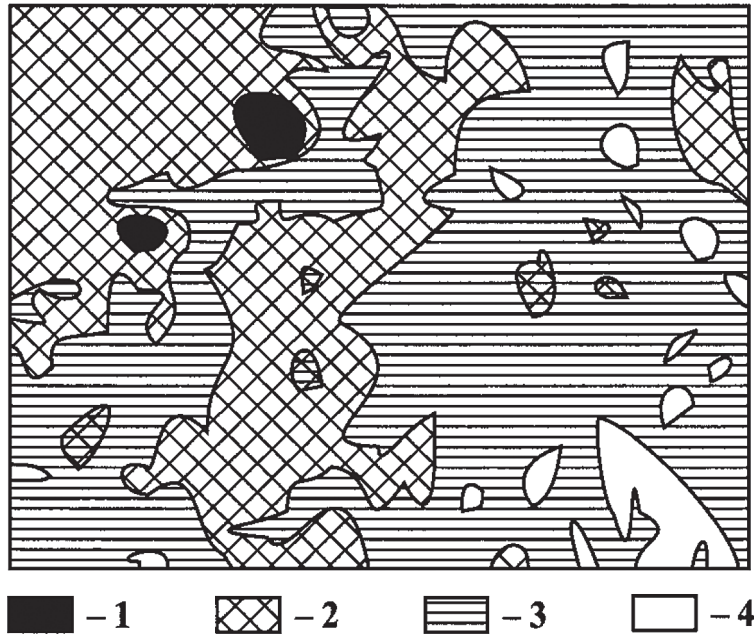


Рис. 5. Вид обработанного снимка с оконтуренными участками деградации

машину (14) со стандартным набором периферийных устройств: процессор (15), оперативное запоминающее устройство (16), накопитель на магнитных дисках (17), устройство отображения информации (18), печатающее устройство (19), клавиатура (20).

Обработанные снимки участков с расчетными значениями деградации почвенного покрова для пахотных земель региона помещают на сервер хранения (21) результатов обработки.

Состояние почвенных покровов оценивалось на примере участка в Рузском районе Московской области. Обработке подверглись 46 мультиспектральных снимков LandSat 4–5 TM с прилегающими окрестностями за период наблюдения с 2005 по 2011 гг. Пространственное разрешение снимков – 30 м/пиксель, сторона квадрата обработанного участка составляет 3030 м.

Состояние недеградированного пахотного слоя суглинистых почв Московской зоны оценивается следующими показателями: мощность гумусового горизонта 10–15 см, запасы гумуса порядка 50 т/га, процентное содержание гумуса H_0 (%) ~ 3 %, индекс засоленности ~ 0,03, влажностный индекс ~ 0,24.

Усредненные данные результатов обработки сигналов на всем периоде наблюдений представлены в табл. 3.

По данным табл. 3 для получения многопараметрической функции регрессии записывают следующую систему уравнений

$$\begin{cases} D = 2 = (1,4)^x \times (1,12)^y \times (1,05)^z \\ D = 3 = (1,62)^x \times (1,3)^y \times (1,07)^z \\ D = 4 = (1,75)^x \times (1,6)^y \times (1,14)^z \end{cases}$$

После логарифмирования система степенных уравнений сводится к линейной алгебраической. Решение системы осуществляют методами Крамера и Саррюса. Определитель системы

$$\Delta = \begin{vmatrix} \lg 1,4 & \lg 1,2 & \lg 1,05 \\ \lg 1,62 & \lg 1,3 & \lg 1,07 \\ \lg 1,75 & \lg 1,6 & \lg 1,14 \end{vmatrix}$$

Алгебраические дополнения Δ_x , Δ_y , Δ_z получают путем замены коэффициентов при неизвестных свободными членами, т.е. столбцом из $\lg 2$, $\lg 3$, $\lg 4$. Получены следующие цифровые характеристики

$$\begin{aligned} x &= \Delta_x / \Delta = 1,9 \\ y &= \Delta_y / \Delta = 0,5 \\ z &= \Delta_z / \Delta = 0,3. \end{aligned}$$

Для каждого пикселя изображения рассчитывают показатель D и формируют интегральную матрицу изображения $D(x, y)$.

Психологически восприятие образа человеком-оператором происходит на уровне контурного рисунка. Контурный рисунок по-

лучают путем вычисления градиента скалярной функции $D(x, y)$ как [6]

$$\text{grad } D(x, y) = (\partial D/\partial x)i + (\partial D/\partial y)j.$$

Для получения контурного рисунка выбирают регулярный оператор с апертурой окна 2 на 2 элемента.

i, j	$i, j + 1$
$i + 1, j$	$i + 1, j + 1$

Элементы окна связаны по диагоналям (двум взаимно ортогональным направлениям) операцией вычитания. Известны операторы Собеля, Робертса, Лапласа [7]. В частности, оператор Робертса $R(i, j)$ в каждой точке вычисляют как

$$R(i, j) = |D(i, j) - D(i + 1, j + 1)| - |D(i + 1, j) - D(i, j + 1)|.$$

Выводят на экран точки, для которых величина $R(i, j)$ больше порогового значения, установленного оператором.

Результаты определения деградации почвенного покрова тестового участка в Московской области показаны в виде контуров деградации на карте-схеме, представленной

рис. 5. Области под номером (1) – водоемы, (2) – области с малой деградацией, (3) – области со средней деградацией, (4) – области с сильной деградацией.

Эффективность заявленного способа характеризуется оперативностью, достоверностью, масштабностью и документальностью получаемых результатов.

Библиографический список

1. Ганжара, Н.Ф. Почвоведение: учебник / Н.Ф. Ганжара. – М.: Агрообразование, 2001. – С. 5–9.
2. Почвенно-экологический мониторинг: уч. пос. / под ред. Д.С. Орлова. – М.: МГУЛ, 1994. – С. 77–76.
3. Экология и природопользование // Географический вестник. – № 2(17). – 2011. – С. 49–50.
4. Чапурский, Л.И. Отражательные свойства природных объектов в диапазоне 400-2500 нм / Л.И. Чапурский. – Ч. 1. – МО СССР, 1986. – С. 20–39.
5. Виноградов, Б.В. Аэрокосмический мониторинг экосистем / Б.В. Виноградов. – М.: Наука, 1984.
6. Пискунов, Н.С. Производная по направлению: учебник «Дифференциальные и интегральные исчисления для ВТУЗов», 5-е изд. – Т. 1. – М.: Наука, 1964. – С. 264–268.
7. Дуда, Р.О. Распознавание образов и анализ сцен / пер. с англ. / Р.О. Дуда, П.Е. Харг. – М.: Мир, 1976. – С. 287–288.

МИКРОВОЛНОВЫЙ МОНИТОРИНГ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ КАК ЭЛЕМЕНТА РЕГИОНАЛЬНОГО ВОДНОГО БАЛАНСА

В.Д. БУРКОВ, *проф. МГУЛ, д-р техн. наук,*

В.Ф. КРАПИВИН, *проф., Фрязинское отделение Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, д-р физ.-мат. наук,*

В.С. ШАЛАЕВ, *проф., директор ИСИЛ, д-р техн. наук,*

А.М. ШУТКО, *проф., д-р техн. наук, Фрязинское отделение Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН*

burkov@mgul.ac.ru

Дистанционные методы СВЧ-радиофизического зондирования окружающей среды

Дистанционное СВЧ-радиофизическое зондирование земных покровов, атмосферы и акваторий Мирового океана основано на регистрации собственного или отраженного и рассеянного электромагнитного излучения. Возможность получения информации о свойствах элементов окружающей среды связана с

теми обстоятельствами, что характер собственного (теплового) излучения, механизмы рассеяния и отражения активных излучений являются функциями физических и геометрических свойств этих элементов [1–17].

Волны (или частоты) электромагнитного излучения, используемые для дистанционного зондирования в системах мониторинга окружающей среды, занимают широкий участок спектра от 0,3 мкм до 1,3 м с разбиением на поддиапазоны: ближний ультрафи-

олетовый (0,3–0,4 мкм), видимый (0,4–0,76 мкм), ближний инфракрасный (ИК, 0,76–1,5 мкм), средний и дальний ИК (1,5 мкм – 1,0 мм), сверхвысокочастотный (СВЧ, 1,0 мм – 1,3 м). СВЧ диапазон принято делить на три основных поддиапазона: миллиметровый (1–10 мм), сантиметровый (1–10 см) и дециметровый (10–130 см). В зарубежной литературе широко используются два СВЧ поддиапазона, которые принято называть как L-диапазон (15,8–63 см) и P-диапазон (63–100 см).

Реальный участок спектра, выбираемый для изучения объекта окружающей среды, определяется многими обстоятельствами, такими как поглощение и рассеяние электромагнитных волн атмосферой Земли, а также их взаимодействием с земными покровами и водными объектами. Атмосфера является чрезвычайно ограничивающим фактором для выбора рабочего диапазона в задачах дистанционного мониторинга. Например, в принципе диапазон дециметровых волн может применяться для глубинного зондирования с использованием самолетов-лабораторий, но его применение затруднено в космических системах из-за того, что земная ионосфера является экраном этих волн. Аналогичная ситуация имеет место в случае ультрафиолетового излучения, которое интенсивно поглощается газами атмосферы. Другими словами, возникает вопрос о прозрачности атмосферы в конкретном диапазоне длин волн. Так, например, некоторые волны инфракрасного и субмиллиметрового диапазонов волн интенсивно поглощаются парами воды, что практически исключает их из рассмотрения в качестве «инструмента» дистанционного зондирования. Облака сильно ослабляют световое излучение и препятствуют наблюдению земной поверхности из космоса на многих территориях.

Знание функции пропускания атмосферы в конкретных синоптических и географических условиях является ключевой задачей при синтезе систем дистанционного мониторинга. Как правило, эта задача решается в процессе проведения измерений. Для этого к основным каналам излучений присоединяют один или несколько каналов, исполь-

зующих волны, которые относительно сильно поглощаются или рассеиваются различными компонентами атмосферы. По эффекту ослабления этих волн определяется содержание соответствующего компонента на различных высотах (или интегральное содержание, в зависимости от задачи). На основе этих дополнительных данных вводится поправка в результаты измерений по основным каналам.

Указанные физические особенности дистанционного зондирования окружающей среды присущи СВЧ и УКВ диапазонам волн, составляющих основу радиофизических систем геоинформационного мониторинга. Использование этих систем позволило решить многие задачи оперативной идентификации природных явлений и развить новые методики и технологии дистанционной диагностики природных и природно-техногенных систем окружающей среды [1, 3, 4, 11, 14]. В частности, именно эти методы позволили развить конструктивную технологию дистанционной диагностики земных покровов с определением содержания влаги в почве и растительном покрове с высокой точностью. Не до конца решенной здесь, например, остается задача повышения пространственного разрешения. Также до настоящего времени слабо изучен вопрос об ослаблении радиоволн в снегопадах, а это не позволяет осуществлять диагностику важного элемента биосферного влагооборота. Согласно работе [9], зависимость между коэффициентом ослабления радиоволн в снегопаде γ_s и эквивалентной (по количеству жидкой воды) интенсивностью снегопада I_s может быть аппроксимирована линейной функцией $\gamma_s = m_s I_s$, где величина коэффициента m_s зависит от длины волны и влагосодержания снега. Проблема состоит в изучении этой зависимости.

Радиофизический мониторинг влажности почвы

Почвенная влага делится на прочно связанную, рыхло связанную и свободную. Связанная влага – это вода, адсорбированная поверхностью частиц грунта и имеющая вид пленки толщиной до 6–8 молекулярных слоев. Объем связанной влаги в почвенном слое

определяется типом грунта и колеблется в широком интервале от 2–3 % для песчаных почв до 30–40 % для глинистых и лессовых почв [10]. Связанная вода недоступна для растений и не влияет на солевой режим почвы. Поэтому система мониторинга должна осуществлять такое разделение влаги в почве.

Влажность почвы выражают в процентах от веса сухой почвы. Радиационные модели увлажнения почво-грунтов различных типов, учитывающие плотность грунта, его температуру и соленость, детально изучены [10, 12]. Наиболее информативными в этой задаче оказались длины волн 2,25, 18 и 30 см. Модель СВЧ-излучения земного покрова в условиях неоднородно увлажненного поверхностного слоя основана на наличии вертикальной неоднородности коэффициента диэлектрической проницаемости: $\varepsilon \cong (1 + 0,5\rho_s)^2$. Величина ε является информативным индикатором изменения влажности почвы. С увеличением влажности почвы ε возрастает сначала медленно, если грунт был сухим, затем более быстро. Слабая зависимость ε на этапе начального увлажнения объясняется тем, что связанная влага характеризуется малой диэлектрической проницаемостью. Многообразие экспериментальных зависимостей ε от типов почв и размеров увлажнения представлено в работе [10]. Обладание такой базой знаний и привлечение ГИМС-технологии [5, 6] позволяет решать задачу диагностики влагосодержания W_s почвенного слоя. По существу задача сводится к восстановлению функции $W_s(z)$, для которой известны значения $W_{si} = W_s(z_i)$, измеренные дистанционно или on-site, и если она удовлетворяет условиям

$$\partial W_s / \partial z \Big|_{z=0} \leq C, \quad 0 \leq W_s(z) \leq K_s(z), \quad (1)$$

где $K_s(z)$ – заданная функция.

При этом погрешности измерений имеют известный закон распределения.

Практика показала, что независимо от климатической зоны для приемлемой точности восстановления вертикального профиля влажности в метровом слое необходимо использовать СВЧ-радиометры 10 и 27 см при измерении влажности W_{s1} поверхностного слоя почвы и иметь априорную информацию о

ее воднофизических свойствах в виде средних значений влажности на горизонтах 50 см (W_{s2}) и 100 см (W_{s3}) [7]. Тогда принимается аппроксимация $W_s^*(z) = az^3 + bz^2 + cz + d$, неизвестные коэффициенты которой находятся традиционным способом из условия минимума функционала среднеквадратического отклонения

$$\sum_{i=1}^3 [W_s(z_i) - W_s^*(z_i)]^2 = \min.$$

При этом необходимо выполнить ограничения (1).

Этот подход позволяет по данным СВЧ-радиометрических измерений, например, с борта самолета-лаборатории, определять на больших площадях запас влаги в метровом слое почвы с погрешностью не более 0,05 г/см³ при биомассе растительного покрова менее 2 кг/м² и с погрешностью до 0,07 г/см³ при биомассе более 2 кг/м².

Знание функции $W_s(z)$ позволяет использовать модель водного баланса территории для восстановления динамических характеристик почвы и других элементов водного баланса как функций геофизических и экологических параметров. Важным уточнением такой модели является экспериментальная оценка толщины верхнего слоя почвы, на нижней границе которого по оценкам Шутко [10] через 6 дней после дождя или полива происходит разрыв капиллярных связей. Характерная толщина этого пересушенного слоя колеблется в интервале 3–5 см. Оценки коэффициента отражения волн СВЧ-диапазона от этого слоя приведены в табл. 1.

Задача выбора оптимального диапазона электромагнитного излучения и синтеза на этой основе эффективной методики измерения содержания влаги в почве, безусловно, требует дополнительного исследования условий формирования полей излучения в системе «атмосфера–почва–растительность».

На рис. 1 дан образец применения СВЧ-радиометрии и методов пространственной интерполяции в задаче мониторинга сельскохозяйственных полей с целью картирования влажности почвы. Такие задачи решались с помощью размещения на борту самолета или вертолета двух радиометров диапазонов 18 и

**Коэффициенты отражения волн микроволнового диапазона
от почвы в условиях различного увлажнения**

Содержание влаги, г/см ³	Толщина слоя почвы, см				
	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0
Длина волны 18 см					
0,001	0,98	0,94	0,95	0,96	0,97
0,02	0,91	0,92	0,93	0,95	0,97
0,05	0,88	0,89	0,92	0,95	0,96
0,1	0,82	0,84	0,89	0,95	0,96
0,2	0,73	0,76	0,85	0,94	0,95
0,3	0,65	0,69	0,83	0,94	0,93
0,4	0,59	0,64	0,82	0,94	0,93
0,5	0,53	0,59	0,82	0,92	0,92
Длина волны 27 см					
0,001	0,93	0,93	0,94	0,95	0,96
0,02	0,91	0,91	0,92	0,93	0,96
0,05	0,88	0,88	0,89	0,92	0,96
0,1	0,82	0,83	0,85	0,89	0,96
0,2	0,72	0,73	0,78	0,85	0,96
0,3	0,64	0,66	0,73	0,83	0,95
0,4	0,57	0,59	0,69	0,82	0,94
0,5	0,52	0,55	0,66	0,81	0,92

27 см. Регистрация радиотеплового излучения почв осуществлялась с высоты $H \approx 200$ м по параллельным трассам. Многочисленные опыты в различных климатических условиях (Молдавия, Украина, Подмосковье, Болгария, Куба, Вьетнам, США и др.) показали, что применение ГИМС-технологии позволяет для конкретных геофизических условий, согласно схеме рис. 2, найти практически целесообразный режим измерений. В частности, в приводимом примере для восстановления пространственного распределения влажности почвы с точностью до 20 % необходимо было разместить трассы полетов измерительной лаборатории с расстоянием между ними не более 500 м. Временной режим измерений при ошибке синоптического прогноза на 10 % и интенсивности осадков на 15 % и ожидаемой точности оценки влажности почвы до 50 % состоял в ежемесячном проведении полетов лаборатории.

**Имитационная система для мониторинга
регионального водного баланса**

В качестве основы предлагаемой методики синтеза имитационной системы для мониторинга регионального водного балан-

са (ИСМРВБ) выберем ГИМС-технологию [6]. Ее смысл заключен в простой формуле: ГИМС = ГИС+Модель. Эта формула обеспечивает организацию адаптивного режима проведения полевых измерений. На рис. 2 показана схема попеременного использования режимов моделирования и измерения при организации такого мониторинга.

Основой ИСМРВБ, обеспечивающей системный анализ экспериментальных модельных данных, должны быть совокупности взаимосвязанных моделей физических, химических и биологических процессов в зоне функционирования мезомасштабного гидрофизического объекта. Следуя ГИМС-технологии, в структуре ИСМРВБ выделим совокупность блоков, отвечающих самостоятельным функциям и взаимосвязь между которыми реализуется через информационные параметрические входы и выходы. В такой реализации замена некоторых блоков или организация их дублирования не влияет на другие блоки и, следовательно, не требует дополнительных согласований внутри системы. Безусловно, такое расчленение ИСМРВБ на блоки носит достаточно произвольный характер. На рис. 3 представлено одно из таких решений.

