

Вестник Московского
государственного
университета леса

Лесной вестник

ISSN 1727-3749

2010 № 7 (76)

- *Об угрозах антропогенного воздействия на экосистемы*
- *Технология гибких информационно-моделирующих систем как инструмент исследования последствий антропогенного воздействия на лесные экосистемы*
- *Экологические индикаторы устойчивого развития мегаполиса*
- *Способ ранней лесопатологической диагностики*
- *Особенности применения лесотаксационной информации при тестировании космических снимков*
- *Влияние микрофазного расслоения почвенных гелей на биологическую активность почв*
- *Современные методы оценки состояния почв и грунтов урбанизированных территорий*
- *Использование древесных растений для фиторемедиации почвы*
- *Динамика естественных радиационных поясов земли в условиях влияния антропогенных факторов*



СОДЕРЖАНИЕ

Шалаев В.С.	<i>Об угрозах антропогенного воздействия на экосистемы</i>	4
Бурков В.Д., Крапивин В.Ф., Шалаев В.С., Солдатов В.Ю.	<i>Технология гибких информационно-моделирующих систем как инструмент исследования последствий антропогенного воздействия на лесные экосистемы</i>	10
Беднова О.В., Кузнецов В.А.	<i>Экологические индикаторы устойчивого развития мегаполиса</i>	20
Белов Д.А.	<i>Показатели оценки биологического разнообразия растительных членистоногих на урбанизированных территориях и методы их определения</i>	24
Давыдов В.Ф., Батырев Ю.П.	<i>Способ ранней лесопатологической диагностики</i>	31
Галкин Ю.С., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Потапов В.Н., Семенова В.П., Эсеналиев Ч.Д.	<i>Особенности применения лесотаксационной информации при тестировании космических снимков</i>	37
Пушкарский С.В.	<i>Постановка задачи моделирования и синтеза МФКС</i>	40
Давыдов В.Ф., Батырев Ю.П.	<i>Способ определения состава насаждений</i>	47
Чумаченко С.И., Яковлева А.И.	<i>Изучение теневыносливости основных лесобразующих видов средней части Приморского края</i>	53
Теплякова Е.В.	<i>Сокращение доступного к освоению лесного фонда в России в связи с лесозаготовками</i>	58
Мартыненко О.В., Щепашенко Д.Г., Карминов В.Н., Щепашенко М.В.	<i>Возрастная динамика продуктивности сосновых насаждений в зависимости от почвенных условий</i>	62
Федотов Г.Н., Шалаев В.С., Рудометкина Т.Ф., Росете И.С.	<i>Уровни организации гумусовых веществ в почвах</i>	70
Федотов Г.Н., Шалаев В.С.	<i>Взаимодействие с солями микрофазно расслоенных почвенных гелей</i>	78
Федотов Г.Н., Рудометкина Т.Ф.	<i>Влияние микрофазного расслоения почвенных гелей на биологическую активность почв</i>	88

Федотов Г.Н., Рудометкина Т.Ф.	<i>Гумусовые кислоты в почвах</i>	93
Кормилицына О.В., Бондаренко В.В., Коолен Д.	<i>Современные методы оценки состояния почв и грунтов урбанизированных территорий</i>	98
Панина Л.В.	<i>Локальные сухие пятна на газонах гольф гринов как следствие дефицита воды и гидрофобности почвы</i>	99
Джалил Пур Б.,	<i>Использование древесных растений для фиторемедиации почвы</i>	105
Бурков В.Д., Шалаев В.С., Капранов Ю.С., Перминов С.В.	<i>Динамика естественных радиационных поясов земли в условиях влияния антропогенных факторов</i>	108
Хуторова Н.А.	<i>Управление рисками катастроф посредством инновационных финансовых инструментов</i>	119
Батырев Ю.П., Полужков Н.П., Харченко В.Н., Царьгородцев Ю.П.	<i>Измеритель параметров вагонной буксы</i>	124

ОБ УГРОЗАХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКОСИСТЕМЫВ.С. ШАЛАЕВ, *проф., директор ИСИЛ МГУЛ, д-р. техн. наук**shalaev@mgul.ac.ru*

Проблема ограниченности возможностей нашей планеты, не безграничных природных ресурсов и ограниченной способности к нейтрализации, поглощению результатов антропогенного воздействия все в большей мере вызывает обеспокоенность, в особенности ученого сообщества, передовых умов человечества. Это подчеркивается все увеличивающимся потоком литературы, от популярных изданий до серьезных трудов и монографий, награждением Нобелевской премией мира за 2007 г. бывшего вице-президента США Альберта Гора и членов Межправительственной группы экспертов по изменению климата за изучение последствий глобальных климатических изменений, вызванных деятельностью человека, и выработку мер по их возможному предотвращению.

Особо хотелось бы остановиться на работах под руководством Денниса Л. Медоуза, начатых по предложению Римского клуба еще в 1970 г. А уже в 1972 г. была издана широко известная книга «Пределы роста» [10], переведенная на множество языков, ставшая в ряде стран книгой-бестселлером, которая явилась итогом работы группы специалистов разных стран. Основой этой работы стала компьютерная модель World3, в которой на основе множества статистических данных были смоделированы возможные сценарии развития мира с 1900 по 2100 гг. В соответствии с выводами следовало, что человечество уверенно шло к катастрофе, избежать которую возможно было, лишь приняв меры по ограничению и регулированию роста производства и изменению критериев прогресса. Книга подчеркивала невозможность бесконечного материального роста на физически конечной планете, требовала отказаться от повышения количественных показателей роста в пользу качественного, устойчивого развития.

Через 20 лет, в 1992 г., три соавтора представили новую книгу «За пределами роста» [11], где подчеркивались весьма незначительные расхождения фактических

глобальных тенденций за прошедшие 20 лет с прогнозами 1972 г. и продолжала обосновываться идея необходимости ограничения материального роста и перехода к устойчивому развитию общества. При этом как в свое время аграрная, а затем промышленная революции изменили направленность развития цивилизации, так и сейчас, по глубокому убеждению авторов, ожидаемая экологическая революция должна изменить приоритеты и ценностные ориентиры развития общества. Однако если аграрная революция длилась тысячи лет, промышленная – сотни лет, для экологической революции, при наблюдаемом сейчас экспоненциальном росте, человечеству отпущены какие-нибудь десятки лет.

Третья книга (2007) тех же авторов «Пределы роста. 30 лет спустя» [1] подчеркивает верность предшествующих прогнозов об имеющихся пределах роста на планете и все большей необходимости во взвешенной, разумной стратегии развития. И если в 1972 г. казалось, что население и мировая экономика с большим запасом вписывается в пределы емкости планеты, то к 1992 г., а особенно в последние годы выясняется, что человечество уже вышло за пределы самоподдержания Земли и не всегда может остановиться. Например, тропические леса вырубаются в недопустимых масштабах; общемировое производство зерна уже не в состоянии поддерживать рост населения; существенного роста морского вылова рыбы не произошло; природные катаклизмы с каждым годом обходятся все дороже; борьба за пресную воду и ископаемые виды топлива становится все жестче; США и другие ведущие страны продолжают увеличивать выбросы парниковых газов.

Матис Вакернагель [12–14] и его коллеги оценили нагрузку на окружающую среду со стороны человека и сравнили ее с поддерживающей способностью планеты. Они определили экологическую нагрузку как земельную территорию, необходимую для получения нужного количества ресурсов (зерна,

продовольствия, древесины, рыбы, площадей под городскую застройку) и разложения выбросов, производимых мировым сообществом (прежде всего диоксида углерода). Сравнив полученные значения с территориями, доступными на планете, Вакернагель заключил, что человечество уже расходует примерно на 20 % больше, чем допускает уровень самоподдержания (рисунок).

Принимая предложенный Вакернагелем показатель (нагрузка на окружающую среду или экологическая нагрузка, экологический след) и математические методы Всемирный фонд дикой природы публикует с 1998 г. данные по экологической нагрузке более чем для 150 стран в своих докладах «Живая планета». Из этих данных также следует, что с 80-х гг. XX в. на планете ежегодно используется больше ресурсов, чем может

быть восстановлено за тот же период, а экологическая нагрузка на внешнюю среду уже на 25 % (по данным 2003 г.) превышала ее регенеративную способность, 30 % – данные на 2005 г. В 2007 г. экологический след превышал биоемкость Земли – фактически имеющуюся площадь, способную воспроизводить возобновляемые ресурсы и поглощать углекислый газ – на 50 %. Т.е. для воспроизводства возобновляемых ресурсов, потребленных в 2007 г., необходимо 1,5 года [2].

Герман Дейли предложил три простых правила, позволяющих определить пределы устойчивости для потоков сырья и энергии [15]:

– для возобновимых ресурсов (почвы, воды, леса, рыбы) устойчивая скорость использования не может превышать скорость самовосстановления этих ресурсов;

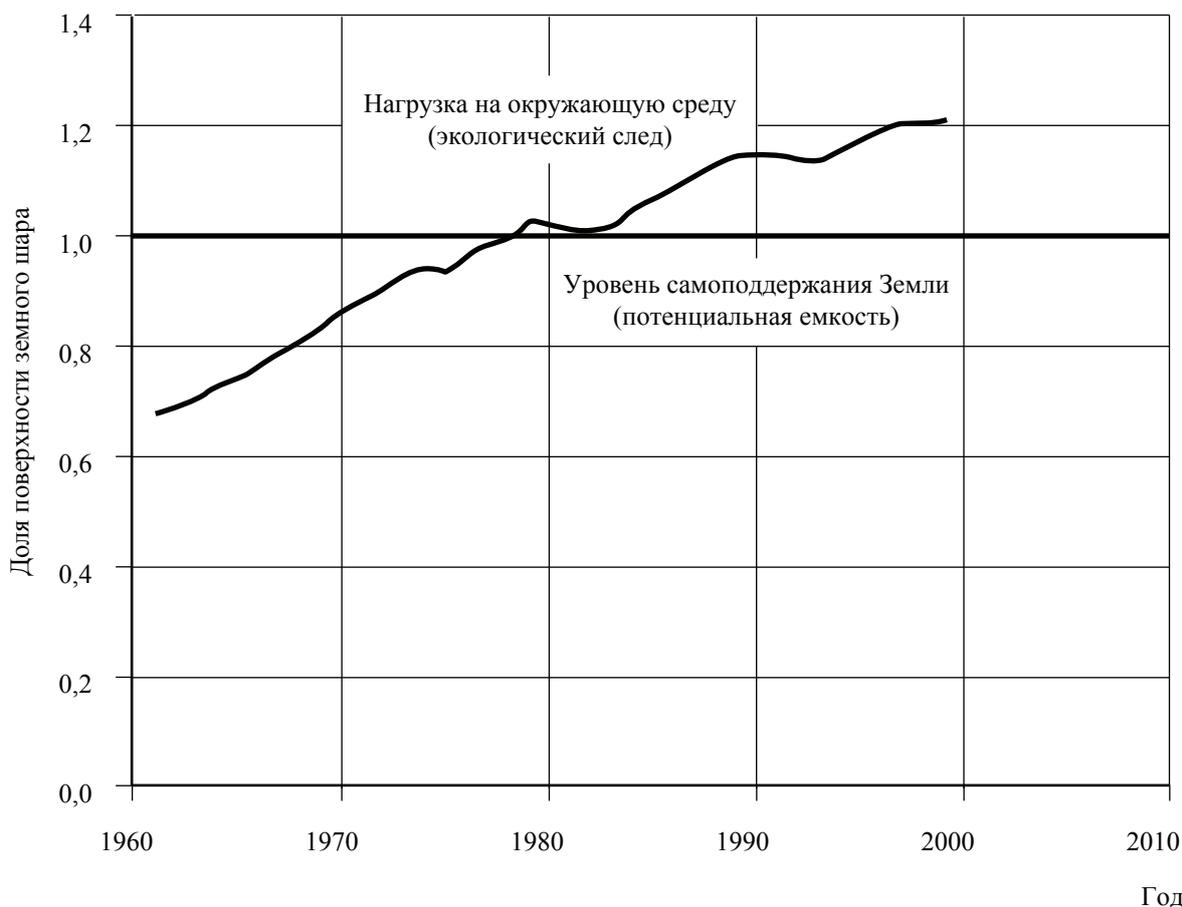


Рисунок. Нагрузка на окружающую среду и уровень самоподдержания (потенциальная емкость биосферы). График показывает долю поверхности планеты, необходимую для обеспечения человечества ресурсами и для разложения загрязнений. Расчеты ведутся для каждого года, начиная с 1960 г. Потребности человечества сравниваются с доступными ресурсами. Начиная с 80-х гг. потребности человека превышают возможности планеты, и выход за пределы в 1999 г. составляет порядка 20 %

– для невозобновимых ресурсов (ископаемые виды топлива, руды с высоким содержанием металлов и других соединений, грунтовые воды) устойчивая скорость потребления не может превышать устойчивой скорости, с которой для замещения невозобновимого ресурса может использоваться другой, возобновимый ресурс;

– для загрязнителей устойчивая скорость возникновения не может превышать скорость, с которой загрязнитель может быть разложен, поглощен или переработан средой без вреда для соответствующего стока.

Вместе с тем и российских ученых всегда занимали проблемы взаимодействия человека и природы. Например, еще в начале прошлого века В.В. Докучаев [3] говорил о значимости «многосложных и многообразных соотношениях и взаимодействиях, а равно и о законах между а) поверхностными горными породами, б) пластикой земли, в) почвами, г) наземными и грунтовыми водами, д) климатом страны, е) растительными и ж) животными организмами и человеком, гордым венцом творения».

И эти закономерные, можно сказать незыблемые, вековечные соотношения, находясь в основе, в корне наиболее существенных этнографических, исторических, бытовых, и даже экономических, социальных и всевозможных культурных человеческих особенностей и проявлений, всегда, от века, роковым, неотразимым образом тяготели над всем человеческим миром; и поныне, как Дамоклов меч, висят над ним, связывая мнимого господина земли по рукам и ногам, несмотря ни на какие успехи цивилизации, ни на какие политические перевороты, катастрофы, перемены и перетасовки».

В.И. Вернадский [4] показывал эволюционно возрастающее антропогенное влияние на биосферу, отмечал, что «площадь, доступная заселению организмами, ограничена, откуда следует существование предельного количества (массы жизни) живого вещества, могущего существовать на нашей планете».

Н.В. Тимофеев-Ресовский, обладая способностью глобального анализа биосферных процессов, весьма оригинально (по словам Н.Н. Моисеева [5]) оценивал возможное

количество жителей планеты в 500 млн людей, могущих при современном уровне технологического развития вписаться в естественные циклы круговорота вещества. Поскольку лишь 10 % энергии, используемой людьми, составляет возобновляемая энергия (а в настоящее время этот показатель находится на том же уровне), т.е. энергия, которая участвует в круговороте, а все остальное дает кладовая былых биосфер, то, чтобы не нарушать естественного круговорота веществ, человечество должно либо поубавить свои аппетиты либо пойти на десятикратное сокращение числа жителей планеты. При этом значимость работ Н.В. Тимофеева-Ресовского не только в позиционировании (еще в пятидесятых годах прошлого столетия) экологического кризиса, но в предложении направлений повышения продуктивности биосферы [6] в качестве альтернативы десятикратного сокращения численности людей на планете или их потребностей.

При этом биосфера Земли рассматривается как открытая термодинамическая система, в которую поступает извне энергия: то есть энергетический вход в биосферу как термодинамическую систему в виде солнечной энергии; глобальный биологический круговорот биосферы, где целый ряд веществ, целый ряд форм энергии постоянно циркулируют в этом большом круговороте биосферы; выход из него в геологию, в осадочные горные породы путем формирования вторичных осадочных горных пород.

А проблему нарастающей численности людей на Земле очевидно можно рассматривать и решать по трем местам этой термодинамической системы, то есть биосферы:

– на энергетическом входе (увеличивать количество поглощаемой зелеными растениями поступающей на Землю солнечной энергии за счет повышения плотности земного покрова или за счет культивирования растений с наивысшим показателем усвоения солнечной энергии и соответствующего увеличения производительности органических веществ);

– в биологическом круговороте биосферы (повышать эффективность и ускорять селекцию сельскохозяйственных культур –

культурных растений и домашних животных с целью резкого повышения их производительности, не нарушая при этом существующего в природе биоравновесия);

– на выходе из биологического круговорота в геологию (не допускать деградации вещества, выходящего из большого круговорота биосферы, до состояния малоценных мелких молекул, неорганических солей и др., образующихся в виде осадочных горных пород в океанах и морях, а биотехнически использовать в формах значительно более ценных, более полезных людям).

За прошедшие 50–60 лет весьма кардинально изменился «современный уровень технологического развития», что позволяет добавить технологическо-технические предложения для развития биосферы, т.е. технологическо-технические предложения повышения использования солнечной энергии на входе (батареи, солнечный ветер), в процессе использования энергии (повышение КПД энергетических установок, кардинальное сокращение энергетических потерь, ресурсосберегающие технологии, поиск, создание и использование новых видов энергии), на выходе, что в контекстном виде звучало и в работах Тимофеева-Ресовского.

В 2008 г. опубликована книга Дж. Даймонда «Коллапс. Почему одни общества выживают, а другие умирают» [7]. В качестве коллапсов рассматриваются достаточно известные примеры: индейцы анасази и каокийцы в пределах США, города майя в Центральной Америке, цивилизации моче и Тиуанако в Южной Америке, микенская цивилизация в Греции и минойская на Крите в Европе, Великий Зимбабве в Африке, Ангкор-Ват и хараппские города долины Инда в Азии и остров Пасхи в Тихом океане. На основе анализа процессов, посредством которых общество подтачивало само себя, разрушая окружающую среду, известный американский эколог Джаред Даймонд, директор американского филиала Всемирного фонда охраны дикой природы классифицирует и приводит 12 основных групп экологических проблем, с которыми сталкивалось ранее и сталкивается общество в настоящем:

1) разрушение естественных мест обитания, которое происходит с возрастающей скоростью. При этом наиболее пристального внимания заслуживают леса, болота, коралловые рифы и океанское дно;

2) истощение ресурсов добываемой в природе пищи, главным образом рыбы, в меньшей степени ракообразных и моллюсков;

3) потеря значительной части биологических видов, биоразнообразия планеты;

4) эрозия сельскохозяйственных земель, которая происходит в 10–40 раз быстрее почвообразования и в 500–10000 раз быстрее эрозии почвы в лесу;

5) истощение основных энергетических ресурсов – горючих ископаемых: нефти, газа, угля, т.е. невозобновляемых ресурсов планеты;

6) нехватка питьевой воды, которой уже сейчас не хватает более чем миллиарду человек;

7) нехватка фотосинтетической активности, т.е. солнечной энергии, расходуемой для фотосинтеза;

8) загрязнение окружающей среды отходами промышленного производства, в первую очередь токсическими химикатами;

9) умышленное или по неосторожности распространение бесполезных «интрадуктов»;

10) усиление влияния газов, как результата человеческой деятельности, на процессы глобального потепления;

11) рост численности населения;

12) возрастание антропогенного давления на окружающую среду.

Очевидно, не случайно Дж. Даймонд вынес на первое место из экологических проблем разрушение естественных мест обитания, а среди них гибель лесов. На основе анализа огромного количества данных по разным странам и разным эпохам им сделан вывод о главнейшем факторе коллапса многих обществ прошлого, которым явилась гибель лесов.

В качестве примера возможно привести остров Пасхи, оторванность которого от окружающего мира дает ярчайший пример общества, разрушившего самое себя чрезмерной эксплуатацией собственных ресурсов.

Состояние и изменения лесных площадей [8]

По регионам	Площади по годам в тыс. га			Годовые изменения в тыс. га	
	1990	2000	2005	1990–2000	2000–2005
Африка	699361	655613	635412	– 4375	– 4040
Европа (без РФ)	180370	188823	192604	+ 845	+756
Азиатско-Тихоокеанский регион	743825	731077	734243	– 1275	+ 633
Российская Федерация	808950	809268	808790	+ 32	– 96
Латинская Америка и Карибский регион	923807	882339	859925	– 4147	– 4483
Северная Америка	677798	677968	677461	+ 17	– 101
Всего в мире	4077291	3988610	3952025	– 8868	– 7517

«Два основных набора факторов, вызвавших катастрофу острова Пасхи: интенсивное воздействие человека на окружающую среду, прежде всего вырубка лесов и уничтожение популяции птиц, и политические социальные и религиозные факторы, стоящие за этим воздействием, такие, как невозможность при неблагоприятном развитии событий покинуть остров из-за его огромной удаленности, сосредоточенность на строительстве статуй и соперничество между кланами и вождями, приводившее к возведению все больших и больших статуй, что в свою очередь требовало большего расхода древесины, канатов и пищи.

Параллели между островом Пасхи и современным миром в целом ужасающе очевидны. Благодаря глобализации, международной торговле, реактивными самолетами и Интернету все страны мира сегодня совместно используют ресурсы планеты и оказывают взаимное, не всегда благоприятное воздействие друг на друга, в точности как это делали двенадцать кланов острова Пасхи. Одиноким полинезийский остров так же затерян в бескрайних просторах Тихого океана, как и планета Земля в космическом пространстве. Когда на острове Пасхи наступили тяжелые времена, его обитателям было некуда бежать, не к кому было обратиться за помощью; точно так же и нам, современным обитателям Земли, негде будет найти дополнительные ресурсы, если наше положение ухудшится. Вот почему в катастрофе, произошедшей с цивилизацией острова Пасхи, люди видят метафору, наихудший вариант, который может ожидать всех нас в нашем собственном будущем».

При этом, несмотря на все предсказания, прогнозы, предупреждения, лесные пло-

щади в мире продолжают неуклонно уменьшаться ежегодно на 8,9 млн га в 1990–2000 гг. и на 7,5 млн га в 2000–2005 гг. (таблица), что закономерно ведет к неуклонному снижению ресурсного потенциала лесов на земном шаре и резкому сокращению биоразнообразия. Наибольший «вклад» в эти показатели вносят страны Африки, Латинской Америки и Карибского региона. Российская Федерация тоже не осталась в стороне от этого процесса. Незначительный прирост лесных площадей в период известных политических событий и распада промышленности полностью «компенсируется» процессами последних лет и особенно последнего 2010 г.

В более развитых странах Европы лесные площади увеличивались ежегодно на 756 тыс. га в 2000–2005 гг., в США соответственно на 159 тыс. га в год. В Китае, весьма озабоченным проблемами окружающей среды и, как следствие, огромными экономическими потерями, социальными конфликтами и ухудшением здоровья жителей, были приняты серьезные усилия по охране природы. Среди наиболее значимых мер можно отметить высадку крупных плантаций деревьев, начиная с 1978 г., государственный запрет в конце прошлого века на любые вырубки и начало программы сохранения естественных лесов. В этом случае годовые увеличения лесных площадей в среднем с 1,986 млн га в 1990–2000 гг. (рост на 1,2 % в год) до 4,058 млн га в 2000–2005 гг. (рост на 2,2 % в год). При этом Китай занимает третье место в мире по потреблению лесоматериалов, импорт (увеличился в 6 раз с момента введения запрета на вырубку лесов) которых обеспечивается в значительной степени за счет России. Тем самым он сохраня-

ет собственные леса и окружающую среду за счет сведения лесов в других странах, причем некоторые из этих стран (напр., Малайзия, Папуа-Новая Гвинея, Австралия) вплотную подошли или приближаются к катастрофическому уровню сведения лесного покрова.

Зачастую, в первую очередь при административном подходе, ресурсный потенциал наших лесов оценивается объемами запасов древесины и средним годичным приростом, а при определении величин расчетной лесосеки основной величиной является объем ежегодного прироста древесины. Для нашей страны уже привычными стали показатели: более 80 млрд м³ – общий запас древесины; около 900 млн м³ – ежегодный средний прирост; свыше 500 млн м³ – объем разрешенного пользования древесными лесными ресурсами по всем видам рубок. Вместе с тем нет нужды для грамотного в лесном деле читателя останавливаться на фактически бедственном положении с лесными ресурсами в нашей стране. При этом на протяжении всей российской истории осуществлялась и продолжается беспощадная эксплуатация российского леса, направленная на вырубку без должного лесовосстановления. По данным [9] лесовосстановление относится к сведению лесов, как 1:10; для России этот показатель также требует улучшения.

Управление лесами, ведение лесного хозяйства России осуществляется более двухсот лет в соответствии с постулатом «пользование-восстановление». Не оспаривая его единства, необходимо отметить: если составляющая «пользование» в той или иной экономической реальности прогрессировала, да и не могла не расти, то составляющая «восстановление» всегда отставала и фактически обеспечивала деградацию нашей лесистости. Представляется, и в настоящее «рыночное» время для отдельных собственников «пользование» является первичным и никакими силами не заставит этого собственника обеспечивать «восстановление» себе в убыток. Но государству, как генеральному собственнику лесов, очевидно следует в этом постулате выделить в качестве первичного «восстановление». Только в этом случае возможно изменить тенденцию уменьшения количества лесных площадей в стране (может быть путем

жесткого администрирования), обеспечить сохранение и приумножение великого русского леса, а затем и развитие результативности «пользования». И подобные примеры есть.

Библиографический список

1. Медоуз, Донелла. Пределы роста. 30 лет спустя: пер. с англ. / Донелла Медоуз, Йорген Рандерс, Денис Медоуз – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 342 с.
2. Живая планета–2010. Биоразнообразие, биоемкость и развитие. Доклад Всемирного фонда дикой природы (WWF), подготовленный совместно с Лондонским зоологическим обществом (ZSL) и Всемирной сетью экологического следа (GFN) – Россия, 2010. – 118 с.
3. Докучаев, В.В. Место и роль современного почвоведения в науке и жизни / В.В. Докучаев // Ежегодн. по геологии и минералогии. – Вып.3. – СПб, 1899. – С. 4–16.
4. Вернадский, В.И. Биосфера. Очерки I–II, Научное химико-техническое издательство / В.И. Вернадский. – Л.: Научно-технический отдел ВСНХ, 1926. – 149 с.
5. Моисеев, Н.Н. Как далеко до завтрашнего дня... Свободные размышления. 1917–1993 / Н.Н. Моисеев. – М.: Тайдекс Ко, 2002. – 488 с.
6. Тимофеев-Ресовский, Н.В. Биосфера и человечество: научн. тр. Обнинского отдела Географического общества СССР / Н.В. Тимофеев-Ресовский. – Сборник 1. – Ч. I. – Обнинск, 1968. – С. 3–12.
7. Почему одни общества выживают, а другие умирают: [пер. с англ.] / Джаред Даймонд. – М.: АСТ, 2008. – С. 6.
8. Состояние лесов мира–2009. – Рим: Продовольственная и сельскохозяйственная Организация Объединенных Наций, 2009. – 196 с.
9. Проблемы экологии России, под ред. В.И. Данилова-Данильяна и В.М. Котлякова – М.: ВИНТИ, 1993).
10. Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jorgen Randers and William W. Behrens III, *The Limits to Growth* (New York: Universe Books, 1972).
11. Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows and Jorgen Randers, *Beyond the Limits* (Post Mills, VT: Chelsea Green Publishing Company, 1992).
12. M. Wackernagel et al., “Ecological Footprints of Nations: How Much Nature Do They Use? How Much Nature Do They Have?”, (Xalapa, Mexico: Centro de Estudios para la Sustentabilidad [Center for Sustainability Studies], March 10, 1997).
13. Mathis Wackernagel et al., “Tracking the Ecological Overshoot of the Human Economy”, *Proceedings of the Academy of Science* 99, no. 14 (Washington, DC, 2002): 9266–9271.
14. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.142033699.
15. Herman Daly. “Towards Some Operational Principles of Sustainable Development”, *Ecological Economics* 2 (1990).

ТЕХНОЛОГИЯ ГИБКИХ ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ КАК ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

В.Д. БУРКОВ, *проф. каф. ИИС и ТП МГУЛ, д-р техн. наук,*
 В.Ф. КРАПИВИН, *проф. каф. ИИС и ТП МГУЛ, д-р физ-мат. наук,*
 В.С. ШАЛАЕВ, *проф., директор ИСИЛ МГУЛ, д-р техн. наук,*
 В.Ю. СОЛДАТОВ, *асп. каф. ИИС и ТП МГУЛ*

caf-ptpp@mgul.ac.ru

Наиболее развитой информационной технологией в области природного мониторинга является область географических информационных систем (ГИС-технология). Однако эта технология не обеспечивает решение задач, связанных с эволюцией объектов окружающей среды и прогнозированием их состояния. Другими словами, ГИС-технология дает удобное средство контроля состояния объекта мониторинга и служит эффективным механизмом объединения многофакторной информации об объекте. Однако ГИС-технология имеет серьезные ограничения, когда речь идет о сложных задачах природного мониторинга, требующих создания динамичного образа среды в условиях отрывочных данных по пространству и во времени. Основным недостатком ГИС-технологии состоит в том, что она не ориентирована на многоплановый прогноз состояния сложного объекта мониторинга, каковым, несомненно, является лес.

Важный шаг в развитии ГИС-технологии сделан в работах [2–4], где теоретически обоснована и практически применена технология гибких информационно-моделирующих систем (ГИМС-технология), которая устраняет многие недостатки ГИС-технологии и дает возможность синтеза систем мониторинга с функциями прогноза. Ключевым звеном ГИМС-технологии является сочленение данных мониторинга с моделью изучаемой системы окружающей среды. Именно такое сочетание функций ГИМС-технологии позволяет оперативно оценивать текущие и прогнозные изменения окружающей среды в заданных пространственных масштабах.