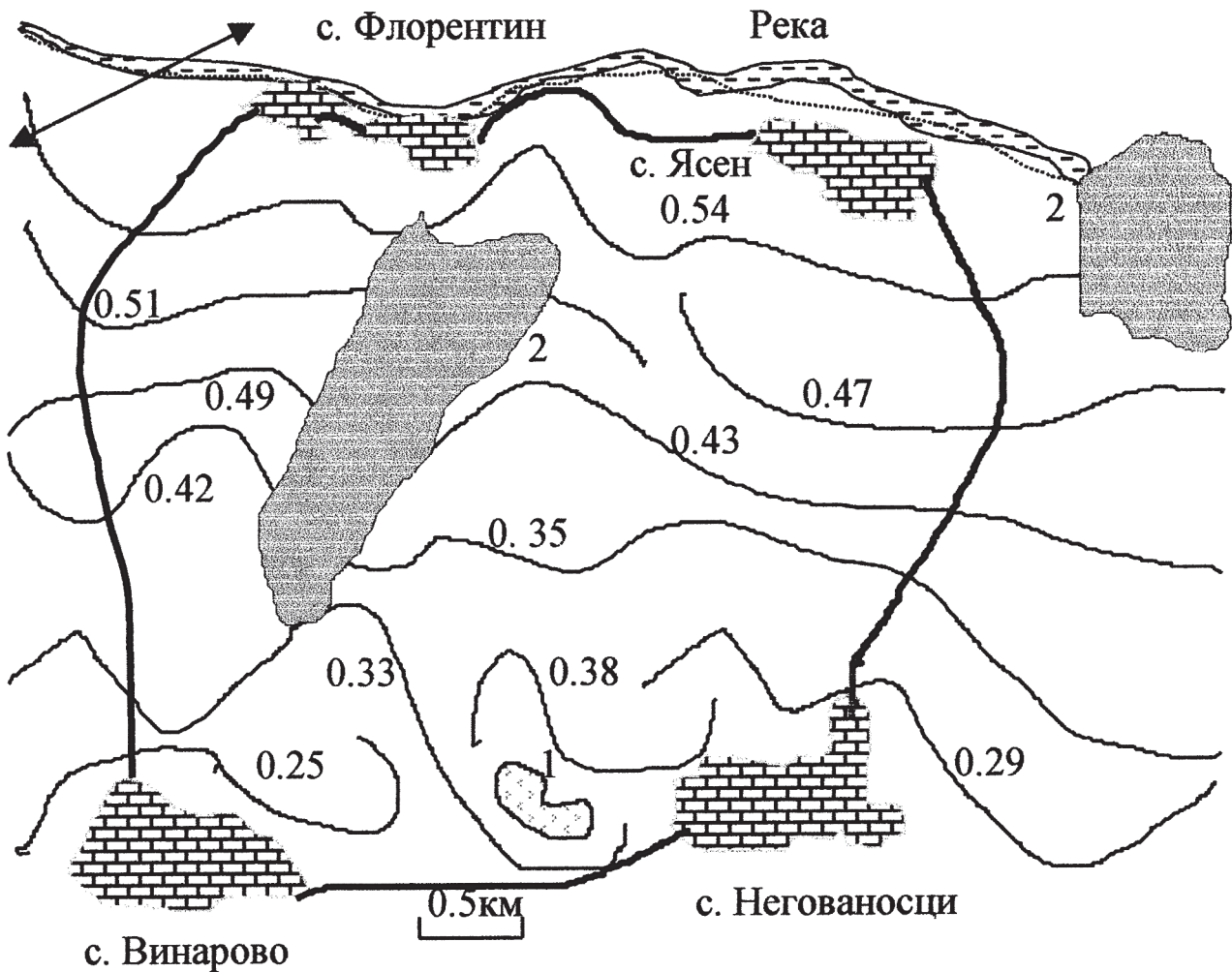


Рис. 1. Пример применения ГИМС-технологии к задаче СВЧ-радиометрического картирования влажности почвы в Болгарии в начале мая. На линиях одинаковой влажности указаны значения в г/см³. Обозначения: – луг, – пруд. Направление полетов самолета-лаборатории указано стрелкой

Указанное разбиение моделирующей системы на блоки соответствует замкнутым частям задачи расчета физико-химических характеристик водной среды, составляющей данный гидрофизический объект. Согласование блоков и информационных потоков между ними по критерию вход/выход контролируется блоком КФБ, и только этот блок может позволять какие-либо отклонения в уже согласованной жесткой структуре связей ИС-МРВБ. Эти отклонения частично реализуются автоматически с промежуточным запросом разрешения оператора, а частично оператору позволяет их сконструировать. В частности, если вход блока не обеспечен информацией от других блоков, система автоматически переключает его на базу знаний или базу дан-

ных, где имеется необходимая информация «по умолчанию».

ИСМРВБ обладает свойствами универсальности с возможностью предметной адаптации. Для реализации этой возможности вся территория гидрофизического объекта описывается множеством

$$\Omega = \{(\varphi, \lambda): \varphi_1(\varphi, \lambda) \leq \varphi \leq \varphi_2(\varphi, \lambda), \lambda_1(\varphi, \lambda) \leq \lambda \leq \lambda_2(\varphi, \lambda)\},$$

где φ – широта;
 λ – долгота.

Под поверхностью Ω образуется множество пикселей

$$\Xi = \{(\varphi, \lambda, Z): (\varphi, \lambda) \in \Omega, Z_1(\varphi, \lambda) \geq Z\},$$

где Z – глубина;

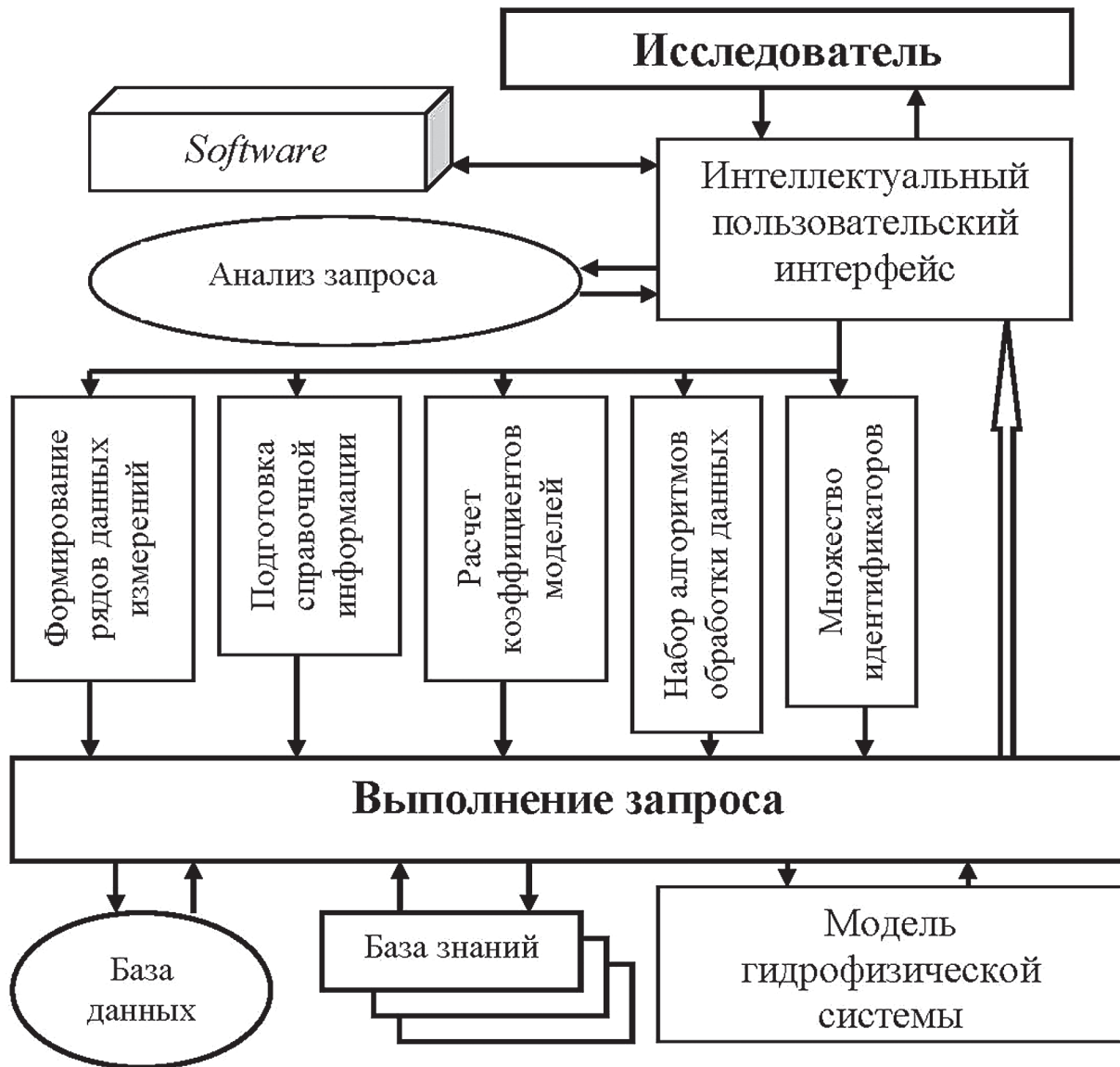


Рис. 2. Принципиальная схема организации гидрофизического эксперимента с использованием адаптивного режима моделирования

Z_1 – уровень грунтовых вод.

Пространство Ξ делится на пространственные пиксели $\Xi_{ijk} = \{(\varphi, \lambda, z): \varphi_i \leq \varphi \leq \varphi_{i+1}; \lambda_j \leq \lambda \leq \lambda_{j+1}; Z_k \leq Z \leq Z_{k+1}; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m; k = 1, \dots, s\}$. Величины $\Delta\varphi = \varphi_{i+1} - \varphi_i$, $\Delta\lambda_j = \lambda_{j+1} - \lambda_j$ и $\Delta Z_k = Z_{k+1} - Z_k$ являются свободными параметрами, выбор которых зависит от пользователя и его информационной базы.

Блок МСВБ описывает водный баланс непосредственно всего региона Ω . В расчетах учитываются корреляции и оценки, усредняющиеся по локальным территориям, прилегающим к Ω . Совершенно очевидно, что возможная нестационарность климатической обстановки и изменчивость структуры зем-

ных покровов требуют более подробного отражения в уравнениях водного баланса роли детального описания климатических параметров и морфологии элементов, участвующих в испарении воды.

Основой модели водного баланса региона может быть типовая модель регионального баланса влаги на ограниченной территории [13]. Каждая территория $\Delta\varphi \Delta\lambda$ может иметь часть речной сети, водоемов и участков суши. Согласно ландшафтно-гидрологическому принципу для построения имитационной модели в зоне функционирования гидрологической системы необходимо выделение фаций, что связано с типизацией

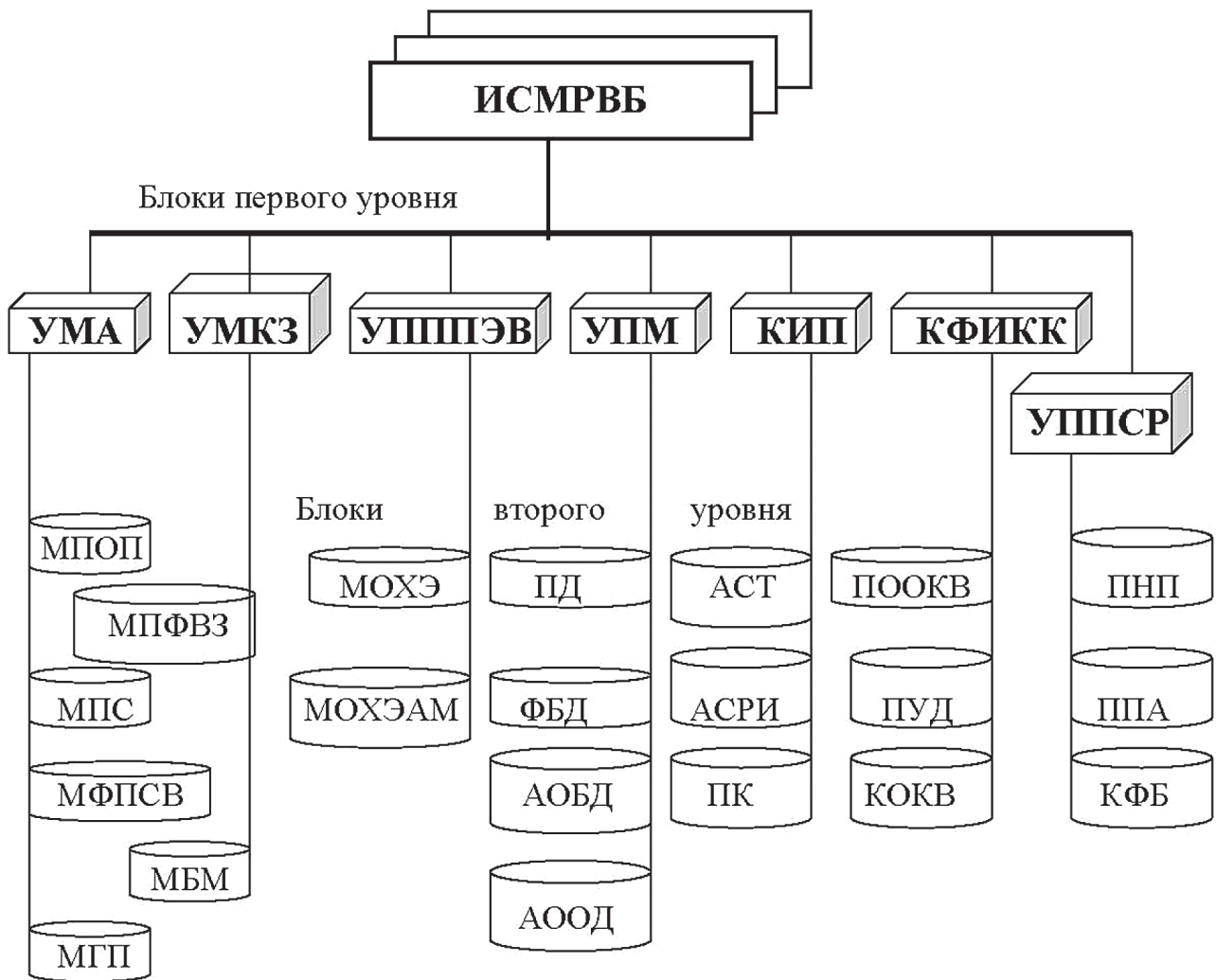


Рис. 3. Блок-схема ИСМРВБ. Описание блоков дано в табл. 2

флористического фона, конкретный вид которого обуславливается микрорельефом, типом и свойствами почвы, поверхностным увлажнением, глубиной залегания грунтовых вод и другими факторами.

Так что, в общем случае, прилегающая территория Ω_L характеризуется наличием m фаций, а водоводная сеть имеет n однородных участков. С учетом этого формируется замкнутая система балансовых уравнений [5], которая используется для вычислений объемов потоков воды между выделенными на схеме рис. 4 резервуарами. Зависимости потоков от геофизических параметров детально описаны в [5, 6].

Адаптация модели к конкретному региону осуществляется через переменные E, R, Y, Γ, I, Z . Кроме того, при анализе реальной ситуации могут быть дополни-

тельно учтены конфигурация водотока и уровень водоема. Необходимые уравнения записываются исходя из условия баланса объема воды. Функциональные представления для всех потоков схемы рис. 4 записаны на основе законов гидродинамики и с учетом имеющейся экспериментальной информации [10]. Приток E_{ij} и отток R_{ij} влаги определяются по данным дистанционного мониторинга.

В промежутках между измерениями используется оперативная информация о скорости ветра с учетом атмосферной влаги на наветренной границе региона.

Сведения об осадках и стоке входят в информационные каталоги гидрометеослужб. На основе этих данных построены соответствующие блоки модели. Также имеется спутниковая информация о пространственном

Краткая характеристика функций блоков ИСМРВБ

Блок	Функции блока
УМА	Управление моделями и алгоритмами описания гидрофизических процессов.
УМКЗ	Управление моделями кинетики химических элементов в морской воде.
УПППЭВ	Управление процессами параметризации потоков энергии вещества в системе «атмосфера–море–суша».
УПМ	Управление процедурами моделирования и синтеза сценариев, чтобы описать характеристики антропогенных процессов в зоне функционирования гидрофизического объекта.
КИП	Контроль информационных потоков в ИСМГЭ.
КФИКК	Контроль за формированием и использованием критериев качества водной среды.
УППСР	Управление процедурами принятия статистических решений.
МПОП	Модель приливно-отливных процессов.
МСВБ	Модель составляющих водного баланса региона.
МПС	Модель поверхностного стока.
МФПСВ	Модель формирования потоков сточных вод.
МГП	Модель гидрофизических процессов.
МПФВЗ	Моделирование процессов физического взаимодействия загрязнителей морской воды.
МБМ	Моделирование биофизических механизмов трансформации химических элементов в морской воде.
МОХЭ	Модель взаимного обмена химическими элементами между акваториями гидрофизического объекта и открытой частью моря.
МОХЭАМ	Моделирование процессов обмена химическими элементами между атмосферой и морской поверхностью.
ПД	Описание официальных паспортных данных сельскохозяйственных, промышленных и муниципальных систем с указанием специфики их деятельности, объемов выбрасываемых в окружающую среду загрязняющих веществ, режимов выбросов и прогнозных оценок изменения масштабов деятельности на ближайшее время. Формирование эталонов и возможных спектров ожидаемых потоков загрязнителей в акваторию через атмосферу, сточные воды и поверхностный смыв.
ФБД	Формирование фрагментов базы данных на основе официальной информации о реально генерируемых объемах загрязнений в атмосферу и морскую среду.
АОБ1	Алгоритм обновления базы данных с учетом поступления справочной информации от административных и природоохранных органов, обеспечивающий коррекцию этих данных и формирование их вероятностных распределений для использования при решении задачи предупреждения о возможных чрезвычайных ситуациях.
АООД	Алгоритмы обработки официальных данных, заносимых в базу данных, обеспечивающих установление корреляционных зависимостей между параметрами функционирования антропогенных систем и позволяющих оценить уровень достоверности этих данных.
АСТ	Алгоритмы синтеза образа территории, влияющей на акваторию и учитывающих набор заложенных в базу знаний ИСМГЭ идентификаторов структуры территории, пространственные распределения различных геофизических, социально-экономических, синоптических, топографических и морфологических характеристик.
АСРИ	Алгоритмы, обеспечивающие согласование разнородной информации, чтобы подготовить необходимую отчетную документацию.
ПК	Процедуры контроля выполнения замеченных в базе знаний критериев качества воды.
ПООКВ	Процедура оперативного оценивания качества воды с выдачей необходимой документации.
ПУД	Процедуры учета данных лабораторных анализов качества воды.
КОКВ	Комплексная оценка качества воды.
ПНП	Процедура Неймана-Пирсона принятия статистических решений.
ППА	Процедура последовательного анализа и принятия статистических решений.
КФБ	Контроль функционирования блоков ИСМГЭ.