ГИМС-технология

Основными принципами ГИМС-технологии являются:

- Объединение, интеграция и координация уже существующих государственных, ведомственных и отраслевых систем сбора первичной информации об окружающей среде на единой организационной и научно-методической основе.

- Оптимизация материальных и финансовых затрат на создание, функционирование и совершенствование системы контроля окружающей среды.

- Согласование и совместимость информационных потоков в системе на основе применения единой координатно-временной системы, использования единой системы классификации, кодирования, форматов и структуры данных.

- Централизация доступа к информации через международные информационные сети с максимальным расширением списка пользователей.

- Обеспечение межрегионального характера национального геоинформационного мониторинга, не зависящего от несовпадения границ регионов с границами экосистем.

Состояние лесных экосистем характеризуется большим разнообразием параметров. Среди них такие, как характеризующие тип почвы и растительности, водный режим территории, солевой состав почво-грунтов, уровень залегания грунтовых вод и многие другие. В принципе требуемая информация об указанных параметрах может быть получена с различной степенью достоверности и производительности из данных наземных

наблюдений, дистанционных измерений и из банков данных географических информационных систем, где содержится априорная информация, накопленная в прошлые годы. Проблема, возникающая перед ответственным за принятие соответствующего решения, заключается в получении ответов на следующие вопросы:

1) Какие приборы целесообразно использовать для проведения наземных и дистанционных измерений?

2) Какие финансовые средства выделить для проведения наземных и дистанционных измерений?

3) Как сбалансировать количество наземных измерений и объем дистанционных данных с учетом их информационного содержания и стоимости?

4) Какие математические модели пространственно-временных изменений параметров лесной экосистемы целесообразно использовать для интерполяции и экстраполяции данных контактных и дистанционных наблюдений с целью уменьшения объема

(количества) последних и, соответственно, уменьшения стоимости работы в целом, а также для получения прогноза функционирования наблюдаемого объекта.

ГИМС-технология позволяет ответить на поставленные вопросы. Основная идея ГИМС-технологии представлена на рис. 1.

Развитие и применение идей ГИМС-технологии, предусматривающей соединение методик и алгоритмов математического моделирования с наземными и дистанционными измерениями характеристик окружающей природной среды, как показывает опыт, возможно на базе синтеза летающих и передвижных лабораторий. В будущем именно такие комплексы будут решать следующие основные задачи:

– Прогнозирование времени начала и степени опасности стихийных бедствий типа лесного пожара.

– Контроль динамики развития лесного пожара, в том числе и в сложных метеоусловиях, и выдача информации для принятия решения.



Рис. 1. ГИМС-технология

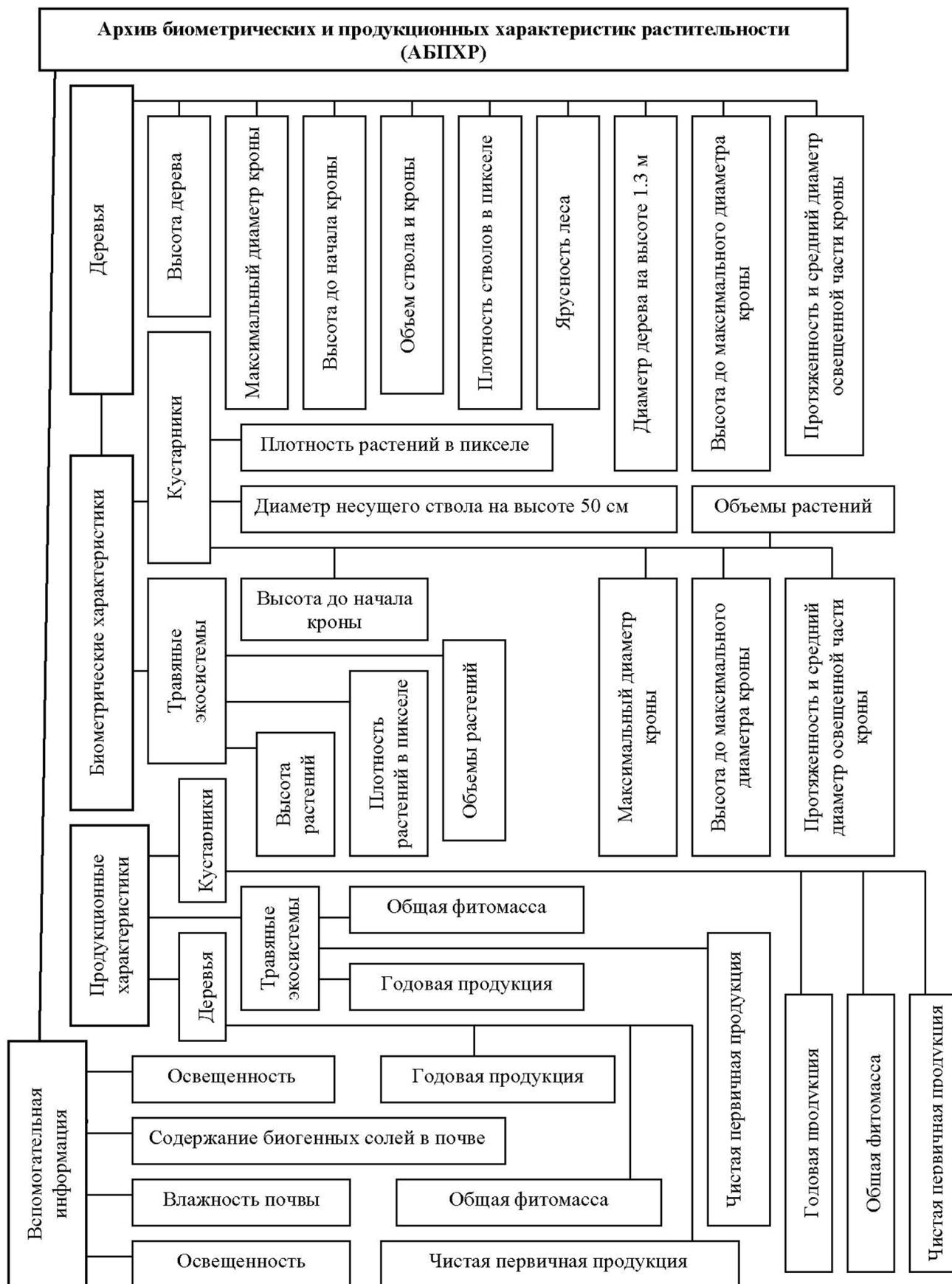


Рис. 2. Основные элементы макета АБПХР

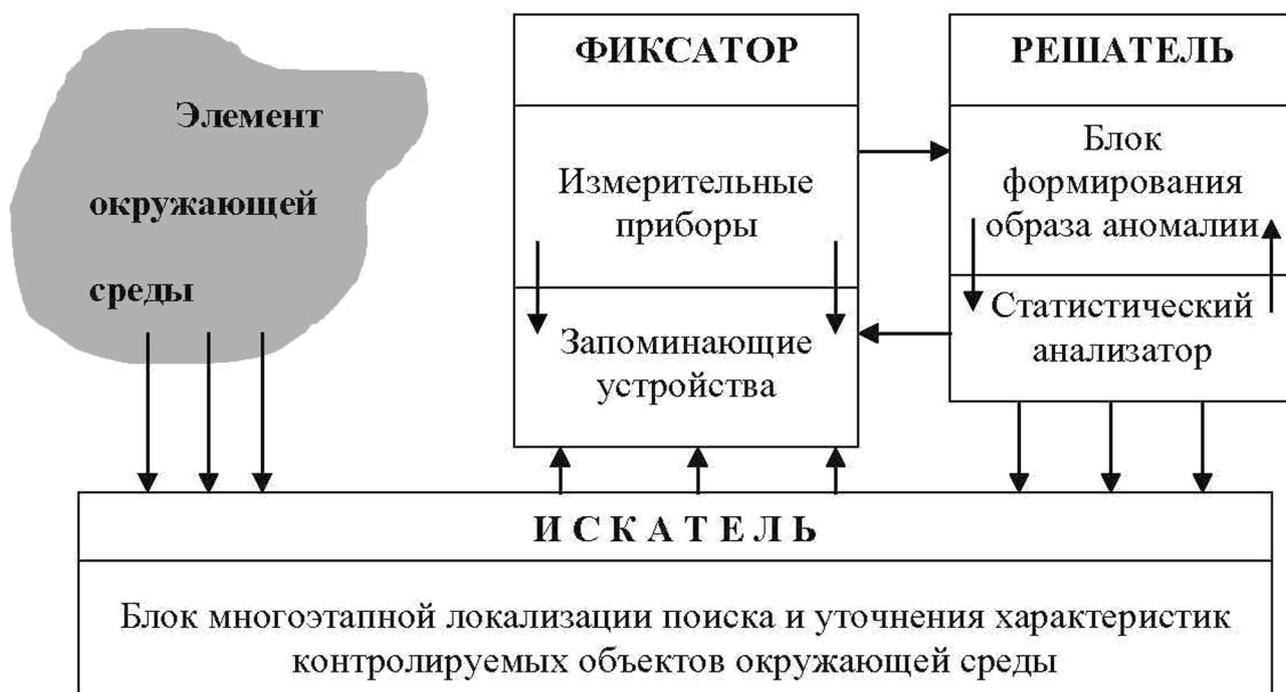


Рис. 3. Структурная схема мониторинговой системы поиска и обнаружения нарушений в динамике лесной экосистемы

- Оценка последствий лесного пожара.
- Выдача целеуказаний спасательным службам при проведении поисково-спасательных работ на территориях с лесными пожарами.

Мониторинг лесных экосистем и ГИМС-технология

Для оценки состояния экосистемы леса необходимо иметь данные о биометрических и продукционных характеристиках за длительный промежуток времени, так чтобы можно было сформировать динамический образ изучаемой территории и тем самым сделать вывод о направленности эволюционных процессов в экосистеме. Получение и накопление таких данных с различных измерительных устройств и систем обеспечивается ГИМС-технологией, в структуре которой формируется архив биометрических и продукционных характеристик лесных экосистем, который обеспечивает базовые параметры для моделей и алгоритмов реконструкции пространственных образов почвенно-растительных формаций на контролируемой территории. Структура архива дана на рис. 2. Схема организации мониторинговой системы показана на рис. 3.

Проблема создания АБПХР для своего решения требует привлечения существующих или создания новых систем дистанционного мониторинга, информационные потоки от которых должны быть верифицированы с помощью соответствующих наземных систем сбора данных о растительных покровах. Многие спутниковые системы, информация с которых позволяет осуществлять оперативный мониторинг земных покровов, оснащены устройствами высокого пространственного разрешения, что позволяет идентифицировать детальные элементы земных покровов и определять характерные однородные образования. Это обстоятельство упрощает процедуру расчета биометрических и продукционных характеристик растительности.

В частности, сигналы спутниковых систем навигации ГЛОНАСС и GPS (частоты 1176.45, 1227.6 и 1575.42 МГц) можно использовать для определения биометрических характеристик лесного полога. Действительно, одновременно с определением координат местности на основе регистрации рассеянного лесным пологом микроволнового поля приемниками сигналов ГЛОНАСС/GPS при наличии соответствующих алгоритмов,

устанавливающих связь компонентов электромагнитного поля с биометрическими параметрами полога леса, возможно восстановление этих характеристик.

Использование эффектов изменения компонент электромагнитного поля в пологе леса требует дополнительных исследований. В общем случае лесной полог может быть параметризован слоистой структурой – неоднородной средой, в которой реализуется многократное рассеивание электромагнитного излучения. Существует множество моделей этого рассеивания, позволяющих рассчитывать распределения электрофизических параметров лесного полога, на основе которых можно оценивать комплексную диэлектрическую проницаемость, знание которой необходимо для решения обратных задач по определению характеристик лесного полога. Известно, что, например, для сомкнутого хвойного древостоя эффективная диэлектрическая проницаемость и удельная проводимость примерно равны $\epsilon = 1.03$ и $\sigma = 7 \cdot 10^{-4}$ (Ом/м) соответственно. Знание таких оценок для различных типов лесных экосистем позволяет решить задачу оценки биометрических и продукционных характеристик леса на основе данных дистанционного зондирования в радиодиапазоне.

Достоверная оценка состояния лесной экосистемы невозможна без информации о прилегающих территориях и находящихся на них почвенно-растительных сообществах. Поэтому избыточность состава АБПХР неизбежна и необходима для реализации эволюционных алгоритмов ГИМС-технологии, с помощью которых осуществляется прогнозирование динамики экосистемы леса. Именно сопоставление параметров прогнозного образа лесной экосистемы с их реально измеренными значениями служит источником для обнаружения антропогенных вмешательств в динамику леса.

Введение некоторой характеристики I_{Ω} , параметризующей состояние контролируемой территории леса, позволяет предложить следующую схему мониторинга и прогнозирования. Представленная на рис. 3 структура системы мониторинга с функциями поиска, прогнозирования и слежения

за состоянием экосистемы леса позволяет обнаруживать критические отклонения в ее развитии и выявлять появление на территории леса изменения, не имеющие естественного происхождения. В системе выделяются три уровня: *фиксатор*, *решатель* и *искаатель*, блоки которых наделены следующими функциями:

1) регулярный контроль элементов окружающей среды с целью сбора данных об их состоянии в режиме, допускаемом используемыми техническими средствами;

2) фиксация подозрительных элементов окружающей среды, значение индикатора $I_{\Omega}(t)$ которых соответствует интервалу опасности возникновения аномалии на территории леса;

3) формирование динамического ряда $\{I_{\Omega}(t)\}$ для подозрительного элемента с целью принятия статистического решения о его шумовом или сигнальном характере и в последнем случае проверка подозрительного элемента по критериям следующего уровня точности (попадание вектора $\{x_i\}$ в кластер и т. п.);

4) принятие окончательного решения о возникновении в контролируемой экосистеме леса аномалии с выдачей информации соответствующим службам контроля окружающей среды.

Мировой опыт использования данных дистанционного зондирования лесов в основном опирается на спутниковый мониторинг. Система сбора спутниковых данных, предусматривающая получение и первичную обработку данных широкого спектра приборов, способна повысить достоверность результатов мониторинга. С применением ГИМС-технологии она может подвергаться модернизации с необходимым повышением эффективности и снижением стоимости результатов мониторинга. Необходимые для мониторинга лесов сенсоры могут различаться уровнем пространственного разрешения, спектральными каналами, частотой наблюдения и другими параметрами. Функциональные же возможности современных спутниковых систем для реализации системы мониторинга лесов представлены в таблице.

Возможности оптических спутниковых приборов для мониторинга лесов [1]

Направления мониторинга лесов	Спутниковые приборы различного пространственного разрешения				
	Низкое (~ 1 км)	Среднее (250–500 м)	Высокое (20–50 м)	Детальное (1–5 м)	
Картографирование лесов	NOAA-AVHRR SPOT-Vegetation Terra/Aqua-MODIS	Terra/Aqua-MODIS Envisat-MERIS	Landsat-TM/ETM+ Terra-ASTER SPOT-HRV/HRVIR Метеоп-3М/МСУ-Э IRS-LISS	IKONOS QuickBird SPOT-HRG IRS-PAN	
Оценка биофизических характеристик					
<i>Оценка биомассы, LAI, NPP, fPAR</i>					
<i>Оценка концентрации хлорофилла</i>					
<i>Оценка 3D структуры лесов</i>	SPOT-Vegetation	Terra-MISR Terra/Aqua-MODIS			
Оценка возмущающих воздействий					
<i>Детектирование пожаров</i>	NOAA-AVHRR Terra/Aqua-MODIS	Terra/Aqua-MODIS	Landsat-TM/ETM+ Terra-ASTER		
<i>Оценка последствий пожаров</i>	NOAA-AVHRR SPOT-Vegetation Terra/Aqua-MODIS		Landsat-TM/ETM+ Terra-ASTER SPOT-HRV/HRVIR Метеоп-3М/МСУ-Э IRS-LISS	IKONOS QuickBird SPOT-HRG IRS-PAN	
<i>Оценка воздействия биотических и техногенных факторов</i>					
<i>Вырубки лесов</i>					
Оценка фенологической динамики	NOAA-AVHRR SPOT-Vegetation				
Оценка трендов состояния	Terra/Aqua-MODIS			Landsat-TM/ETM+ SPOT-HRV/HRVIR	
Оценка физических характеристик поверхности	NOAA-AVHRR Terra/Aqua-MODIS		Landsat-TM/ETM+ Terra-ASTER		

Индикатор качества окружающей среды

Для оценки состояния лесной экосистемы желательно иметь простой и легко рассчитываемый показатель. В качестве такого показателя можно предложить индикатор биологической сложности, который определяет соотношение живой и неживой субстанций на рассматриваемой территории и определяет живучесть экосистемы, а также отвечает на вопрос, является ли она живой.

Переход между крайними состояниями лесная экосистема осуществляет за счет изменения своей сложности, индикатор которой и может служить предвестником наступления критического состояния. В частности, такие переходы могут реализовываться под воздействием изменений климата. Успех поиска таких индикаторов зависит от того, насколько хорошо мы знаем законы живого

мира и его эволюции под влиянием процессов реализации антропогенных проектов.

Проблема взаимодействия различных элементов и процессов в системе природа–общество (СПО) в последние годы привлекает внимание многих исследователей. Попытки оценить и предсказать динамику этого взаимодействия предпринимали специалисты в области различных научных направлений. Одной из таких попыток является, например, объявленная в США Национальным научным фондом программа «Bioscomplexity», в рамках которой планируется изучить и понять взаимосвязь между динамикой сложности биологических, физических и социальных систем и тенденциями в изменениях современной окружающей среды. В рамках этой программы сложность системы, так или иначе взаимодействующей с окружающей средой, связывается с явлениями, возникающими при контакте живой

системы с окружающей ее средой в условиях Земного шара.

Биосложность является производной биологических, физических, химических, социальных и поведенческих взаимодействий подсистем окружающей среды, включая живые организмы и население Земного шара. По существу понятие биосложности в окружающем нас мире тесно связано с закономерностями функционирования биосферы как единства образующих ее экосистем и природно-хозяйственных систем различного масштаба, от локального до глобального. Поэтому для определения биосложности и ее оценки необходимо совместное формализованное описание биологических, геохимических, геофизических и антропогенных факторов и процессов, происходящих на данном уровне пространственно-временной иерархии шкал и масштабов.

Проявление биосложности является характерным признаком всех систем окружающей среды, связанных с жизнью. Элементы этого проявления изучаются в рамках теории устойчивости и живучести экосистем. Здесь следует отметить, что формирование биосложности включает показатели степени взаимной модификации взаимодействующих систем, а это значит, что изучение биосложности необходимо вести с учетом как пространственных, так и биологических уровней организации. Трудность этой задачи определяется сложностью поведения объекта исследования, особенно если учитывать человеческий фактор, из-за которого количество стрессовых ситуаций в окружающей среде постоянно возрастает.

Человечество накопило много знаний о системах окружающей среды. Использование этих знаний для изучения биосложности возможно в рамках синтеза глобальной модели, отражающей закономерности взаимодействия элементов окружающей среды и позволяющей осуществлять оценки «эффективности» реализации сценариев развития человеческого общества, опираясь на фактические данные наземных и спутниковых измерений. Именно эта проблема лежит в основе всех вопросов, поставленных упомянутой программой «Bioscomplexity».

Исследования процессов взаимодействия человека и природы направлены, как правило, на понимание и оценку последствия этого взаимодействия. Достоверность и точность таких оценок зависит от критериев, которые берутся за основу при выводах, экспертизах и рекомендациях. В настоящее время нет согласованной методики выбора таких критериев, так как отсутствует единый научно-обоснованный подход к экологическому нормированию хозяйственных воздействий на природную среду. Ведь от выбора подобных критериев зависит точность экологической экспертизы действующих и планируемых производств, а также репрезентативность данных глобального геоинформационного мониторинга.

Происходящие в окружающей среде процессы можно представить как совокупность взаимодействий между ее подсистемами. Поскольку человек является одним из ее элементов, однозначного расчленения окружающей среды, например, на биосферу и общество, выполнить невозможно: все на Земле скоррелировано и взаимосвязано. Вопрос состоит в том, чтобы найти такие механизмы описания подобных корреляций и взаимозависимостей, которые бы достоверно отображали динамику окружающей среды и давали ответы на вопросы, сформулированные в упоминавшейся выше программе «Bioscomplexity»:

1. Каким образом сложность биологических, физических и социальных систем в окружающей среде возникает и изменяется?
2. Каковы механизмы спонтанного развития многих явлений в окружающей среде?
3. Каким образом системы окружающей среды с живыми компонентами, включая и те, которые созданы человеком, реагируют и приспосабливаются к стрессовым ситуациям?
4. Какими путями информация, энергия и вещество движутся внутри систем окружающей среды и через их уровни организации?
5. Возможно ли предсказать адаптируемость системы и прогностически оценить изменения в ней?
6. Как человечество влияет и реагирует на биосложность в природных системах?

К этому ряду можно добавить еще многие другие не менее важные и значимые вопросы. Например, до какого уровня сложности необходимо довести спутниковые системы наблюдений за окружающей средой, чтобы поставляемой ими информации было достаточно для достоверной оценки состояния среды, хотя бы на момент получения информации? Не менее важен вопрос об оптимальности размещения средств геоинформационного мониторинга на различных уровнях уже сложившейся его организации.

Биосложность окружающей среды в определенной степени является индикатором взаимосвязанности ее систем. В этой связи можно ввести шкалу Ξ биосложности, изменяющуюся от условий, когда в окружающей среде все взаимодействия прекращены (оборваны), до уровня, когда они соответствуют естественному процессу эволюции. Мы получаем, таким образом, интегральный показатель состояния окружающей среды в целом с учетом биологической способности (bioavailability), биологического разнообразия (biodiversity) и выживаемости (survivability). Подобный показатель характеризует все виды взаимодействия компонентов окружающей среды. Так, например, при биологическом взаимодействии, связанном с отношениями типа «хищник-жертва» или «конкуренция за энергетический ресурс», существует некоторый минимальный уровень наличия пищи, когда она становится практически недоступной и взаимодействие консумента с продуцентом прекращается. Химический и физический процессы взаимодействия элементов окружающей среды также зависят от наборов определенных критических параметров.

Все сказанное подчеркивает, что биосложность относится к категориям, которые трудно измерить и выразить количественно. Однако попытаемся перейти от чисто словесных рассуждений к формализованным количественным определениям. Для перехода к градациям шкалы Ξ с числовым масштабом постулируем, что между двумя значениями индикатора шкалы существуют отношения типа $\Xi_1 < \Xi_2$, $\Xi_1 > \Xi_2$ или $\Xi_1 \equiv \Xi_2$. Другими словами, всегда имеет место такое значение

этой шкалы ρ , которое определяет уровень биосложности $\Xi \rightarrow \rho = f(\Xi)$, где f – некоторое преобразование понятия биосложности в число.

Попытаемся найти удовлетворительную модель, которая отобразит качественный портрет биосложности в область понятий и признаков, подчиняющихся формализованному описанию и преобразованию. С этой целью выделим в изучаемой системе m элементов – подсистем низшего уровня, взаимодействие между которыми определим бинарной матричной функцией: $A = \| \| a_{ij} \| \|$, где $a_{ij} = 0$, если элементы i и j не взаимодействуют; $a_{ij} = 1$, если элементы i и j находятся во взаимодействии. Это самый простейший вариант определения биосложности. В общем виде следует для каждого взаимодействия количественно определять его уровень, т.е. $a_{ij} = \beta_{ij}$.

В общем случае показатель a_{ij} можно интерпретировать как уровень взаимодействия элементов i и j . Тогда любая точка $\xi \in \Xi$ определяется как сумма

$$\xi = \sum_{i=1}^m \sum_{j>i}^m a_{ij}. \quad (1)$$

Здесь возникает неоднозначность, для преодоления которой необходимо шкалу Ξ усложнить за счет, например, введения весовых коэффициентов для всех элементов контролируемой системы. Характер этих коэффициентов зависит от природы элементов. Поэтому выделим два основных типа элементов: живые (в том числе растительность) и неживые элементы. Живые элементы характеризуются плотностью, исчисляемой в количестве особей на (в) единице площади (объема) или концентрацией биомассы. Растительность характеризуется типом и долей занимаемой площади. Неживые элементы разделяются по уровню их концентраций, отнесенных к площади или объему пространства.

В общем случае каждому элементу i приписывается некоторый коэффициент k_i , который соответствует его значимости. В результате получаем уточнение для расчетной формулы при переходе от понятия биосложности к шкале Ξ ее индикатора:

$$\xi = \sum_{i=1}^m \sum_{j>i}^m k_j a_{ij}. \quad (2)$$

Ясно, что $\xi = \xi(\varphi, \lambda, t)$, где φ и λ – географическая широта и долгота соответственно, t – текущее время. Для некоторой территории Ω индикатор биосложности определим как среднее значение

$$\xi_{\Omega}(t) = (1/\sigma) \int_{(\varphi, \lambda) \in \Omega} \xi(\varphi, \lambda, t) d\varphi d\lambda, \quad (3)$$

где σ – площадь территории Ω .

Таким образом, индикатор $\xi_{\Omega}(t)$ (3) выступает как интегральный показатель сложности системы, отражая индивидуальность ее структуры и поведения в каждый момент времени t в пространстве Ω . В соответствии с законами естественной эволюции уменьшение (увеличение) величины ξ_{Ω} будет отслеживать возрастание (сокращение) биоразнообразия и способности природно-антропогенных систем к выживанию. Так как уменьшение биоразнообразия нарушает замкнутость биогеохимических круговоротов и приводит к увеличению нагрузки на невозобновимые ресурсы, то бинарная структура матрицы A сдвигается в направлении усиления позиций ресурсоисточающих технологий, и вектор энергетического обмена между подсистемами СПО смещается в состояние, когда уровень ее выживаемости понижается.

Как лесная, так и любая другая экосистема состоит из элементов – подсистем B_i ($i = 1, \dots, m$), взаимодействие между которыми формируется во времени в зависимости от многих факторов. Биосложность складывается из структурной и динамической сложности составляющих систему элементов. Другими словами, биосложность системы формируется в процессе взаимодействия ее частей $\{B_i\}$. С течением времени подсистемы B_i могут изменять свои состояния и, следовательно, будет изменяться топология связей между ними. Эволюционный механизм приспособления подсистем B_i к окружающей их среде позволяет выдвинуть гипотезу о том, что каждая подсистема B_i , независимо от ее типа, обладает структурой $B_{i,S}$, поведением $B_{i,B}$ и целью $B_{i,G}$. Таким образом, $B_i = \{B_{i,S}, B_{i,B}, B_{i,G}\}$. Целью $B_{i,G}$ подсистемы B_i является ее стремление достигнуть определенных предпочтительных для нее состояний. Целесообразность структуры $B_{i,S}$ и целенаправленность поведения $B_{i,B}$

подсистемы B_i оценивается эффективностью достижения цели $B_{i,G}$.

Конечно, такая формализация состояния лесной или урбоэкосистемы требует создания достаточно объемной базы данных и проведения исследований по взаимодействию их подсистем.

Поскольку взаимодействие подсистем $\{B_i\}$ связано с химическим и энергетическим кругооборотом, то естественно предположить, что каждая подсистема B_i так организует геохимические и геофизические преобразования вещества и энергии, чтобы сохранить устойчивое состояние. Формализованный подход к этому процессу состоит в предположении, что в структуре экосистемы между подсистемами B_i происходят обмены некоторых количеств V расходуемых ресурсов на некоторые количества W потребляемых ресурсов ((V, W) – обмен). В общем случае $W = W(V, B_i, \{B_k, k \in K\})$, где K – множество номеров подсистем, находящихся в контакте с подсистемой B_i .

Обозначим $B_K = \{B_k, k \in K\}$. Тогда результатом взаимодействия подсистемы B_i с ее окружением B_K являются следующие (V, W) -обмены

$$\begin{aligned} W_{i,0} &= \max_{B_i} \min_{B_K} W_i(V_i, B_i, B_K) = W_i(V_i, B_{i,opt}, B_{K,opt}); \\ W_{K,0} &= \max_{B_K} \min_{B_i} W_K(V_K, B_i, B_K) = \\ &= W_K(V_K, B_{i,opt}, B_{K,opt}). \end{aligned} \quad (4)$$

Отсюда видно, что при определении уровней V_i и V_K имеется некоторое размазывание цели подсистемы B_i . Поскольку в природе действуют факторы лимитирования, то, в данном случае, естественно предположить наличие некоторого порога $V_{i,min}$, при достижении которого энергетический ресурс подсистемы перестает тратиться на добывание внешнего ресурса, т.е. при $V_i \leq V_{i,min}$ подсистема B_i переходит в режим регенерации внутреннего ресурса. Другими словами, при $V_i \leq V_{i,min}$ происходит уменьшение индикатора биосложности $\xi_{\Omega}(t)$ за счет обрыва связей подсистемы B_i с другими подсистемами.