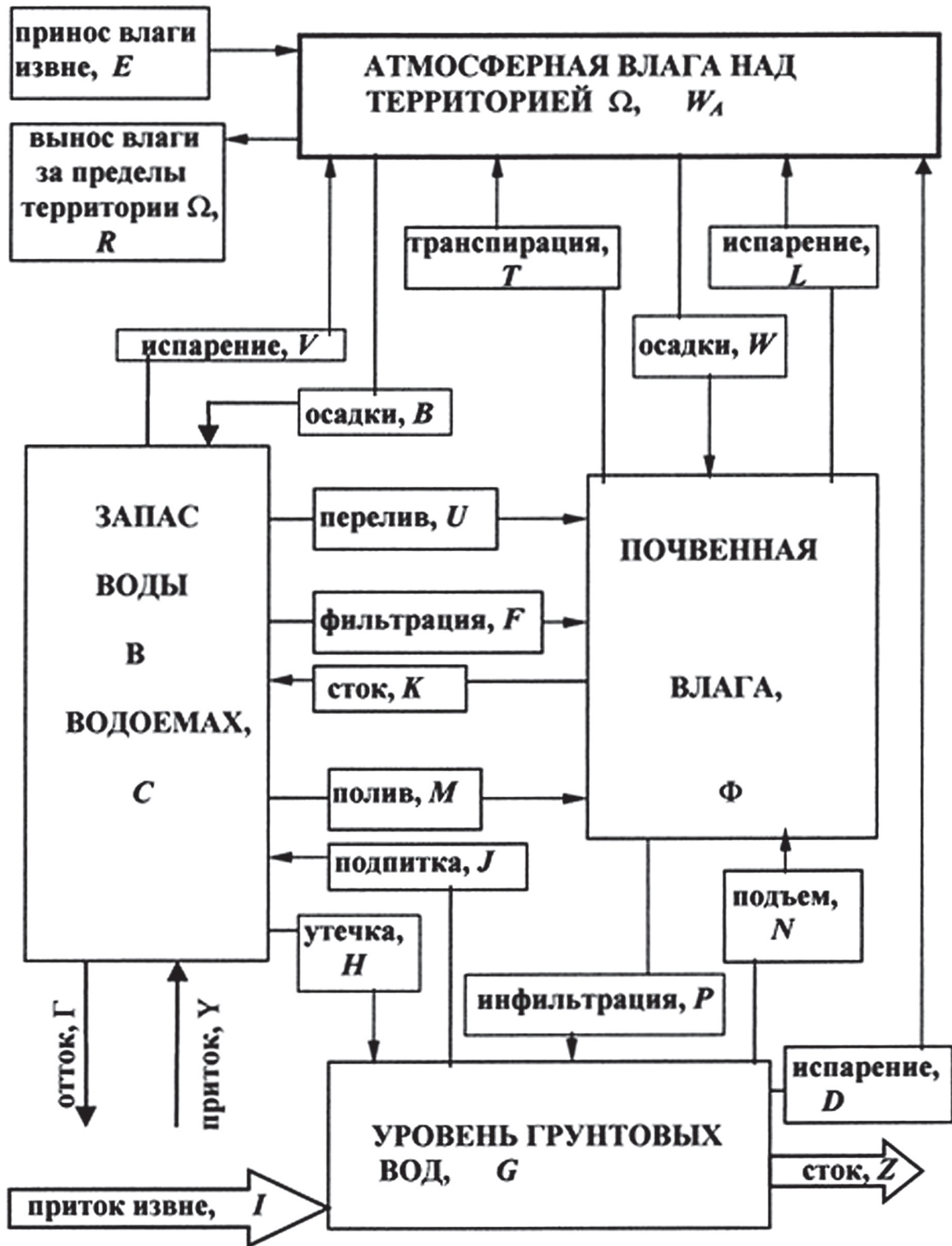


Рис. 4. Блок-схема типовой модели водного баланса ограниченной территории

распределении осадков и особенностей растительных покровов.

Как видно из схемы рис. 4, определение содержания влаги в почве наряду с прямыми измерениями с помощью регистрации ее собственного излучения возможно на ос-

нове косвенных данных, получаемых из модели. В частности, при наличии растительного покрова в виде леса использование широко известных индикаторов LAI и NDVI помогает рассчитать содержание воды в пологе леса ($\text{кг}/\text{м}^2$) по одной из следующих формул:

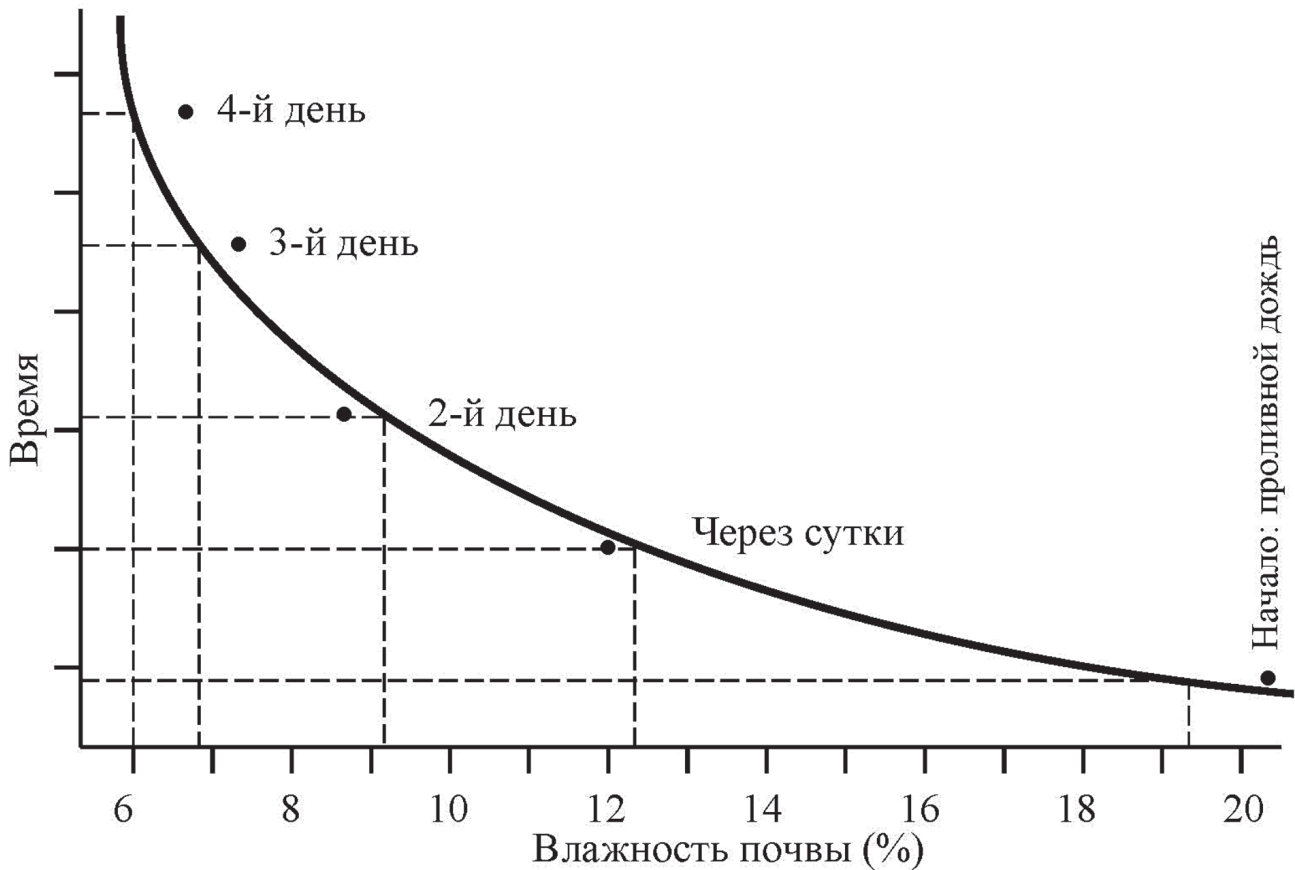


Рис. 5. Результаты реконструкции с помощью ИСМРВБ уровня влажности почвы после дождя в зоне р. Rusenski Lom (Болгария) по результатам микроволнового мониторинга в динамике изменения в течение 4-х суток [8]. Точками отмечены значения влажности почвы, измеренные наземными средствами

$$m_v = \begin{cases} 1,9134(NDVI)^2 - 0,3215(NDVI) & \text{когда } NDVI \leq 0,5; \\ 4,2857(NDVI)^2 - 1,5429 & \text{когда } NDVI > 0,5. \end{cases}$$

$$m_v = \beta \cdot LAI$$

где NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – показатель относительной яркости растительного полога, рассчитываемый по данным измерений в двух каналах радиометра высокого разрешения AVHR (Advanced Very High Resolution Radiometer);

LAI (Leaf Area Index) – показатель важного структурного свойства растительного полога, отражающего долю площади листового покрова.

Индекс площади листа LAI измеряется, как прямыми, так и косвенными методами. Прямой метод основан на использовании специализированных измерителей, таких как

LAI-2000. Косвенный метод основан на расчете разности освещенности на поверхности полога и на уровне почвы под пологом. При этом возможен расчет LAI при решении обратной задачи с использованием корреляционных связей LAI с другими характеристиками растительности. Одной из таких зависимостей является широко применяемая многими авторами формула зависимости между первичной продукцией (PP – primary production) и показателем перехвата энергии солнца пологом леса

$$PP = PP_{\max} (1 - e^{-cLAI}),$$

где c – удельный коэффициент фотосинтеза (который часто приравнивается 1 или $0.5/\cos\theta$,

θ – зенитный угол солнца).

В свою очередь PP непосредственными измерениями NDVI со спутников может

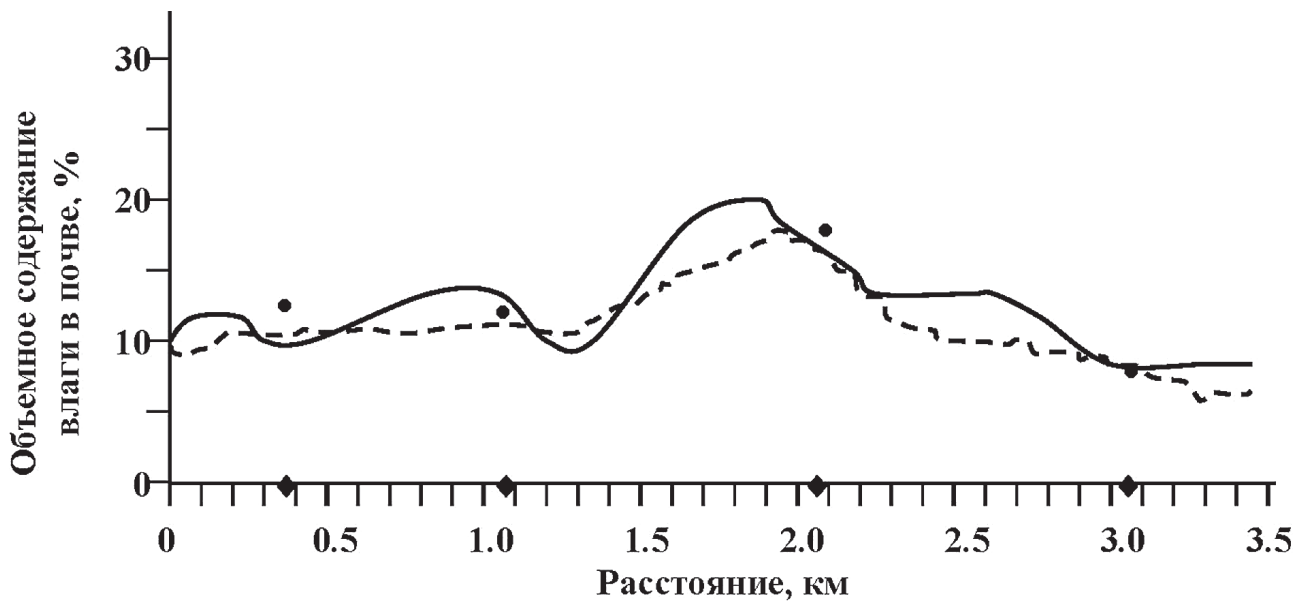


Рис. 6. Сравнительный анализ результатов реконструкции влажности почвы с помощью ИС-МРВБ (сплошная кривая), по данным микроволнового мониторинга (пунктирная кривая) и результатов наземных измерений (расположение мест замеров помечено знаком ♦) по фрагменту трассы полета самолета-лаборатории фирмы «Miramar» 2 августа 2007 г. вблизи села Николово (Болгария) (через сутки после проливного дождя) [8]

быть рассчитана по соответствующим моделям, где

$$NDVI = (a_n - a_v) / (a_n + a_v),$$

a_n и a_v — полусферические яркости в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах, конкретизируемых в зависимости от используемого сенсора. При измерениях с помощью AVHRR используются первый (0,58–0,68 мкм) и второй (0,725–1,1 мкм) каналы радиометра. Глобальная база оценок NDVI с пространственным разрешением 5км×5км создана с помощью серии спутников NOAA, оснащенных радиометрами типа AVHRR. По сетке 1°×1° ряды NDVI созданы с месячным разрешением во времени.

Расчет гидрологических характеристик на основе данных дистанционного мониторинга

Летом 2007 г. Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова выполнил работы по внедрению ГИМС-технологии [8] на территории Болгарии для создания элемента национальной службы по контролю развития гидрологических процессов. Измерения проводились с помощью самолета-ла-

боратории голландской фирмы Miramar, оборудованного радиометрами диапазона 6 и 21 см производства НПО «Вега».

Самолет Компании «Мирамап» прилетел из Голландии в Болгарию в конце июля 2007 г. и выполнил требующуюся съемку выбранных районов 30 июля, 31 июля и 2 августа. Погода благоприятствовала работе: 30 и 31 июля было сухо и солнечно, а 1 августа полил проливной дождь и 2 августа был произведен полет над теми же участками, что и 31 июля, но эти участки были исключительно сильно увлажнены. Таким образом, за краткий трёхдневный период была накоплена представительная информация о динамике увлажнения и переувлажнения земель в районах рек и водохранилищ.

Полученные результаты обрабатывались с помощью ИСМРВБ (рис. 5–7). Входными данными были: оцифрованные топографические карты с разрешением 9Ч9 м, метеорологические данные на момент проведения измерений, классификационные карты почвенно-растительных формаций. Полученные результаты верифицировались с использованием контрольных данных наземных измерений (рис. 6 и 7). Видно, что расхождение

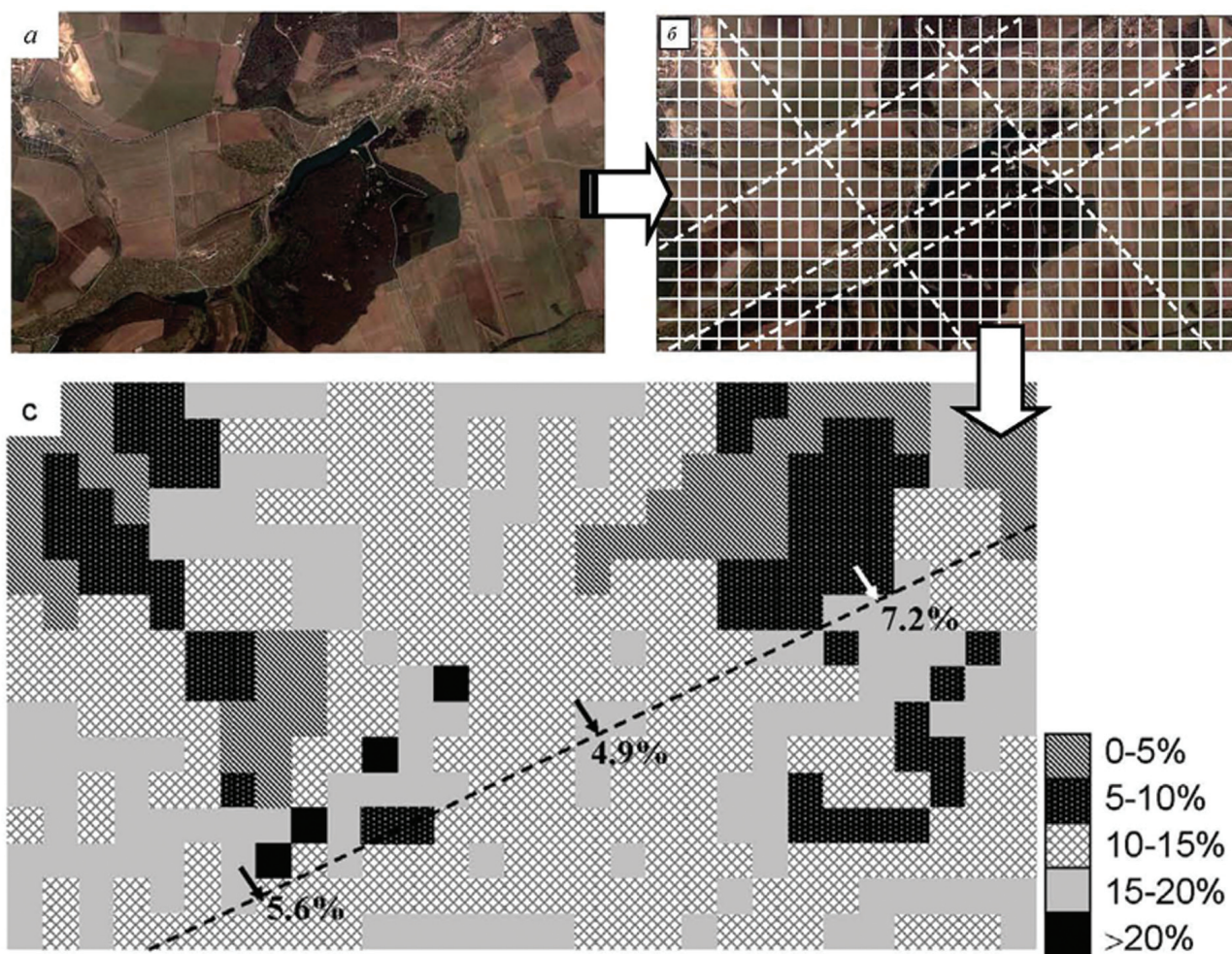


Рис. 7. Этапы реализации процедуры мониторинга влажности почвы в окрестностях села Николово (Болгария) с использованием наземных, дистанционных и вычислительных экспериментов. Пространственное разрешение 250 м. Стрелками указаны места наземных измерений влажности почвы. Пунктирными линиями указаны трассы полета самолета-лаборатории [8]

между результатами реконструкции влажности почвы различными методами около 5 %.

Опыт экспериментальных исследований с применением описанной здесь методики показал, что совмещение прямых эпизодических измерений влажности почвы и математического моделирования позволяет оптимизировать процедуру непрерывного мониторинга элементов регионального водного баланса, достигая высокого уровня надежности результатов и значительно экономя материальные затраты. Этот вывод подтверждается, в частности, исследованиями [15, 16]:

- Шестилетние многоспектральные исследования суши и водных объектов на

международных полигонах в 80-х гг. в России, Азербайджане, Польше, Венгрии, Вьетнаме, Восточной Германии и на Кубе в рамках Совета АН СССР «Интеркосмос» для разработки научных методик и технологий практического использования приборов дистанционного зондирования;

- Двухлетние работы по картированию зон утечки воды из Кара-Кумского канала в Туркмении длиной более 1000 км и других ирригационных каналов в Узбекистане в 80-х годах в рамках Проекта по переброске части вод сибирских рек в Среднюю Азию в бывшем СССР (Доклад результатов съемки Правительственной Комиссии СССР);

• Участие в 80-х гг. в выполнении работ по Постановлению Правительства СССР о проведении опытно-конструкторской работы «Радиус» по созданию промышленных образцов самолетных СВЧ-влагомеров на базе сканирующих радиометров, работающих на длинах волн 2 см, 5,5 см, двухлучевого радиометра 21 см диапазона и однолучевого радиометра 43 см диапазона (ОКР с участием АН СССР, МРП, МГА, Госстандарта, Минводхоза и Минсельхоза);

• Разработка и адаптация СВЧ-радиометрических технологий на территории Болгарии для определения влажности почв и загрязнения водных объектов с борта самолетов и вертолетов в 90-х гг. (Контракт с Комитетом «Внештехника» с участием организаций СО «ССХМ», Института Гидротехники и Мелиорации, Института электроники и Институт океанологии БАН);

• Организация в 2005 г. в Голландии, Ноордвийк, Компании по СВЧ-радиометрическому картированию «Мирамап» для организации ГИМС с целью мониторинга зон утечки воды через ирригационные сооружения и выявления зон с опасно высоким уровнем грунтовых вод (грант Европейского космического агентства на разработку российских сканирующих СВЧ-радиометров и проведение тестовых полетов).