В общем случае V_{min} является структурной функцией ступенчатого типа, т.е. переход a_{ij} из состояния $a_{ij} = 1$ в состояние $a_{ij} = 0$ не для всех j происходит одновременно.

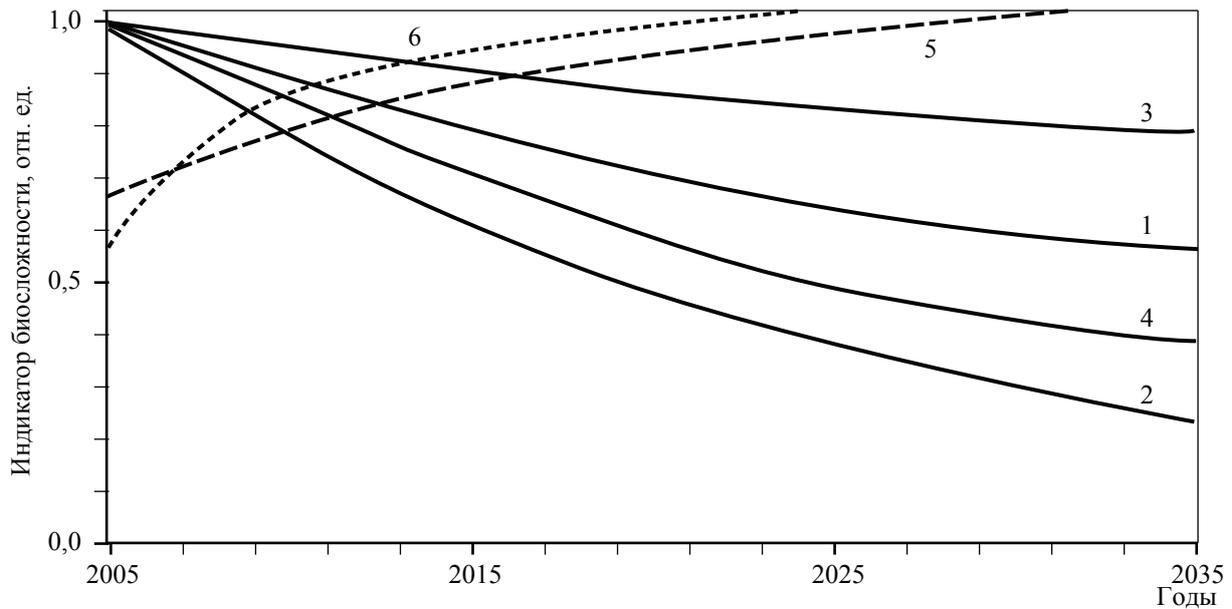


Рис. 4. Зависимость индикатора биосложности от антропогенной стратегии воздействия на лесные экосистемы. Обозначения: 1 – скорость изменения площади лесов остается на уровне 1970-2000 гг.; 2 – к 2050 г. все леса исчезают; 3 – к 2050 г. леса сокращаются на 10 %; 4 – на 50 %; 5 – к 2050 г. площадь лесов возрастает на 10 %; 6 – площадь лесов возрастает на 30 %

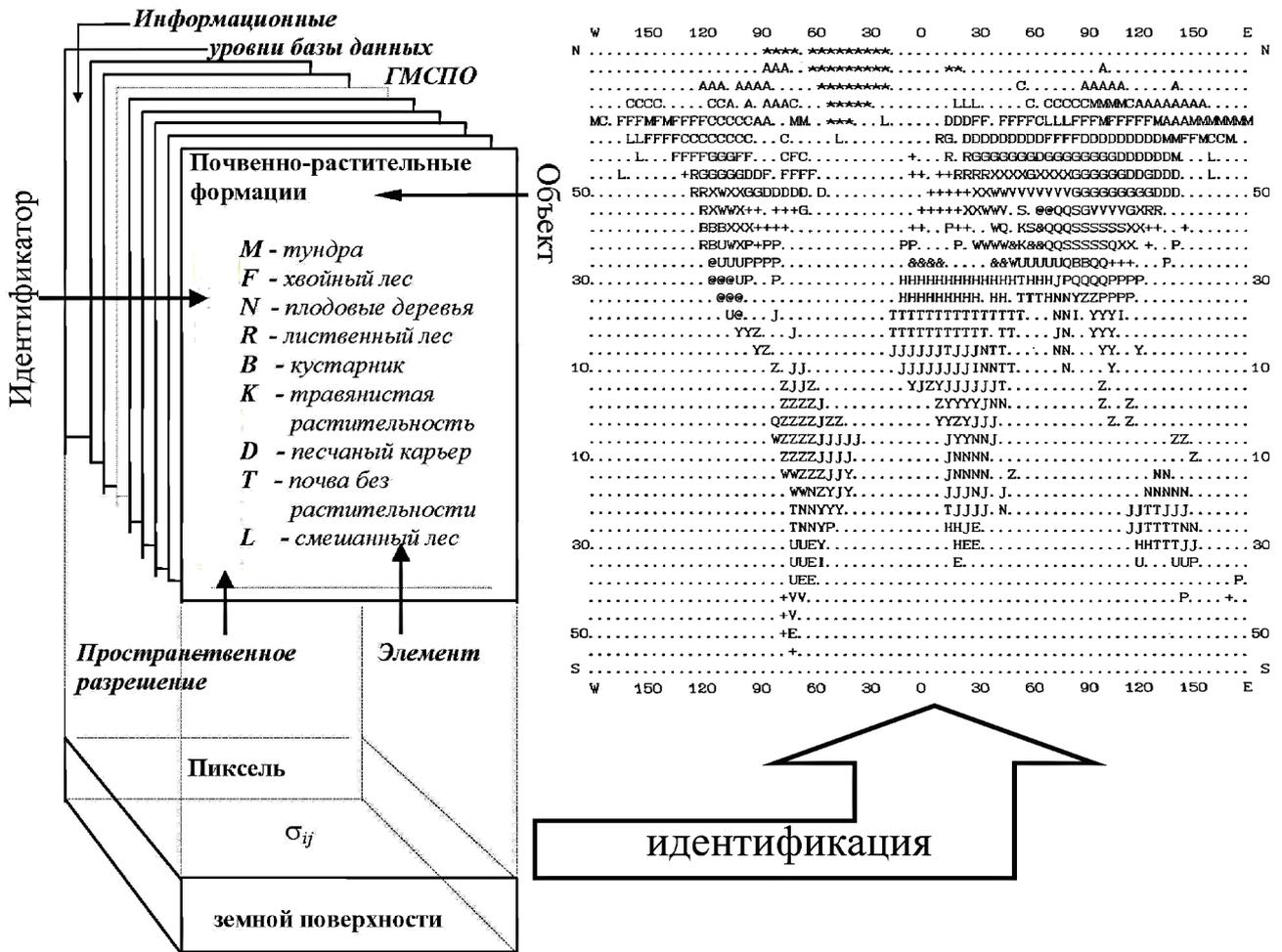


Рис. 5. Информационные уровни АБПХР и схемы их картографической идентификации при формировании матрицы А при подготовке расчета индикатора биологической сложности изучаемой территории

В самом деле, в любой трофической пирамиде отношения хищник–жертва прекращаются при уменьшении концентрации жертвы ниже некоторого критического уровня. В других случаях взаимодействие подсистем $\{B_i\}$ между собой может прекращаться в зависимости от различных сочетаний их параметров.

На рис. 4 рассмотрен пример расчета индикатора биосложности. Конечно, здесь была использована не очень точная информация об элементах рассмотренных лесных и урбоэкосистем. В основном были использованы спутниковые карты Google и учтены отдельные данные из публикаций.

Технология выбора пикселей для идентификации элементов экосистемы объяснена на рис. 5. Кривые на рис. 4 показывают возможность использовать индикатор биосложности для оценки последствий антропогенного воздействия на лесные экосистемы. Аналогичные расчеты можно осуществить и для случая урбоэкосистем различного пространственного масштаба.

Таким образом, для организации мониторинга лесных экосистем необходимо применение технологий различного временного

масштаба. В лесных экосистемах контроль параметров окружающей среды осуществляется в соответствии с режимом, определяемым ГИМС-технологией. Другими словами, здесь преобладает этап моделирования эволюции лесной экосистемы, результаты которого контролируются эпизодическими наблюдениями. Как показали предварительные исследования, одним из показателей состояния лесной экосистемы может служить индикатор биологической сложности.

Библиографический список

1. Барталев, С.А. Разработка методов оценки состояния и динамики лесов на основе данных спутниковых наблюдений: Докторская диссертация / С.А. Барталев. – М.: Институт космических исследований РАН, 2007. – 291 с.
2. Krapivin V.F. and Varotsos C.A. Globalization and sustainable development. Chichester, U.K. : Springer/Praxis. 2007. – 562 p.
3. Krapivin V.F. and Varotsos C.A. Biogeochemical cycles in globalization and sustainable development. Chichester, U.K.: Springer/Praxis. 2008. 304 p.
4. Krapivin V.F., Shutko A.M., Chukhlantsev A.A., Golovachev S.P., and Phillips G.W. GIMS-based method vegetation microwave monitoring. Environmental Modelling and Software, 2006, 21, 330–345.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ МЕГАПОЛИСА

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

В.А. КУЗНЕЦОВ, проф. Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева, д-р техн. наук

Экологическая составляющая должна занимать центральное место в системе индикации устойчивого развития, поскольку индикаторы других групп (экономические, социальные и др.) способны объективно характеризовать направление развития только в соотношении (агрегации) со значениями экологических индикаторов. Однако известные в настоящее время экологические индикаторы устойчивого развития носят обобщенный характер и не отражают ситуацию, складывающуюся на отдельных участках территории крупного города. Для такого анализа необхо-

дима разработка специальных экологических индикаторов состояния биотических и абиотических компонентов окружающей среды.

Использование параметров биоразнообразия в системе экологических индикаторов можно рассматривать как своего рода биоиндикацию степени устойчивости развития. Это в равной мере относится и к глобальному, и к региональному, и к национальному, но прежде всего – к локальному уровню оценки устойчивости развития. Поэтому система критериев биоразнообразия с соответствующим набором индикаторов должна быть многоуровневой.

caf-ecology@mgul.ac.ru; kuz@muctr.edu.ru

Чем выше положение уровня оценки, тем более унифицированной должна быть система сбора информации и методика определения значений индикаторных показателей. Это положение иллюстрирует, например, единство методики ежегодного сбора информации в разных странах для вычисления значения индекса живой планеты (*Living planet index*), отражающего динамику мирового биоразнообразия. Тренды изменения значений этого показателя служат основой для оценки состояния мировой природной системы [6]. Сначала индекс рассчитывается по популяционным параметрам репрезентативных (индикаторных) видов позвоночных животных отдельно для групп наземных и пресноводных видов (с разделением по умеренным и тропическим зонам обитания), морских видов (отдельно для Атлантического/Северного Ледовитого, Индийского, Тихого и Южного океанов). Затем определяется индекс как среднее геометрическое индексов для наземных видов умеренных и тропических зон, аналогично рассчитывается индекс для пресноводных видов и морских обитаний. Индекс живой планеты в итоге вычисляется как среднее геометрическое индексов всех трех групп местообитаний. Что касается локального (местного) уровня, то здесь имеется довольно большое количество методических подходов к индикации биоразнообразия в зависимости от экосистемной структуры территории, степени ее антропогенного преобразования, набора определяемых параметров и способов их определения. Специфика современной урбанизированной территории и в большей мере мегаполиса требует особого методического подхода к оценке состояния биотической составляющей и территории города в целом и отдельных ее функциональных зон.

На основе обобщения данных многолетнего лесоэкологического мониторинга в лесных массивах Москвы разработана система критериев и индикаторов оценки природной ценности лесных экосистем городских особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Первоначально мониторинговые исследования в городских лесах Москвы базировались на двух родственных подходах: методике проведения лесопатологического

мониторинга, разработанной на кафедре экологии и защиты леса МГУЛ под руководством Е.Г. Мозолевской [1], и методике мониторинга рекреационных лесов, обобщающей многолетний опыт наблюдений за состоянием лесных фитоценозов сотрудников Института лесоведения РАН на постоянных пробных площадях Московской агломерации [2]. В первой основное внимание уделено показателям состояния древостоя, разработанным на основе богатого опыта мониторинга состояния лесных экосистем, в поле зрения второй – динамика растительных сообществ в целом, основной вес при этом имеют результаты геоботанических исследований.

С организацией системы ООПТ в столичном мегаполисе охранный статус получил ряд мало нарушенных лесных участков природного комплекса, ранее территориально и административно не входивших в структуру городского лесопаркового хозяйства. Затем и территории всех московских лесопарков вошли в состав системы ООПТ. В этих условиях назрела необходимость смены приоритетных задач мониторинговых исследований. Стало очевидным, что для лесных экосистем в урбанизированных условиях в равной степени актуальны задачи выявления и оценки действия факторов их дестабилизации, оценки способности экосистемы противостоять нарушениям и определения степени и характера управляющего вмешательства в ее состояние. Поэтому необходимы интегральная характеристика биотического ядра экосистем и выявление степени воздействия города на абиотические компоненты последних.

Интегральная оценка биотического ядра лесной экосистемы должна проводиться с использованием более широкого, чем только компоненты лесного фитоценоза, спектра объектов. Она должна агрегировать по крайней мере три обязательные информационные составляющие:

- данные о состоянии лесного фитоценоза как определяющего компонента сообщества;
- сведения о видовом разнообразии и о сбалансированности связей между видами;
- присутствие в сообществе видов, имеющих природоохранный статус.

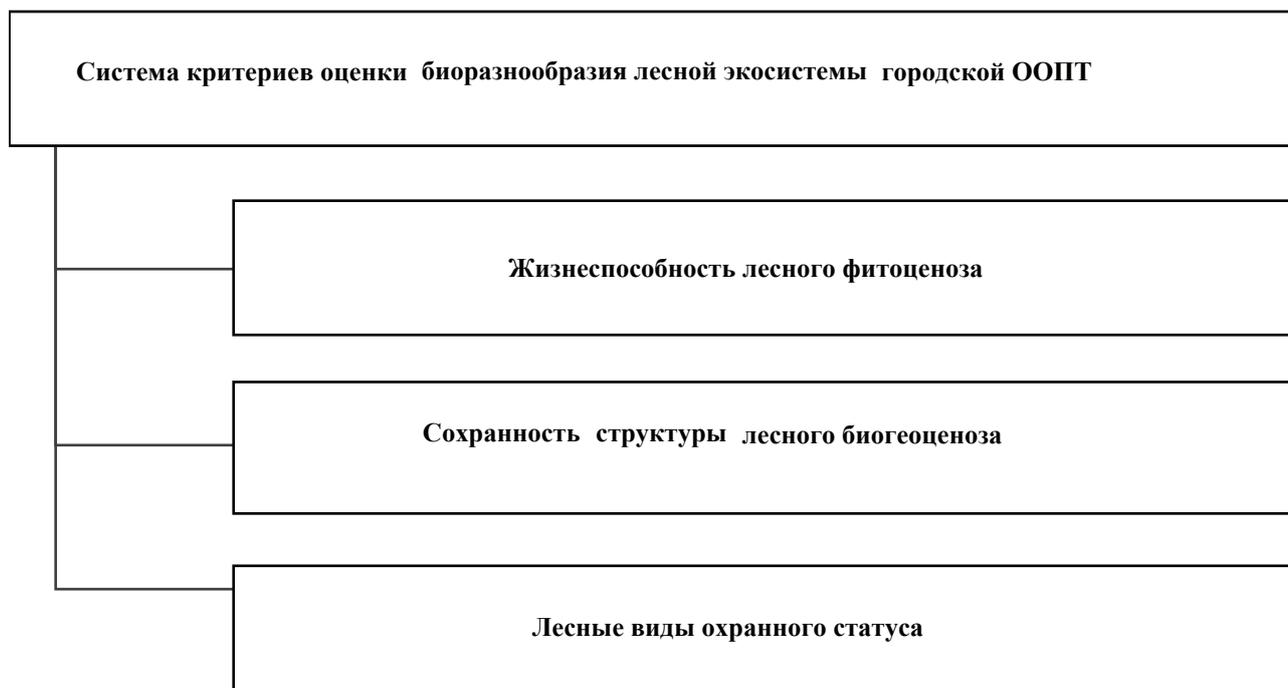


Рисунок. Система критериев оценки биоразнообразия лесных экосистем городских ООПТ

К тому же следует принять во внимание, что в сложившейся к настоящему времени системе индикаторов для мониторинга лесного биоразнообразия на региональном уровне различают три группы параметров [3]:

- *структурные*, учитывающие пространственное распределение количественных (прямых и косвенных) показателей экосистемного разнообразия лесов;

- *композиционные*, учитывающие преимущественно аспекты видового (таксономического) биоразнообразия;

- *функциональные*, учитывающие степень и направление преимущественно антропогенной трансформации биоразнообразия лесов.

С учетом этих положений систему критериев оценки биоразнообразия лесных экосистем городских ООПТ можно представить следующим образом.

Каждая группа критериев имеет свой набор показателей (индикаторов) в виде агрегированных индексов, рассчитанных по количественным параметрам, полученным при учетах на пунктах постоянных наблюдений (ППН). Последние необходимо организовать по принципу послыбно-ландшафтной выборки, охватив участки с разной лесоэкологичес-

кой характеристикой (тип леса, происхождение, состав насаждений, возраст, степень рекреационной дигрессии, опасность техногенного воздействия и т.п.) с последующей экстраполяцией данных на типологически сходные участки территории.

Структура системы оценки (таблица) построена на основе показателей функционального и композиционного биоразнообразия.

В первую группу (функциональное биоразнообразие) входят показатели, отражающие степень нарушенности лесной среды (состояние древостоя и степень пространственной нарушенности фитоценоза), агрегируемые через *индекс состояния лесного фитоценоза* [1, 4].

Аспект композиционного биоразнообразия отражен через *коэффициент природоохранной значимости* – он учитывает присутствие в биоценозе лесных видов, имеющих охранный статус [1, 4].

Индикаторный показатель *индекс структурного разнообразия лесного биогеоценоза* можно отнести к категории функционально композиционных. Методику его расчета можно найти в работе [4].

Здесь ограничимся только небольшим пояснением.

Система оценки природной ценности лесных участков городских ООПТ

Критерии оценки	Параметры оценки	Агрегированные индикаторы (индексы)
Состояние лесного фитоценоза	Состояние древостоя – соотношение деревьев по породам, по ступеням толщины и категориям состояния. Состояние травяно-кустарничкового яруса: проективное покрытие, доля участия лесных видов в суммарном обилии, площадь сбоя	Индекс жизнеспособности лесного фитоценоза
Степень сохранности структуры лесного биогеоценоза	Представленность элементов структурного разнообразия лесного биогеоценоза	Индекс структурного разнообразия лесного биогеоценоза
Лесные виды охранного статуса	Наличие видов растений, имеющих охранный статус или принадлежность к редкому в урбанизированных условиях лесному сообществу	Коэффициент природоохранной значимости
Интегральная оценка биоразнообразия		Индекс природоохранной ценности

С одной стороны, значения параметров, используемых для расчета этого индекса, отражают степень нарушенности/сохранности структуры лесного биогеоценоза: доля участия лесных видов в суммарном обилии травяно-кустарничкового яруса, наличие старовозрастных деревьев, плотность подлеска и подроста и т.д. – это характеристика функционального ряда. С другой стороны, на значение индекса структурного разнообразия влияют и композиционные составляющие: определяется общее число видов сосудистых растений (видовое богатство), а спектр представленных местообитаний в целом косвенно отражает привлекательность для животного населения.

В формализованном виде эту систему можно представить как

$$P = R \cdot I_s \cdot H_{str}$$

где R – коэффициент природоохранной значимости;

I_s – индекс состояния лесного фитоценоза;

H_{str} – индекс структурного разнообразия в биогеоценозе.

Система лесозокологического мониторинга предполагает периодическую проверку состояния экосистем. Динамика значений индикаторов, отражая направленность изменений в состоянии лесных экосистем, отражает и эффективность стратегии природоохранных управленческих решений. Это придает

показателям состояния биоразнообразия лесных участков ООПТ смысл индикаторов устойчивого развития территории. В сочетании с другими показателями состояния урбанизированной среды их можно включить в систему интегральных индикаторов устойчивого развития города в целом или отдельных территорий в его границах. Например, для комплексной оценки физических и химических факторов воздействия города на состояние лесных биогеоценозов предложен показатель негативного воздействия (ПНВ), который определяется на основании данных по загрязнению атмосферного воздуха различными химическими соединениями и уровней шумового и радиационного воздействия, выраженных в балльных единицах оценки их значений

$$ПНВ_j = ((ИАН)_{общ.j} + I_{ш.j} + I_{р.j}) / 3,$$

где $ПНВ_j$ – для j контрольной точки;

$ИАН_{общ.j}$ – значение общего индекса загрязнения приземного слоя воздуха по всем контролируемым соединениям;

$I_{ш.j}$ и $I_{р.j}$ – степень шумового и радиационного воздействия;

3 – количество составляющих, используемых для характеристики ПНВ.

Индекс общей атмосферной нагрузки ($ИАН_{общ.j}$) определяется при анализе процессов сухого осаждения примесей на поверхность сорбента в соответствии с раз-

работанным интегральным способом оценки загрязнения воздуха. Значения степени шумового и радиационного загрязнения определяются по соотношению с соответствующими предельными значениями [5].

Результаты интегральной оценки состояния лесных биогеоценозов и воздействия города на их абиотические компоненты целесообразно представлять в электронном виде с использованием ГИС-технологий. В этом случае пространственно визуализированная информация о биоразнообразии значительно облегчит принятие правильных, научно обоснованных решений при природоохранном планировании и функциональном зонировании городских ООПТ.

Библиографический список

1. Мониторинг состояния лесных и городских экосистем / под ред. В.С. Шалаев, Е.Г. Мозолевская. – М.: МГУЛ, 2004. – 235 с.
2. Мониторинг рекреационных лесов. – М.: ОНТИ РАН, 2003. – 170 с.
3. Мониторинг биологического разнообразия лесов России / А.С. Исаев. – М.: Наука, 2008. – 453 с.
4. Беднова, О.В. Структурное разнообразие лесных биогеоценозов как параметр лесозоологического мониторинга на городских особо охраняемых территориях / О.В. Беднова // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2009. – № 5(68). – С. 182–191.
5. Кузнецов, В.А. Комплексная оценка воздействия физических и химических факторов на городскую окружающую среду / В.А. Кузнецов, Н.П. Тарасова // Экология и пром-сть России, 2008. – № 10. – С. 41–43.
6. WWF Living Planet Report 2010. – WWF, 2010. – 117 p.

ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЧЛЕНИСТОНОГИХ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

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

belovy-da-i-nk@narod.ru

Словосочетание «биологическое разнообразие» впервые применил Г. Бэйтс в работе «Натуралист на Амазонке» [4], когда описывал свои впечатления от встречи около 700 разных видов бабочек за время часовой экскурсии. Однако основные научные концепции биоразнообразия были сформулированы лишь в середине XX в.

Согласно Конвенции о биологическом разнообразии, принятой 22 мая 1992 г. в Найроби (Кения) и открытой для подписания 5 июня 1992 г. на Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро (Бразилия), биологическое разнообразие означает «вариабельность живых организмов из всех источников, включая, среди прочего, наземные, морские и иные водные экосистемы и экологические комплексы, частью которых они являются, *это понятие включает в себя разнообразие в рамках вида, между видами и экосистемами*».

Таким образом, биологическое разнообразие – это разнообразие жизни во всех ее

проявлениях, один из основных показателей, характеризующих экологические системы различного ранга. Он позволяет дать оценку важнейших свойств природных сообществ, таких как продуктивность, устойчивость к внешним воздействиям и способность к саморегуляции, отражает сложность структуры биологического сообщества и является мерой ценности генофонда флоры и фауны.

В целом, биологическое разнообразие характеризуется двумя признаками – видовым богатством (интегральная характеристика) и выравненностью обилия видов.

Видовое богатство (или плотность видов) отражает количество видов, встречающихся в пределах экосистемы, в сравнительных целях иногда выражается как отношение числа видов к площади или числа видов к числу особей. Выравненность характеризует равномерность распределения численности особей. Изменение разнообразия может указывать на нежелательный процесс, например загрязнение местообитания. Антропогенное

воздействие может изменить условия местообитания, в первую очередь – условия питания в насаждении, что приводит к реорганизации трофической структуры сообщества, количественные сдвиги в которой могут быть чутким индикатором этого воздействия.

В более узком смысле под биологическим разнообразием понимают разнообразие на трех уровнях организации: генетическое разнообразие (генов и их вариантов – аллелей), разнообразие видов в экосистемах и разнообразие самих экосистем.

Видовой уровень разнообразия обычно рассматривается как базовый, центральный, а вид является опорной единицей учета биоразнообразия.

В некоторых публикациях высказывается ряд сомнений в обоснованности построения оценок разнообразия по видовому принципу. Виды не всегда служат лучшей единицей для оценки разнообразия, так как разные стадии жизненного цикла или разные жизненные формы одного и того же вида часто занимают разные местообитания и экологические ниши и вносят свой вклад в разнообразие (как например, личинка и имаго у чешуекрылых) [7].

Биологическое разнообразие сообществ может оцениваться по соотношению различных структурно-функциональных элементов. В качестве таких элементов могут выступать экологические или эколого-ценотические группы видов, а также видовые популяции с разными свойствами.

Оценка биологического разнообразия может проводиться на нескольких уровнях:

α -разнообразие – богатство видами конкретных сообществ (разнообразие внутри местообитания или одного сообщества). В качестве показателей α -разнообразия чаще всего используются видовое богатство – общее число видов в сообществе и видовая насыщенность – среднее число видов на единицу площади.

β -разнообразие – изменчивость α -разнообразия при переходе от одного типа сообщества к другому (разнообразие между местообитаниями), оценивается индексами сходства и гетерогенности.

γ -разнообразие оценивается по общему числу видов на исследуемой территории.

Этот показатель принято относить к крупным территориям, соответствующим ландшафту или его части [10].

В настоящее время предложено более 40 показателей или индексов, которые предназначены для оценки биоразнообразия.

На всех уровнях они должны отвечать определенным требованиям:

- появление и исчезновение редких видов не должны влиять на величину индекса;
- индекс должен относиться ко всем видам равноценно;
- индекс должен обладать приемлемыми статистическими свойствами (простотой в понимании и расчетах);
- вклад отдельных видов в величину индекса должен быть пропорционален их обилию [8].

Человек на протяжении сотен тысяч лет своего существования активно воздействовал на окружающую его живую природу: уничтожал естественные экосистемы и заменял их сельскохозяйственными угодьями, а затем и городами с их пригородными зонами. Такие экосистемы, нередко более продуктивные, чем естественные, а их биоразнообразие может быть довольно велико, в том числе и благодаря созданному человеком биоразнообразию растений.

Часть биологических форм растений, которые используются в урбанизированных экосистемах, целенаправленно были созданы человеком путем селекции, отбора, а в настоящем и методами генной инженерии. При этом их аналоги не встречаются и не могут появиться в естественных местообитаниях (например, нектарины, грейпфруты, тритикале).

Существует теория, согласно которой рост разнообразия напрямую связан с увеличением продуктивности. В более продуктивном и разнообразном по составу естественном растительном сообществе, скорее всего, фауна фитофагов будет богаче. Но в условиях урбанизированных территорий, когда повышенная продуктивность обусловлена усиленным поступлением ресурсов («помощью», или «опекой» человека), а не естественным расширением ассортимента растительности в ходе сукцессионной серии, также возможно и сокращение видового богатства системы.

Индексы общности, используемые для оценки биологического разнообразия

Наименование индекса	Формула расчета
Роджерса и Танимото (Нордхагена)	$K_3 = c / (a + b + c)$
Маунтфорда	$K_4 = 2c / (2ab - ac - bc)$
Дейка	$K_5 = 2c / (a + b + 2c)$
Кульчинского (1)	$K_6 = (a + b) / 2ab$
Процент несогласия	$K_7 = (a + b) / (a + b + c)$
Банальности сообщества (Шимкевича – Симпсона)	$K_8 = c / (a + c)$
Экзотичности сообщества (Браун-Бланке)	$K_9 = c / (b + c)$
Экмана	$K_{10} = (a + b) / c;$
Стугрен – Радулеску	$K_{11} = (a + b - c) / (a + b + c)$
Кульчинского (2)	$K_{12} = c / (a + b)$
Охайи – Баркмана	$K_{13} = \frac{c}{\sqrt{(a+c)(b+c)}}$
Сокала – Снита	$K_{14} = c / [2 \times (a + b + c) - c]$
Василевича	$K_{15} = \sqrt{a+b-2c}$

Примечания. Для индексов общности (за исключением индекса общности Василевича) применяются следующие обозначения: *a* – количество видов, имеющих в первом сообществе, но отсутствующих во втором; *b* – количество видов, имеющих во втором сообществе, но отсутствующих в первом; *c* – количество видов, имеющих в обоих сообществах. Для индекса Василевича применяются обозначения, аналогичные использованным при расчетах коэффициентов Жаккарда и Сьеренсена – Чекановского.

На первом этапе оценки биологического разнообразия растительных членистоногих в лесных экосистемах на урбанизированных территориях представляется необходимым оценить их β -разнообразие.