Библиографический список

1. Арманд, Н.А. Методы обработки данных радиофизического исследования окружающей среды / Н.А. Арманд, В.Ф. Крапивин, Ф.А. Мкртчян. – М.: Наука, 1987. – 272 с.
2. Бородин, Л.Ф. Устройство обработки сигналов многоканальной микроволновой системы измерения параметров земной поверхности / Л.Ф. Бородин, В.Д. Бурков, В.Ф. Крапивин, А.С. Миронов и др. // Экологические системы и приборы, 2008. – № 6. – С. 8–12.
3. Бородин, Л.Ф. Дистанционные измерения характеристик земной поверхности / Л.Ф. Бородин, В.Ф. Крапивин // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 1998. – № 7. – С. 38–54.
4. Бородин, Л.Ф. Поиск и идентификация чрезвычайных экологических и техногенных ситуаций / Л.Ф. Бородин, В.Ф. Крапивин, Г.Б. Гольфельд, Н.А. Назарян // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 1997. – № 10. – С. 2–19.
5. Крапивин, В.Ф. Глобальные изменения окружающей среды: эоинформатика / В.Ф. Крапивин, К.Я. Кондратьев // СПб.: С-Пб гос. ун-т, 2002. – 724 с.
6. Крапивин, В.Ф., Потапов И.И. Методы эоинформатики / В.Ф. Крапивин, И.И. Потапов. – М.: ВИНТИ, 2002. – 496 с.
7. Мкртчян, Ф.А. Оптимальное различение сигналов и проблемы мониторинга / Ф.А. Мкртчян. – М.: Наука, 1982. – 185 с.
8. Солдатов, В.Ю. Многофункциональная информационно-моделирующая система для гидрофизического эксперимента. Дисс. ... канд. наук / В.Ю. Солдатов. – М.: Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН. – 2011. – 150 с.
9. Труханова, Л.П. О возможности прогнозирования ослабления миллиметровых и оптических волн в снегопадах на горизонтальных трассах / Л.П. Труханова, В.Н. Пожидаев // Радиотехника и электроника. – 1986. – № 12. – С. 2324–2329.
10. Шутко, А.М. СВЧ-радиометрия водной поверхности и почвогрунтов / А.М. Шутко. – М.: Наука, 1987. – 190 с.
11. Яковлев, О.И. Космическая радиофизика / О.И. Яковлев. – М.: Наука, 1998. – 432 с.
12. Engman, E.T., Chauhan N. Status of microwave soil moisture measurements with remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 1995, 51, No 1, pp.189 – 198.
13. Nitu, C., Krapivin V.F., and Bruno A. System modelling in ecology. Printech, Bucharest, 2000, 260 pp.
14. Sellers, P.J., Meeson, B.W., Hall, F.G. and et al. Remote sensing of the land surface for studies of global change: models – algorithms – experiments. *Remote Sensing of Environment*, 1995, vol. 51, No. 1, pp. 3–26.
15. Shutko, A.M., Haldin A., Krapivin V., Novichikhin E., Sidorov I., Tishchenko Yu., Haarbrink R., Georgiev G., Kancheva R., Nikolov H., Coleman T., Archer F., Pampaloni P., Paloscia S., Krisilov A., and Carmona A. (2007). Microwave radiometry in monitoring and emergency mapping of water seepage and dangerously high groundwaters // *J. of Telecommunications and Information Technology*. – № 1. – P. 76–82.
16. Shutko, A.M., Krapivin V.F., Haarbrink R.B., Sidorov I.A., Novichikhin E.P., Archer F., and Krisilov A.D. Practical Microwave Radiometric Risk Assessment. – Sofia, Bulgaria: Professor Marin Drinov Academic Publishing House. – 2010. – 88 pp.
17. Soldatov, V.Yu., Krapivin V.F., Borodin L.F., Startsev A.A. Direct and inverse problems of the microwave monitoring of the environment. Proceedings of the Eighth International Symposium “Eoinformatics Problems”, 16-17 December 2008, Moscow. The Moscow Sciences Engineering A.S. Popov Society for Radio, Electronics and Communication, Moscow, 2008, pp. 19–25.

РОЛЬ И МЕСТО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА В СИСТЕМЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Н.А. ХУТОРОВА, доц. каф. стратегического маркетинга МГУЛ, канд. экон. наук

khutorova@mgul.ac.ru

На рубеже тысячелетий человечество оказалось перед своеобразным Рубиконом, когда необходимо сделать выбор дальнейшего пути развития. Все больше ученых и исследований предупреждают человечество об усилении ряда опасных для нас тенденций, среди которых ухудшающееся состояние окружающей среды, глобальное потепление, рост выбросов парниковых газов и других отходов, деградация экосистем. Важность данных проблем в настоящее время уже осознали не только ученые, но и государства, бизнес и, самое главное, общество, что нашло выражение в формировании концепции или даже парадигмы устойчивого развития.

Парадигма устойчивого развития связывает воедино окружающую среду, общество и экономику. При реализации модели развития, основанной на этой парадигме, центральное место занимает человек, а ключевыми целями являются интенсивное и сбалансированное развитие экономики и *ответственное управление* окружающей природной средой. Выделяют три составляющих устойчивого развития: экономической, экологической и социальной устойчивости, каждая из которых одинаково важна. [1]. Концепция устойчивого развития предполагает возможность и необходимость удовлетворения разумных потребностей современного общества ради процветания будущих поколений. Экологически устойчивая система должна обеспечивать поддержание природных ресурсов в стабильном состоянии, избегая истощения невозобновляемых ресурсов и снижения экологических функций природных систем. Важно отметить, что истощение невозобновляемых ресурсов допустимо только в той степени, в какой сделаны инвестиции в создание их адекватной замены. Социально устойчивая система должна достичь справедливого распределения материальных благ, адекватного оказания социальных услуг, включая здраво-

охранение и образование, равенства полов, подотчетности государственных структур и участия граждан в управлении ресурсами [2].

Фактически работа над научной концепцией устойчивого развития еще только начинается. Идея концепции заключается в том, что экономические, социальные и экологические аспекты функционирования человеческого общества нужно рассматривать совместно с понятиями «развитие без разрушения», «экоразвитие» [3].

Так, например, Е. Бизяркина в диссертации выделяет основное звено, определяющее характер и темпы движения к устойчивому развитию – *знания* и их создатель и носитель – *наука*. Главной движущей силой формирования экологоориентированной институциональной системы является наука, роль которой в современном обществе непрерывно возрастает. Наука создает новые методы изъятия природных ресурсов, обезвреживания и утилизации отходов человеческой деятельности, восстановления и улучшения состояния природной среды, ее ассимиляционного потенциала. И только наука в состоянии разработать общую концепцию взаимоотношений человека и природы, которая и составит базу формирования эколого ориентированной институциональной системы. [3].

Концепция устойчивого развития предполагает неразрывное сочетание экономической и экологической политики. Экологическая политика играет все более активную роль в экономической стратегии государства и хозяйствующих субъектов. Она охватывает систему мер, направленных на рациональное использование природных ресурсов, их охрану и восстановление внутри страны и за ее пределами. Эта политика проводится как на уровне государства, которое устанавливает законодательные нормы в области охраны окружающей среды, так и на уровне компаний,



Рисунок. Принципы экологического менеджмента (Составлено автором на основе материалов [5])

которые берут на себя обязательства в области корпоративной социальной ответственности [4].

В последние годы все более возрастает роль и значение экологического менеджмента при переходе к устойчивому развитию. Существует целый ряд научных трактовок экологического менеджмента, среди которых стоит выделить те, которые, по нашему мнению, наиболее точно отражают его сущность.

Экологический менеджмент – часть общей системы корпоративного управления, которая обладает четкой организационной структурой и ставит целью достижение положений, указанных в экологической политике государства или компании, посредством реализации программ по охране окружающей среды [5]. Экологический менеджмент – это инициативная деятельность экономических субъектов, оформленная в специальную

систему управления, направленная на сохранение качества окружающей среды, обеспечение нормативно-правовых экологических параметров и основанная на концепции устойчивого развития общества.

На наш взгляд, целесообразно рассматривать экологический менеджмент как инструмент устойчивого развития. В процессе отражения цели и основных задач экологического менеджмента можно оценить его роль место в системе устойчивого развития.

В первую очередь нужно понимать конечную стратегическую цель экологического менеджмента. Она состоит в стабилизации или снижении воздействия на окружающую среду на фоне получения эколого-экономических выгод, а также в снижении уровня экологического риска. Другими словами, цель экологического менеджмента – достижение желаемого, возможного и необходимого состояния окружающей среды как объекта уп-

равления; сведение к минимуму вероятности возникновения экологических кризисов и экологических катастроф [5].

Формулировка основных задач возможна через выражение основных принципов экологического менеджмента (рисунок).

Говоря об экологическом менеджменте, следует отметить, что он подразумевает переоценку современных социально-экономических систем, переосмысление места и роли в них предприятия, отдельно взятого человека, повышение ответственности за любые действия в контексте экологического следа, а также увеличение значимости заботы об окружающей среде и соответственно уменьшение вредного воздействия антропогенной нагрузки на экосистему [6].

Очень важно отметить, что в первую очередь в процессе перехода к устойчивому развитию изменяется роль культуры. Выбор пути развития в пользу сырьевой экономики или экономики знаний определяется не столько знаниями, сколько уровнем культуры общества и отдельно взятого человека [7]. Высокий уровень культуры сам по себе определяет высокий уровень экологической ответственности индивидуума, его стремление к экологизации мышления.

Существует несколько подходов к определению роли и места экологического менеджмента в устойчивом развитии. Так, по мнению ряда ученых, именно посредством экологического менеджмента можно осуществить экологическую модернизацию. Это такая модернизация экономики, которая будет достигнута путем изменений технологий и отраслевой структуры, что повлечет за собой сочетание высокого уровня экономического развития и низкого уровня негативного воздействия на окружающую среду. Достижение таких целей возможно в результате поступательного проведения в жизнь государственной эффективной экологической политики и программы действий, в рамках которых происходит поиск альтернативных инновационных подходов, с учетом экологической ответственности, и введение механизмов их реализации в национальную политику. Основная идея экологической модернизации

состоит в том, что целенаправленное внедрение новых социальных практик может снизить негативное воздействие человечества на окружающую среду. Это даст цивилизации возможность прорыва в будущее, поможет обрести состояние устойчивого развития [8]. Экологическая модернизация – это социальные изменения в соответствии с современными экологическими требованиями и нормами, выполнение которых ведет к решению противоречий между человеком и окружающей средой, обществом и природой [8].

В этой связи можно утверждать, что показателем эффективности экологического менеджмента должно стать снижение уровня экологических рисков, а также неуклонное снижение нагрузки на окружающую среду. При этом должно происходить улучшение финансово-экономического положения хозяйствующего субъекта, выраженное в снижении затрат, увеличении прибыли. Правильно разработанная система экологического менеджмента позволяет эффективно находить возможности снижения затрат – она стимулирует управленческие и технологические инновационные решения, снижающие общую себестоимость продукции или повышающие ее ценность. Возможно извлечение так называемых попутных выгод, среди которых стоит выделить снижение затрат на энергоносители, достигнутое в результате перехода на альтернативные источники энергии, снижение размера премий страховым компаниям, достигнутое за счет снижения экологических рисков, повышение рейтингов и рэнкингов в различных таблоидах, снижение стоимости фондирования на финансовых рынках.

Успех продвижения по пути устойчивого развития определяется экономическими возможностями и осознанием необходимости принятия мер по гармонизации отношений человека и природы.

Таким образом, можно резюмировать, что переход к устойчивому развитию возможен только в результате экологизации сознания общества в процессе экологической модернизации. Наличие поступательного прогресса в этой области налицо, но становятся очевидными и комплексность предмета

устойчивого развития, и важность, и необходимость использования систем экологического менеджмента.

Библиографический список

1. Карпачевский, М.Л. Основы устойчивого лесоправления / М.Л. Карпачевский, В.К. Тепляков, Т.О. Яницкая, А.Ю. Ярошенко / учеб. пос. для вузов. – М., 2009. – <http://window.edu.ru/resource/936/67936/files/u4ebnik.pdf>.
2. Коваленко, В.И. Исследование рынка экологических услуг / учеб. пос. / В.И. Коваленко, Л.М. Кузнецов. – С-Пб., 2007. – <http://window.edu.ru/resource/009/57009/files/engec68.pdf>
3. Бизяркина, Е.Н. Экологически устойчивое социально-экономическое развитие: основы теории и методологии: дисс. ...д-ра экон. наук / Е.Н. Бизяркина. – М., 2008.
4. Птичников, А.В. Добровольная лесная сертификация / учеб. пос. для вузов / А.В. Птичников, Е.В. Бубко, А.Т. Загидуллина и др. – М., 2011.
5. Масленникова, И.С. Экологический менеджмент / учеб. пос. / И.С. Масленникова, Л.М. Кузнецов, В.Н. Пшенин. – С-Пб., 2005.
6. Герасимчук, И. Экологическая практика транснациональных корпораций / И. Герасимчук. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2007. – 92 с.
7. Захаров, В.М. Чем же определяется успех продвижения по пути устойчивого развития? / В.М. Захаров // Бюллетень «На пути к устойчивому развитию России». – № 57. – 2011. – http://www.ecopolicy.ru/upload/File/Bulletins/B_57_rus.pdf.
8. Кулясов, И.П. Экологическая модернизация и устойчивое развитие: теория и практика / И.П. Кулясов // Устойчивое развитие и экологический менеджмент: учеб. пос. – С-Пб.: СПбГУ, 2009. – Ч. 1. – С. 12.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЛЕСНЫХ КЛАСТЕРОВ

Н.Н. ЗЕНИНА, директор по развитию Международного института леса РАН, канд. экон. наук

znn1@yandex.ru

Рассматривая вопрос целесообразности и необходимости формирования лесных региональных кластеров с позиции ситуационного подхода, нам важно определить соответствие этой организационной формы объекту и задачам его функционирования и развития.

Лес является сложным объектом управления. Как объект управления он обладает следующими характеристиками:

– территориальная определенность.

Исходя из этого, проблемы управления лесами невозможно отделить от проблем управления развитием территорий. Кроме того, этим обусловлено разнообразие объекта управления;

– многофункциональность – к функциям/услугам леса относятся

1) поддерживающие: почвообразование, фотосинтез и круговорот питательных веществ;

2) регулирующие, которые воздействуют на климат, наводнения, стихийные бедствия, отходы человеческой жизнедеятельности и качество воды;

3) обеспечивающие: продовольствие, вода, древесина и волокно;

4) культурные: обеспечивают рекреационные, эстетические и духовные потребности. (Из Программы «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» (Millennium Ecosystem Assessment (MEA), 2005). При этом все функции взаимосвязаны и взаимозависимы.

Лес постоянно изменяется: он растет, поражается заболеваниями и вредителями, горит и т.п., все это требует конкретных реакций субъекта.

Жизненный цикл леса продолжительный и последствия принятых решений по его сохранению или изменению, как правило, видит уже следующее поколение людей.

Поскольку лес является объектом деятельности различных групп людей, возникает система многообразных, часто разнонаправленных, целей и интересов, что ведет не только к неэффективному использованию функций леса, но и к его разрушению. Отсюда вытекает необходимость координации деятельности с целью эффективного использования функций леса, что, собственно,

но, и является управлением. Организация системы управления лесом, прежде всего, должна привести к балансу интересов, возникающих при взаимодействии субъектов в процессе использования и воспроизводства функций леса.

Сложность системы управления объектом вообще и организации деятельности, в частности, зависит от структуры объекта и уровня неопределенности проблемных ситуаций, которые возникают в процессе управления им. В зависимости от уровня неопределенности по признаку сложности выделяют стандартные, структуризованные, слабоструктуризованные и неструктуризованные проблемные ситуации.

И. Ансофф определил основные признаки каждой из них: стандартные ситуации характеризуются известным элементным составом и связями между элементами; в структуризованных ситуациях известны только некоторые элементы, однако определены связи между ними; слабоструктуризованные ситуации характеризуются как неопределенным элементным составом, так и нечеткими связями между элементами; неструктуризованные ситуации характеризуются неопределенностью и неформализуемостью [1].

Рассмотрим некоторые аспекты лесных отношений с точки зрения характеристик проблемных ситуаций.

Начиная с 90-х гг. прошлого столетия лесной комплекс страны стремительно теряет позиции в структуре ВВП и в формировании доходной части бюджетов всех уровней. Лесная продукция на международном рынке представлена сырьевыми товарами с низким уровнем добавленной стоимости, что обуславливает низкий уровень доходов. Выход из этой ситуации видится в организации глубокой переработки древесины и участии в международном разделении труда на рынках продуктов с высокой добавленной стоимостью. Проблема заключается в том, что на данный момент нет четкого представления о структуре продуктового ряда глубокой переработки древесины, необходимых производств, их размещении, т.е. состав элементов данной проблемы не определен.

Для развития производства лесных продуктов глубокой переработки необходим внутренний рынок как потребителей, так и поставщиков оборудования, химикатов, инструментов и т.п. Однако на данный момент можно констатировать, что все эти рынки находятся либо в зачаточном (деревянное домостроение), либо угнетенном состоянии (лесное машиностроение). Таким образом, и с этой позиции мы имеем неопределенный элементный состав проблемной ситуации.

Несмотря на большое число лесных регионов в РФ, приходится констатировать, что ни в одном из них не достигается баланса использования всех функций леса. В многолесных регионах доминируют обеспечивающие функции в ущерб поддерживающим и регулирующим (Дальний Восток и Сибирь). В малолесных регионах есть факты перекоса в сторону функций культурных и регулирующих, который ведет к системным нарушениям (Московская область). В малолесных регионах леса недостаточно эффективно выполняют регулирующие и поддерживающие функции (защитные леса Черноземного федерального округа). Несбалансированность в использовании функций леса приводит к конфликту лесопромышленников, экологов, населения, производителей сельскохозяйственных продуктов и др. Таким образом проявляется неопределенность в связях между элементами.

Субъект управления лесами в настоящее время представлен органами федерального и регионального уровня. Несмотря на то, что с момента принятия Лесного кодекса, в котором предпринята попытка разделить функции управления между этими уровнями, прошло 15 лет, отношения между ними не урегулированы. Это проявляется в вопросах лесного семеноводства, профилактики и тушения пожаров, охраны лесов и т.п. В данном случае нечетко определены связи между элементами субъекта управления.

Из краткого перечня лесных проблем следует, что мы имеем дело со слабоструктуризованной ситуацией, характеризующейся как неопределенным элементным составом,

так и нечеткими связями между элементами. Система управления сложным объектом не может быть простой, что вытекает из принципа соответствия. Сложность ее характеризуется возможностями адаптации к меняющимся условиям состояния объекта и среды.

Адаптивность системы зависит от ее способности реагировать на возникающие проблемные ситуации. Для того чтобы расширить диапазон решаемых проблем и повысить адаптивность, система вынуждена разнообразить элементный состав. Но чем выше разнообразие системы, тем более она подвержена дестабилизации. Анализируя эту связь, А. Богданов пишет: «Разнородность еще не означает дезорганизованности, но она всегда означает увеличение сложности внутренних отношений системы и понижение их устойчивости. Это, конечно, необходимое условие пластичности системы в ее изменяющейся среде. Но когда разнородность усиливается, сложность и неустойчивость, возрастая с известного момента, начинают перевешивать организационную связь и единство системы, которая становится уже неустойчивой в целом, сумма активностей и сопротивлений среде понижается, разнородность переходит в дезорганизованность» [2].

Таким образом, при формировании эффективной системы управления идет поиск рационального равновесия между ее стабилизирующими и динамическими характеристиками. В теории управления под динамическими характеристиками системы управления понимается процесс управления, состоящий из функций, процедур и операций; под стабилизирующими элементами понимается форма организации деятельности (взаимодействия) или организационная структура управления (ОСУ). Поскольку нам необходимо рассмотреть вопросы применимости к задачам эффективного использования и воспроизводства функций леса кластерной формы организации деятельности, мы остановимся именно на вопросах рассмотрения характеристик организационных форм и принципах их эволюции.

В основе выбора организационной формы лежит компромисс между производительностью и адаптивностью. Производительность определяет конкурентоспособность системы среди других систем, и она тем выше, чем стабильнее условия деятельности. Производительность обусловлена уровнем специализации деятельности, более узкая специализация ведет к более высокой производительности. Узкая специализация характеризуется высоким уровнем технологической детализации, высокими профессиональными навыками, высоким уровнем внутренней интеграции процессов, отлаженными связями со смежными производствами. Любые, даже небольшие изменения, ведут к нарушению специализации, снижению производительности и, как следствие, к снижению конкурентоспособности.

Адаптивность – способность системы выживать через изменение. Любое изменение не только отвлекает ресурсы и замедляет процессы созидания нового продукта, но и повышает уровень неопределенности, чем вызывает внутрисистемное отторжение. В научной литературе этот эффект называют «барьером новшества», но, пожалуй, точнее всего суть этого процесса выразил Н. Макиавелли: «Нет ничего труднее, опаснее и неопределеннее, чем руководить введением нового порядка вещей, потому что у каждого нововведения есть ярые враги, которым хорошо жилось по-старому, и вялые сторонники, которые не уверены, смогут ли они жить по-новому» [3]. Низкая адаптивность системы ведет не только к снижению конкурентоспособности, но и к ее разрушению.

На данный момент человечеству известны не так много основных форм организации взаимодействия: линейная, линейно-функциональная, матричная и сетевая. Разнообразие организационных форм и их свойств базируется на различных способах сочетания связей. Понятие «связи» в экономической литературе трактуется как «процесс обмена информацией, которая регулирует поведение систем» [4]. Углубляющийся процесс специализации, в основе которого лежит стремление к более высокой произво-

Морфологический классификатор связей, реализуемых в системе для интеграции деятельности обособившихся элементов

Признак	Значение признака					
	вертикальные		горизонтальные			
Характер взаимодействия элементов системы	подчинение	руководство	согласование	кооперация	консультирование	информирование
Характер влияния на объект управления	функциональные			линейные		
Уровень регламентирования	формальные			неформальные		
Регулярность осуществления	постоянные		периодические		разовые	
Направленность связей	прямые			обратные		
Источник возникновения	внутренние			внешние		

дительности труда, приводит к обособлению элементов деятельности, интеграция между ними осуществляется за счет связей (Анализ литературных источников показал, что в понятие «связь» и «коммуникация» вкладывается идентичное смысловое содержание).

В таблице представлен морфологический классификатор связей, реализуемых в системе для интеграции деятельности обособившихся элементов.

Исследование оптимального сочетания специализации и интеграции в системе осуществляется через анализ механизма внутриорганизационной динамики, под которым мы понимаем способ осуществления взаимосвязи элементов системы.

Основную роль в механизме внутриорганизационной динамики играет сочетание вертикальных и горизонтальных (формальных и неформальных) связей.

В основе развития горизонтальных связей лежит процесс специализации труда. На определенном уровне развития системы горизонтальные связи не могут обеспечить достаточно надежной координации деятельности элементов. Возникает необходимость выделения интегратора, появляется новый уровень управления и вместе с ним – вертикальные связи. Вертикальные связи осуществляются в процессе методического руководства, контроля, отчетности и т.п., то есть связывают элементы системы отношениями руководства-подчинения. Таким

образом, в основе развития вертикальных связей лежит регламентация деятельности. Но чем ниже уровень структурирования проблемы, тем меньше вероятность полного охвата регламентированием всех необходимых для ее решения действий, в результате возникает неуправляемая область деятельности, которая может привести к полному коллапсу системы управления. Поэтому жесткая регламентация оправдывает себя только при решении стандартных задач, при этом проявляются ее позитивные качества: четкое выполнение задач, отсутствие рассогласований, оперативное решение текущих вопросов.

Если вертикальные связи обладают большой инерционностью и изменяются только в рамках официальной регламентации, то форма, характер, направление и интенсивность горизонтальных связей могут изменяться вне этих рамок, и поэтому именно они обеспечивают системе гибкость и адаптивность.

Довольно долгое время неформальные горизонтальные связи, образующиеся в системе, подвергались критике и со стороны ученых, и со стороны высшего менеджмента производственных организаций. Основным аргументом являлось то, что «... каждая связь требует затрат энергии или ресурсов, ... наличие связей, не регулируемых упорядоченными отношениями, закономерно приводит к снижению эффективности фун-

кционирования системы по критерию «выход–вход» [5].

Однако современные исследования принципов распространения информации выявили, что неформальные связи являются первым и необходимым этапом формирования знаний. Первоначально любые связи осуществляются спонтанно, в виде неформальных связей. М. Портер, основоположник теории кластеров, считает, что именно информационное поле, образуемое неформальными связями, определяет границы кластера [6].

В целом адаптивность организации определяется уровнем развития горизонтальных связей, в том числе неформальных. Вертикальные связи носят устойчивый характер и обеспечивают стабильность системы. Сочетание адаптивности и устойчивости системы зависят от соотношения горизонтальных и вертикальных связей. Следовательно, проблема выбора той или иной организационной формы заключается в определении их оптимального соотношения, которое, в свою очередь, детерминировано степенью структуризации проблемной ситуации.

Линейная, линейно-функциональная, матричная и сетевая формы организационного взаимодействия отличаются именно соотношением вертикальных и горизонтальных связей, и именно поэтому имеют разные свойства. Ни одна из них не является универсальной, каждая может быть использована (и используется) для решения конкретных задач. Линейная форма прекрасно зарекомендовала себя для организации взаимодействия в стандартных ситуациях; линейно-функциональная показала лучшие качества при использовании в структуризованных ситуациях; свойства матричной проявились при переходе от структуризованных к слабоструктуризованным ситуациям; сетевая структура – основной способ взаимодействия в слабоструктуризованных ситуациях.

В линейной форме доминируют вертикальные связи, и наиболее полно эта форма реализована в конвейере; в линейно-функциональной форме вертикальные связи

дополняются горизонтальными, эту форму называют «рыбий скелет»; матричная форма имеет ячеистый вид с центральной «ячейкой», выполняющей роль координатора, в ней уже доминируют горизонтальные связи; сетевая форма представляет собой ячеистое образование без центра, в которой прослеживаются только горизонтальные связи.

Однако это схематичное представление форм взаимосвязи несколько поверхностно. Во-первых, вертикальные связи присутствуют в любой из перечисленных организационных форм. Так, например, сетевая организация, которую Ф.Котлер характеризует как «... коалицию взаимозависимых специализированных экономических единиц со своими целями (независимые фирмы или автономные организации), которые действуют без иерархического контроля, задействованы в системе с общими целями через многочисленные горизонтальные связи, взаимную зависимость и обмен» [7], действительно, не имеет вертикальных связей между самостоятельными организациями, но они представлены на уровне самих этих организаций. Ни одна организация численностью более 9 человек не может обеспечить внутреннюю интеграцию без вертикальных связей (численность персонала, для которой требуется интегратор, определена в исследованиях бихевиористов, в частности группы Э. Мэйо. Она определена на основании количества и плотности связей, неоднократно подтверждена эмпирически). Таким образом, в сетевой структуре решается противоречие между высоким уровнем специализации (следовательно, производительности), поддерживающимся на уровне отдельной организации за счет интеграции по вертикали, и высоким уровнем адаптивности, который обеспечивается горизонтальными связями между узкоспециализированными организациями.

Во-вторых, совершенно очевидно, что чем шире сеть горизонтальных связей, тем крупнее организационное образование, в котором осуществляется взаимодействие. Линейная форма показывает лучшие качества на уровне производственной системы,

это может быть отдельное производство или цех. Линейно-функциональная форма подходит для отдельного предприятия, включающего производственные подразделения (организованные по линейному принципу) и систему управления. В матричной форме организованы ассоциации, союзы, объединения, холдинги и проч., при этом каждое из этих образований включает организации, имеющие линейно-функциональную форму взаимосвязи. Сетевая структура позволяет обеспечить взаимодействие между любыми организациями, независимо от их размера и структуры.

В-третьих, отсутствие координатора в форме вертикальных связей в сетевой структуре приводит к конкурентным отношениям между организациями, которые в нее включены. Вход-выход из сетевой структуры зависят от способности организации достигать в равных с другими условиях более высокий уровень производительности и обеспечивать более высокое качество продукта или услуги. Сетевая структура – это единственная организационная форма взаимодействия, в основе которого лежит внутреннее противоречие между кооперацией и конкуренцией. Именно это противоречие, с одной стороны, обеспечивает устойчивость данной организационной форме, с другой – обеспечивает ее обновление и развитие в процессе постоянного стремления организаций выиграть в конкурентной борьбе за счет инноваций, ведущих к росту производительности.

Кластер – это вид сетевой структуры, имеющий территориальную локализацию. Структурой, т.е. определенной формой взаимодействия отдельных организаций, кластер делает именно наличие связей. Любой кластер включает группы географически сконцентрированных предприятий и организаций, но далеко не каждая группа географически сконцентрированных предприятий и организаций является кластером. Впервые этот феномен описал М. Портер, он столкнулся с ним при обследовании групп предприятий в Португалии. Подробный анализ предприятий, сконцентрированных на небольшой территории, не выявил взаимодей-

ствия между ними. В результате, основные характеристики кластера – высокая производительность, конкурентоспособность, инновационность, синергизм не проявлялись. По той же самой причине (отсутствие связей) множество деревообрабатывающих предприятий г. Лесосибирска (Красноярский край) нельзя назвать кластером.

Основная задача при формировании кластера – образование связей между отдельными производственными, инфраструктурными и научными организациями, т.е. кластер необходимо «выращивать», формируя цепочки образования добавленной стоимости.

К сожалению, процесс образования кластеров в настоящее время оказался политизирован, и как любая политическая акция он имеет временные границы. В результате эффективная форма взаимодействия при слабоструктуризованных проблемных ситуациях может не раскрыть свой потенциал.

Вместе с тем, для регионов кластер является той оптимальной формой организации взаимодействия всех организаций, объектом деятельности которых является лес во всем многообразии своих функций, которая позволит не только комплексно и эффективно использовать этот ресурс, но и повысит конкурентоспособность всего региона.

Библиографический список

1. Ансофф, И. Стратегическое управление / И. Ансофф. – М.: Экономика, 1989. – 357 с.
2. Богданов, А.А. Всеобщая организационная наука (тектология). Ч.1. / А.А. Богданов – С-Пб.: Изд. М.И. Семенова, 1912. – 256 с.
3. Макиавелли, Н. Государь. Размышления над первой декадой Тита Ливия; пер. с итал. К.А. Тананушко / Н. Макиавелли. – М.: Издательство АСТ; Минск: Харвест, 2005. – 704 с.
4. Лопатников, Л.И. Экономико-математический словарь / Л.И. Лопатников. – М.: Наука, 1987. – 512 с.
5. Раппопорт, В.С. Межотраслевое управление крупномасштабными нововведениями / В.С. Раппопорт // Достижения и перспективы. – 1982. – Вып.28. – № 5.
6. Портер, М. Конкуренция. Обновленное и расширенное издание; пер. с англ. / М. Портер. – М.: И.Д.Вильямс, 2010. – 592 с.
7. Котлер, Ф. Маркетинг менеджмент. Экспресс-курс. 2-е изд / Ф. Котлер. – СПб.: Питер, 2006. – 464 с.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НАЛОГООБЛОЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА

Н.А. ХУТОРОВА, доц. каф. стратегического маркетинга МГУЛ, канд. экон. наук

khutorova@mgul.ac.ru

Все более нарастающая озабоченность человечества состоянием окружающей среды стимулирует активный поиск новых инструментов, способных регулировать нагрузку на экосистему. Международное сообщество уже в полной мере осознало необходимость создания глобальной системы экологической безопасности, пересмотра правовой базы природоохранной деятельности и формирования действенных экономических механизмов стимулирования хозяйствующих субъектов к снижению уровня загрязнений окружающей среды, устойчивому развитию. Международный опыт показывает, что только слаженные системные действия государства, общества и бизнеса способны устранить или минимизировать экологические угрозы в своей среде обитания.

В течение последних десятилетий экологическая ответственность во всем мире занимает последовательно наступательные позиции, порождая принципиально новые явления. Такие выводы можно сделать на основе изучения зарубежного, в первую очередь, европейского опыта становления экологически ориентированной экономики.

Наращение экологических рисков и экономические последствия природных катастроф заставляют нас менять вектор развития экономики, результатом чего становится создание новой комплексной системы регулирования антропогенной нагрузки на экосистему, в которой важное место отводится экологическому налогообложению.

В основе теории налогового права лежит доктрина о функциях налогов, среди которых выделяют фискальную, распределительную и регулируемую. Экологические налоги, в первую очередь, призваны выполнять регулируемую функцию, которая проявляется в возможности оказать на налогоплательщика влияние стимулирования и дестимули-

рования к каким либо действиям. Примером может служить либо переход к энергосберегающим технологиям и как следствие снижение сумм уплаченных налогов, причем не только экологических, либо использование старых энергозатратных технологий и повышение сумм уплаченных налогов, в том числе штрафов. С позиции данной доктрины становятся ясными налоговые механизмы, обеспечивающие защиту природы.

Среди многообразия налогов и сборов особое место по своему назначению занимают косвенные налоги специфического назначения, связанные с охраной окружающей среды, относимые в документах Европейского Союза к категории экологических налогов. Экологические налоги или экологические платежи имеют различную форму и часто по-разному называются. В англоязычной литературе часто наряду со стандартным термином «taxes» также используются «charges», «levies», «fees» и «duties». В настоящее время экологические налоги широко используются в различных странах, среди которых уже не только все промышленно развитые страны, а также и растущий список стран с развивающейся экономикой. Согласно определению Европейского агентства по окружающей среде (European Environmental Agency), экологические налоги – это все налоги, налоговая база которых оказывает специфическое негативное воздействие на окружающую среду [1].

Среди экологических налогов выделяют две группы: регулирующие налоги и финансирующие налоги. Регулирующие налоги направлены на непосредственное предотвращение действий, наносящих вред окружающей среде, среди которых: платежи за загрязнение среды, за размещение отходов. При определении ставок этих налогов необходимо учитывать показатели технической

возможности и экономической рентабельности в рамках данного вида хозяйственной деятельности.

В настоящее время в российской науке и практике еще не устоялось четкого определения категории экологический налог или экологическое налогообложение. На наш взгляд, определение Европейского агентства по окружающей среде, данное экологическому налогу наиболее точно отражает его сущность. Экологические налоги – это все налоги, налоговая база которых оказывает специфическое негативное воздействие на окружающую среду. В России, согласно действующему законодательству, экологических налогов и платежей не существует, а такие платежи получили название «плата за негативное воздействие на окружающую среду». Плата за негативное воздействие на окружающую среду установлена Законом «Об охране окружающей среды», которую вносят организации и физические лица, деятельность которых оказывает негативное воздействие на окружающую среду. Плата за негативное воздействие на окружающую среду (или плата за загрязнение окружающей среды) является формой компенсации ущерба, наносимого загрязнением окружающей природной среде. Такие платежи перечисляются предприятиями, учреждениями, организациями в бесспорном порядке. Плата за негативное воздействие на окружающую среду (экологические платежи) взимается с природопользователей, осуществляющих следующие виды воздействия на окружающую природную среду: выбросы в атмосферный воздух загрязняющих и иных веществ; сбросы загрязняющих веществ, иных веществ и микроорганизмов в поверхностные водные объекты, подземные водные объекты и на водосборные площади; загрязнение недр, почв; размещение отходов производства и потребления; загрязнение окружающей среды шумом, теплом, электромагнитными, ионизирующими и другими видами физических воздействий; иные виды негативного воздействия на окружающую среду [2]. Все платежи за загрязнение окружающей среды поступают через налоговые органы в государственный бюджет и распреде-

ляются следующим образом: в федеральный бюджет – 19 % и в бюджет субъекта федерации – 81 %. Поступившие в бюджет платежи за загрязнение окружающей среды могут расходоваться только целевым назначением на природозащитные цели [3]. Особо стоит отметить, что указанные платежи не обладают рядом признаков, присущих налоговому обязательству, и, следовательно, не включаются в систему налогов.

Таким образом, под экологическим налогообложением мы понимаем возведенные в ранг закона способы взимания с физических и юридических лиц платы за негативное воздействие на окружающую среду, а также совокупность налогов и сборов, взимание которых нацелено на стимулирование рационального природопользования. Основная идея введения особых, экологических налогов заключается в установлении зависимости между отчислениями хозяйствующих субъектов в бюджеты и степенью вреда, наносимого ими окружающей среде и природным ресурсам.

С 1990 г. ведущей тенденцией в экологической политике большинства государств является постепенная замена прямого администрирования более гибкими экономическими механизмами и повсеместное использование принципов экологического менеджмента. При этом экологические компоненты присутствуют во всех ведущих научно-технических программах промышленно развитых стран.

Как видно из графиков рис. 1 и 2, экологические налоги используются повсеместно и по мере роста ВВП поступления в бюджеты в абсолютном значении имеют тенденцию к росту. Несмотря на некоторое снижение в относительных величинах, средняя величина составила 2,32 % от ВВП и 6,9 % от всех налоговых поступлений в 2010 г.