Чем меньше общих видов в соседних сообществах, тем выше β -разнообразие. Самый простой способ оценки β -разнообразия двух участков – расчет безразмерных показателей – коэффициентов сходства или индексов общности. При этом списки видов могут быть представлены как конечные множества, элементами которых будут составляющие их виды.

В этом случае возможно использование индексов общности, основанных на качественных данных (присутствие/отсутствие видов в списках). Поскольку число видов зависит от площади, то в данном случае (как и при рассмотрении иных индексов и проведения иных исследований) следует придерживаться принципа приблизительного равенства территорий. Большинство индексов общности учитывает положительные совпадения. Из них наиболее часто в биоценологических, фаунистических и биогеографических работах используются индекс Жаккара

$$K_1 = c / (a + b - c)$$

и индекс Сьеренсена – Чекановского

$$K_2 = 2c / (a + b),$$

где *a* – количество видов в первом сообществе;

b – количество видов во втором и *c* – количество видов, общих для двух сообществ.

Эти коэффициенты равны 1 в случае полного совпадения видов сообществ и равны 0, если выборки совершенно различны и не включают общих видов.

Кроме того, для оценки биологического разнообразия могут использоваться и другие индексы общности (табл. 1).

Урбанизированные территории отличаются разной степенью антропогенного воздействия и наличия природной составляющей, поэтому городские территории следует представлять в виде ряда типов насаждений (сообществ), в каждом из которых доля природной составляющей непрерывно уменьшается, а доля преобразования урбанизированной средой неуклонно растет.

В соответствии с этим от первой к последней категории насаждений уменьшается сохранность естественной лесной раститель-

ности и увеличивается трансформация природной среды, возрастает уровень ее загрязнения, ухудшаются условия произрастания древесных растений, уменьшается их долговечность и, соответственно, меняются сообщества растительных членистоногих.

В этом случае урбанизированные территории подразделяются на 5 категорий. Они отличаются по составу и структуре растительности, пространственному размещению растений, размеру и конфигурации территории и расположению объекта, степени сохранности и степени трансформации (нарушения) природной среды, а следовательно, и по особенностям создания, режиму содержания и затратам на содержание насаждений, их долговечности, устойчивости, мерам реконструкции и восстановления.

Присвоенные индексы категорий урбанизированных территорий соответствуют следующим категориям насаждений по их градостроительной категории или функциональному назначению:

1 – лесопарки, городские леса, лесные дачи, территории ботанических садов с элементами лесных насаждений, национальные парки. В насаждениях данного типа экологическая обстановка практически аналогична обстановке, складывающейся в естественных лесах.

2 – парки, дендрарии, городские сады (или малые парки), озелененные территории крупных спортивных, оздоровительных и культурно-исторических комплексов. Экологическая обстановка близка к таковой в естественных лесах. Значительную долю составляют декоративные деревья и кустарники. Здесь чередуются более разреженные, пересеченные дорогами, площадками и сооружениями зеленые массивы и относительно густые биогруппы деревьев, а также уцелевшие участки естественных насаждений. В связи с высокой рекреационной нагрузкой почва в таких объектах местами уплотнена, подрост и подлесок развиты неравномерно, в живом напочвенном покрове наряду с типично лесными видами часто встречаются, а местами преобладают, растения антропогенного ландшафта. Микроклимат близок к лесному, подстилка, благодаря сохранению опада вне дорожной сети, местами хорошо развита.

3 – внутриворонные насаждения и озелененные территории объектов специального назначения. Эти насаждения представляют собой изолированные рамками жилых кварталов небольшие зеленые массивы, которые отличаются нерегулярностью строения, сильной загущенностью и смешанным видовым составом, где значительную долю составляют как типично лесные, так и плодовые деревья и кустарники.

4 – скверы, бульвары, озелененные пешеходные зоны и другие сложные по составу и структуре уличные посадки (например, разделительные полосы шоссе, многорядные аллеи насаждения вдоль автомобильных дорог, посадки, примыкающие со стороны проезжей части к постройкам). Объединяют их следующие особенности: многорядность, наличие двух и более ярусов, высокая сомкнутость крон в рядах или куртинах, большое разнообразие видового состава растительности. Эти насаждения менее проницаемы для воздушных течений, занимают более широкие полосы территории, где способны создавать подобие подпологовой среды с некоторыми элементами живого напочвенного покрова и микроклиматом, свойственными массивным посадкам и естественному лесу.

Благодаря перечисленным выше особенностям строения сложные уличные посадки и насаждения в скверах и небольших парках отличаются большей устойчивостью к неблагоприятным воздействиям среды.

5 – простые уличные посадки. Такие насаждения обычно однорядны, одноярусны и состоят из растений одного вида, они создаются на насыпных, уплотненных и загрязненных строительным мусором грунтах, часто испытывая при этом недостаток влаги и питания. На их надземную часть, имеющую ажурную, продуваемую конструкцию, особенно сильно воздействуют выхлопные газы, пыль, копоть, а также мощные потоки воздуха, создаваемые движением транспорта [5].

Значения индексов общности, полученные при оценке биологического разнообразия комплексов растительных членистоногих на урбанизированных территориях г. Москвы представлены в табл. 2–9.

Т а б л и ц а 2

**Значения индексов общности Жаккарда (выше диагонали)
и Сьеренсена–Чекановского (ниже диагонали)***

	1	2	3	4	5
1	755	0,432806	0,235028	0,244876	0,144945
2	0,604138	693	0,462411	0,544554	0,231417
3	0,380604	0,632396	337	0,231417	0,231417
4	0,393414	0,7051	0,831978	398	0,412621
5	0,253191	0,375854	0,637405	0,584192	184

Примечание. Здесь и в последующих таблицах по диагонали указано количество выявленных видов в сообществе.

Т а б л и ц а 3

**Значения индексов общности Роджерса и Танимото (Нордхагена) (выше диагонали)
и Маунтфорда (ниже диагонали)**

	1	2	3	4	5
1	755	0,433234	0,235028	0,244876	0,144945
2	-0,00988	693	0,462411	0,544554	0,231417
3	0,732394	-0,00565	337	0,241679	0,471751
4	0,020619	-0,00664	0,00888	398	0,414634
5	-0,32692	-0,00469	-0,01312	-0,00962	184

Т а б л и ц а 4

**Значения индексов банальности Шимкевича–Симпсона (выше диагонали)
и экзотичности сообществ (Браун–Бланке) (ниже диагонали)**

	1	2	3	4	5
1	755	0,580132	0,275132	0,300265	0,157407
2	0,631124	693	0,469741	0,554755	0,237752
3	0,617211	0,967359	337	0,329389	0,495549
4	0,570352	0,967337	0,475783	398	0,427136
5	0,646739	0,896739	0,907609	0,934066	184

Т а б л и ц а 5

**Значения индексов общности Экмана (выше диагонали)
и Стугрен – Радулеску (ниже диагонали)**

	1	2	3	4	5
1	755	1,308219	3,254808	3,0837	5,89916
2	0,133531	693	1,162577	0,836364	3,321212
3	0,529944	0,075177	337	3,137725	1,11976
4	0,510248	-0,08911	0,516643	398	1,411765
5	0,71011	0,537167	0,056497	0,170732	184

Т а б л и ц а 6

**Значения индексов общности Кульчинского (1) (выше диагонали)
и Сокала–Снита (ниже диагонали)**

	1	2	3	4	5
1	755	0,00353	0,004788	0,003869	0,008477
2	0,276515	693	0,046813	0,04008	0,027261
3	0,133163	0,300738	337	0,022161	0,032353
4	0,139521	0,37415	0,559199	398	0,04386
5	0,078135	0,130849	0,308688	0,261538	184

Т а б л и ц а 7

**Значения индексов общности Дейка (выше диагонали)
и Кульчинского (2) (ниже диагонали)**

	1	2	3	4	5
1	755	0,604555	0,380604	0,393414	0,253191
2	0,764398	693	0,632396	0,705128	0,375854
3	0,307238	0,860158	337	0,389277	0,641075
4	0,324286	1,195652	0,318702	398	0,586207
5	0,169516	0,301095	0,893048	0,708333	184

Т а б л и ц а 8

**Значения индексов общности Василевича (выше диагонали)
и Охайи–Баркмана (ниже диагонали)**

	1	2	3	4	5
1	755	23,9583	26,01922	26,45751	26,49528
2	0,605091	693	19,46792	17,94436	23,4094
3	0,412086	0,674098	337	11,13553	13,78405
4	0,413831	0,732554	0,395876	398	15,55635
5	0,319064	0,461738	0,670645	0,631643	184

Т а б л и ц а 9

Значения процента несогласия

	1	2	3	4	5
1	755	0,566766	0,764972	0,755124	0,855055
2		693	0,537589	0,455446	0,768583
3			337	0,758321	0,528249
4				398	0,585366
5					184

Данные, представленные в таблицах 2–9, позволяют утверждать, что значения индексов общности Жаккарда, Сьеренсена–Чекановского, Роджерса и Танимото (Нордхагена), Дейка, оба индекса общности Кульчинского, Охайи–Баркмана и Сокала–Снита представляют ряды, отражающие снижение количества общих для сообществ видов растительных членистоногих. При этом явное резкое обеднение характерно для сообществ, находящихся на территориях, подвергшихся процессам урбанизации в наибольшей степени.

Индекс общности Стугрен–Радулеску дополнительно указывает на относительное сходство сообществ 2 и 4 категории урбанизированных территорий, а значения индекса общности Маунтфорда – на большее количество общих видов, встречающихся на территориях 1 и 2 категорий. Малые величины этого индекса означают существование в конкретных сообществах видов, наиболее устойчивых для факторов воздействия урбанизированной среды.

Данные коэффициенты предпочтительней всего использовать для оценки биологического разнообразия сообществ.

Такие индексы, как процент несогласия, индекс общности Василевича и индекс общности Экмана, можно признать величинами, обратными перечисленным ранее индексам общности. Наибольшие значения этих индексов указывают на наибольшую несхожесть сообществ. При этом верхний предел значений индекса общности Василевича зависит от числа видов в сообществах, что может вызвать некоторое неудобство при использовании данного коэффициента.

Индекс экзотичности (Браун–Бланке) также не имеет верхнего предела, однако в данном случае его числовые значения четко укладываются в диапазон от 0 до 1. В то же время величины этого показателя дают возможность утверждать, что видовой состав растительных членистоногих относительно близок по своей структуре на урбани-

зированных территориях 1 и 4, 3 и 5, а также 2 и 3 и 2 и 4 категорий.

И, наконец, значения индекса банальности сообщества (Шимкевича–Симпсона) указывают, что наиболее простыми («банальными») по своей структуре являются сообщества растительноядных членистоногих, обитающих на урбанизированных территориях 5-ой категории.

Индексы общности, учитывающие негативные совпадения, используются обычно при сравнении коллекций, когда известны полные видовые списки. Имеющиеся в настоящее время списки растительноядных членистоногих, обитающих в урбанизированных системах, постоянно пополняются. Следовательно, они не являются полными и законченными и использование индексов общности, учитывающих негативные совпадения (например, индекс Сокала – Майченера, или Барони – Урбани и Бюссера), преждевременно [6, 9].

Ограниченное использование индексов, учитывающих отрицательные совпадения, связано с их большой зависимостью от редких видов, которые могут не попадать в выборки по разным причинам.

Отсутствие вида в сборах может быть результатом неподходящих условий для его существования в местах сборов, либо вид не мог попасть в данное местообитание, хотя и имелись подходящие для него условия, либо вид не попал в выборку из-за неадекватности методов сбора, или из-за редкости [8]. Отсутствие вида как результат первых двух причин несет ценную информацию о фауне и местообитании, но только при исключении третьей причины, что сделать, как правило, невозможно.

Для первичного исследования данные индексы общности, несомненно, представляют определенную ценность. Однако оценка разнообразия только простым подсчетом видов не всегда информативна, так как ни одно сообщество не состоит из видов равной численности. Из общего числа видов какого-либо трофического уровня или сообщества в целом обычно лишь немногие бывают доминирующими, т. е. имеют значительную численность (большую биомассу, продуктив-

ность или другие показатели), подавляющая же часть относится к редким видам (т. е. имеет низкие показатели «значимости»). Таким образом, большинство видов в сообществе малочисленны, численности других умеренны и лишь немногие обильны.

Простота вычисления, являющаяся достоинством многих данных индексов, обрачивается недостатком – они не включают обилие видов [1–3].

Однако приведенные индексы общности могут быть успешно использованы для каких-либо частных целей (например, сравнение по отдельной фаунистической группе), но если говорить об общем биоразнообразии, то основываясь только на данных индексах можно прийти к ложному выводу: чем больше видов, тем разнообразнее сообщество. Следовательно, для более точной оценки биоразнообразия в дальнейших исследованиях необходимо использовать модифицированные индексы, включающие оценку обилий видов.

Библиографический список

1. Залепухин, В.В. Теоретические аспекты биоразнообразия: Учебное пособие / В.В. Залепухин. – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2003. – С. 169. – 192 с.
2. Лебедева, Н.В. Измерение и оценка биологического разнообразия // Н.В. Лебедева. – Ростов-на-Дону: УПЛ РГУ, 1997. – Ч. 1. – 39 с.
3. Лебедева, Н.В. Измерение и оценка биологического разнообразия // Н.В. Лебедева. – Ростов-на-Дону: УПЛ РГУ, 1999. – Ч. 2. – 41 с.
4. Лебедева, Н.В. Биоразнообразие и методы его оценки / Н.В. Лебедева, Н.Н. Дроздов, Д.А. Криволицкий. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 93 с.
5. Мозолевская, Е.Г. Экологические категории городских насаждений / Е.Г. Мозолевская, Е.Г. Куликова // Экология, мониторинг и рациональное природопользование. – М.: МГУЛ, 2000. – Вып. 302 (10). – С. 5 – 12.
6. Мэгарран, Э. Экологическое разнообразие и его измерение / Э. Мэгарран. – М.: Мир, 1992. – 184 с.
7. Одум, Ю. Основы экологии / Ю. Одум. – М.: Мир, 1975. – 740 с.
8. Песенко, Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях / Ю.А. Песенко. – М.: Наука, 1982. – 287 с.
9. Терещенко, В.Г. Оценка различных индексов для выражения биологического разнообразия сообщества / В.Г. Терещенко, Л.И. Терещенко М.М. Сметанин // Биоразнообразие: Степень таксономической изученности. – М.: Наука, 1994. – С. 86 – 98.
10. Уиттекер, Р. Сообщества и экосистемы / Р. Уиттекер. – М.: Прогресс, 1980. – 327 с.

СПОСОБ РАННЕЙ ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

В.Ф. ДАВЫДОВ, академик РАН, доц. каф. БЖД МГУЛ, канд. техн. наук,
Ю.П. БАТЫРЕВ, ст. научн. сотр. ИСИЛ МГУЛ, канд. техн. наук

batyrev@mgul.ac.ru

В лесном хозяйстве большое значение имеет раннее предсказание начала повреждения, ослабления и усыхания леса, от которого зависит оперативность принятия решения о начале лесозащитных мероприятий.

Периодически наблюдаются массовые размножения хвои и листогрызущих насекомых: соснового и сибирского шелкопряда, шелкопряда-монашенки, сосновой и пихтовой пяденицы, сосновых и еловых пильщиков и др. По данным лесопатологического надзора общая площадь поврежденных насекомыми участков достигает сотен тысяч и нескольких млн га в год.

Во всех случаях лесопатологического мониторинга желательно обнаруживать эти процессы на ранней стадии, чтобы своевременно проводить лесозащитные мероприятия, пока отслеживаемые процессы не приняли необратимый характер.

Для оперативного обнаружения лесопатологического состояния используют методы космического мониторинга лесов путем получения их изображений. При наблюдении сверху отображаемым на снимке объектом является древесный полог. Древесный полог содержит всю информацию об экологическом состоянии насаждения. Интегральными характеристиками изображения древесного полога, содержащими информацию об экологическом состоянии насаждения, являются: цветность хвои, листьев; степень изрезанности древесного полога; линейная протяженность (разброс) диаметров крон древостоя, объем кроны отдельного дерева и степень ее охвоенности и др. Перечисленные характеристики рассчитывают путем программной обработки изображений. Чем больше разнородных признаков изображения используют при оценке экологического состояния лесов, тем достовернее результат.

Одним из методов оперативного обнаружения очагов насекомых вредителей является сравнение текущего изображения лесного участка с эталоном.

Для решения задачи ранней лесопатологической диагностики авторами был предложен способ, состоящий в осуществлении одновременной, синхронной цифровой спектрометрической и видовой съемки лесных массивов, расчете по ним интегральных характеристик древесных пологов, объединение интегральных характеристик феноменологическим уравнением, нахождение областей устойчивого и неустойчивого состояния объекта анализом феноменологического уравнения, определение фазы дигрессии лесного массива по отношению текущих значений наблюдаемого параметра к его значениям в области устойчивого состояния.

Предложенный способ ранней лесопатологической диагностики включает синхронные измерения лесных массивов с космического носителя гиперспектрометром со спектральным разрешением спектрограмм $I(\lambda) \sim 1$ нм и цифровой видеокамерой с пространственным разрешением изображений $I(x, y) \sim 0,3$ м/пиксель, квантование измеряемых сигналов $I(\lambda)$, $I(x, y)$ по амплитуде в шкале не менее 10 разрядов, выбор в качестве наблюдаемого параметра лесопатологии произведения интегральных характеристик древесного полога, пронормированных относительно их значений для эталонного участка: средневзвешенной длины волны спектрограммы $(\lambda_{\text{тек}}/\lambda_0)$, средневзвешенного пространственного спектра Фурье матрицы изображения $[m \cdot n]$ элементов $(F_{\text{ср тек}}/F_{\text{ср 0}})$, площади рельефа древесного полога $(S_{\text{р тек}}/S_{\text{р 0}})$ помноженного на среднее значение производной спектрограммы в интервале 540–640 нм

$$\Phi = \partial I(\lambda)/\partial \lambda \cdot (\lambda_{\text{тек}}/\lambda_0) \cdot (F_{\text{ср тек}}/F_{\text{ср 0}}) \cdot (S_{\text{р тек}}/S_{\text{р 0}})$$
,
представление наблюдаемого параметра феноменологическим рекуррентным уравнением, вычисление посредством математических процедур постоянных рекуррентного уравнения, нахождение области параметров устойчивого состояния древесного полога, расчет фазы дигрессии лесного массива по количес-

твенному отношению текущего значения наблюдаемого параметра к его значениям в границах области устойчивого состояния.

Основной метод идентификации природных объектов (процессов) – это сравнение с эталоном, т.е. построение графического и математического образов отслеживаемого объекта по значениям измеряемого параметра. Как отмечалось выше, наблюдаемым объектом является древесный полог. Графическим образом состояния объекта является диаграмма Пуанкаре. Математический образ – это феноменологическое (детерминированное) уравнение, описывающее эволюцию объекта во времени. Отслеживаемым параметром является произведение интегральных признаков лесопатологии, содержащихся в спектрограмме древесного полога и его видеоизображении.

Поглощение и рассеяние лучистой энергии определяется наличием и концентрацией пигментов, а также наличием влаги в хвое, листьях. В результате селективного поглощения у зеленых растений формируется спектральная область с двумя минимумами отражения в синей (*B*) и красной (*R*) зонах. И лишь небольшой максимум отражения в зоне (*G*) придает растительности зеленую окраску. Спектр отражения светового потока зеленой вегетирующей растительности иллюстрируется графиком рис. 1(а).

При стрессовых ситуациях, например, накоплении в фотосинтезирующих органах поллютантов, происходит разрушение фитопластов, уменьшение хлорофилла. При этом хвоя и листья растения приобретают желтоватую окраску, причем растения одинаково реагируют как на недостаток минерального питания, накопление поллютантов или объедание кроны насекомыми вредителями. Визуальными признаками нарушения состояния древостоев являются: некроз хвои, листьев, изменение окраски, уменьшение их линейных размеров, ажурность крон, усыхание ветвей, уменьшение степени охвоенности побегов, уменьшение общего объема фитомассы. Это приводит к уменьшению поглощения лучистой энергии древесным пологом и к изменению спектральных характеристик отраженного потока, рис. 1,а [1, 2].

Первым признаком лесопатологических нарушений, содержащихся в спектрограмме, является изменение знака производной спектрограммы $I(\lambda)$ в интервале 540...640 нм. На рис. 2 представлены графики производных $\partial I(\lambda)/\partial \lambda$ регистрограмм (рис. 1), соответственно здорового леса (а) и в состоянии дигрессии (б, в). Изменение знака производной свидетельствует о начале процесса дигрессии. Среднее значение производной в интервале 540...640 нм используют в качестве параметра феноменологического уравнения.

Вторым признаком лесопатологии, содержащимся в спектрограмме, является изменение цвета, окраски древесного полога, что проявляется в виде смещения результирующего спектра отражения в длинноволновую (красную) область. Количественным параметром такого смещения служит средневзвешенная длина волны λ_{cp} отраженного потока, исчисляемая как

$$\int_{\lambda=370}^{\lambda_{cp}} I(\lambda) \cdot \partial \lambda = \int_{\lambda_{cp}}^{\lambda=670} I(\lambda) \cdot \partial \lambda .$$

Средневзвешенное значение длины волны делит площадь под рис. 1 пополам. В частности, в качестве эталонной средневзвешенной длины волны принимают ее расчетное значение для здорового, вегетирующего насаждения (рис. 1,в), $\lambda_0 = 540$ нм. Динамика изменения отношения средневзвешенных длин волн регистрограмм (рис. 1) иллюстрируется графиком (рис. 3).

Лесопатологические нарушения изменяют структуру древесного полога и, соответственно, текстуру его видеоизображения.

Текстура изображения содержит скрытые закономерности в строении насаждения и отдельных его элементов. Крона отдельного дерева при съемке сверху представляется некоторой колоколообразной фигурой. Вершина кроны отражает падающий световой поток практически зеркально, в то время как промежутки между кронами – диффузно. При этом световой поток рассеивается в промежутках и не отражается в сторону измерителя. Промежутки между кронами имеют меньшую яркость на изображении.

Поэтому текстура изображения отражает морфологию древостоя, т.е. периодичность чередования расстояния между деревьями и линейные размеры крон отдельных деревьев. Скрытую информацию о периодичности

чередования расстояний между деревьями и линейными размерами диаметров крон выделяют расчетом пространственного спектра Фурье функции яркости видеоизображения $I(x,y)$ [3].

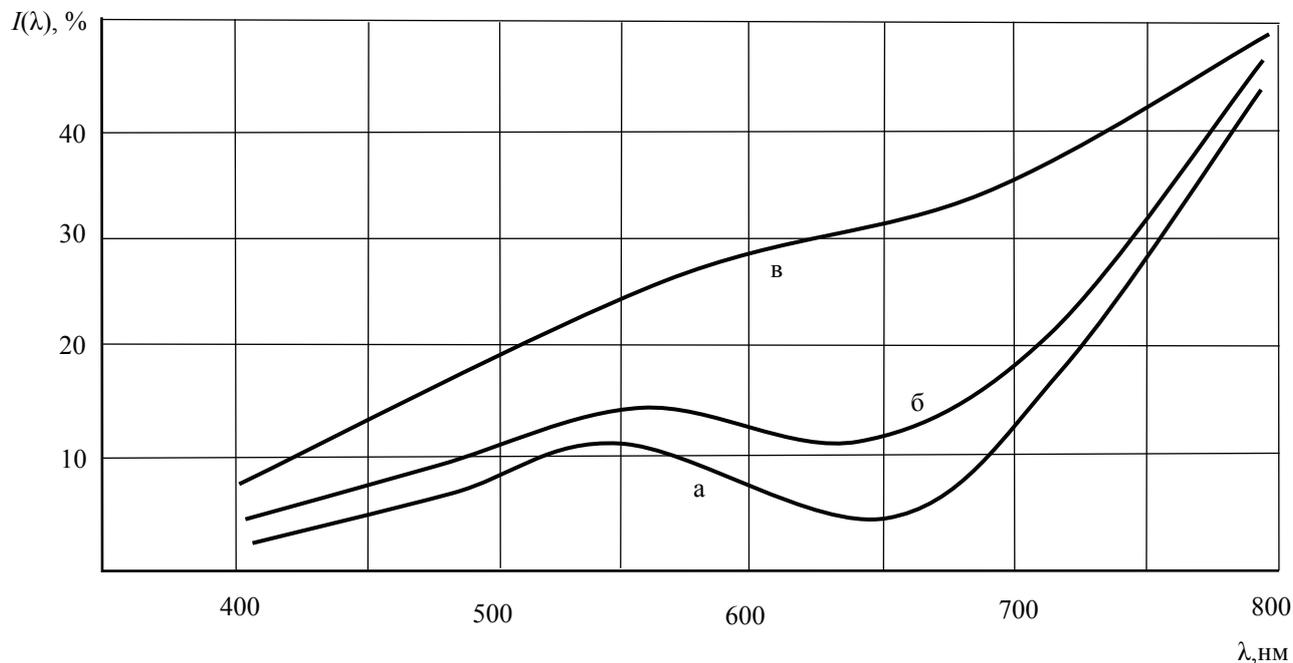


Рис. 1. Спектральные характеристики древесных пологов: а) здорового, б, в) в состоянии дигрессии

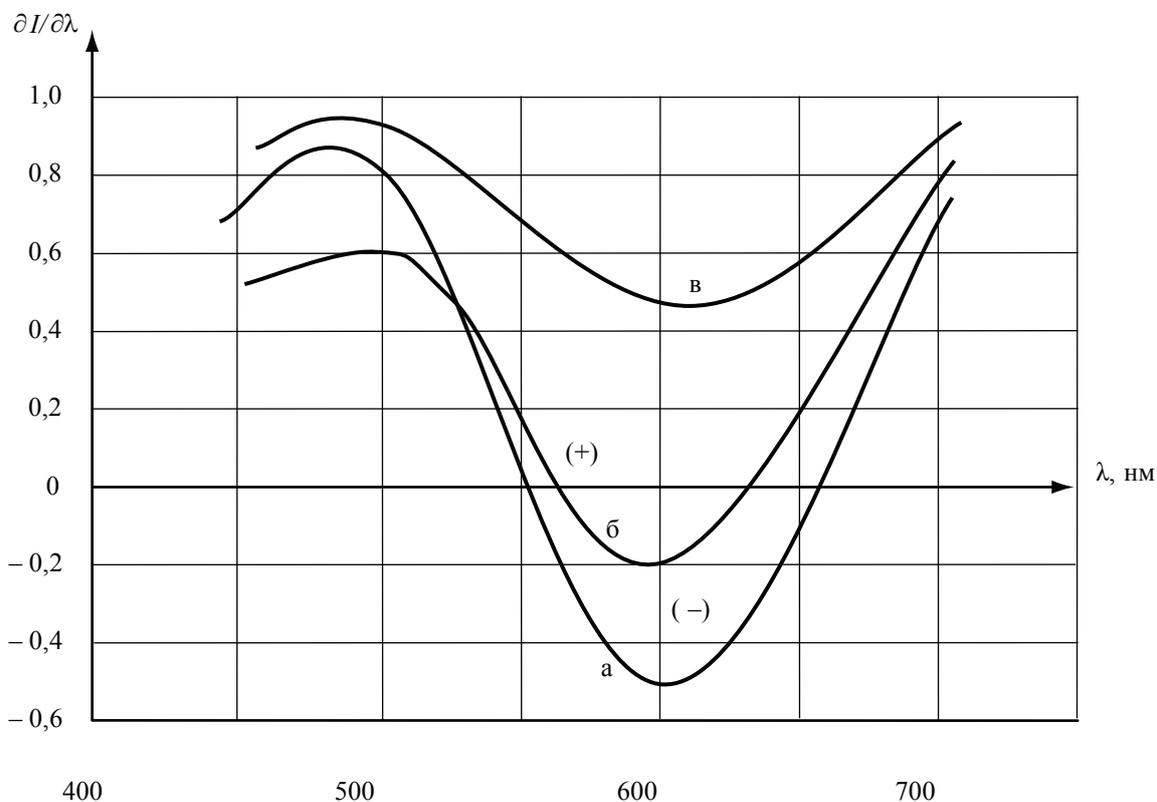


Рис. 2. Производные спектральных характеристик

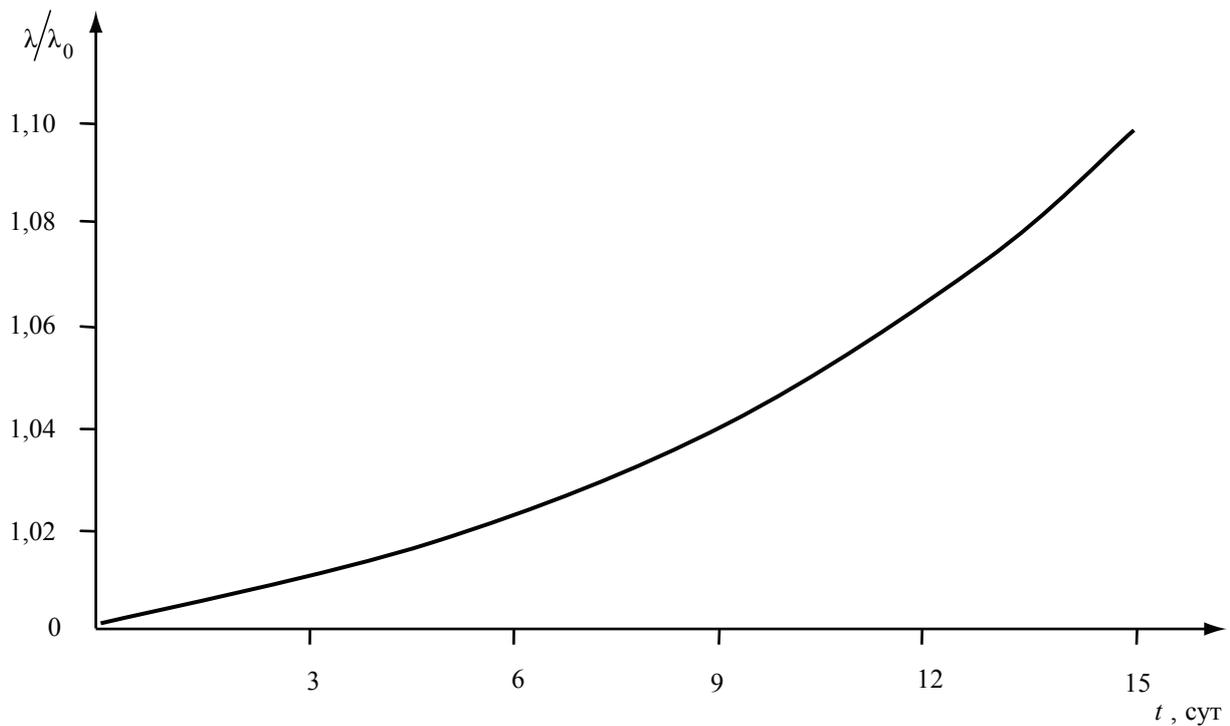


Рис. 3. Динамика относительного изменения средневзвешенной длины волны спектрограмм

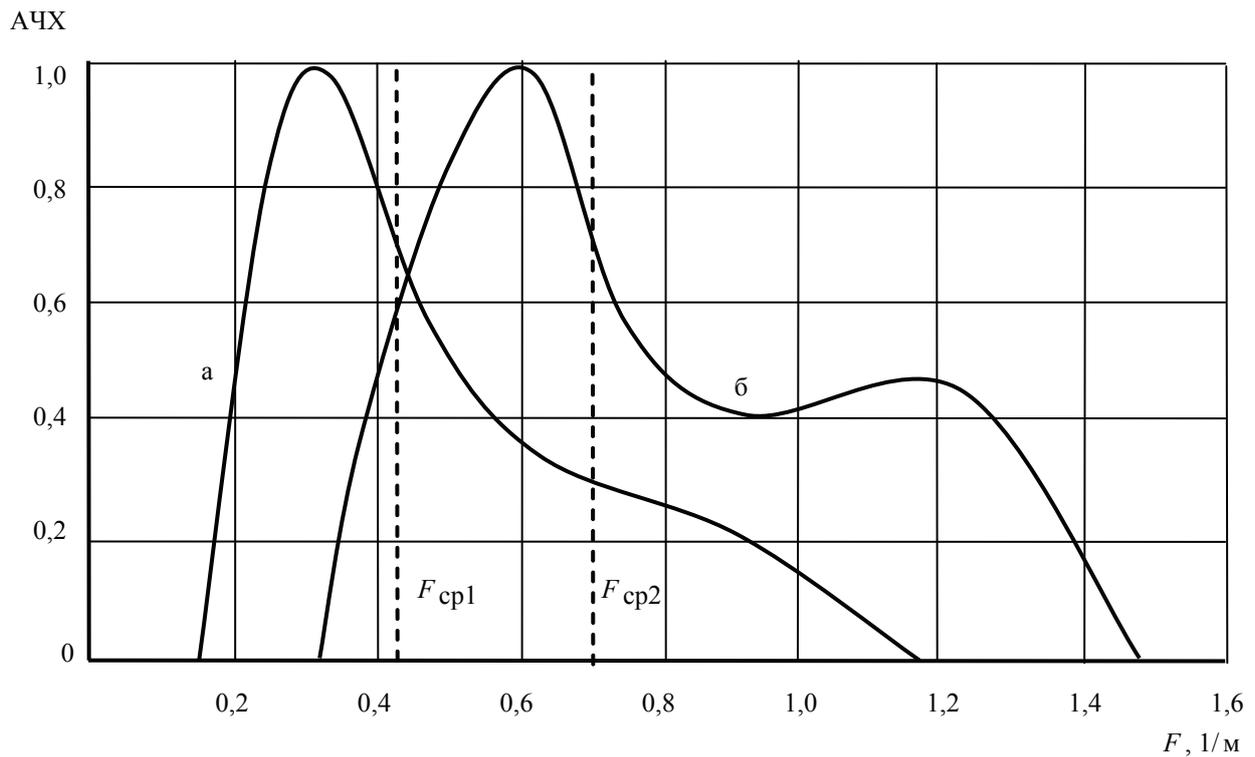


Рис. 4. Динамика изменения огибающей пространственного спектра Фурье при дигрессии

Двумерный пространственный спектр Фурье от функции яркости изображения $I(x,y)$ вычисляют как

$$G(F_x, F_y) = \int_0^m \int_0^n I(x, y) \cdot \exp[-2\pi j \times (F_x \cdot x + F_y \cdot y)] dx dy,$$

где m, n – размеры матрицы изображения $[m \cdot n]$ (строк и столбцов).

Представленное аналитическое выражение является стандартной математической операцией, реализуемой алгоритмами быстрого преобразования Фурье (БПФ).

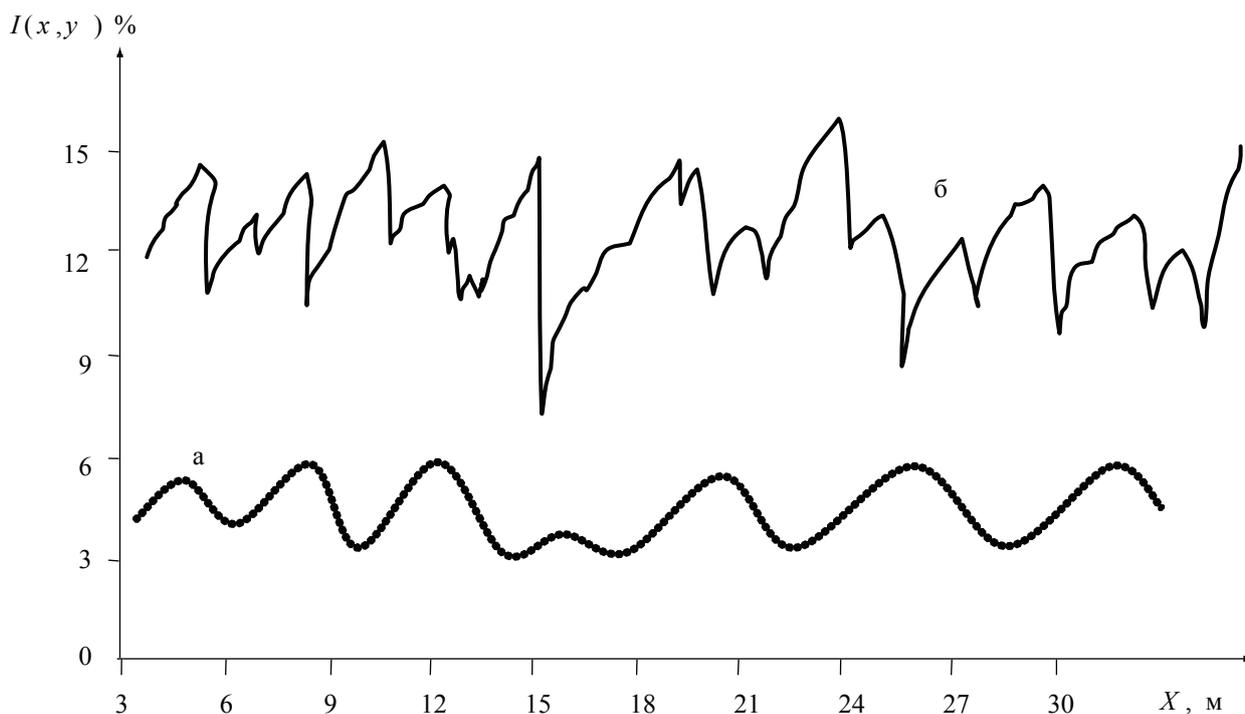


Рис. 5. Изрезанность древесных пологов а) здорового, б) сухостойного

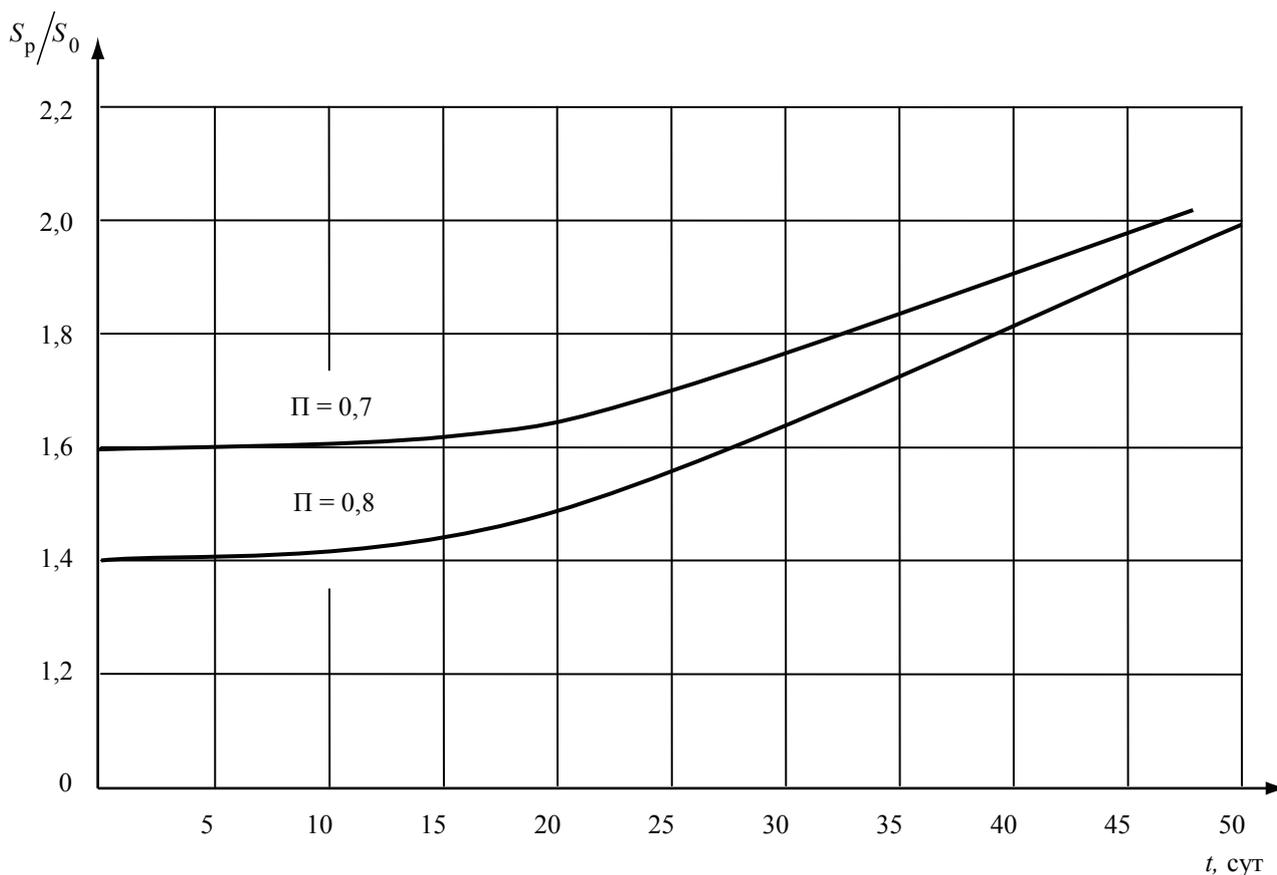


Рис. 6. Изменение отношения площади рельефа древесного полога (S_p) к геометрической площади участка (S_0) при дигрессии

На рис. 4 представлены графики огибающих пространственных спектров видеозаписей а) здорового насаждения,

б) усыхающего. Амплитуда АЧХ в каждой ее точке F_i определяет удельный вес пространственной гармоники в общем спектре.

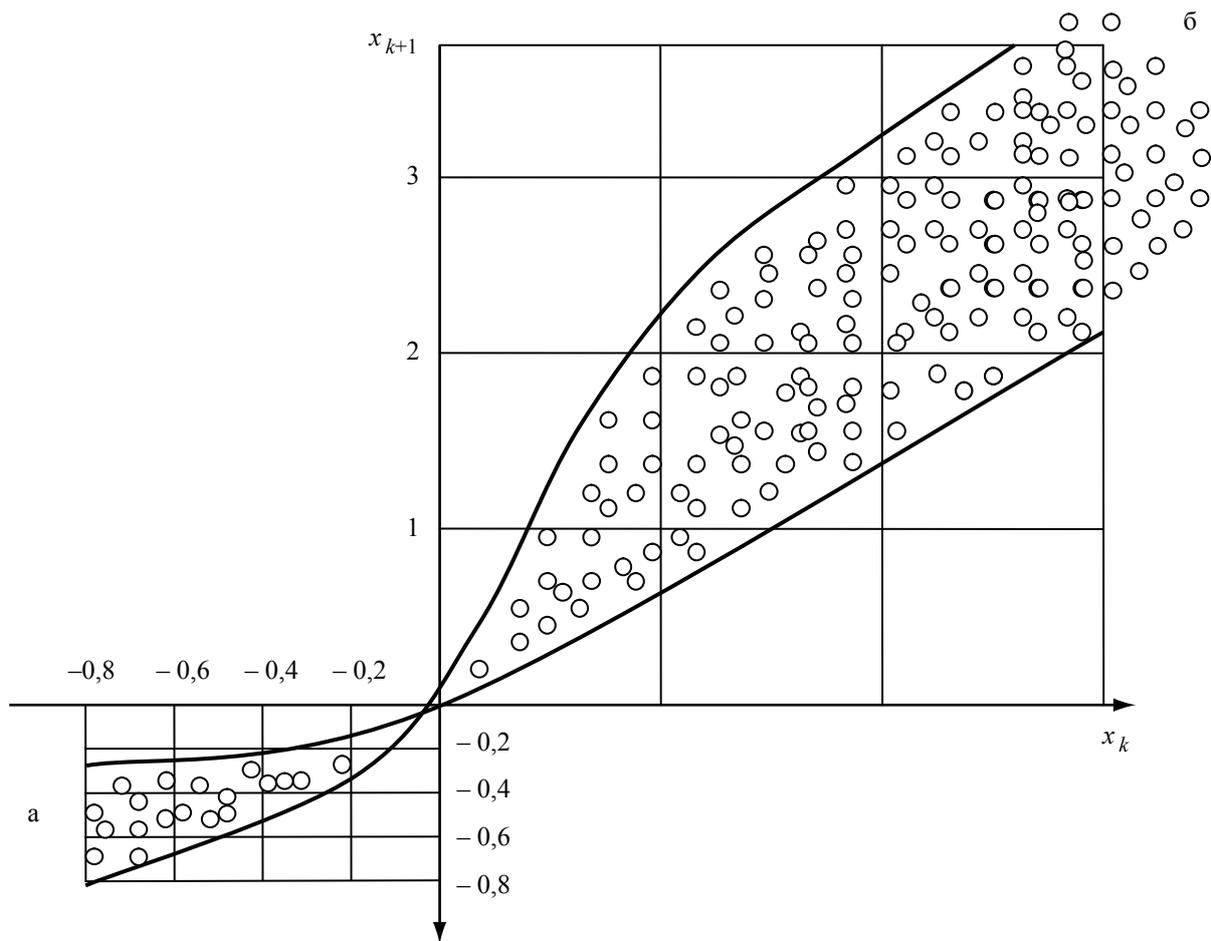


Рис. 7. Диаграммы Пуанкаре наблюдаемого параметра а) устойчивого состояния, б) неустойчивого состояния

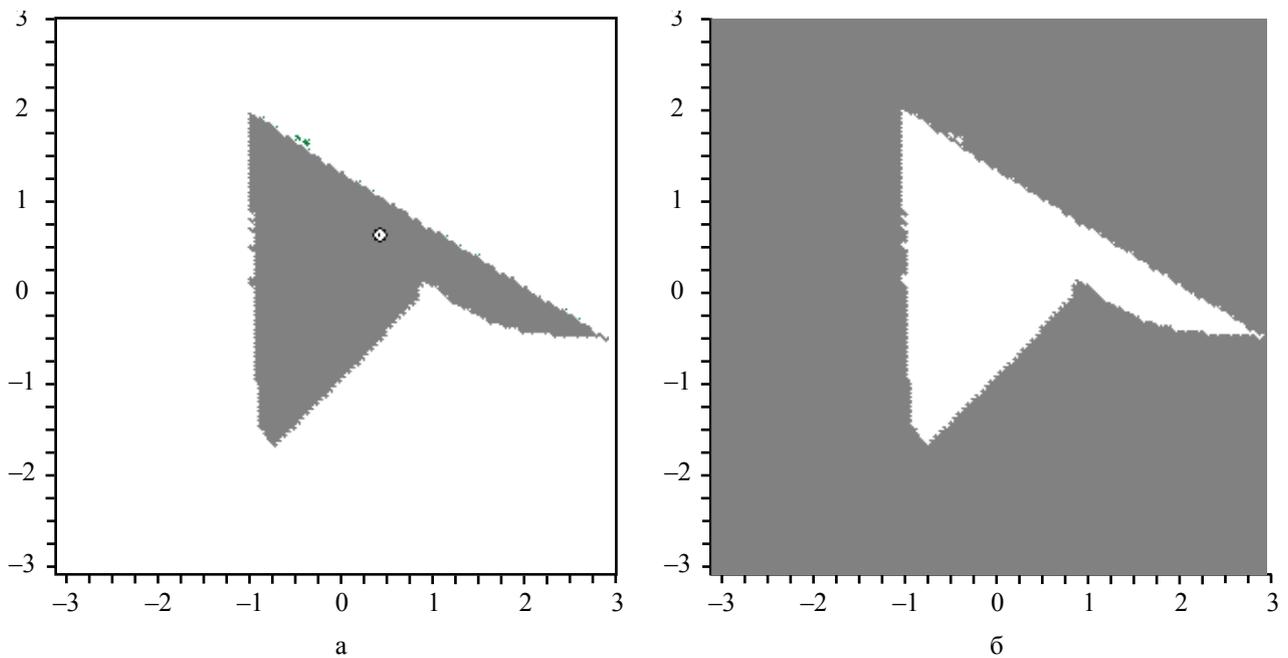


Рис. 8. Решения феноменологического уравнения а) область устойчивых состояний, б) область неустойчивых состояний

Признаком лесопатологии, содержащимся в видеоизображении, является смещение пространственного спектра в область более высоких частот при усыхании листвы, ажурности крон, некрозе фитосинтезирующих органов. В качестве признака лесопатологии выбирают среднюю частоту пространственного спектра (F_{cp}), рассчитываемую из условия

$$\int_{F_{min}}^{F_{cp}} A(F)dF = \int_{F_{cp}}^{F_{max}} A(F)dF .$$

На графиках рис. 5 иллюстрируется сечение функции видеоизображения $I(x,y)$ плоскостью $y = const$. Некроз хвои, листьев, ажурность крон уменьшает объем фитомассы и показатель “густоты” насаждения. Чем реже деревья друг от друга, тем больше изрезанность древесного полога и тем больше его площадь. Отношение площади древесного полога S_p к геометрической площади участка S_0 характеризует полноту (П) насаждения. При дигрессии лесного полога площадь его рельефа увеличивается, что иллюстрируется графиком рис. 6. Параметр (S_p/S_0) выбирают в качестве четвертого независимого признака лесопатологии.

Графический образ состояния объекта характеризует диаграмма Пуанкаре. Диаграмма Пуанкаре представляет собой точечное графическое отображение N значений последовательности накопленных измерений вы-

борки x_k , при $k = 1, 2, \dots, N$ на двумерном поле, в котором ординатой точки является значение x_{k+1} , а абсциссой – предшествующее значение x_k . Нанося поочередно точки для $k = 1, 2, \dots, N$ получают точечное множество, образующее фигуру, по виду которой судят о типе последовательности, соответствующей устойчивому или неустойчивому состоянию объекта, как это иллюстрируется рис. 7.

Составив атлас диаграмм Пуанкаре, можно визуальнo идентифицировать состояние древесного полога, сравнивая вновь полученную диаграмму с имеющимися в атласе. Каждая из диаграмм свидетельствует о наличии детерминированной закономерности в последовательности измерений.

Более информативной характеристикой отслеживаемого процесса является уравнение состояния, поскольку оно дает не только визуальную оценку состояния, как диаграмма Пуанкаре, но и количественную (рис. 8).

Библиографический список

1. Чапурский. Л.И. Отражательные свойства природных объектов в диапазоне 400–2500 нм. Ч. I / Л.И. Чапурский. – М.: Мин. обороны СССР, 1986. – С. 44–46.
2. Сухих, В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве / В.И. Сухих. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – С. 21.
3. Дуд, Р. Распознавание образов и анализ сцен: пер. с англ. / Р. Дуд, П. Харт. – М.: Мир, 1976. – С. 319–321.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЕСОТАКСАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ТЕСТИРОВАНИИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Ю.С. ГАЛКИН, *проф. каф. физики МГУЛ, д-р техн. наук*,
 В.С. ШАЛАЕВ, *проф., директор ИСИЛ МГУЛ, д-р техн. наук*,
 Ю.П. БАТЫРЕВ, *доц. каф. физики МГУЛ, канд. техн. наук*,
 В.Н. ПОТАПОВ, *асп. каф. физики МГУЛ*,
 В.П. СЕМЕНОВА, *асп. каф. геодезии МГУЛ*,
 Ч.Д. ЭСЕНАЛИЕВ, *инж. каф. физики МГУЛ*

galkin@mgul.ac.ru

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) в настоящее время является приоритетным направлением инновационного развития космических технологий, как за рубежом, так и в нашей стране. Особое значение ДЗЗ имеет для лесного хозяйства страны, т.к. на ее долю

приходится 22 % мировых лесных ресурсов и 66 % бореальных лесов, играющих решающую роль в углеродном цикле планеты и, в большинстве недоступных для наземного мониторинга. Это привело к необходимости перехода к аэрометодам мониторинга лесов,

а с появлением и развитием космонавтики – к космическим методам мониторинга [1]. Создание космических аппаратов с высоким и сверхвысоким пространственным разрешением (*Ресурс-ДК, Ikonos, Quick Bird* и др.), соизмеримым с аэро съемкой, и фактическое исчезновение аэропарка для лесного мониторинга делает актуальным преимущественное развитие именно космических технологий мониторинга.

Как в авиационные, так и в космические методы мониторинга входит процесс, который в наибольшей степени определяет достоверность результатов мониторинга. Это процесс дешифрирования изображений.

Практически все современные методы дешифрирования изображений в той или иной мере являются интерактивными, поскольку требуют либо предварительного участия опытного дешифровщика в процессе подготовки и настройки классификатора, либо участия после классификации для оценки результатов. Это связано с тем, что почти все современные методики разделения и идентификации видов растительности используют в основном физический параметр космического изображения – коэффициент спектральной яркости (КСЯ) объектов и структурные характеристики. Следует отметить, что КСЯ видов растительности различаются друг от друга в диапазоне порядка 2–5 % интенсивности на каждом участке видимого спектра и при мешающем действии внешних факторов (условий съемки, фенологических процессов и др.) разделяются с большим трудом, а структурные характеристики выявляются на снимках только высокого и сверхвысокого пространственного разрешения. В этих случаях дешифровщик корректирует цветовое представление снимка для разделения объектов на основе его субъективного восприятия цвета и формы регистрируемой и априорной информации о виде объекта, после чего выделяет зону интереса и идентифицирует с ней похожие участки снимка.

Практически одновременно с появлением спутниковых систем, предназначенных для решения задач зондирования, возникла необходимость проведения подспутниковых экспериментов для тестирования результа-

тов обработки космических данных. Первый международный подспутниковый эксперимент с достаточно совершенным для своего времени инструментарием (но не высокого пространственного разрешения) был организован в штате Канзас, США в 1989 г. [5]. Совместные полевые работы и соответствующие научные исследования происходили в рамках сотрудничества, которое называлось «Первый полевой эксперимент в рамках Международного проекта по спутниковой климатологии поверхности суши (the First ISLSCP Field Experiment/FIFE, ISLSCP – the International Satellite Land Surface Climatology Project). В эксперименте участвовали представители США, России, Канады, Великобритании и Франции. Использовались данные космических систем стран-участниц проекта наряду со сбором, анализом и систематизацией данных наземных и самолетно-вертолетных измерений. Результаты совместных разработок со специалистами США были продолжены в 1991 г. По итогам этой полевой кампании был подготовлен сборник научных трудов по совместной обработке данных космических и наземных измерений [6]. Полученные результаты можно рассматривать в качестве прототипа для решения излагаемых задач распознавания образов объектов почвенно-растительного покрова и оценки состояния этих объектов с использованием данных спутниковых, наземных и самолетных измерений. В 2006 г. аналогичные работы были выполнены совместно с учеными Финляндии на конкретном лесном объекте для тестирования космических снимков высокого пространственного разрешения [2].

Проведенные работы показали, что аналогичные многоярусные измерения (особенно синхронные) представляют собой дорогую и сложную организационно-техническую задачу, решать которую для массовых производственных целей экономически нецелесообразно. Большинство исследователей для тестирования космических снимков используют данные лесотаксационных работ [3]. Однако такой подход имеет ряд особенностей, которые необходимо иметь в виду при тестировании снимков высокого и сверхвысокого пространственного разрешения. Ана-

лизу этих особенностей посвящена данная статья.

За более чем двести лет развития наука о лесе и разработанные на ее основе технологии настолько детализировали учитываемые элементы леса, что для их регистрации необходимо пространственное разрешение аппаратуры порядка 0,5 см. Современная космическая аппаратура позволяет обеспечить разрешение от 3 см, однако работает по положу насаждений и может конкурировать в данном случае с крупномасштабной аэро съемкой, начиная с масштаба 1 : 1000. В то же время наиболее перспективными в настоящее время являются оптические системы мониторинга с разрешающей способностью порядка 1 м (0,21–2,4 м), относительно которых и проведены изложенные в статье оценки.

Базой сравнения обычно являются карта-схема лесонасаждений и таксационное описание. Карта-схема содержит географически координированное распределение выделов и преобладающих пород растительности по группам возраста.

Таксационное описание содержит детальную характеристику каждого таксационного выдела и другую лесохозяйственную информацию. Информация дается по результатам последнего лесоустройства. Обновление лесоустройства должно проводиться каждые 10 лет.

Рассмотрим особенности тестового участка, выбираемого по материалам лесотаксационных работ.

Изображение на карте-схеме лесной растительности по преобладающим породам имеет следующую особенность.

Преобладающая порода составляет наибольшую часть по запасу (по верхнему ярусу), т.е. если древостой не чистый, то выделы с составами 9С1Б и 6С2Е2Б будут отражены на карте как сосновые, но их спектральные и структурные характеристики будут совершенно различны, и непонятно, какой из них может быть выбран как тестовый. В этом случае пользу может принести наличие фиксированных (желательно закоординированных) участков с чистыми породами, которые для всего снимка могут быть спектральной базой, учитывая идентичность условий съемки для всех

выделов. Этот прием даст больший эффект, чем использование библиотеки спектров.

Вопрос сравнения количественных оценок таксационных показателей, получаемых из обработки снимков, с наземными результатами также имеет свои особенности.

Наземная таксация проводится на пунктах таксации каждого выдела и интерполируется на весь выдел, причем количество пунктов зависит от разряда лесоустройства, соответственно и точность интерполяции. При этом требуемая точность определения таксационных показателей зависит от вида работ на таксируемом участке – исследовательские или производственные [4].

Для производственной таксации требования по точности ниже (порядка 10 %), а для исследовательских работ различного целевого назначения, в основном, не более 5 %. Оценку точности дешифрирования космических снимков можно отнести к исследовательским работам целевого назначения. Следовательно, использование производственного материала снижает точность оценки результатов дешифрирования космических изображений, т.е. для тестирования космических снимков полигон должен подготавливаться специально.

Кроме того, согласно таблицам типа роста, например, для сосны в возрасте около 50 лет, таксационные показатели изменяются примерно на 2 % в год. Это приводит к тому, что оценка точности дешифрирования по космическим снимкам дополнительно существенно занижается по пунктам таксационных характеристик. По категориям земель достоверность дешифрирования соответствует возможностям аэро съемки.

Таким образом, можно заключить, что материалы производственных лесотаксационных работ мало пригодны для оценки точности дешифровки космических снимков высокого и сверхвысокого пространственного разрешения без дополнительных работ на тестовых участках.

Библиографический список

1. Сухих, В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве / В.И. Сухих. – Йошкар-Ола, 2005. – 390 с.