Наиболее интересным для изучения и анализа представляется опыт стран Европейского Союза. Важным фактором в достижении нового подхода в вопросах экономики, техники и общества является проведение экологической реформы в налоговой системе. В странах Европы особое внимание уделяется

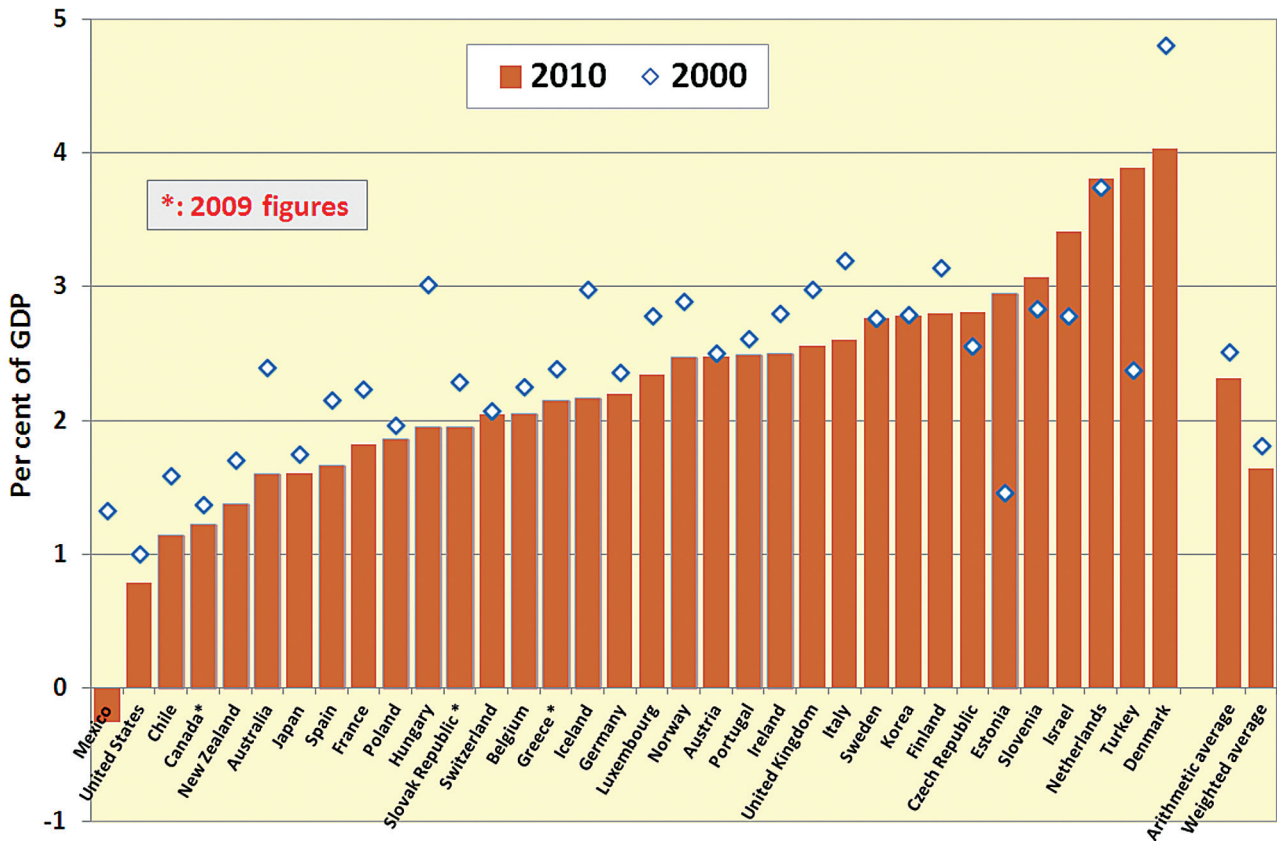


Рис. 1. Поступления от экологических налогов в процентах от ВВП в динамике за 2000-2010 гг [4]

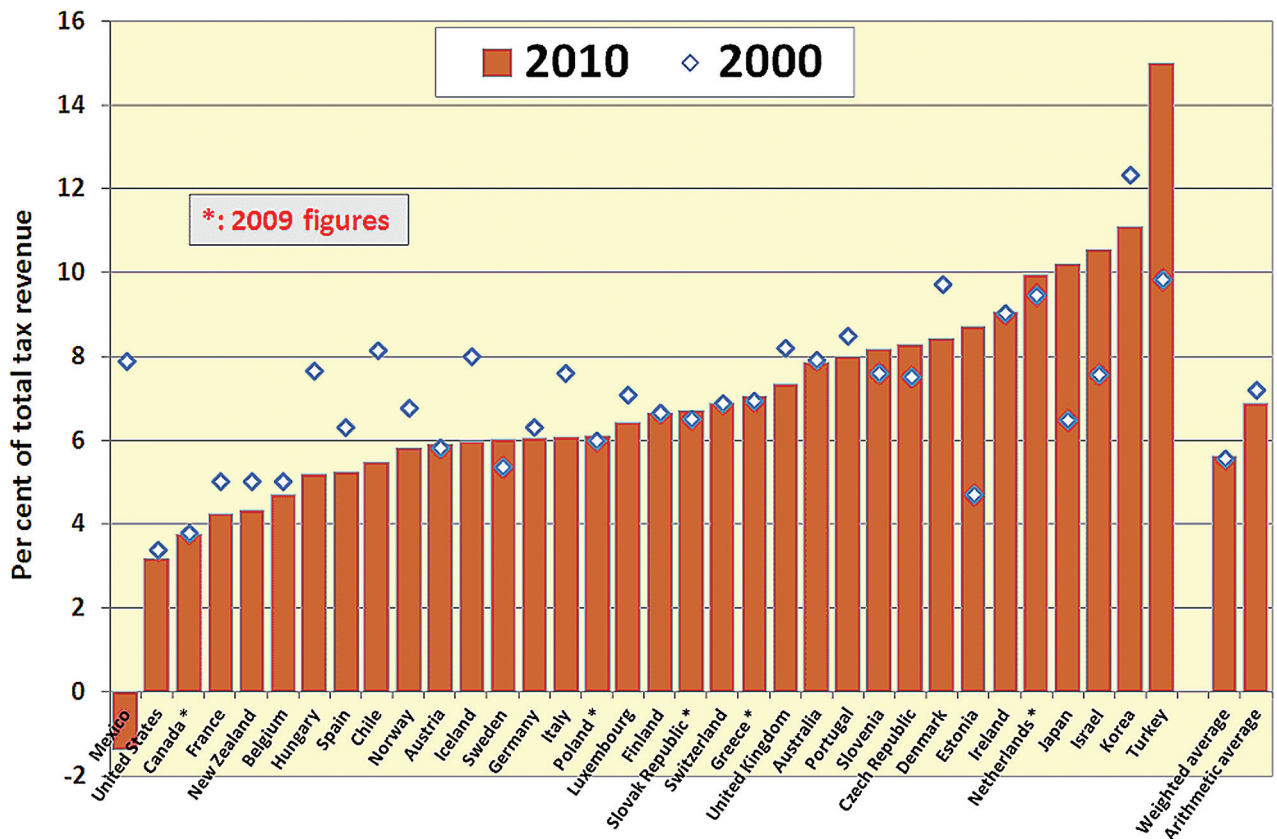


Рис. 2. Поступления от экологических налогов в процентах от всех налоговых поступлений в динамике за 2000–2010 гг.

реформе «экологического» налогообложения энергоемких отраслей, нацеленной на стимулирование инвестиций в сектор разработки и использования новых экологически безопасных источников энергии.

В Европе экологические налоги и платежи признаны действенными инструментами в достижении целей экологической и социально-экономической политики, особенно в сочетании с разнообразными рыночными инструментами. Европейское агентство по окружающей среде классифицирует пять основных групп инструментов регулирования воздействия на окружающую среду, среди них:

1) коммерчески реализуемые разрешения – введены с целью снижения уровня загрязнения (лицензия на выбросы CO₂) или при использовании ресурсов (квота на ловлю рыбы) путем предоставления рыночных стимулов торговле;

2) экологические налоги – введены для изменения цены влияния на поведение производителей и потребителей, а также для повышения доходных статей бюджетов;

3) экологические платежи – введены для компенсации расходов природоохранных служб и затрат на снижение уровня загрязнения окружающей среды (очистка сточных вод или размещение отходов);

4) экологические субсидии и поощрения – нацелены на стимулирование разработок новых технологий, а также на формирование новых рынков экологических товаров и услуг;

5) схемы ответственности и компенсации – разработаны с целью обеспечения адекватной компенсации ущерба, нанесенного в результате деятельности, опасной для окружающей среды (штрафы, пени и т.д.) [5].

На сегодняшний день в странах Евросоюза применяются и другие инструменты – система дорожных сборов, политика ценообразования на воду, сертификаты на торговлю зеленой электроэнергией и т.д., обладающие компенсационной функцией не только в отношении экологических расходов, но и в отношении снижения налогов на труд и капитал.

Финансовые инструменты «зеленого налогообложения» сформировались в Европейском союзе, в первую очередь в Западной Европе, а затем были приняты в Юго-Восточной Европе. Так, Финляндия ввела первый налог на выброс CO₂ в мире в 1990 г. Нидерланды, Норвегия и Швеция ввели экологические налоги в 1991 г. За ними последовали Дания в 1992 г. и Великобритания в 1993 г. Большие достижения в сфере экологического налогообложения у Германии, где взимается экологический налог с 1999 г. Основной целью всех этих налоговых реформ было, в первую очередь, предотвращение увеличения общего налогового бремени, снижение воздействия на окружающую среду за счет взимания налогов за загрязнение, и при этом снижение налогов на труд, что способствует увеличению занятости за счет снижения расходов на рабочую силу.

Термин «экологическое налогообложение» в странах Европейского Союза применяется в отношении многих и разнообразных сборов для различных административных уровней и действий. Как правило, под экологическими налогами понимают «обязательные платежи, взимаемые за экологически опасную продукцию или процессы таким образом, чтобы рыночная цена данной продукции или процесса более точно отражала экологические расходы, при этом приносила доход, который может быть использован либо только для того, чтобы снизить другие налоги, особенно налоги на рабочую силу, или общие расходы экологически благоприятных заменителей продуктов или процессов» [6]. Иными словами, все, что может вызвать неблагоприятные изменения в окружающей среде, может быть предметом экологического налогообложения.

Таким образом, экологическое налогообложение должно использоваться как один из наиболее эффективных инструментов для ускорения перехода от традиционных энергоносителей к возобновляемым источникам энергии, повышению энергоэффективности. Так, например, в Финляндии и Швеции налогообложение ископаемых видов топлива составляет «главный инструмент стимулиро-

вания к применению возобновляемых энергоносителей в кратчайшие сроки» [7].

Ситуация с экологическим и энергетическим налогообложением существенно различается по странам – членам Европейского Союза. Комбинация и структура налогов – цель государственной политики, связанной с налогообложением в разных странах, различны. Так, по данным, изложенным в отчете «Налогообложение. Тенденции в Европейском Союзе в 2012 г.» в Ирландии, Нидерландах, Португалии и Великобритании применяются немногие налоги на загрязнение или пользование ресурсами, но при этом страны входят в число государств с наивысшим процентом дохода от экологического налога, полученного за счет энергетического и транспортного секторов [8].

Очень важно понимать, что сборы от взимания экологических налогов позволяют повсеместно использовать особые режимы налогообложения и /или предоставлять преференции малому и среднему бизнесу, предприятиям общественного транспорта и другим секторам общественного обслуживания и социального назначения.

С момента введения экологического налога в Германии в 1999 г. потребление бензина сократилось в течение первых же трех лет. Выросли объемы продаж малолитражных автомобилей. Экологический налог создал стимул для инвестиций в экологически чистые технологии и создал конкурентные преимущества. Однако рост общего объема потребления электроэнергии ощутимо не замедлился. С 2005 г. германский экологический налог и постепенное вытеснение многих льготных схем для энергоемких отраслей промышленности стали выгодным источником дохода государства. Основной целью германского экологического налога является использование дохода для финансирования сокращения пенсионных взносов для работников и работодателей.

Основная идея многих реформ экологического налогообложения, проводимых в Европейском Союзе, состоит в том, что рост сборов от экологических налогов должен сопровождаться снижением ставок налогов на

рабочую силу. Это позволяет избежать увеличения общего налогового бремени и достигнуть двойной выгоды – сокращения экологического ущерба одновременно с увеличением спроса на рабочую силу и занятости за счет сниженных затрат на рабочую силу.

В рамках выполнения обязательств стран ЕС по Киотскому протоколу в последние годы существенно расширился список налогов, платежей и рыночных механизмов, введены налоги на использование энергии и налог на выбросы CO₂, а с 2012 г. такой налог взимается со всех европейских авиаперевозчиков. Генеральный директорат Комиссии ЕС принципиально побуждает использовать для защиты окружающей среды такую налоговую форму, которая будет способствовать перераспределению налогового бремени от фактора работы на использование и загрязнение ресурсов окружающей среды.

Проведенный анализ отчета «Налогообложение. Тенденции в Европейском Союзе» позволил подразделить экологические налоги на четыре общие категории: в сфере энергетики; в сфере транспорта; за загрязнение окружающей среды и ресурсные налоги.

В таблице отражена динамика поступлений от экологических налогов в процентном соотношении от общего налогообложения за 2000–2009 гг. в 27 странах Европейского Союза.

В 2010 г. сохранялись тенденции последних лет. Так, самая высокая доля поступлений от всех экологических налогов в процентах от ВВП, наблюдается у Дании и Нидерландов (4 %), чуть ниже у Словении (3,6 %), далее следуют Мальта (3,1 %), Эстония (3 %), Кипр и Бельгия (2,9 %), Финляндия и Швеция (2,8 %), замыкает десятку лидеров Великобритания с долей 2,6 %. Самые низкие доли поступлений от экологических налогов в процентах от ВВП имеют такие страны, как Испания (1,6 %), Франция и Германия около 2 % [8].

Итак, налоги на использование энергоносителей в европейских странах на сегодняшний день являются наиболее существенными, что составляет около 75 % от всех экологических налогов или около 5 % от всех

Экологические налоги в % от налоговых поступлений в странах Европейского Союза в 2000–2009 гг. [8]

Страна	Экологические налоги в % от общего налогообложения			Экологические налоги (энергия) в % от общего налогообложения			Экологические налоги (транспорт без топлива) в % от общего налогообложения		
	2000	2009	2009 млн евро	2000	2009	2009 млн евро	2000	2009	2009 млн евро
Бельгия	5,0	4,7	6 874	3,2	2,9	4 323	1,4	1,4	2 046
Болгария	8,4	10,5	1 060	7,9	9,2	932	0,5	1,0	101
Чехия	7,6	7,2	3 418	6,3	6,7	3 183	1,0	0,4	188
Дания	10,7	10	10 663	5,1	4,6	4 882	3,7	3,1	3 350
Германия	5,7	5,7	54 164	4,9	4,8	45 944	0,8	0,9	8 200
Эстония	5,5	8,3	413	4,0	7,1	353	0,7	0,1	6
Ирландия	9,1	8,4	3 781	4,5	5,2	2 341	4,5	3,2	1 438
Греция	6,7	6,5	4 611	4,6	3,9	2 784	2,2	2,6	1 827
Испания	6,5	5,4	17 163	5,1	4,4	14 014	1,3	0,9	3 006
Франция	5,6	5,0	39 927	4,1	3,5	27 718	1,2	1,3	10 576
Италия	7,4	6,1	39 865	6,2	4,8	31 756	1,1	1,2	7 617
Кипр	8,9	8,2	490	2,3	4,6	274	6,6	3,6	216
Латвия	8,1	8,7	429	6,2	7,6	377	1,1	0,8	41
Литва	8,0	7,0	543	5,8	6,6	514	2,2	0,1	12
Люксембург	7,1	6,6	931	6,8	6,1	858	0,3	0,5	73
Венгрия	7,6	6,6	2 436	6,3	5,0	1 847	1,0	1,2	432
Мальта	13,1	9,8	195	4,9	4,3	87	8,1	4,7	94
Нидерланды	9,8	10,4	22 764	4,6	5,3	11 676	3,5	3,2	7 024
Австрия	5,6	5,7	6 658	3,7	3,8	4 456	1,9	1,8	2 135
Польша	6,4	8,0	7 944	5,4	6,6	6 505	0,6	0,7	706
Португалия	8,5	8,1	4 203	5,0	6,1	3 192	3,4	1,9	1 010
Румыния	11,4	7,0	2 214	10,7	6,0	1 904	0,2	1,0	302
Словения	7,9	9,5	1 261	6,5	8,0	1 060	1,2	1,1	147
Словакия	6,5	6,8	1 225	5,8	5,9	1 073	0,7	0,7	125
Финляндия	6,6	6,2	4 553	4,2	4,2	3 102	2,3	1,8	1 359
Швеция	5,4	6,0	8 213	4,5	4,9	6 635	0,7	1,1	1 542
Соединенное Королевство Великобритании	8,1	7,4		6,4	5,6	30 401	1,6	1,6	8 925

налогов и социальных взносов. Уровень энергетических налогов по отношению к ВВП находится на самой высокой ступени в Словении и Болгарии (3,0 % и 2,7 % от ВВП соответственно). Причина того – не высокие налоговые ставки, а высокий уровень конечного потребления энергии по сравнению с ВВП. В некоторых странах вклад транспортного налога является существенным, например, в Ирландии, на Кипре и Мальте он составляет от 38 % и 48 %. В Дании значительные налоговые поступления в бюджет приходят от транспортного энергетического налога, а от загрязнения и ресурсных налогов в этой стра-

не поступления составляют менее трети от экологических налогов.

Транспортный налог соответствует в среднем около 20 % от общего поступления экологических налогов и 1,4 % от общего объема налогов и социальных взносов.

От налогов за загрязнение окружающей среды и ресурсных налогов во всех странах ЕС незначительные поступления, вместе они составляют чуть менее 5 % от общих природоохранных налогов.

Анализ экологических налоговых поступлений в странах ЕС в 2010 г. позволил выявить ряд противоположных изменений.

Так, в 2010 г. наибольший рост налогов на энергию наблюдался в Эстонии, более 1 % ВВП, в то время как в других странах (Кипре, Словении, Португалии и Польше) произошло его незначительное увеличение. С другой стороны, наблюдается снижение налогов на энергоносители в Румынии на сумму почти 2 % от ВВП. Можно также отметить, что уровень транспортного налога снижался довольно сильно на Кипре и Мальте, в странах, где транспортные налоги составляют значительную часть экологического налогообложения. Все это свидетельствует о том, что страны активно ищут наиболее приемлемые и адекватные схемы экологического налогообложения в сочетании с рыночными механизмами защиты окружающей среды.

К сожалению, сегодня приходится констатировать существенные различия между экологическими платежами в странах ОЭСР (Организации экономического сотрудничества и развития) и Российской Федерации, которые заключаются не столько в их процентном соотношении по отношению к совокупным налоговым поступлениям или ВВП, но и, прежде всего в функциях. В России такие платежи выполняют фискальную функцию, обеспечивая быстрое пополнение бюджета, и гораздо меньше выполняют вторую функцию – регулирующую. Если рассчитывать долю экологических налогов в России по методологии ОЭСР, то в 2008–2010 гг. она составляла 2,7 % от всех налоговых поступлений в консолидированный бюджет РФ (0,9 % ВВП). Если же включить в экологические налоги все формы изъятия ресурсной ренты, прежде всего НДС, земельный налог и экспортные пошлины на углеводородное сырье, лес и прочие природные ресурсы, то их доля в налоговых доходах России значительно выше: 30–33 % (или 10–11 % ВВП) [9]. Опыт ОЭСР свидетельствует о том, что в доходах бюджета экологические налоги могут успешно замещать налоги на труд и капитал. Кроме того, дифференциация налоговых ставок может быть стимулом технологической модернизации и экологизации предприятий. Экономисты называют это свойство экологических налогов «двойным дивидендом» (double dividend):

они не только способны обеспечить доходы бюджета, но и стимулируют снижение загрязнений и рост энерго- и ресурсоэффективности [9].

Вместе с тем следует отметить еще одну тенденцию. Высокое соотношение экологических налоговых поступлений от общего налогообложения не обязательно является признаком высокого приоритета охраны окружающей среды. Энергетический налог изначально использовался без экологических целей. Кроме того, уровень этого показателя, не может говорить и о достижениях цели экологической политики. Это может являться результатом изменений в экономике. При этом снижение экологических налоговых доходов в последние годы может быть результатом использования инноваций в рыночных инструментах государственной политики (торговля выбросами CO₂, экологическое страхование).

Таким образом, отмечая планомерный переход к комплексному использованию инструментов экологического менеджмента и положительные результаты проведения реформ экологических налогов, необходимо указать на следующие основные *тенденции и принципы* их реализации в большинстве стран:

- использование принципа «загрязнитель платит»;
- перевод экологических платежей за «выбросы в атмосферу» на платежи за «выбросы в экономику»;
- широкое применение налогов на используемое сырье и энергию;
- введение обязательных и существенных платежей на экологически неприемлемую продукцию;
- налоговые реформы нацелены на смещение акцентов с налогов на труд и капитал к налогам на потребление природных ресурсов;
- осуществляется переход на низкоуглеродную энергоэффективную экономику;
- широкое использование экологических субсидий и финансовых стимулов в экологическом менеджменте.

Подводя итог, следует заметить, что

- экологическое налогообложение как инструмент экологического менеджмента за

немногие годы доказало свою состоятельность и эффективность;

– в каждой стране и даже в отдельной отрасли необходимо применять индивидуальные подходы к установлению экологических платежей и налогов, тем самым стимулируя повышение экологической ответственности.

На основе проведенного анализа можно утверждать, что России предстоит еще длинный путь к внедрению в практику экологического менеджмента широкого инструментария экологического налогообложения, следует планомерно применять адаптированную практику стран ЕС в области регулирования воздействия на окружающую среду.

Библиографический список

1. <http://www.eea.europa.eu/publications#&c9=all&c14=&c12=EEA+Report&>
2. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 25.06.2012) ст. 16, режим доступа <http://www.consultant.ru/popular/okrsred/#info>
3. <http://www.eea.europa.eu/publications#&c9=all&c14>
4. [http://www2.oecd.org/ecoinst/queries/ the OECD / EEA database on instruments used in environmental policy](http://www2.oecd.org/ecoinst/queries/the%20OECD%20database%20on%20instruments%20used%20in%20environmental%20policy)
5. Использование рынка в целях экономически эффективной природоохранной политики. Европейское агентство по окружающей среде 1/2006 // Проект сотрудничества ЕС – Россия «Гармонизация экологических стандартов ГЭС II, Россия», (www.ipcc-russia.org)
6. http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/#c7=all&c5=&c0=10&b_star
7. Абдуллин, Р.А. Международный опыт использования инструментов экологического налогообложения и рыночных механизмов регулирования воздействия на окружающую среду / Р.А. Абдуллин, Н.А. Хуторова. – М: Банковские услуги. – № 1. – 2012. – С. 35.
8. Налогообложение. Тенденции в Европейском Союзе – Данные для Государств-Членов ЕС, Исландии и Норвегии. Люксембург: Публикации Бюро ЕС 2012г. с.247 http://ec.europa.eu/taxation_customs/taxation/gen_info/economic_analysis/tax_structures/index_en.htm
9. Герасимчук, И. Экологические налоги: Стоимость природы / И. Герасимчук // Ведомости. 07.09.2011. – № 167 (2933). http://www.hm-treasury.gov.uk/press_60_12.htm. <https://www.gov.uk/green-taxes-and-reliefs>. [http://www.jacsces.org/en/paco/more %20about %20program.htm](http://www.jacsces.org/en/paco/more%20about%20program.htm) Japan Center for a Sustainable Environment and Society (JACSES)

ГЛОБАЛЬНАЯ ЛЕСНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СЛУЖБА (GFIS): РОССИЙСКИЙ ИНТЕРНЕТ-СЕКТОР

В.С. ШАЛАЕВ, *проф.*, директор ИСИЛ, *д-р техн. наук*,

С.И. ЧУМАЧЕНКО, *проф.*, зав. каф. информационных технологий в лесном секторе МГУЛ, *д-р биол. наук*,

О.А. КУЛАКОВА, *вед. инж. каф. информационных технологий в лесном секторе МГУЛ*

shalaev@mgul.ac.ru; chumachenko@mgul.ac.ru

Что такое GFIS? Global Forest Information Service (GFIS) – Глобальная лесная информационная служба (www.gfis.net) – это проект, инициированный Международным партнерством по лесам (Collaborative Partnership on Forests – CPF) и действующий под эгидой ООН.

Проект реализуется Международным союзом лесных научно-исследовательских организации (International Union of Forest Research Organizations – IUFRO) www.iufro.org, Продовольственной и сельскохозяйственной организацией объединенных наций

(Food and Agricultural Organization of United Nations – FAO) www.fao.org, Центром международных исследований по лесному хозяйству (Center for International Forest Research – CIFOR) www.cifor.cgiar.org, Национальной биоинформационной инфраструктурой (National Biological Information Infrastructure – NBII) www.nbii.org, секретариатом Форума объединенных наций по лесам (United Nations Forum on Forests – UNFF) www.un.org/esa/forests, рядом других организаций.

Миссией GFIS является распространение информации и знаний среди представи-

телей глобального лесного сообщества, тем самым развивая общие подходы и стандарты и выстраивая своеобразную сеть партнерских отношений.

Цель GFIS состоит в обеспечении всех желающих, чья деятельность связана с лесами и лесным комплексом, легкой возможностью получения и обмена взаимноинтересной информацией. Участниками GFIS являются государственные и негосударственные организации по всему миру, включая развитые и развивающиеся страны.

История создания и развития GFIS начинается в 1998 г., когда при проведении Международных консультаций по исследованиям и информационным системам в лесном хозяйстве в Австрии было рекомендовано Межправительственному форуму по лесам (Intergovernmental Forum on Forests – IFF) способствовать созданию и развитию Глобальной лесной информационной службы. Реализуя рекомендации IFF, Международный союз лесных исследовательских организаций (IUFRO) инициировал деятельность по созданию Глобальной лесной информационной службы (GFIS) в том виде, что функционирует в настоящее время. Была организована группа исполнителей, информационный сервер, веб-интерфейс, начат региональный проект GFIS-Africa. Начиная с 1998 г., кроме IUFRO, определенный вклад в работу внесли CIFOR, FAO, Европейский лесной институт (EFI), Финский лесной научно-исследовательский институт (METLA), Оксфордский университет, Международное сельскохозяйственное бюро (Commonwealth Agricultural Bureaux International – CABI), Американская лесная служба, NBII, Канадская лесная служба, Всемирный центр мониторинга окружающей среды (World Conservation Monitoring Centre – WCMC), ряд организаций-членов IUFRO.

Первая версия GFIS была презентована на Европейской конференции IUFRO в 2002 г. в Копенгагене и успешно продемонстрирована на Мировом лесном конгрессе в 2003 г. в Канаде. Она включала информацию о более чем 60 лесных институтах всех регионов мира.

В 2004 г. IUFRO совместно с FAO и CIFOR разработали концепцию развития GFIS, которая была одобрена на 13-м заседании CPF в Нью-Йорке. Суть концепции GFIS состоит в том, что участники проекта помещают на своих интернет-сайтах или сайте головной организации информацию, которую они хотели бы донести до сведения коллег. Затем они в определенном формате готовят данные, описывающие эту информацию, так называемые метаданные. GFIS использует международную систему описания метаданных DCMES (Dublin Core Metadata Element Set), разработанную для описания содержимого библиотек и впоследствии расширенную для других видов данных (включая документы, карты, изображения, программные продукты и даже информацию о физических объектах). Для обеспечения доступа к информации GFIS использует стандарт RSS 2.0. Простой пример метаданных: каталожная карточка в библиотеке. В результате этих действий метаданные становятся доступны другим участникам в виде новостных лент, а также для тематических поисковых запросов.

Стандарт RSS обычно расшифровывают как really simple syndication – «действительно простое распространение». Этот механизм позволяет распространять информацию среди всех интересующихся без особых сложностей. Физически вся информация находится на сайте. Задача сформировать метаданные в формате RSS на языке XML, однако его знание не является обязательным. Существует немало бесплатных (и доступных для свободного скачивания в Интернете) RSS-редакторов, при использовании которых от пользователя требуется лишь ввести информацию в окна экранной формы, после чего необходимые файлы будут сгенерированы и загружены на сайт автоматически. После этого данные поступают в базу данных поисковой системы GFIS. В настоящее время наибольший охват международной аудитории будут иметь англоязычные каналы. Однако используемые механизмы позволяют обмениваться информацией и на других языках включая русский. Таким образом, участие в GFIS позволит всегда быть в курсе деятель-

ности коллег и оповещать их о своей деятельности.

На XXII Всемирном конгрессе IUFRO в 2005 г. в Австралии была представлена новая поисковая система GFIS, которая включает ключи информационных ресурсов: новости, события, публикации, вакансии.

GFIS – развивающаяся система. В настоящее время декларированы 17 типов метаданных. Это Контактная информация; Данные о странах (территориях); Образование (учебные курсы); Базы данных; Словари/Терминологические справочники; Изображения; Звуки; Интерактивные ресурсы; Проекты/Программы; Программное обеспечение; Информация о видах растительности; Web ресурсы; Встречи/События; Вакансии; Новости; Публикации. В начале 2007 г. было осуществлено обновление версии GFIS. В этом случае появляются большие возможности перед информационными провайдерами GFIS.

Идея создания российского сегмента GFIS обсуждалась в рамках Ассоциации российских организаций-членов ИЮФРО несколько лет. Реализации этой идеи мешала определенная ведомственная разобщенность научных организаций, работающих в интересах лесного комплекса страны. Определенный толчок началу создания пилотной версии российского сегмента GFIS был дан в 2005 г. во время стажировки в Московском государственном университете леса научного сотрудника Сеульского национального университета (Seoul National University) доктора Хо Сан Кана (Ho Sang Kang), одного из функционеров ИЮФРО.

В марте 2006 г. соответствующим контрактом с руководством ИЮФРО (Dr. Peter Mayer) была оформлена материальная поддержка инициативы создания пилотной версии российского сегмента GFIS на базе МГУЛ.

В июне 2006 г. были осуществлены две презентации GFIS-Russia проекта: на международном симпозиуме «ЕС-Россия: перспективы сотрудничества в области биотехнологии в 7-ой Рамочной Программе», который состоялся в г. Санкт-Петербурге; на международной конференции «Влияние изменений климата на boreальные и умеренные леса» в

г.Екатеринбурге, где был представлен доклад «Российский Интернет-сегмент GFIS (Global Forest Information Service)».

В последующие годы на базе Московского государственного университета леса была выполнена работа «Наполнение и развитие Интернет-портала GFIS.RU – русской части глобальной службы лесной информации – проекта, развиваемого в рамках международного партнерства по лесам» по теме «Научно-методическое и информационно-аналитическое обеспечение выполнения обязательств Рослесхоза в рамках межправительственных соглашений, протоколов и договоров по сотрудничеству на межведомственном уровне в сфере лесного хозяйства». В этот период была уточнена структура Российского сегмента GFIS. Интернет-портал в данный период включил следующие сектора: вузовский, отраслевой, академический и негосударственных организаций. В период выполнения НИОКР выполнялось регулярное обновление информации на Интернет-портале по всем зарегистрированным на GFIS.NET форматам данных: события, новости, публикации, конференции. В последующем шло информационное наполнение сайта, его популяризация.

GFIS в настоящий момент. Интернет-портал GFIS.RU в январе 2012 г. предстал в новом виде. Изменился интерфейс и структура портала. Сайт включает следующие разделы:

– Новости

В данном разделе ежедневно публикуются новости и события, происходящие в лесной области в России. Освещаются экологические, экономические, политические и социальные проблемы, актуальные на сегодняшний день.

– Образование

В данном разделе по мере поступления публикуется информация о предстоящих обучающих мероприятиях. Предоставляется, по возможности полная, информация о предстоящих тренингах, обучающих семинарах, лекциях. В этом разделе также хранится контактная информация обо всех учебных заведениях и НИИ лесного профиля страны.

– Мероприятия

В данном разделе публикуется информация о предстоящих конференциях, выставках, презентациях, форумах.

– Эксперты

В данном разделе публикуется информация об экспертах лесной области, их координаты и информация, которой они обладают.

– Авторская статья

В данном разделе любой пользователь имеет возможность опубликовать собственную статью.

– Вакансии

В данном разделе публикуются вакансии лесной области.

– Блоги

В данном разделе любой пользователь имеет возможность завести блог на интересующую его тему.

– Новости законодателей

В данном разделе публикуются новые законы и постановления.

Перспективы развития. В качестве направлений развития необходимо указать

Редактирование существующих разделов и в частности Новости законодателей планируется поменять на Законодательство, в котором будут храниться все законы и постановления лесной отрасли.

Планируется и реализуется создание следующих новых разделов:

– Научные новости. В данном разделе будет публиковаться информация о предстоящих защитах кандидатских и докторских диссертаций. Также будет представляться возможность ознакомиться с авторефератом будущей диссертации.

– Электронная библиотека. Данный раздел будет представлять собой хранилище литературы: учебники, научные труды, статьи, авторефераты.

Кроме того, предусматривается усиление популяризации российского сегмента GFIS, расширение числа активных участников и пользователей.

Моисеев Н.А. ИСХОДНОЕ СОСТОЯНИЕ И ЧТО НАДО СДЕЛАТЬ ДЛЯ НАВЕДЕНИЯ ДОЛЖНОГО ПОРЯДКА В ЛЕСНЫХ ДЕЛАХ РОССИИ.

В статье изложено исходное состояние лесного комплекса России и направления его развития

Ключевые слова: лесной сектор экономики, устойчивое лесопользование.

Moiseev N.A. CURRENT SITUATION AND WHAT TO DO TO RESTORE PROPER ORDER IN CASES OF RUSSIAN FOREST SECTOR.

The article describes the current situation of Russian forest sector and the direction of its development

Key words: wood sector of the economy, steady forest utilization.

Беднова О.В. СТРУКТУРНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ КАК ИНДИКАТОР ИХ НАРУШЕННОСТИ И ОСНОВА ДЛЯ ПРИРОДООХРАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВА ГОРОДСКИХ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ.

В качестве индикатора биоразнообразия городских лесных экосистем предложен индекс структурного разнообразия. Он может быть использован при природоохранном зонировании пространства городских особо охраняемых территорий, а также при исследовании динамики нарушенных лесных экосистем.

Ключевые слова: городские лесные экосистемы, экологический мониторинг, индикаторы биоразнообразия.

Bednova O.V. STRUCTURAL DIVERSITY IN FOREST ECOSYSTEMS AS INDICATOR OF THEIR DISTURBANCE AND BASIS FOR NATURE-CONSERVATION ZONING ON THE URBAN PROTECTED NATURAL AREAS.

Index of structural diversity is proposed as an indicator of biodiversity in the urban forest ecosystems. It can be used for nature-conservation zoning on urban protected natural areas, as well as to study the dynamics of disturbed forest ecosystems

Key words: forest ecosystems, ecological monitoring, biodiversity indicators.

Бурков В.Д., Шалаев В.С., Крапивин В.Ф. О РОЛИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА.

Обсуждается роль лесных экосистем в регулировании парникового эффекта за счет стока избыточного CO_2 из атмосферы. Дается характеристика моделей для параметризации потока CO_2 между атмосферой и лесными экосистемами. Приводятся полуэмпирические зависимости первичной продукции леса от температуры и осадков. Показано, что взаимосвязь между глобальным циклом CO_2 и наземной растительностью проявляется через зависимость первичной продукции и скорости разложения отмершей биомассы от температуры и концентрации CO_2 в

атмосфере. Отмечено, что для повышения достоверности оценок парникового эффекта необходимо создавать более сложные и детальные модели биогеохимического цикла парниковых газов с учетом интерактивности природных процессов.

Ключевые слова: лесная экосистема, климат, парниковый эффект, углерод, модель.

Burkov V.D., Shalaev V.S., Krapivin V.F. ABOUT THE ROLE OF FOREST ECOSYSTEMS IN THE CLIMATE CHANGE.

The role of forest ecosystems as the greenhouse effect regulator due to the sink of excess CO₂ from the atmosphere is discussed. It is given the characteristic of models that parametrize the CO₂ flux between the atmosphere and forest ecosystems. Semi-empirical dependencies of the net primary production of forest on the temperature and precipitation are given. It was shown that correlation of global carbon cycle and land vegetation is shown via the dependence of net primary production and speed of dead organic matter decomposition on the temperature and CO₂ concentration in the atmosphere. It was marked that improvement of reliability for the greenhouse effect assessment needs the working out of more complex and detailed models of biogeochemical cycle of greenhouse gases taking into account the interactivity of natural processes.

Key words: forest ecosystem, climate, greenhouse effect, carbon, model.

Бурков В.Д., Крапивин В.Ф., Шалаев В.С. РОЛЬ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНЫХ ФОРМАЦИЙ И ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ В БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЦИКЛАХ.

Анализируются процессы взаимодействия почвенно-растительных формаций с биогеохимическим циклом углерода и других биогенных элементов. Приводятся данные о таком взаимодействии и описываются модели, позволяющие оценить динамику биомассы наземной растительности в зависимости от характеристик окружающей среды. Обсуждается роль водных экосистем в формировании биогеохимических циклов. (Работа поддержана Российским Фондом Фундаментальных исследований, грант № 10-01-00079).

Ключевые слова: биогеохимический цикл, углерод, растительность, модель, биомасса.

Burkov V.D., Krapivin V.F., Shalaev V.S. THE ROLE OF SOIL-PLANT FORMATION S IN BIOGEOCHEMICAL CYCLES.

The processes of interaction between soil-plant formations and biogeochemical cycles of carbon and other nutrients is analyzed. Data on such interaction are given and models that give possibility to assess the dynamics of land vegetation depending on the environmental parameters are described. A role of aquatic ecosystems in the biogeochemical cycles formation is discussed.