2. Хумала, А.Э. Оценка возможности применения аэрокосмических методов для мониторинга лесного покрова в Национальном парке «Водлозерский» / А.Э. Хумала, А.В. Полевой, В.С. Шалаев и др. // Материалы научно-практической конференции, посвященной 15-летию НП «Водлозерский». – Петрозаводск, 2006. – С. 106–112.
3. Козодеров, В.В. Методы оценки состояния почвенно-растительного покрова по данным оптических систем дистанционного аэрокосмического зондирования / В.В. Козодеров, Т.В. Кондранин. – М.: МФТИ, 2008. – 222 с.
4. Общесоюзные нормативы для таксации лесов: справочник. – М.: изд-во «Колос», 1992. – 495 с.
5. Hall F.G., Sellers P.J., MacPherson J.I. et al. FIFE: analysis and results: a review. // Adv. Space Res. – 1989. – No.9. – p.275-293.
6. Kozoderov V.V., Deering D.W., Guess Editors. The Kursk-91 Experiment (KUREX-91)// Remote Sensing Reviews. 1998 – v.17, No.1-4.– P.336.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И СИНТЕЗА МФКС

С.В. ПУШКАРСКИЙ, *с. н. с. НИИ космических систем, канд. техн. наук*

niiks@khrunichev.com

Одной из задач системного проектирования космических систем является математическое моделирование с целью получения рекомендаций по выбору структуры и параметров системы, т.е. синтез. В данной статье объектом исследования будет многофункциональная космическая система (МФКС) – совокупность согласованно действующих и функционально взаимосвязанных космических аппаратов (КА) и наземных технических средств, предназначенная для решения целевых задач (рис. 1). Такими задачами для МФКС могут быть исследова-

ния природной среды, в том числе ресурсов Земли, экологический контроль, наблюдения за метеорологическими процессами, чрезвычайными ситуациями и др., входящими в комплекс задач дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Такие системы являются сложными техническими системами, т.к. компоненты космической системы (КС) представляют собой технические устройства и системы различной физико-технической природы (КА, наземные радиостанции, ЭВМ, сооружения и оборудование стартового комплекса, ракеты-носители и др.) [1, 2].



Рис. 1. Состав космической системы

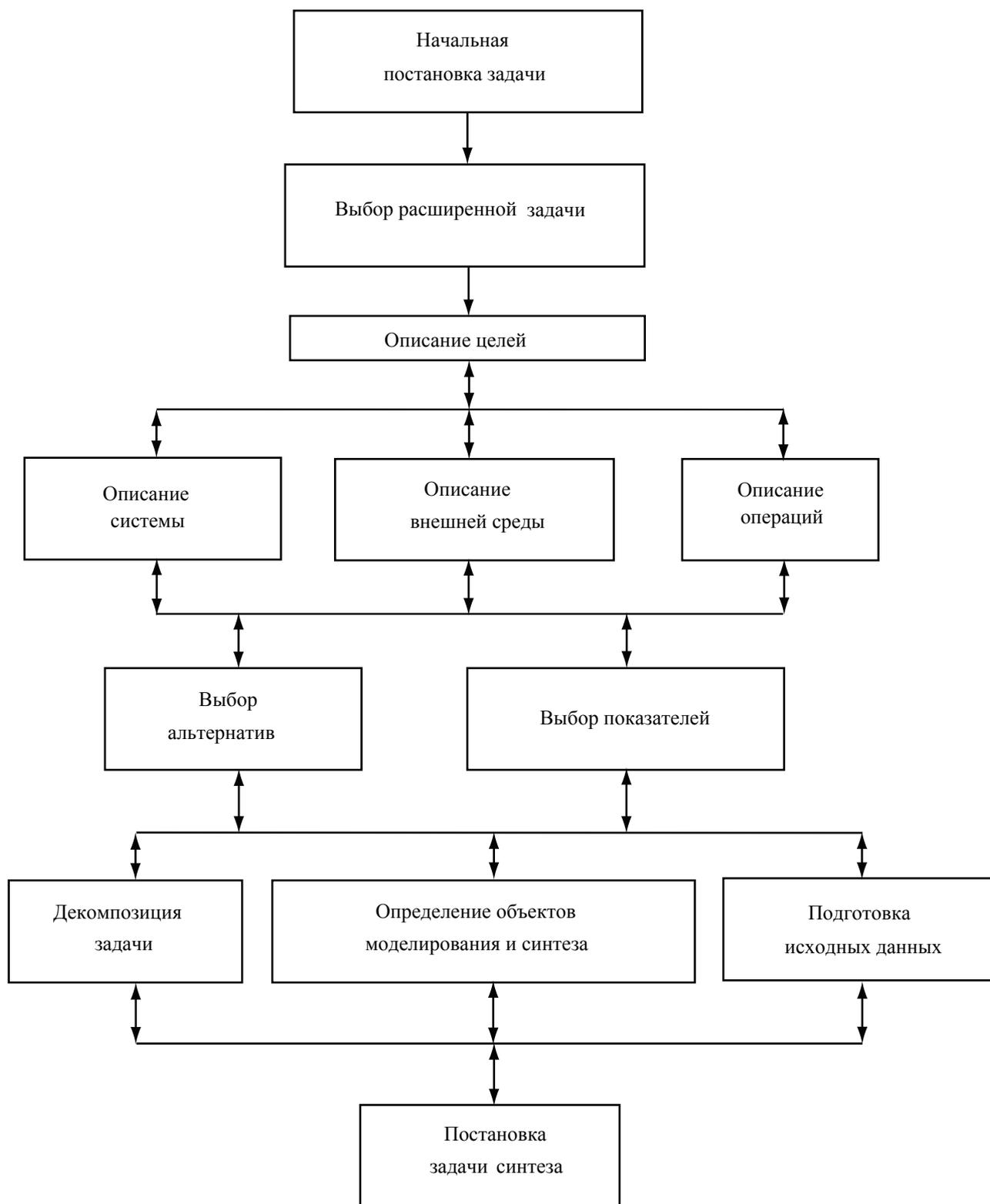


Рис. 2. Алгоритм неформализованных исследований при постановке задачи синтеза системы

Сложные технические системы представляют собой принципиально новые объекты проектирования, требующие разработки системы в целом – системного проектирования, которое является многоэтапным итерационным процессом. Оно включает в себя

этап определения целей и задач системы, требований к системе и основных ограничений на технические, организационные и экономические решения, в рамках которых должна в дальнейшем разрабатываться система (например, для КС такими ограничениями

могут быть тип ракеты-носителя, срок создания КС, допустимые затраты на ее создание). Результаты исследований в виде технических требований на создаваемую систему дают возможность приступить к следующему этапу проектно-исследовательских работ – к разработке технических предложений. Задача системного проектирования на этом этапе состоит в формировании требований и ограничений, в рамках которых будет проходить эскизное проектирование системы. При этом уточняются облик системы, ее структура и тип каждого компонента, устанавливаются диапазоны изменения их основных параметров, обеспечивающие выполнение системой ее целевого назначения. Итогом этих работ является системный проект и технические задания на эскизное проектирование компонентов системы. Решения, принятые при системном проектировании, особенно важны, так как они определяют эффективность, стоимость, эксплуатационные качества будущей системы и всю ее дальнейшую «жизнь».

Методологию процесса постановки задачи синтеза системы можно представить в следующем виде.

Сначала это постановка задачи в первоначальном виде, затем некоторое ее развитие или расширение с целью лучшего понимания задачи и, наконец, некоторое ее сужение к решаемой задаче, связанное с выбором конкретного пути решения – построения и исследования модели.

Во втором, организационном, аспекте рассматривается план решения задачи. Принимаются во внимание условия выполнения задачи: располагаемые сроки и ресурсы (финансирование, штаты исполнителей экспериментальная база, информационное обеспечение, вычислительные средства и машинное время, помещение). Ограниченные сроки и ресурсы часто заставляют упрощать постановку задачи и уменьшать объем исследований.

На рис. 2 представлена одна из возможных схем алгоритма неформализованных исследований при постановке задачи синтеза системы.

Космическая система в процессе функционирования выполняет операции трех видов:

- построение сети КА;
- управление орбитальной структурой сети КА;
- выполнение целевых задач МФКС.

Построение сети КА состоит в выведении КА на орбиты, близкие к расчетным, с последующей коррекцией орбит. Орбитальная структура нарушается также при случайных отказах бортовых систем КА или при израсходовании рабочего тела системы ориентации (СО) или корректирующей двигательной установки (КДУ), в результате чего КА перестает выполнять свои задачи. Чтобы МФКС оставалась пригодной к выполнению своего назначения в течение заданного срока активного существования, необходимо управлять орбитальной структурой сети КА путем ее восполнения новыми КА и коррекции орбит КА с достаточно высокой точностью.

Для коррекции орбиты необходимо иметь КДУ с достаточно высокой точностью выдачи корректирующего импульса и достаточный запас рабочего тела. Случайные погрешности корректирующего импульса затрудняют сохранение орбитальной структуры. Чем больше запас рабочего тела на коррекцию, тем дольше КА будет управляемым и тем меньшее число КА потребуется для обеспечения заданного времени функционирования МФКС.

Контроль за состоянием орбитальной структуры, управление коррекциями орбит и заменой КА осуществляет наземный автоматизированный комплекс управления (НАКУ). Большое значение для обеспечения работоспособности МФКС имеют алгоритмы управления сетью КА (восполнением числа КА и коррекцией их орбит), пропускная способность НАКУ, от которой зависит возможное число управляемых КА в сети, и другие характеристики НАКУ.

Цель МФКС – получение специальной информации для потребителей – достигается с помощью функционирования многих компонентов МФКС и прежде всего аппаратуры наблюдения (АН) – одной из бортовых систем КА. Именно от ее характеристик зависит выполнение ряда требований к МФКС, определяющих ее эффективность. Качество получаемых АН изображений зависит как от свойств АН, так и от внешних условий на-

блюдения (освещенность, облачность, дымка, блики Солнца, другие внешние помехи).

В процессе наблюдения оптическая ось АН должна быть ориентирована в пространстве некоторым заданным образом, что осуществляется системой ориентации и стабилизации КА. Например, может использоваться управление ориентацией КА с целью более полного наблюдения заданного района. Иногда можно полагать, что ориентация оптической оси АН должна быть неизменной и определяться в зависимости от особенностей объектов наблюдения и АН.

Получаемая на борту КА информация должна быть передана потребителю в систему обеспечения потребителей мониторинговой информацией (СОПМИ). Этот процесс может осуществляться в режиме непосредственной передачи, а также с промежуточным запоминанием. Для этих целей используется бортовое запоминающее устройство (БЗУ). Возможности передачи изображения в том или ином режиме зависят, с одной стороны, от таких характеристик БЗУ, как его емкость, наличие системы предварительной обработки информации, число каналов, скорость передачи информации и др. Все эти характеристики находятся в прямой зависимости от массы бортового запоминающего устройства (БЗУ). С другой стороны, возможность передачи изображения определяется параметрами СОПМИ, числом и местоположением пунктами приема информации (ППИ) и их информационными характеристиками. Если для передачи информации в качестве ретрансляторов используются КА связи, то их характеристики также могут играть весомую роль. В конечном итоге от всех этих характеристик зависит оперативность передачи специальной информации от КА в СОПМИ.

Качество (или достоверность) информации зависит от характеристик процесса получения и передачи информации – от того, сколько КА одновременно осуществляют наблюдение, насколько качественно работает АН каждого КА, каковы внешние условия наблюдения, не засвечен ли объектив Солнцем, осуществляется ли наблюдение именно заданного района (поскольку последнее зависит от орбитальных параметров КА, то

повлиять на него можно проведением соответствующих коррекций, улучшив тем самым информационные возможности каждого КА). Достоверность информации, поступающей к потребителю, зависит также от характеристик СОПМИ, помех и искажений в радиотракте, алгоритмов обработки информации и т.д.

Цель системы непосредственно влияет на технический облик создаваемой системы, ее состав, структуру и характеристики. Поэтому определение и обоснование цели системы ее заказчиком является очень важным этапом проектирования системы.

Можно выделить следующие основные области применения КС ДЗЗ:

- 1) прогноз погоды и климата;
- 2) экологический мониторинг за распространением загрязнений во всех трех основных природных сферах (атмосфера, поверхность суши, водная среда);
- 3) мониторинг чрезвычайных ситуаций;
- 4) информационное обеспечение хозяйственной деятельности;
- 5) навигационно-информационная система, используемая в системах слежения и диспетчерского управления транспортом и обеспечения потребителей высокоточной навигационной информацией.

Чтобы при синтезе системы сравнивать альтернативные варианты ее структуры и параметров системы и рекомендовать наиболее предпочтительный вариант, необходимо предварительно выбрать показатели качества и эффективности и критерий предпочтения.

Цели, показатели и критерий являются взаимосвязанными понятиями. Цель, как более общее понятие, определяет требуемый совокупный результат функционирования системы, который описывается требованиями, предъявляемыми к системе.

При выборе показателей учитывается, что показатель должен:

- 1) обеспечивать оценку выполнения соответствующего требования, предъявляемого к системе;
- 2) быть чувствительным к анализируемым вариантам системы, в частности, к выбираемым параметрам;

3) быть достаточно простым и наглядным, иметь ясный физический смысл, чтобы у лица, принимающего решение, не возникало затруднений при физической интерпретации результатов исследования.

В начале постановки задачи требования к системе могут быть сформулированы в достаточно общем виде: в качественных понятиях, словесно. Однако для дальнейшего исследования – выбора критерия предпочтения и моделирования – технические требования обязательно должны быть выражены в конкретных количественных показателях желаемого результата.

Если для оценки выполнения поставленной цели сформулирован n -мерный вектор показателей $Q = \{q_i\}$, $i = 1 \dots n$, то каждый из показателей q_i должен удовлетворять одному из следующих условий:

1) $q_i = q_{i0}$ т.е. показатель q_i должен быть равен некоторой заданной величине q_{i0}

2) $q_i > q_{imin}$ или $q_i < q_{imax}$ (что означает ограничение на величину q_i)

3) $q_m \rightarrow \min$ (\max), т.е. показатель q_m должен быть минимально (максимально) возможным.

Среди возможных показателей будем различать показатели качества, эффективности и затрат ресурсов.

Показатели качества q_{ik} – количественные характеристики свойств системы, обеспечивающих пригодность системы к выполнению своего назначения. Например, периодичность наблюдения и разрешающая способность МФКС.

Требования к качеству системы задаются в форме ограничений соответствующих показателей:

$$1) q_{jk} = q_{j kmax}; 2) q_{nk} > q_{kmin}. \quad (1)$$

Эти требования обязательны для любых альтернатив системы.

Показатели эффективности q_{is} – количественные характеристики требований к эффективности системы, служащие для выбора наилучшей альтернативы из всех пригодных. Например, показателями эффективности МФКС могут быть производительность и оперативность МФКС.

Особую роль играют показатели, оценивающие затраты ресурсов. Для создания

и эксплуатации любой системы необходимы определенные затраты ресурсов (денег, оборудования, материалов, энергии, рабочей силы и т.д.). Для каждой из альтернатив достижения цели системы требуются свои затраты ресурсов, чаще всего оцениваемые показателем стоимости создания и эксплуатации системы. В общем случае может оказаться необходимым учитывать кроме стоимости и затраты других материальных ресурсов, главным образом дефицитных.

Условия (1), накладываемые на показатели качества, можно рассматривать как один из компонентов критерия либо как ограничения. И в том и в другом случае задача построения критерия упрощается, так как являются показатели, которые следует строго ограничивать.

Применим выбор показателей и критерии предпочтения для МФКС ДЗЗ, предназначенной для наблюдения за территорией России и Беларуси, в соответствии с излагаемым подходом. Этот выбор зависит от цели МФКС. Для определенности предположим, что от МФКС требуется проведение квазинепрерывных наблюдений с высокой оперативностью передачи достоверной информации.

Показатели качества характеризуют пригодность МФКС к выполнению ею своего целевого назначения. К ним следует отнести такие показатели, как геометрические и географические параметры наблюдаемых районов и объектов B_{PH} и периодичность этих наблюдений $t_{пер}$; спектральные характеристики S_p , пространственное разрешение R , получаемых с помощью МФКС изображений, а также их обзорность $S_{об}$. Поскольку эти показатели зависят от случайных факторов, то в общем случае можно говорить о вероятности того, что эти показатели принимают те или иные значения.

Как правило, требования к этим показателям задаются в форме ограничений (1). Так, в детерминированной постановке их можно записать в следующем виде.

Показатели качества:

1) наблюдение за территорией России и Беларуси

$$B_{PH} = B_0 = \{\varphi_{PH} = 36^\circ \text{с.ш.} - 80^\circ \text{с.ш.}, \\ \lambda_{PH} = 20^\circ \text{в.д.} - 200^\circ \text{в.д.}\}$$

2) проведение наблюдений в видимом, ИК-диапазонах длин волн

3) пространственное разрешение на местности должно быть $R \leq R_0 = 10 \text{ м}$

4) Обзорность изображений должна быть $S_{\text{об}} \geq S_0 = 10^4 \text{ км}^2$

5) периодичность наблюдения

$$t_{\text{пер}} < t_0 = 0,3 \text{ ч.}$$

Показатели эффективности:

6) вероятность получения полной и достоверной информации $P > P_0 = 0,8$

7) оперативность МФКС должна быть по крайней мере выше периодичности наблюдения: $\tau_{\text{оп}} < \tau_0 = 10 \text{ мин}$

8) время функционирования системы $T_{\text{ф}} = 10 \text{ лет.}$

Критерий предпочтения: стоимость МФКС при выполнении требований 1–8 должна быть минимальной, т.е. $C_{\text{МФКС}} \rightarrow \min.$

Рассмотрим задачу определения МФКС как объекта моделирования и синтеза на этапе постановки задачи синтеза МФКС. Предположим, что в результате неформального анализа в качестве объекта синтеза определен орбитальный комплекс МФКС. Поскольку МФКС является высокодинамичным стохастическим объектом, то задачу можно решать в два этапа.

На первом этапе будем полагать, что МФКС является «идеальным» объектом, который не испытывает действия возмущений и является детерминированным. На втором этапе учитывается влияние внешних условий (влияние отказов аппаратуры, атмосферы и др. на функционирование КС). В данной статье рассмотрен только первый этап. С целью выявления параметров МФКС и внешней среды, от которых существенным образом зависит выполнение требований, предъявляемых к МФКС, проведем качественный анализ этих требований.

1. Наблюдение за заданным районом. Выполнение требования по наблюдению за районом с границами, заданными их географическими координатами $V_{\text{РН}}$, определяется выбором орбитальных параметров X сети КА, от которых зависит положение трасс КА на поверхности Земли, и угла обзора аппаратуры наблюдения γ

$$V_{\text{РН}} = f(X, \gamma). \quad (2)$$

2. Требования к спектральным характеристикам аппаратуры наблюдения. Эти требования могут быть удовлетворены выбором соответствующего типа АН. Часто ставится задача получения изображения в нескольких оптических диапазонах, тогда может использоваться многоспектральная АН.

3. Получение изображения с требуемым пространственным разрешением. Пространственная разрешающая способность на местности R является основным геометрическим показателем качества оптической аппаратуры. Она зависит от типа аппаратуры, ее фокусного расстояния f , разрешающей способности аппаратуры $r_{\text{ап}}$ или размера элемента разрешения $l_{\text{э}} = 1/r_{\text{ап}}$, от прозрачности атмосферы и освещенности, характеризующих внешние условия наблюдения $F_{\text{вн}}$, от ориентации оптической оси относительно местной вертикали φ , а также от высоты H орбиты КА-носителя АН

$$R = R(f, r_{\text{ап}}, H, F_{\text{вн}}, \varphi). \quad (3)$$

Для «идеального» объекта влияние внешних искажений можно не учитывать.

4. Получение снимков заданной обзорности. Выполнение этого требования зависит от высоты орбиты H , от типа АН, а также от ее фокусного расстояния f и угла обзора γ .

5. Проведение наблюдений с заданной периодичностью. Требования к периодичности наблюдения определяются динамическими характеристиками объектов или процессов наблюдения и могут быть выполнены за счет выбора орбитальных параметров X сети КА, а также числа КА в ней N . При этом выбор орбитальных параметров X и числа N из условий требований к периодичности наблюдений зависит от угла обзора аппаратуры γ . Тогда для периодичности наблюдений заданных районов и объектов $t_{\text{пер}}$ можно записать

$$t_{\text{пер}} = f(X, N, \gamma). \quad (4)$$

6. Требование к оперативности МФКС. Все параметры, от которых зависит оперативность $\tau_{\text{оп}}$ можно разделить на несколько групп, для чего следует расчленив время на составляющие. Это время обработки информации аппаратурой наблюдения $\tau_{\text{ан}}$, время записи и ожидания информации $\tau_{\text{БЗУ}}$, время передачи

информации на ППИ $\tau_{пер}$, время обработки информации в СПОИ $\tau_{обр}$. Особое место занимает время ожидания $\tau_{БЗУ}$. Оно зависит прежде всего от взаимного расположения КА и ППИ в момент наблюдения, т.е. от орбитальных параметров сети X и географических координат объекта наблюдения $B_{он}$ и ППИ $B_{ппи}$. Поскольку пропускная способность СОПМИ ограничена, то существенное влияние на время ожидания должно оказать число N одновременно функционирующих КА в системе, а также число ППИ $n_{ппи}$.

Влияние на $\tau_{БЗУ}$ могут оказать также емкость БЗУ $j_{БЗУ}$ и скорость передачи информации. Тогда для $\tau_{оп}$ можно записать:

$$\tau_{оп} = f(X, N, \tau_{ап}, \tau_{БЗУ}, j_{БЗУ}, n_{ппи}, B_{он}, B_{ппи}, \tau_{обр}). \quad (5)$$

Следовательно, оперативность зависит от параметров сети КА, параметров АН, БЗУ и параметров СОПМИ.

7. Требования к полноте и качеству получаемой от МФКС информации. Качество информации, поступающей от МФКС, как характеристика статистическая может оцениваться вероятностью получения достоверной информации. Для каждого КА она зависит прежде всего от вероятности $p_{ап}$ получения качественной информации АН и от углов ориентации оптической оси АН относительно вертикали φ и относительно Солнца Θ_c , так как с этими углами связано появление искажений или засветка объектива. Полнота информации зависит от орбитальных параметров X , определяющих положение зоны обзора относительно заданного района; от характеристик облачности над наблюдаемой территорией $B_{обл}$ и т.д.

Поскольку информация об одном и том же объекте или районе может быть получена сразу от нескольких КА, входящих в МФКС, то полнота и качество этой информации будут зависеть от взаимного положения КА в сети, т.е. от X , а также от числа КА N в сети. Наконец, оно зависит от вероятности правильного распознавания объектов наблюдения p_p в СОПМИ. Тогда вероятность получения полной и достоверной информации от МФКС

$$P_d = f(N, X, \Theta_c, \varphi, p_{ап}, p_p, B_{обл}). \quad (6)$$

В детерминированной постановке, которая рассматривается на первом этапе,

наличие случайных параметров и факторов не учитывается. Тогда полнота и качество информации будут также оцениваться как детерминированные события и будут зависеть лишь от полноты накрытия заданного района наблюдения и от засветки объектива лучами Солнца, т.е. от N, X, φ, Θ_c .

8. Требования к стоимости МФКС и времени ее функционирования. Стоимость МФКС зависит от общего числа КА N_m , потребных на весь срок функционирования T_ϕ , а также от стоимости носителя C_H и КА $C_{КА}$. Поскольку $C_{КА}$ зависит от массы КА, а та в свою очередь – от характеристик носителя B_H и орбитальных параметров X , то

$$C_{МФКС} = f(N_m, X, C_{КА}, C_H, B_H). \quad (7)$$

Имеется прямая связь между стоимостью МФКС и сроком ее функционирования. Поэтому можно считать, что T_ϕ зависит от тех же параметров, что и $C_{МФКС}$.

9. Требования к экономической эффективности МФКС. Экономическая эффективность \mathcal{E} может быть отнесена к наиболее важным показателям МФКС. Ее главной особенностью является обобщенный, комплексный характер, т.к. она зависит от целого ряда характеристик системы. Исходя из качественного анализа можно сделать вывод, что экономическая эффективность зависит от стоимости $C_{МФКС}$, оперативности $\tau_{ап}$, полноты и достоверности получаемой информации P_d и ряда других характеристик, т.е.

$$\mathcal{E} = f(C_{МФКС}, \tau_{ап}, P_d). \quad (8)$$

К каждому из этих параметров могут предъявляться свои требования.

Итак, в результате анализа требований, предъявляемых к МФКС, в предположении об «идеальности» системы получены качественные зависимости показателей качества, эффективности и стоимости от параметров МФКС. Они позволяют определить состав вектора определяющих параметров объекта синтеза F^1 и среды D^1 . На основе этих результатов может быть определена расчетная структура объекта моделирования, так как в ее состав должны войти лишь те компоненты, чьи параметры вошли в состав определяющих.

Из зависимостей показателей Q от параметров МФКС следует, что МФКС как

«идеальный» объект синтеза представляет собой трехуровневую иерархическую систему, в состав которой входят:

- 1) орбитальный комплекс;
- 2) космические аппараты;
- 3) бортовые системы КА (АН, БЗУ).

Тогда все множество определяющих параметров орбитального комплекса МФКС можно разбить на подмножества, характеризующие каждый уровень и отдельные подсистемы:

- параметры сети $F_c^1 = \{N, X\}$
- параметры КА $F_{КА}^1 = \{x, C_{КА}, \varphi\}$, (8)
- параметры АН $F_{АН}^1 = \{\tau_{АН}, f, \gamma, r_{АП}\}$
- параметры БЗУ $F_{БЗУ}^1 = \{I_{БЗУ}, I_{пер}, \tau_{БЗУ}\}$.

Аналогично из проведенного анализа следует, что при синтезе «идеального» орбитального комплекса в составе его внешней среды необходимо рассматривать следующие подсистемы МФКС: НРТК и СОПМИ с определяющими параметрами $D_{НРТК} = \{C_H, B_H\}$; $D_{СОПМИ} = \{n_{ППИ}, B_{ППИ}, \tau_{обр}\}$, (9) которые при синтезе орбитального комплекса МФКС должны рассматриваться как исходные данные.

Рассмотренные выше исследования, а именно: исследования построения системы, ее операций и взаимодействия со средой, целей, показателей и критериев, объектов моделирования и синтеза, исходных данных и

ограничений, – необходимы для постановки задачи синтеза системы, которая должна решаться моделированием.

Постановка задачи служит основой для проведения последующих этапов синтеза системы – разработки математической модели, моделирования на ЭВМ и выработки рекомендаций. На этих этапах постановка задачи может быть уточнена. Так, постановка задачи синтеза системы может быть расширена включением в объект синтеза компонента, который, как оказалось, существенно влияет на эффективность системы, но ранее был не учтен или отнесен к внешней среде объекта синтеза. Возможна и ситуация сужения задачи, когда, например, параметры, выбранные при предварительном анализе в качестве определяющих, оказываются по результатам моделирования слабо влияющими на показатели эффективности; тогда размерность решаемой задачи может быть сокращена.

Библиографический список

1. Лебедев, А.А. Космические системы наблюдения / А.А. Лебедев, О.П. Нестеренко // Синтез и моделирование. М.: Машиностроение, 1991.
2. Пушкарский, С.В. Многофункциональная космическая система Союзного государства / С.В. Пушкарский, М.И. Макаров, В.А. Меньшиков. – М.: НИИ КС, 2007.

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА НАСАЖДЕНИЙ

В.Ф. ДАВЫДОВ, доц. каф. БЖД МГУЛ, канд. техн. наук, академик РАЕН,
Ю.П. БАТЫРЕВ, ст. научн. сотр. ИСИЛ МГУЛ, канд. техн. наук

batyrev@mgul.ac.ru

Программная обработка изображений лесных массивов позволяет вычислить ряд таксационных показателей, таких как полнота насаждения, запас, прирост, бонитет [1–5]. Однако методы дистанционного определения состава насаждений пока широкого практического применения не получили.

В настоящее время определения состава насаждений проводят путем натурной таксации [6]. Смешанное насаждение в целом принимается за единицу, а участие в нем каждой породы выражается в десятых долях от

единицы. Древесная порода, представленная наибольшей долей, называется преобладающей и ставится в формуле состава на первом месте. Конечной целью таксации леса является установление количества древесины из отдельных пород. Древесина учитывается не по количеству стволов, а по объему, т.е. запасу отдельных пород в виде формулы запаса, типа 6С3Е1Б, что означает 0,6 – запас сосны (С), 0,3 – запас ели (Е), 0,1 – запас березы (Б). Аналогично: Ос – осина, Ол – ольха, Ли – липа, Д – дуб.