Key words: biogeochemical cycle, carbon, vegetation, model, biomass.

Алейников А.А., Ефименко А.С. ХАРАКТЕРИСТИКА ЕСТЕСТВЕННОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ КЕДРА СИБИРСКОГО (*PINUS SIBIRICA*) В КРУПНОПАПОРОТНИКОВЫХ И ВЫСОКОТРАВНЫХ ЛЕСАХ СЕВЕРНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ.

Исследованы особенности популяционной структуры и плотность подроста *Pinus sibirica* в наименее изученных малонарушенных лесах Северного Предуралья с учетом сов-

ременных представлений о микросайтной организации лесных экосистем. Показано, что приживание молодых особей происходит на большинстве микросайтов как в подкroновом, так и в межкroновом пространствах, однако до виргинильного состояния доживают особи, произрастающие в подкroновом пространстве на пнях, ровных поверхностях и пристволовых повышениях деревьев.

Ключевые слова: *Pinus sibirica*, подрост, микросайты, ценопопуляция, популяционная структура, средняя тайга, Печоро-Илычский заповедник, Северный Урал.

Aleynikov A.A., Efimenko A.S. NATURAL REGENERATION OF SIBERIAN PINE (*PINUS SIBIRICA*) IN THE LARGE FERN AND TALL HERB FORESTS OF THE NORTHERN URALS.

Population structure peculiarities and undergrowth density of Siberian pine (*Pinus sibirica*) were studied in non-disturbed forests of the Northern Ural on the basis of contemporary conception of microsite organization of forest ecosystems. The establishment of young plants at most microsites is successful both in crown areas and on plates. Although only plants on plane crown areas, stumps and stem areas of living trees reach virginile state the research showed.

Key words: *Pinus sibirica*, underwood, microsites, cenopopulation, population structure, middle-taiga, Pechora-Ilych Nature Reserve, northern Urals.

Белов Д.А. КОМПЛЕКС ЭНТОМОФАГОВ ОТКРЫТО ЖИВУЩИХ И МИНИРУЮЩИХ ЧЛЕНИСТОНОГИХ В ГОРОДСКИХ НАСАЖДЕНИЯХ МОСКВЫ. СТРУКТУРА И ОСОБЕННОСТИ.

Исследования по фауне энтомофагов листогрызущих и минирующих насекомых показали резкое обеднение их комплексов в городских насаждениях Москвы. В результате проведенных исследований и сопоставления полученных данных с литературными был выявлен 81 вид паразитических насекомых, участвующих в регуляции численности открыто живущих листогрызущих и минирующих насекомых, наносящих вред городским насаждениям. Подавляющее большинство видов являются личиночными, личиночно-куколочными или куколочными паразитами.

Ключевые слова: энтомофаги, паразиты, хищники, листогрызущие насекомые, минирующие насекомые.

Belov D.A. ENTOMOPHAGES COMPLEX OF OPENED LIVING LEAF-EATING AND MINING ARTHROPODS IN URBAN MOSCOW STANDS. STRUCTURE AND FEATURES.

Studies on the fauna of leaf-eating and leaf-mining entomophagous insects showed a dramatic depletion of their complexes in the city of Moscow stands. As a result of research and comparison of the data with the literature, was identified 81 species of parasitic insects involved in the regulation of the number of leaf-eating living openly and leaf-mining insects harmful to urban plantings. The vast majority of species are the larval, pupal and larval-pupal parasites.

Key words: entomophages, parasites, predators, leaf-eating insects, mining insects.

Лихачев А.А. ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ ГОРОДА КОРОЛЕВА КАК БИОЦЕНТРЫ ЛОКАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ.

В работе проведена оценка лесных экосистем города Королева по показателям индексов структурного разнообразия и состояния лесного древостоя в биоцентрах локальной экологической сети.

Ключевые слова: биоцентры, лесные экосистемы, экологическая сеть.

Likhachev A.A. FOREST ECOSYSTEMS OF THE CITY QUEEN AS BIOCENTERS OF THE LOCAL ECOLOGICAL NETWORK.

In the study assessed the forest ecosystems of the Korolev city in terms of indices of structural diversity and condition of forests stands in biocenters of local ecological network.

Key words: biocenters, forest ecosystems, ecological network.

Федотов Г.Н., Рудометкина Т.Ф., Шалаев В.С. ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И ИХ КОНЦЕНТРАЦИИ В РАСТВОРАХ НА СТИМУЛЯЦИЮ РОСТА РАСТЕНИЙ ПРИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКЕ СЕМЯН.

В работе было изучено влияние дозы биологически активных веществ (БАВ) и их концентрации в растворе на прорастание семян и начальную стадию роста растений при предпосевной обработке семян. Показано, что ключевым параметром воздействия БАВ является не их доза, а концентрация в растворе. Сделан вывод о многостадийности процесса взаимодействия семян с раствором БАВ.

Ключевые слова: биологически активные вещества, растения, семена.

Fedotov G.N., Rudometkina T.F., Shalaev V.S. EFFECT OF DOSE BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES AND THEIR CONCENTRATION IN THE SOLUTION FOR STIMULATING THE GROWTH OF PLANTS AT A SEED DRESSING.

The effect of doses of biologically active substances (BAS) and their concentration in the solution on the germination of seeds and the initial stage of plant growth at pre-seed treatment has been studied in this paper. It is shown that the key parameter effect of BAS is not the dose, but the concentration in the solution. It is concluded that there is multi-step process of interaction of seeds with a solution of BAS.

Key words: biologically active substances, plants, seed.

Федотов Г.Н., Рудометкина Т.Ф., Шалаев В.С. ИЗУЧЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА САМОПРОИЗВОЛЬНО ВЫДЕЛЯЮЩИХСЯ ИЗ ПОЧВ ГЕЛЕВЫХ ПЛЕНОК.

Методами элементного анализа, ИК спектроскопии и спектроскопии в видимой области на примере дерново-подзолистой почвы было проведено исследование органического вещества почв и гелевых пленок, самопроизвольно выделяющихся из почв.

На основании проведенных экспериментов и анализа полученных результатов установлено, что органическое вещество гелевых пленок представляет собой набор гумусовых ве-

ществ, а гелевые пленки выделяются преимущественно из поверхностных слоев почвенных агрегатов.

Ключевые слова: органические вещества, почва, гелевые пленки.

Fedonov G.V., Rudometkina T.F., Shalaev V.S. STUDY OF ORGANIC SUBSTANCE WHICH IS SPONTANEOUSLY RELEASED FROM THE SOIL GEL FILMS.

The research was conducted the organic substance which was spontaneously released from the soil gel films. The study has been done by element analysis, IR spectroscopy and in the visible region of the example of the sod-podzolic soil.

On the basis of the experiment and analysis of the results it was identified that the organic substance gel films a collection of humic substances, but the gel films devoted primarily from the surface layers of soil aggregates.

Key words: organic substance, soil, gel films.

Погиба С.П., Рабцун А.С. СЕЛЕКЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛЕСНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ.

Приведены примеры и дана оценка методов селекционно-генетического анализа лесных популяций.

Ключевые слова: селекционно-генетический анализ, лес, популяций.

Pogiba S.P., Rabtsun A.S. SELECTION-GENETIC ANALYSIS OF FOREST POPULATIONS.

Examples and evaluates the methods of selection-genetic analysis of forest populations.

Key words: selection-genetic analysis, forest, populations.

Чумаченко С.И. КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИРОДНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ ЗОНЫ ТАЙГИ И СМЕШАННЫХ ЛЕСОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ.

Основными параметрами модели расчет природной пожарной опасности должны быть: категория земель, возраст насаждения, тип леса, преобладающая древесная порода, сопутствующие древесные породы, полнота насаждений, наличие пожароопасного подроста и подлеска, наличие сухостоя и захламленности, удаленность от дорог общего пользования. Показан принцип расчета класса природной пожарной опасности для лесных насаждений на выделительном уровне.

На основе предложенной концептуальной модели будет разработана математическая и имитационная модель динамики природной пожарной опасности, которая в совокупности с моделью FORRUS-S позволит получить прогноз изменения природной пожарной опасности при разных сценариях лесопользования на длительный период времени, вплоть до оборота рубки.

Ключевые слова: концептуальная модель, природная пожарная опасность, динамика, сценарии лесопользования

Chumachenko S.I. CONCEPTUAL MODEL OF LONG-TERM FORECASTING OF NATURAL FIRE DANGER TO A ZONE OF A TAIGA AND THE MIXED WOODS OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIA.

Key parameters of model calculation of natural fire danger should be: category of lands, age of planting, the wood type, the prevailing wood breed, accompanying tree species, completeness of plantings, existence fire-dangerous подроста and an underbrush, dead wood existence, remoteness from public roads. The principle of calculation of a class of natural fire danger to wood plantings at stand level is shown.

On the basis of the offered conceptual model the mathematical and imitating model of dynamics of natural fire danger which in aggregate with the FORRUS-S model, will allow to receive a forecast of change of natural fire danger at different scenarios of forest management for the long period of time, up to a cabin turn will be developed.

Key words: conceptual model, natural fire danger, dynamic, forest management.

Бурков В.Д., Крапивин В.Ф., Шалаев В.С. СБАЛАНСИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ГЛОБАЛЬНОГО БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА УГЛЕРОДА.

Впервые предлагается сбалансированная модель глобального цикла углерода, учитывающая все его стоки и источники на Земле. Описываются балансовые соотношения для потоков углерода на всех границах природных сред. Приводятся предварительные численные расчеты.

Ключевые слова: углекислый газ, модель, климат, парниковый эффект.

Burkov V.D., Krapivin V.F., Shalaev V.S. BALANCED MODEL OF GLOBAL BIOGEOCHEMICAL CYCLE OF CARBON.

Balanced model describing global geochemical carbon cycle and taking into account of all his sinks and sources on the Earth is proposed for the first time. Balance equations for the carbon fluxes between all natural boundaries are described. Preliminary numerical data are given.

Key words: carbon dioxide, model, climate, greenhouse effect.

Смирнова О.В., Чумаченко С.И. КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА.

Разработана концептуальная модель динамики напочвенного покрова на основе сопоставления этапов развития древостоев и эколого-ценотической структуры напочвенного покрова. Были выявлены основные факторы, влияющие на динамику основных показателей напочвенного покрова, таких как состав, проективное покрытие и средняя высота растений доминирующей эколого-ценотической группы (ЭЦГ). К ним мы отнесли: тип лесорастительных условий; породный состав древесного полога, включая подлесок; освещенность на высоте напочвенного покрова; этап развития насаждения (одновозрастное, условно-разновозрастное, абсолютно разновозрастное); наличие валежа разных стадий разложения. На основе анализа геоботанических материалов Ценофонда определены диапазоны суммарного покрытия каждой из 12 ЭЦГ в каждой группе типов леса южной тайги. Рассчитаны доли разных ЭЦГ в на-

почвенном покрове (баллы) для основных лесообразующих пород. Приведен пример расчета характеристик напочвенного покрова для смешанного южно-таежного лесного участка.

Ключевые слова: модель, лесной напочвенный покров.

Smirnova O.V., Chumachenko S.I. CONCEPTUAL MODEL OF DYNAMICS OF GROUND VEGETATION COVER.

The conceptual model of dynamics of a ground vegetation cover on the basis of comparison of stages of development of forest stands and ekologo-tsenotichesky structure of a ground vegetation cover is developed. The major factors influencing dynamics of the main indicators of a ground vegetation cover, such as structure, a projective covering and average height of plants of dominating ekologo-tsenotichesky group (ETsG) were revealed. We carried to them: type of forest lands conditions; pedigree structure of wood bed curtains, including an underbrush; illumination at height of a ground vegetation cover; stage of development of planting (even-aged, conditional and uneven-age, absolutely uneven-age); existence different stages of fallen trees decomposition. On the basis of the analysis of geobotanical materials of Tsenofond ranges of a total covering of each of 12 ETsG in each group of types of the wood of the southern taiga are defined. Shares of different ETsG in a ground vegetation cover (points) for the main forest breeds are calculated. It is given an example calculation of characteristics of a ground vegetation cover for the mixed southern taiga wood lot.

Key words: model, ground vegetation cover.

Бурков В.Д., Шалаев В.С., Крапивин В.Ф. СОЗДАНИЕ АРХИВА БИОМЕТРИЧЕСКИХ И ПРОДУКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСТИТЕЛЬНОСТИ.

Предложен макет архива биометрических и продукционных характеристик растительности. Рассмотрены его структура и возможное наполнение данными. Обсуждены вопросы организации информационного интерфейса и связи архива с уже существующими архивами и базами данных.

Ключевые слова: растительность, биометрические и продукционные характеристики, архив, пиксель.

Burkov V.D., Shalaev V.S., Krapivin V.F. MODEL OF THE ARCHIVE FOR BIOMETRICS AND PRODUCTIVE CHARACTERISTICS OF VEGETATION.

Model of the archive for biometrics and productive characteristics of vegetation is proposed. Its structure and possible data filling are considered. The questions of information interface organization and interaction of archive with existing archives and databases are discussed.

Key words: vegetation, biometric and production characteristics, archive, pixel.

Галкин Ю.С., Потапов В.Н. ОБРАБОТКА МОДЕЛИ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОГО СНИМКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ДЕШИФРОВОЧНЫХ ПРИЗНАКОВ.

Рассмотрены возможности применения новых дополнительных дешифровочных признаков при обработке гиперспектральных изображений.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, обработка гиперспектральных изображений.

Galkin Yu.S., Potapov V.N. PROCESSING OF GYPERSPECTRAL IMAGE MODEL BY APPLICATION OF ADDITIONAL DECODING SIGNS.

The possibilities of application of new additional decoding signs for processing of hyperspectral images are considered.

Key words: remote sensing, processing of hyperspectral images.

Давыдов В.Ф., Батырев Ю.П. ДИСТАНЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА.

Описан метод дистанционного определения деградации почвенного покрова. Предложен интегральный параметр определения деградации почвенного покрова. Приведен пример определения характеристик деградации методами дистанционного зондирования.

Ключевые слова: почвенный покров, интегральный параметр, спектральная яркость, дистанционное зондирование.

Davydov V.F., Batyrev Y.P. REMOTE DEFINITION OF DEGRADATION OF THE SOIL COVER.

The method of remote definition of degradation of a soil cover is described. The integrated parameter of definition of degradation of a soil cover is offered. It is given an example definitions of characteristics of degradation by methods of remote sensing.

Key words: soil cover, integrated parameter, spectral brightness, remote sondage.

Бурков В.Д., Крапивин В.Ф., Шалаев В.С., Шутко А.М. МИКРОВОЛНОВЫЙ МОНИТОРИНГ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ КАК ЭЛЕМЕНТА РЕГИОНАЛЬНОГО ВОДНОГО БАЛАНСА.

Рассмотрена задача определения содержания влаги в почве с помощью дистанционных радиометрических измерений собственного излучения системы «почва-растительный покров». Приведены расчетные формулы и описана структура модели регионального водного баланса. Обсуждены методы пассивного микроволнового мониторинга земных покровов.

Ключевые слова: растительный покров, мониторинг, водный баланс, влажность почвы, микроволновый мониторинг.

Burkov V.D., Krapivin V.F., Shalaev V.S., Shutko A.M. MICROWAVE MONITORING OF SOIL MOISTURE AS AN ELEMENT OF REGIONAL WATER BALANCE.

The problem of soil moisture assessment is considered to be solved by means of remote radiometric measurements of the radiation of “soil-vegetation cover” system. Calculation formulas are given, and model structure of regional water balance is described. Methods of the passive microwave monitoring are discussed.

Key words: vegetation cover, monitoring, water balance, soil moisture, microwave monitoring.

Хуторова Н.А. РОЛЬ И МЕСТО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА В СИСТЕМЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ.

Статья посвящена анализу роли и места экологического менеджмента в системе устойчивого развития. Отражены основные принципы экологического менеджмента, отмечена его возрастающая роль при переходе к устойчивому развитию.

Ключевые слова: экологический менеджмент, устойчивое развитие, экологизация, экологическая политика.

Khutorova N.A. ROLE AND PLACE OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN SYSTEM OF THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT.

This article analyzes the role and place of environmental management in the system for sustainable development. The basic principles of environmental management has been reflected. It was noted the increasing role of environmental management in the transition to sustainable development.

Key words: environmental management, sustainable development, greening, environmental policy.

Зенина Н.Н. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЛЕСНЫХ КЛАСТЕРОВ.

В статье рассмотрены вопросы обоснования необходимости формирования региональных лесных кластеров с позиций ситуационного подхода. Рассмотрен механизм внутриорганизационной динамики и принципы эволюции организационных форм.

Ключевые слова: ситуационный подход, организационная форма, взаимодействие, горизонтальные и вертикальные связи.

Zenina N.N. THE THEORETICAL BASIS FOR THE FORMATION OF REGIONAL FOREST CLUSTERS.

An article discusses the justification for the formation of regional forest clusters according to the situational approach. The mechanism of intraorganizational dynamics and principles of evolution of organizational forms is also considered.

Key words: situational approach, organizational form of interaction, horizontal and vertical connections.

Хуторова Н.А. МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НАЛОГООБЛОЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА.

Статья посвящена анализу международного опыта использования инструментов экологического налогообложения в системе экологического менеджмента. В статье представлен анализ поступлений от различных видов экологических налогов некоторых стран в динамике за последние 10 лет. Дана классификация инструментов регулирования воздействия на окружающую среду. Выявлены положительные результаты проведения реформ экологического

налогообложения, основные тенденции и принципы их реализации в странах Европейского Союза.

Ключевые слова: экологические налоги, регулирование воздействия на окружающую среду, экологические платежи, экологический менеджмент.

Khutorova N.A. INTERNATIONAL EXPERIENCE OF USING ENVIRONMENTAL TAX INSTRUMENTS IN ENVIRONMENTAL MANAGEMENT.

This article analyzes the international experience of using environmental tax instruments as the part of environmental management to regulate the environmental impact. The paper presents an analysis of income from various types of environmental taxes in some countries in the dynamics over the past 10 years. We present the classification of instruments for regulating the environmental impact in it. The positive results of the reforms of environmental taxes are revealed, the basic trends and principles of their implementation in the European Union are given in this paper.

Key words: environmental taxes, regulation of environmental impact, environmental payments, environmental management.

Шалаев В.С., Чумаченко С.И., Кулакова О.А. ГЛОБАЛЬНАЯ ЛЕСНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СЛУЖБА (GFIS): РОССИЙСКИЙ ИНТЕРНЕТ-СЕКТОР.

В статье приводится характеристика, миссия, цель, история создания и развития GFIS и ее российского сегмента, характеризуется современное состояние, формулируются некоторые направления развития.

Ключевые слова: глобальная лесная информационная служба, российский сегмент.

Shalaev V.S., Chumachenko S.I., Kulakova O.A. GLOBAL FOREST INFORMATION SERVICE (GFIS): RUSSIAN INTERNET-SEGMENT.

In this article there are description, mission, goals, history of creation and developing of GFIS and its Russian segment. There are given contemporaneous state and some directions of further developing.

Key words: global forest information service, Russian segment.