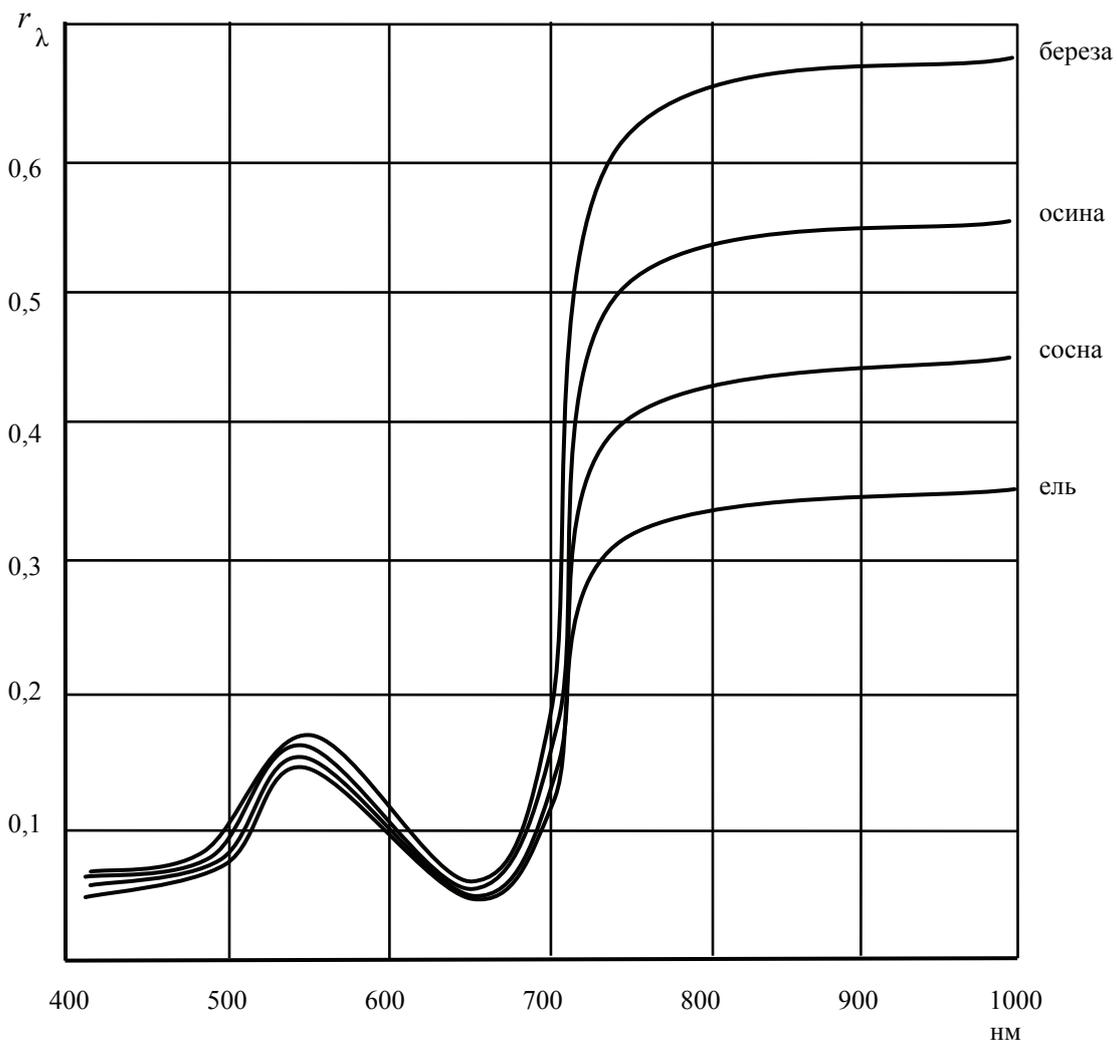


Рис. 1. Закономерность изменения коэффициента спектральной яркости $r(\lambda)$ основных древесных пород. 1 – осина, 2 – береза, 3 – сосна, 4 – ель

При перечислительной таксации состав насаждения устанавливают путем определения сумм площадей сечений отдельных пород или по результатам вычисления запасов отдельных пород (определяемых, как правило, глазомерно). При глазомерной таксации состав насаждений определяется с точностью $\geq 0,1$.

К недостаткам такого способа следует отнести также большую трудоемкость перечислительной таксации, неоперативность, недоступность отдельных регионов, нетехнологичность, а главное – отсутствие реального документа (снимка), подтверждающего правильность проведенной идентификации состава насаждений.

Предлагаемый авторами способ состоит в реализации дистанционного метода определения состава насаждений путем сов-

местной программной обработки сигнала изображений лесных массивов, получаемых во всем видимом диапазоне и на спектральных линиях цветности основных древесных пород в зеленой полосе, так и на переходных спектральных линиях от красного к ближне-инфракрасному диапазону.

Предлагаемый способ определения состава насаждений включает наземные измерения спектральных характеристик $r(\lambda)$ крон основных древесных пород данного региона спектрометром высокого спектрального разрешения ($\Delta\lambda \approx 1$ нм), выявление длин волн с максимумом $r(\lambda)$ для каждой древесной породы в зеленой полосе и минимумом $r(\lambda)$ на границе красной полосы и ближнего инфракрасного диапазона, дистанционное зондирование лесных массивов с аэрокосмического носителя с получением снимков

лесных участков в видимом диапазоне цифровой фотокамерой высокого пространственного разрешения (менее 0,5 м/пиксель) с одновременной синхронной съемкой тех же участков гиперспектрометром с получением двумерных изображений в двух узких спектральных интервалах, соответствующих выявленному максимуму и минимуму $r(\lambda)$ для каждой древесной породы, формирование синтезированных матриц изображений каждой древесной породы путем вычисления попиксельных отношений матриц $r(\lambda)_{\max} / r(\lambda)_{\min}$, расчет математического ожидания сигнала M_i каждой из синтезированных матриц, определение запаса древостоя анализируемого участка V [м³/га] по снимку высокого пространственного разрешения, расчет доли запаса каждой породы из соотношения $V_i = V(M_i / \Sigma M_i)$, где ΣM_i – сумма математических ожиданий сигнала синтезированных матриц изображений каждой древесной породы.

Отражательные свойства растительных сообществ характеризуются коэффициентом спектральной яркости (КСЯ) [7]. Спектры отражения крон деревьев формируются совокупными эффектами отражения, поглощения и пропускания лучистой энергии отдельными листьями, ветвями. Определяющее влияние на ход кривых спектрального отражения в видимом диапазоне оказывают хлорофилл и каротиноиды. До 90 % лучистой энергии поглощается древесными пологом в процессе фотосинтеза, и лишь небольшой максимум отражения в полосе 450–550 нм придает растительности зеленую окраску.

В видимой области спектра кроны разных древесных пород имеют одну и ту же закономерность хода кривых КСЯ. Закономерность изменения КСЯ древесных пород иллюстрируется графиками рис. 1 [8, С. 21, рис. 2.8.].

Внутри зеленой полосы хвоя, листья отличаются по оттенку цветности: темно-зеленые (ель, ольха), зеленые (кедр, пихта), светло-зеленые (сосна, осина, береза). Максимумы яркости сдвинуты по диапазону на 3...5 нм при значениях КСЯ 5–10 %. На границе перехода из красной области видимого диапа-

зона (650–700 нм) в ближний инфракрасный диапазон крутизна кривых и различия в спектральной яркости крон основных древесных пород достигают десятков процентов.

Следовательно, спектрограммы крон основных древесных пород имеют два отличительных (селективных) признака: сдвиг максимума $r(\lambda)$ в зеленой полосе и сдвиг максимума $r(\lambda)$ на границе красного и ближнего инфракрасного диапазона. Хотя абсолютная разница между максимумом и минимумом составляет единицы процентов, эта разница вместе со сдвигом по диапазону на 5–10 нм может быть достоверно измерена техническими средствами.

В настоящее время в спектрометрии используются технические средства нового поколения, так называемые приборы химического зрения. Последние позволяют проводить измерения на отдельных спектральных линиях (шириной от 0,1 до 10 нм) с одновременным получением двумерных изображений в каждом спектральном канале [9].

На спектральные характеристики крон деревьев влияют условия произрастания, влажность почв, фенологический период вегетации. Весной молодая листва, хвоя всех древесных пород значительно ярче, ее светло-зеленый цвет в поздневесеннее время сменяется зеленым и темно-зеленым. Для исключения ошибок в ранжировании древесных пород по зеленому оттенку цветности осуществляют измерения их спектральных характеристик в натуральных условиях в послевесенний вегетационный период (как правило, – июнь) в каждом регионе произрастания отдельно. Для измерений используют, например, спектрометр «Кварц-4» [8, С. 23–24].

Результаты натуральных прецизионных измерений КСЯ древесных пород средней полосы России с определением максимума в зеленой и минимума в красной полосе иллюстрируется диаграммой рис. 2. Наземное ранжирование древесных пород по $r(\lambda)$ (рис. 2) используют в дальнейшем для установления двух узких спектральных каналов дистанционных измерений каждой древесной породы с аэрокосмического носителя гиперспектрометром.

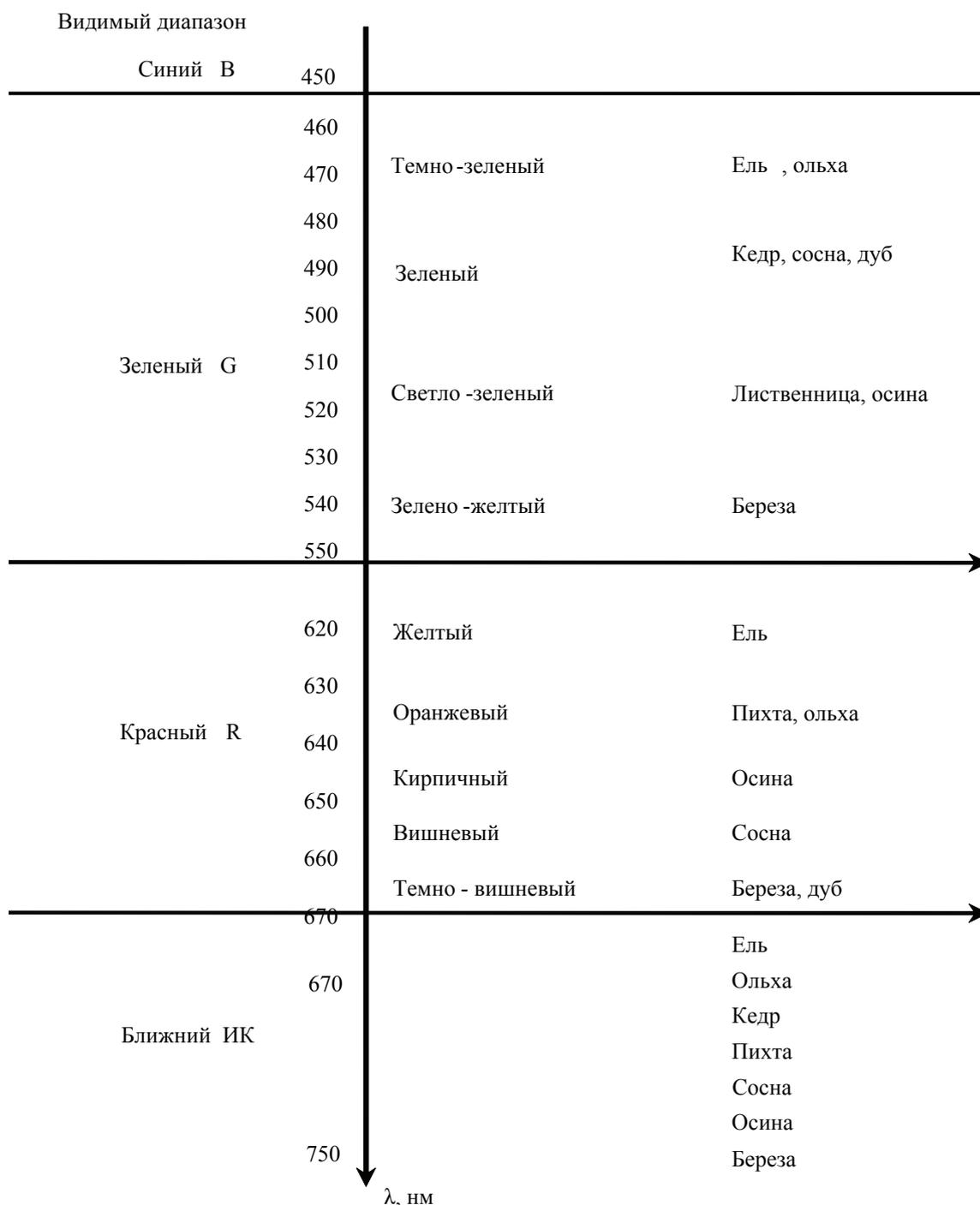


Рис. 2. Ранжирование древесных пород по отклику цветности в зеленой полосе максимум $r(\lambda)$ и минимуму $r(\lambda)$ на границе красного и ближнего инфракрасного диапазонов

Полученная пара изображений в спектральных каналах гиперспектрометра по каждой древесной породе подвергается программной обработке. Для чего осуществляют подчеркивание контраста формированием синтезированной матрицы изображения породы вычислением попиксельных отношений: $r(\lambda)_{\max}$ зеленого / $r(\lambda)_{\min}$ красного. Хотя абсолютные значения $r(\lambda)_{\max}$, $r(\lambda)_{\min}$ отличаются на

единицы процентов их отношение изменяется в несколько раз. Затем вычисляют математическое ожидание сигналов синтезированных матриц M_i . Чем большее количество деревьев данной породы на участке, тем с большей площадью осуществляется светосбор для формирования изображений в спектральных каналах, тем больше ожидаемое среднее значение яркости в спектральном канале, M_i (рис. 3).

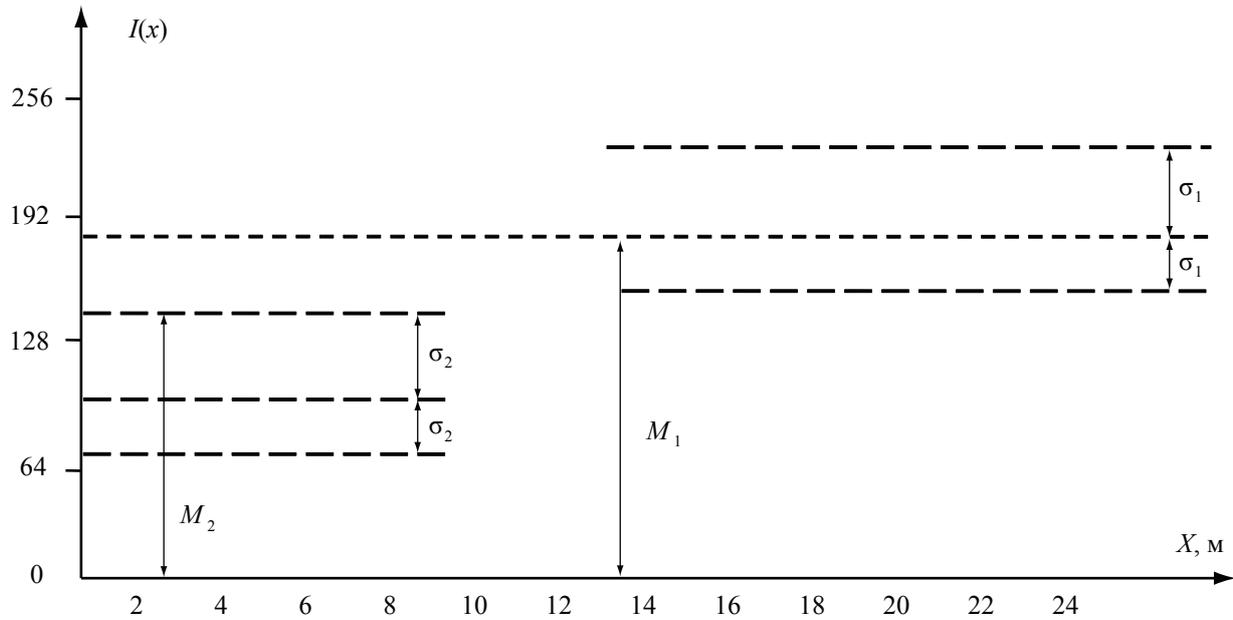


Рис. 3. К расчету математического ожидания M_i синтезированных матриц

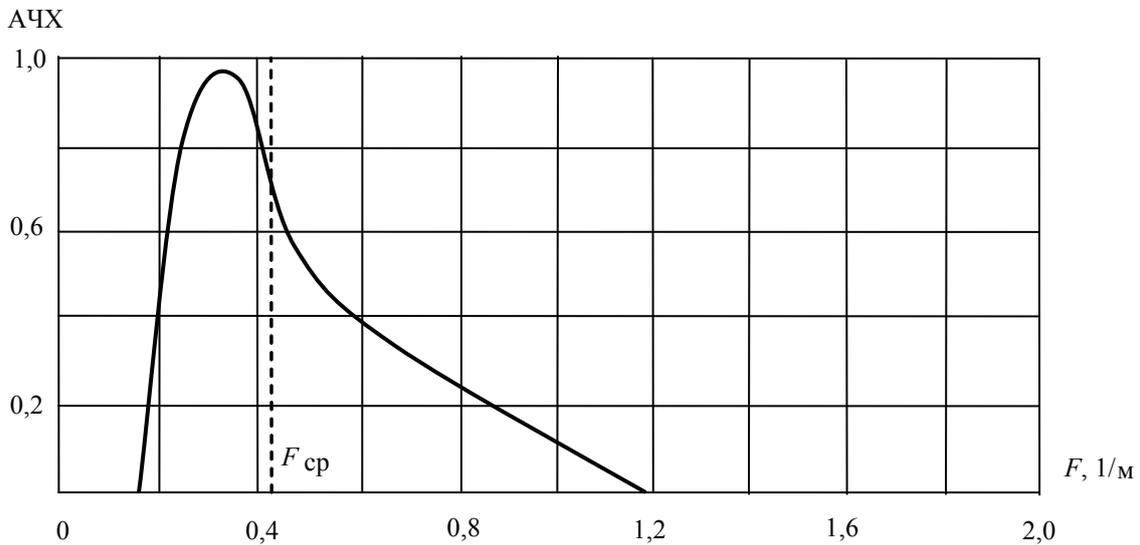


Рис. 4. Огибающая пространственного спектра изображения (АЧХ) участка видимого диапазона

Доля каждой породы на участке пропорциональна площади светосбора или отношению

$$\Pi_i \approx M_i / \sum_{i=1}^n M_i,$$

где n – количество пар синтезированных каналов гиперспектрометра.

Запас древостоя участка рассчитывают по высокодетальному изображению цифровой фотокамеры, осуществляющей съемку во всей полосе видимого диапазона.

Скрытые закономерности в строении насаждения и отдельных деревьев могут быть выявлены на основе использования нескольких независимых признаков изображения,

таких как цвет, тон, текстура, топология. Текстура изображения содержит информацию о степени изрезанности древесного полога, образованного кронами деревьев. Крона отдельного дерева при съемке сверху представляется некоторой колоколообразной фигурой. Вершина кроны освещена ярче, чем промежутки между кронами деревьев.

Поэтому текстура изображения повторяет периодичности чередования расстояний между деревьями и размеры их крон.

Скрытая информация о периодичности чередования и размерности крон может быть выявлена путем расчета пространственного спектра Фурье матрицы изображения.

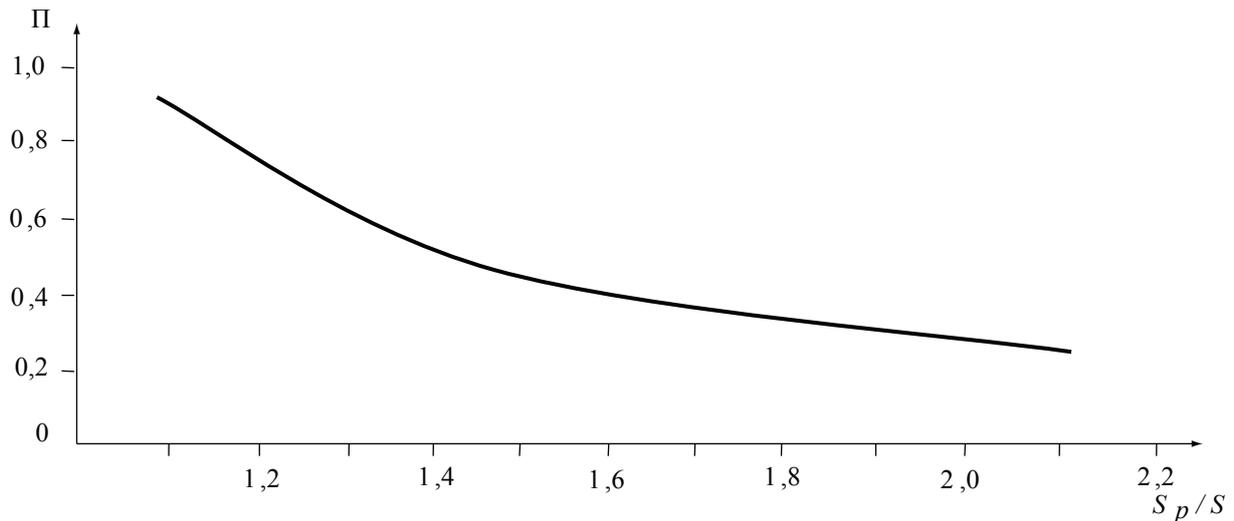


Рис. 5. Зависимость полноты насаждения участка от соотношения площади рельефа древесного полога S_p к геометрической площади участка S_0

На рис. 4 представлена огибающая пространственного спектра Фурье матрицы изображения, полученной цифровой фотокамерой высокого пространственного разрешения. Амплитуда огибающей в каждой точке f_i определяет удельный вес соответствующей пространственной гармоники в общем спектре. Средняя частота F_{cp} пространственного спектра делит площадь под огибающей пополам.

Средний диаметр кроны анализируемого участка насаждения рассчитывают как $D_{cp} = 1 / F_{cp}$. Существует среднестатистическая зависимость между диаметром кроны дерева (D) его высотой (H) и площадью сечения ствола (g): $H \approx 1,2D^{1,2}$ (м), $g = 120 \cdot D^{0,8}$ (см²) [1].

Среднее число модельных деревьев на участке определяют из соотношения

$$N_{cp} = (S_0 / (\pi D_{cp}^2 / 4)) \cdot P,$$

где S_0 – геометрическая площадь анализируемого участка, м²;

$\pi D_{cp}^2 / 4$ – проекция площади кроны на земную поверхность, м²;

P – полнота насаждения.

По определению, полнота насаждения – это степень использования им занимаемого пространства. Чем реже деревья друг от друга, тем больше изрезанность древесного полога. При сомкнутых кронах деревьев изрезанность древесного полога меньше. Среднестатистической характеристикой изрезанности древесного полога служит площадь его рельефа S_p . Отношение площади рельефа древесного полога к геометрической площади участка (S_p/S_0)

характеризует полноту насаждения. Данное соотношение вычисляют программным методом [4]. График зависимости полноты древостоев от соотношения S_p/S_0 иллюстрируется рис. 5. Среднее видовое число модельного дерева [6, С. 105] F_{cp} составляет $\approx 0,4$.

Таким образом, программная обработка изображений позволяет вычислить необходимое количество независимых признаков, достаточных для однозначного определения запаса древостоя участка.

Библиографический список

1. Способ оценки запаса насаждений. Патент RU № 2133565, 1999.
2. Способ вычисления запаса лесных массивов. Патент RU № 2242867, 2004.
3. Способ определения прироста запаса насаждений. Патент RU № 2277325, 2006.
4. Способ определения полноты древостоев. Патент RU № 2294622, 2007.
5. Способ определения бонитета насаждений. Патент RU № 2371909, 2009.
6. Анучин, Н.П. Лесная таксация / Н.П. Анучин: уч., 5-е изд. – М.: Лесная пром-сть, 1982.
7. Чапурский, Л.И. Отражательные свойства природных объектов в диапазоне 400...2500 нм. Ч.1. / Л.И. Чапурский. – М.: Мин. обороны СССР, 1986. – С. 40–47
8. Сухих, В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве / В.И. Сухих. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005.
9. Малый космический аппарат «Вулкан-Астрогон» с гиперспектрометром высокого разрешения. Структурная схема камеры «Астрогон-1». Инженерная записка. – РАКА, ФГУП НИИЭМ, 2002. – С. 9–10.

ИЗУЧЕНИЕ ТЕНЕВЫНОСЛИВОСТИ ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ВИДОВ СРЕДНЕЙ ЧАСТИ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

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

А.И. ЯКОВЛЕВА, асп. каф. информационных технологий в лесном секторе МГУЛ

chumachenko@mgul.ac.ru

Кедрово-широколиственные леса Дальнего Востока – уникальная по флористическому составу, строению и возрастной структуре лесная формация. Несмотря на долгую историю исследований, кедрово-широколиственные леса Приморского края на настоящий момент недостаточно изучены. В том числе вопросы отношения древесных растений к свету. Свет – один из главных факторов, определяющих структуру лесных насаждений. Знание светолюбия и теневыносливости деревьев необходимо для решения многих задач лесного хозяйства, планирования и проведения лесохозяйственных мероприятий.

Первым теневыносливость растений Дальнего Востока описал Б.А. Ивашкевич [4]. В книге «Маньчжурский лес» он охарактеризовал экологические свойства, в том числе световые предпочтения, семнадцати видов. Его работу развивает и дополняет А.Л. Коркешко [6]. Автор пишет: «Для древесных пород центральных частей СССР, отношение которых к свету давно и глубоко изучалось, <...> предложено несколько шкал <...>. Древесные породы Дальнего Востока в этом направлении специально еще никем не изучались». Спустя более чем полвека тенденция сохраняется: накопление знаний об экологии древесных растений европейской части России и Дальнего Востока идет неравномерно и, в частности, теневыносливость дальневосточных лесобразующих пород по-прежнему слабо изучена.

Основываясь на методах, предложенных Г.Ф. Морозовым и другими классиками лесоводства, А.Л. Коркешко определяет теневыносливость по следующим, преимущественно глазомерным критериям:

1. Частота встречаемости древесных пород под пологом других и их состояние.

2. Приуроченность подроста и самосева древесных пород к различным условиям

освещения и способность самосева переходить в стадию подростка, а затем в стадию молодых деревьев при различной сомкнутости крон древостоя.

3. Густота древостоя и количество стволов на 1 га.

4. Степень и скорость очищаемости стволов древесных пород от сучьев.

5. Характер ветвления кроны и густота ее облиственности у разных видов деревьев при их совместном произрастании.

6. Приуроченность насаждений с господством определенных древесных растений к склонам различной экспозиции.

В результате А.Л. Коркешко составляет шкалу теневыносливости для 48 пород южной половины Дальнего Востока.

В 1984 г. свою шкалу публикует Н.В. Усенко в дендрологической сводке «Деревья, кустарники и лианы Дальнего Востока» [7]. Г.В. Гуков [2] считает, что все разработанные шкалы имеют ряд недостатков, например, объединяют различные виды лиственницы в одну группу по степени светолюбия, тогда как, по его мнению, их экологические свойства сильно варьируют. Он также считает целесообразным объединение деревьев в группы по степени светолюбия и включение в шкалу теневыносливости только пород лесобразователей.

Разработанные ранее шкалы и сейчас сохраняют свою актуальность, содержат полезный материал как для ученых-исследователей, так и для лесоводов-практиков. Однако получение количественных данных позволило бы привлечь современные разработки и технологии, в частности, долгосрочное прогнозирование хода роста насаждений. Так, для Европейской части России проводились эксперименты по моделированию различных сценариев лесопользования при помощи комплекса программ FORRUS-S, где среди комп-

лекса биоэкологических параметров задается требовательность к свету – минимальное значение фотосинтетически активной радиации (ФАР), при котором прирост биомассы дерева близок к нулю [8]. Получение аналогичных данных по видам Дальнего Востока даст возможность применения новых инструментов в лесной отрасли и планирования ведения хозяйства в уникальных лесах Приморья с учетом их особенностей.

В данной работе представлены основные результаты исследований, проведенных в 2009 г., целью которых была разработка количественной шкалы теневыносливости. Были поставлены и решены следующие задачи:

1. Анализ литературы по теневыносливости дальневосточных пород.
2. Проведение полевых работ с инструментальным измерением освещенности.
3. Расчет значений светового минимума для отдельных видов и возрастных состояний.
4. Анализ результатов и сравнение с ранее разработанными качественными шкалами теневыносливости.

Работы проводились на территории Верхнеуссурийского биогеоценотического стационара БПИ ДВО РАН и ДальНИИЛХ и Восточной орехово-промысловой зоны, при поддержке WWF.

Верхнеуссурийский (Чугуевский) стационар расположен в бассейне р. Правая Соколовка (приток р. Уссури) и занимает площадь около 4,5 тыс. га. Территория стационара удалена от главного водораздела Сихотэ-Алиня и приурочена к склонам отрогов 1–3 порядков с высотами в пределах от 440 (устье р. Правая Соколовка) до 1108 м над уровнем моря (вершина на водоразделе рек Соколовка и Извилинка). В целом природные условия территории стационара типичны для среднегорного пояса Южного Сихотэ-Алиня и представляют собой своеобразный эталон южной тайги с господством широколиственно-кедровых и темнохвойных пихтово-еловых лесов [5].

Орехово-промысловая зона Восточного участкового лесничества Роцинского лесничества занимает верхнюю и среднюю часть бассейна реки Дальняя (приток Большой

Уссурки) и характеризуется горным сильно пересеченным рельефом. С севера орехово-промысловая зона ограничена водоразделами между р. Большая Уссурка и р. Бикин. Основная территория находится на высоте более 300 м над уровнем моря. На всей территории преобладают кедрово-широколиственные и елово-пихтовые леса.

При формулировке методики мы опирались на разработки Евстигнеева [1, 3]. Основными его положениями является работа на уровне целого организма как функциональной единицы сообщества; дифференцированный подход к изучению реакции растений на количество света и учет онтогенетической изменчивости отношения растений к свету. Количественные показатели, отражающие теневыносливость вида, оценивались по световому минимуму подроста. Измерения проводились на пробных площадях и контрольных участках.

Пробная площадь. Под пологом сомкнутого насаждения выбирался подрост, находящийся в квази-синильном состоянии: с отсутствующим или минимальным приростом последнего года, слабо охвоенный/облиственный. Также производился учет подроста, погибшего в текущем году, если наиболее предположительной причиной гибели являлся недостаток освещенности. Выбранные особи маркировались, в ведомость перечета заносились данные: вид древесного растения, высота, размер прироста последнего года, порядок ветвления. На одной пробной площади, в зависимости от условий, выбиралось в среднем 50–100 особей. Над верхушечным побегом каждого растения проводились измерения освещенности (среднее показание люксметра за минуту). Для измерений под пологом леса использовались цифровые люксметры АТТ 1505. Указывалось время измерения с точностью до минуты. Измерения повторялись семикратно – каждый час, начиная с 11 часов, над каждым выбранным растением на данном участке.

Контрольный участок. На открытом незатененном месте (лесная поляна), на расстоянии не более 0,5 км от закладываемой пробной площади, на ровной поверхности устанавливался люксметр и в течение дня с 11 до 18 часов показания люксметра заносились в ведомость.

Т а б л и ц а 1

Количественные показатели полевых исследований

Вид	Размерные группы		
	1	2	3
Ель аянская <i>Picea ajanensis</i> (Е)	39	49	32
Пихта белокорая <i>Abies nefrolepis</i> (П)	60	37	31
Кедр корейский <i>Pinus koraiensis</i> (К)	70	27	49
Ильм лопастной <i>Ulmus laciniata</i> (И)	35	37	15
Ясень манчжурский <i>Fraxinus mandshurica</i> (Я)	34	47	36
Липа амурская <i>Tilia amurensis</i> (Лп)	55	37	26
Дуб монгольский <i>Quercus mongolica</i> (Д)	50	27	28
Береза желтая <i>Betula costata</i> (БЖ)	26	52	33
Осина <i>Populus tremula</i> (Ос)	17	39	24
Клен мелколистный <i>Acer mono</i> (Клм)	56	43	30
Клен желтый <i>Acer ukurunduense</i> (Клж)	28	28	27
Клен зеленокорый <i>Acer tegmentosum</i> (Клз)	39	35	26

Т а б л и ц а 2

Группировка выборок в блоки

1-й блок		2-й блок	
Е1	Ель 1-я группа	Е2	Ель 2-я и 3-я группа
П1	Пихта 1-я группа	П2	П2+П3
Ос1	Осина 1-я и 2-я группа	Ос2	Осина 2-я и 3-я группа
Лп1	Липа 1-я и 2-я группа	Лп2	Липа 3-я группа
Клм1	Клен мелколистный 1-я группа	Клм2	Клен мелколистный 2-я и 3-я группа
Клж1	Клен желтый 1-я группа	Клж2	Клен желтый 2-я и 3-я группа
Клз1	Клен зеленокорый 1-я группа	Клз3	Клен зеленокорый 2-я и 3-я группа

При ясной погоде показания снимались каждые 5 минут, при переменной облачности – поминутно. Измерения на контрольном участке позволяют учитывать изменения облачности в течение дня.

В процессе работ была измерена освещенность для 1458 экземпляров подроста основных лесобразующих пород. В зависимости от высоты, растения были разделены на 3 группы: 0–1 м, 1–2 м, >2 м. Количество обследованных деревьев каждого вида различных групп показано в табл. 1.

Значения освещенности под пологом и на открытом месте синхронизировались во времени, и рассчитывалось относительное значение светового минимума – как процент света, достигшего вершины растения, от полной освещенности.

Далее анализировались значения, полученные для каждого вида по трем группам. Анализ средних значений показал наличие положительного тренда светового минимума с увеличением габитуса растения. Для

проверки статистической значимости этих изменений был использован Т-тест Стьюдента (MS Excel), который применяется для проверки равенства средних значений в двух выборках. Статистический анализ показал, что для большинства видов световые минимумы целесообразно разбить на два блока – с объединением первой и второй или второй и третьей групп (табл. 2).

Оказалось, что только для ясеня манчжурского значения светового минимума существенно отличались друг от друга для всех трех групп. У ряда видов показатель светового минимума оставался стабильным для всех трех групп (дуб, ильм, кедр корейский).

Проведенный анализ позволил доказать статистически значимые различия световых минимумов в течение начальных стадий онтогенеза основных лесобразующих пород деревьев Приморского края.

Для построения шкалы теневыносливости исследуемых видов на основе проведенных натурных измерений, т.е. выяснения до-

стоверности различий в показателях светового минимума была проведена дополнительная статистическая обработка материала. Для этих целей был также использован Т-тест Стьюдента (MS Excel). Рассматривалась так называемая нулевая гипотеза о предположении равенства средних значений. В таблицах 3 и 4 представлены результаты обработки. Если значение на пересечении строк и столбцов таблиц меньше выбранного уровня значимости (0,1), то можно говорить о различии выборок с 90 % достоверностью. Выборки, статистически одинаковые, отмечены в таблицах 3 и 4 серым цветом.

В результате обработки растения были разделены на три группы – *относительно светлюбивые* (1), *относительно теневыносливые* (2) и *теневыносливые* (3). Так как в наши задачи входило определение светового минимума и измерения проводились под пологом сомкнутого насаждения, предлагаемые нами шкалы не включают наиболее светлюбивые виды, такие как береза белая, лиственница, ивы.

Для первой группы распределение выглядит следующим образом (в скобках – значение светового минимума – процент освещенности):

1. Береза желтая (4,2), клен зеленоко-
рый (2,9), дуб монгольский (3,2)
2. Клен мелколистный (2,2), ясень
манчжурский (2,3), ильм лопастной (2,4),
осина (2,4), кедр корейский (2,4), липа амурс-
кая (2,4), клен желтый (2,5)
3. Пихта белокорая (1,7), ель аянская
(1,8)

Для второй группы:

1. Береза желтая (4,2), ясень манчжур-
ский, 3-я группа (4,3)
2. Ель аянская (2,9), ясень манчжур-
ский, 2-я группа (2,9), клен мелколистный
(3,1), дуб монгольский (3,2), клен желтый
(3,3), липа (3,4), осина (3,5), клен зеленоко-
рый (3,7)
3. Пихта белокорая (2,3), ильм лопаст-
ной (2,4), кедр корейский (2,4)

Результаты можно оформить традици-
онным образом – в виде шкалы – и сравнить
со шкалами, предложенными лесоводами ра-
нее (для наглядности оставлены только виды,
вошедшие в наше исследование).

Как уже было отмечено выше, качес-
твенные шкалы теневыносливости создава-
лись на основе глазомерных наблюдений. При
этом внимание исследователей преимущест-
венно концентрировалось на стадии спелых
насаждений. Однако с нашей точки зрения
наиболее ценной является информация о све-
товых потребностях видов на их ранних ста-
диях развития. Именно в этот момент можно
формировать насаждение необходимого со-
става и структуры.

Анализ шкал показывает, что, как и
между качественными шкалами, так и меж-
ду качественными и количественными, есть
некоторые различия, но основные тенденции
схожи. Наиболее теневыносливыми являют-
ся ель и пихта. К относительно теневыносливым
относятся липа амурская, ильм лопастной
(только А.Л. Коркешко считает его теневы-
носливее ели), кедр корейский. Дуб монголь-
ский все исследователи относят к довольно
светлюбивым видам, это подтверждается и
инструментальными измерениями.

Исследователями неоднократно от-
мечалось, что отношение к свету у растений
меняется в процессе онтогенеза. Например,
кедр корейский в раннем возрасте теневы-
нослив и даже нуждается в умеренном зате-
нении, а затем требование к свету возрастает,
хотя в стадии подростка кедр терпит затене-
ние, но замедляет рост. Ясень манчжурский
во взрослом состоянии довольно светлюбив,
а в молодом возрасте переносит умеренное
затенение [4, 7]. Инструментальные исследо-
вания показывают, что существуют значимые
различия световых минимумов в течение на-
чальных стадий онтогенеза основных лесооб-
разующих пород деревьев. И эти изменения
неодинаковы. Так, например, теневыносли-
вость у ели уменьшается более быстрыми
темпами, чем у пихты. У ясеня, как уже было
сказано выше, светлюбие различно на всех
трех исследуемых стадиях.

Как было отмечено, часть древесных
видов, таких как кедр, дуб, ильм не меняет
своего светового минимума на протяжении
исследуемых стадий онтогенеза. Однако
многие авторы подчеркивают значительное
светлюбие, в частности кедра корейского, во
взрослом состоянии [4, 7].

Т а б л и ц а 3

Результаты Т-теста для первого блока

Световой минимум, %	П1	Е1	КЛМ1	Я1	И	Ос1	К	Лп1	КЛЖ1	КЛЗ1	Д	БЖ
	1,7	1,8	2,2	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,9	3,2	4,2
П1	1,000	0,471	0,008	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000
Е1	0,471	1,000	0,045	0,033	0,002	0,000	0,000	0,001	0,003	0,003	0,000	0,000
КЛМ1	0,008	0,045	1,000	0,697	0,429	0,303	0,248	0,296	0,208	0,076	0,000	0,000
Я1	0,008	0,033	0,697	1,000	0,777	0,669	0,585	0,601	0,423	0,151	0,001	0,000
И	0,000	0,002	0,429	0,777	1,000	0,879	0,756	0,764	0,520	0,177	0,000	0,000
Ос1	0,000	0,000	0,303	0,669	0,879	1,000	0,845	0,844	0,558	0,184	0,000	0,000
К	0,000	0,000	0,248	0,585	0,756	0,845	1,000	0,970	0,651	0,216	0,000	0,000
Лп1	0,000	0,001	0,296	0,601	0,764	0,844	0,970	1,000	0,700	0,244	0,002	0,000
КЛЖ1	0,001	0,003	0,208	0,423	0,520	0,558	0,651	0,700	1,000	0,404	0,018	0,000
КЛЗ1	0,001	0,003	0,076	0,151	0,177	0,184	0,216	0,244	0,404	1,000	0,370	0,001
Д	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,018	0,370	1,000	0,000
БЖ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	1,000

Т а б л и ц а 4

Результаты Т-теста для второго блока

Световой минимум, %	П2	И	К	Е2	Я2	КЛМ2	Д	КЛЖ2	Лп2	Ос2	КЛЗ2	БЖ	ЯЗ
	2,3	2,4	2,4	2,9	2,9	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,7	4,2	4,3
П2	1,000	0,782	0,561	0,021	0,027	0,032	0,000	0,014	0,004	0,002	0,002	0,000	0,000
И	0,782	1,000	0,756	0,028	0,036	0,042	0,000	0,018	0,005	0,002	0,002	0,000	0,000
К	0,561	0,756	1,000	0,034	0,044	0,053	0,000	0,023	0,006	0,003	0,003	0,000	0,000
Е2	0,021	0,028	0,034	1,000	0,963	0,716	0,311	0,365	0,200	0,114	0,078	0,000	0,001
Я2	0,027	0,036	0,044	0,963	1,000	0,753	0,365	0,396	0,227	0,134	0,090	0,000	0,001
КЛМ2	0,032	0,042	0,053	0,716	0,753	1,000	0,677	0,607	0,413	0,282	0,182	0,001	0,006
Д	0,000	0,000	0,000	0,311	0,365	0,677	1,000	0,818	0,563	0,378	0,237	0,000	0,006
КЛЖ2	0,014	0,018	0,023	0,365	0,396	0,607	0,818	1,000	0,795	0,625	0,419	0,023	0,036
Лп2	0,004	0,005	0,006	0,200	0,227	0,413	0,563	0,795	1,000	0,815	0,553	0,036	0,054
Ос2	0,002	0,002	0,003	0,114	0,134	0,282	0,378	0,625	0,815	1,000	0,692	0,063	0,082
КЛЗ2	0,002	0,002	0,003	0,078	0,090	0,182	0,237	0,419	0,553	0,692	1,000	0,271	0,234
БЖ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,023	0,036	0,063	0,271	1,000	0,679
ЯЗ	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,006	0,006	0,036	0,054	0,082	0,234	0,679	1,000

Т а б л и ц а 5

Сравнение шкал теневыносливости

Коркешко, 1952	Усенко, 1984	Гуков, 1990	Результаты 2009 г, 1-я группа	Результаты 2009 г, 2-я группа	
<i>дуб монгольский</i>	<i>ясень манчжурский</i>	<i>ясень маньчжурский,</i>	<i>береза желтая, клен</i>	<i>береза желтая, ясень</i>	
<i>кедр корейский</i>	клен мелколистный	клен мелколистный, <i>дуб монгольский</i>	<i>зеленокорый, дуб монгольский</i>	<i>манчжурский (3)</i>	
липа амурская	<i>дуб монгольский</i>	ильм лопастной, <i>кедр корейский,</i> липа амурская, береза желтая	<i>кедр корейский,</i>	ель аянская, дуб монгольский, ясень манчжурский (2),	
береза желтая	<i>кедр корейский</i>		липа амурская, ильм лопастной, клен мелколистный, клен желтый, осина	липа амурская, клен мелколистный, <u>клен зеленокорый</u> , осина	
клен мелколистный	береза желтая				
<i>ясень манчжурский</i>	липа амурская				
ель аянская	ель аянская				
ильм лопастной	клен зеленокорый				
ПИХТА БЕЛОКОРАЯ	ПИХТА БЕЛОКОРАЯ	ель аянская, ПИХТА БЕЛОКОРАЯ, клен зеленокорый	ель аянская, ПИХТА БЕЛОКОРАЯ,	<i>кедр корейский, ПИХТА БЕЛОКОРАЯ, ильм лопастной</i>	
<u>клен зеленокорый</u>					

Причина, скорее всего, кроется в том, что кедр меняет свою теневыносливость в более позднем возрасте, при более рослых деревьях.

Таким образом, наши исследования продолжают традицию исследований теневыносливости дальневосточных видов, дополняют и уточняют имеющиеся данные. В дальнейшем планируется продолжить работу по измерению светового минимума в более широком диапазоне высот деревьев для исследованных и других древесных видов среднего и южного Приморья.

Библиографический список

1. Восточноевропейские широколиственные леса. – М.: Наука, 1994. – 364 с.
2. Гуков, Г.В. Лесоведение на Дальнем Востоке / Г.В. Гуков – Владивосток: Дальневосточный ун-т, 1990. – 312 с.
3. Евстигнеев, О.И. Отношение лиственных деревьев к свету и водообеспеченности в связи со структурой леса / О.И. Евстигнеев // Лесоведение. – 1996. № 6. – С. 26–35.
4. Ивашкевич, Г.В. Манчжурский лес / Г.В. Ивашкевич – Харбин: Издание земельного отдела Китайской восточной железной дороги, 1915. – 220 с.
5. Комарова, Т.А. Индикация природных процессов в лесах среднегорного пояса южного Сихотэ-Алиня / Т.А. Комарова, Н.В. Ловелиус, А.С. Жильцов – Владивосток: Дальнаука, ДВО РАН, 2000. – 200 с.
6. Коркешко, А.Л. Шкала теневыносливости древесных пород Дальнего Востока / А.Л. Коркешко // Сообщ. ДВФ АН СССР, 1952. – Вып. 4. – С. 16–18
7. Усенко, Н.В. Деревья, кустарники и лианы Дальнего Востока / Н.В. Усенко – Хабаровск: Хабаровское книжное издательство, 1984. – 270 с.
8. Чумаченко, С.И. Имитационное моделирование многовидовых разновозрастных лесных насаждений / С.И. Чумаченко: автореф. дис. д-ра биол. наук. – М.: МГУЛ, 2006.

СОКРАЩЕНИЕ ДОСТУПНОГО К ОСВОЕНИЮ ЛЕСНОГО ФОНДА В РОССИИ В СВЯЗИ С ЛЕСОЗАГОТОВКАМИ

Е.В. ТЕПЛЯКОВА, *асп. каф. лесоустройства и охраны леса МГУЛ*

elena.v.teplyakova@gmail.com

«Русские леса трещат под топором, гибнут миллиарды деревьев, опустошаются жилища зверей и птиц, мелеют и сохнут реки, исчезают безвозвратно чудные пейзажи».

А.П.Чехов «Дядя Ваня» (1901)

Россия – страна, которой природой дарованы несметные богатства. И не только газовые, нефтяные и рудные. Лес – «зеленое золото» – не уступает им по своему значению. По данным ФАО на территории России сосредоточено около 23 % мировых запасов древесины. Леса России охватывают 1,1 млрд га, что составляет 69 % земель России. Распределение лесов крайне неравномерное, в азиатской части сосредоточено 78 % лесов, а в европейской части – 22 %. По оценкам экспертов – площадь, занятая лесами и другой древесно-кустарниковой растительностью, практически стабилизировалась: покрытая лесом площадь составляет 809 млн га, а общий запас древесины – 81,5 млрд м³. [1, 2].

Россия в течение длительного времени являлась одним из важнейших поставщиков лесопроductов в Европу. Еще в допетровские

времена огромные площади лесов, особенно твердолиственных, сводились для изготовления поташа, изготовления бочек и т.д., а также другой древесины для домостроения, нужд рудников для добычи полезных ископаемых, выплавки железа, солеварения, других мануфактур. Большой урон был нанесен лесам в связи с их использованием в виде засек для целей обороны, а также лесными пожарами. Одним из важных факторов обезлесения территории России следует считать собственность на леса. Предпринимаемые государственные меры приносили временный успех по отдельным направлениям. Лесистость территории многих областей России неуклонно сокращалась, достигнув критических величин.

В XX в. тенденции практически не изменились – объем рубок, исчисляемый в основном по приросту насаждений, не всегда

способствовал поддержанию качественного состояния лесов, особенно в отношении породного состава. Создаваемые лесные культуры и полезащитные насаждения не покрывали качественно выбывающие лесные площади. Развитие промышленности привело к количественному сокращению и качественному ухудшению лесов, особенно на севере Европейской России, а по мере продвижения нефте- и газодобычи в восточные регионы (Сибирь и Дальний Восток), строительство продукто- и теплотрасс привело к значительной фрагментации лесов.

За последние два десятилетия проблемы усугубились в связи с либерализацией экономических законов, снижением уровня жизни населения, сокращением ассигнований на лесное хозяйство, лесоохрану и т.д. Эти и другие факторы, в частности несовершенство лесного законодательства и его постепенное размывание, привело к широкому распространению нелегальных лесозаготовок.

Развитие международной лесной торговли на западном (Финляндия, ЕС) и восточном (Китай, Япония, Корея) направлениях в конце XX – начале XXI вв. ухудшило ситуацию в связи с увеличением экспорта необработанной древесины. Введение Китайской Народной Республикой запрета на рубку естественных лесов внутри страны усугубило негативные тенденции в лесном секторе Сибири и Дальнего Востока, привело к резкому наращиванию из этого региона поставок круглого леса, как легального, так и нелегального или сомнительного происхождения.

Выполнение работ в области лесовосстановления, лесоразведения, охраны лесов от пожаров в лесах Российской Федерации в последние годы затруднено рядом объективных и субъективных причин. Вместе с тем, наибольшую озабоченность вызывает качественное состояние лесов и доступность новых районов для освоения. Всевозможные совещания, конференции, визиты руководителей государства на объекты лесного сектора к практическим положительным результатам пока не привели. Инвестиционные лесные проекты не дают должной отдачи, т.к. не отвечают на главный вопрос – где взять сырье для переработки – ближайшие леса вырубле-

ны, средней доступности – сильно истощены, а дальние – недоступны в связи с отсутствием дорог и средств на их строительство. Леса же вдоль большинства рек сильно истощены, несмотря на запрет рубок в водоохранной зоне, а также по размерам, составу и качеству далеки от уровня вырубленных 50–70 лет назад.

Выход из создавшегося положения – политическая воля руководителей государства, нацеленная на восстановление качества российских лесов в северных и восточных регионах на дальнюю перспективу, большие ассигнования на создание лесных плантаций и поднятие лесистости территории на юге страны, а также повсеместное увеличение густоты дорожной сети в российских лесах.

Идея пользования лесом является основой лесного хозяйства и лесного законодательства России. В старину, когда лесов было много, а населения мало, лес не представлялся большой ценностью; подобно воздуху, он считался предметом свободного общего пользования. Однако это не мешало ему быть предметом собственности из-за различных видов побочного пользования лесом.

Российские князья, жалующие своим служивым людям обширные лесные пространства, называли их не лесными дачами или угодьями, а бортными или охотничьими угодьями, т.е. ценность их определялась возможностью охоты и добычи меда, а не получением главного продукта леса – древесины. В башкирском Предуралье лесные земли и степи преобладали над пашней, поэтому ясак, который в XVII в. платили башкиры, состоял в основном из пушнины и меда [3]. В то время серьезное антропогенное воздействие сказывается на лесах лишь в окрестностях немногих опорных населенных пунктов, где общая лесистость снижалась достаточно быстро.

В период царствования Петра I лесу было придано небывалое до того государственное значение. Был введен платный отпуск леса, установлены лесные таксы на вырубленную древесину. Годные для кораблестроения древесные породы, в первую очередь в дубовых и сосновых лесах, были объявлены заповедными. Нарушение каралось серьезным наказанием, вплоть до смертной казни.

Екатериной I и затем Петром II были приняты законы, ослаблявшие высокую требовательность петровских распоряжений по лесному делу. С мест стали поступать сведения о неумеренной рубке лесов населением. Все последующие правители России принимали меры по расширению пользования лесом для пополнения казны. Тем не менее, с целью освоения новых территорий по сенатскому указу Екатерины II в 1795 г. населению предоставлялось право бесплатно пользоваться лесом и производить раскорчевку площадей для целей земледелия.

Отечественная война 1812 г. и Крымская война привели к существенному снижению лесистости в центральном районе, особенно на западном направлении, в южных областях и на Кавказе. Ежегодные потери в лесах Российской империи от самовольных рубок и пожаров исчислялись в 40-х гг. XIX в. в 4 млн руб., а ежегодный доход от всех государственных лесов составлял примерно 0,5 млн руб. [4].

В 1861 г. было отменено крепостное право, и большие территории перешли в собственность освобожденных крестьян, в том числе и лесные угодья. Для того, чтобы подняться на ноги, крестьяне проводили опустошительные рубки леса. То есть увеличение доли частных лесов сыграло негативную роль после реформы 1861 г., когда началось массовое лесоразрушение. Многие помещичьи хозяйства начали приходить в упадок, и лесовладельцы стали срочно продавать лес.

Истребление лесов европейской части России продолжилось в годы Первой мировой войны (1914–1917), затем – во время революции, Гражданской войны и иностранной интервенции (1917–1923). Лесам России был нанесен огромный урон. Лесистость Европейской России (без Северного Кавказа и регионов Прибалтики) снизилась с 38 до 23,5 %. Были вырублены практически все леса вдоль дорог и большей части рек в доступных местах. Лес рубился, главным образом, на дрова. В 1918–1920 гг. существовала трудовая повинность населения по заготовке и вывозке дров [5].

Древесина рассматривалась как быстрый и сравнительно дешевый источник ва-

лютных поступлений для целей индустриализации экономики. Практически все вопросы лесопользования были подчинены кратковременным лесозаготовительным интересам. В результате произошла первая крупная реорганизация структуры управления лесами в России после революции 1917 г.: лесному хозяйству были законодательно приданы функции лесозаготовительного ведомства, что и было оформлено в виде слияния лесного хозяйства и лесной промышленности [6].

С 1926 по 1937 гг. велась экстенсивная индустриализация страны. Лесные ресурсы, неравномерно распределенные на территории России, особенно в европейской части, уже были сильно истощены. Возникла необходимость сохранить защитные и водоохранные функции лесов, что привело к разделению лесов на зоны промышленного и лесокультурного назначения [5].

После войны началось перебазирувание лесозаготовок из истощенных центральных районов в многолесные северные леса. Истощительное лесопользование, продолжавшееся в послевоенное время, привело к тому, что лесовосстановительные процессы на месте вырубок затягивались на 10–15 и более лет [6].

К 1975 г. ущерб лесным ресурсам России, особенно северным, таежным лесам был нанесен весьма значительный. Размещение лесосек определялось преимущественно целями получения наиболее качественной древесины и максимального приближения к транзитным путям транспорта, а не целями обеспечения равномерного и неистощительного пользования лесом. Организация отпуска леса не увязывалась с задачами правильного ведения лесного хозяйства, и все вопросы лесопользования в основном были подчинены только лесозаготовительным интересам.

С середины 1970-х гг. основные промышленные лесозаготовки были перенесены в многолесную зону. Основная масса площади вырубок зарастала малоценными лиственными породами – осиной, березой, ольхой. Упадок села начал уже заметно проявляться. Лесистость многих областей центра и юга России стала увеличиваться вследствие естественного зарастания пашен, лугов и дру-

гих сельскохозяйственных земель. Кроме того, увеличение объемов лесоразведения в малолесных областях оказало влияние на увеличение лесистости.

Современная лесистость территории европейской части России соответствует уровню прошлых веков (49 %). Но в 1925 г. она составляла около 23 %. Это означает, что более одной трети всех лесов в европейской части России являются производными, а соотношение лиственных и хвойных пород не отражает экономических интересов промышленности. По данным государственных учетов лесного фонда за 1966–2000 гг., лесистость увеличилась с 41 до 45 %, в основном за счет хвойных пород. Если в целом по России относительно благоприятные климатические условия для произрастания лесов имеются на 59 % площади, то в европейской части – на 70 %. [7]. К концу XX в. в Европейской России стабилизировалось пространственное распределение лесов, сельскохозяйственных угодий и земель, пригодных для лесовыращивания, но не пригодных для сельского хозяйства. И уже с первых лет XXI в. стали проявляться негативные процессы на малолесных территориях.

Концентрированные рубки на протяжении второй половины прошлого столетия в наибольшей степени изменили облик лесов Севера европейской части России. Доминирование спелых и перестойных лесов традиционно ориентируют лесопользование в России на применение сплошнолесосечных технологий лесозаготовок. В результате объемы рубок ухода и, соответственно, размеры промежуточного пользования древесиной являются незначительными. Все это в целом затрудняет эффективное развитие доходного лесного сектора России, особенно в рыночных условиях [7].

Размер расчетной лесосеки по лесам России за последнюю четверть века уменьшился почти на 16 % в связи с постепенным отказом от командных методов планирования в экономике, распределением лесосырьевых баз для эксплуатации лесов силами лесозаготовительной промышленности и возвратом к научно обоснованному принципу равномерности и неистощительности пользования ле-

сом. В европейской части России сокращение расчетной лесосеки составило более 20 %, а в азиатской части – 12 %.

Следует отметить, что многочисленные попытки и усилия представителей лесной науки, образования, специалистов лесного хозяйства выработать основы российской лесной политики не дали результата.

Лесная политика, как и национальная лесная программа, имеющаяся практически в каждой развивающейся стране, в самой богатой лесом стране мира отсутствуют. Без таких стратегических документов на среднесрочную и длительную перспективу, как показывает мировой опыт, нельзя не только смотреть в будущее, но и правильно организовать хозяйство в настоящем.

На основе проведенного анализа, частично отраженного в данной статье, можно сделать следующие выводы.

Лесное хозяйство дореволюционной России в развитии всецело было подчинено интересам получения прибыли и органически связано с капиталистическим рынком, с его стихийным действием закона стоимости.

Казенные леса обеспечивали государственный бюджет доходами, превышающими общие расходы на лесное хозяйство более чем вдвое.

В общественных и частновладельческих лесах, за исключением единичных фактов, лесохозяйственных и лесокультурных мероприятий не проводилось. Пользование лесом в этих лесах было хищническое.

Лесоохранительный закон 1888 г. не обеспечивал сохранность лесов, и вплоть до Великой Октябрьской социалистической революции имело место повсеместное истребление частновладельческих и общественных лесов, чем наносился государству неисчислимый вред.

В советский период (1922–1991) лесное хозяйство развивалось достаточно динамично, особенно в области лесопользования и лесовосстановления.

Потенциальные возможности лесопользования на ближайшие 20–30 лет будут определяться современным состоянием лес-

ного фонда, который является результатом хозяйственной деятельности в прошлом.

Переход к устойчивому лесопользованию – достаточно трудная задача, тем не менее важно определить стратегию лесопользования, параметры ресурсной базы устойчивого лесопромышленного производства, а также программу лесохозяйственных мероприятий, направленные на сохранение устойчивости ресурса без ущерба для окружающей среды.

Обеспечение восстановления хозяйственноценных пород на не покрытых лесной растительностью землях и на вырубках текущего периода должно осуществляться преимущественно за счет использования естественных возобновительных способностей лесных земель, с использованием мер содействия естественному возобновлению леса (сохранение подроста, оставление семенников, минерализация поверхности почвы и пр.) и путем создания лесных культур.

Библиографический список

1. Леса России. Федеральное агентство лесного хозяйства России. – М.: ВНИИЦлесресурс, 2007. – 20 с.
2. ФАО. Глобальная оценка лесных ресурсов, 2010 год. Основные выводы. – Рим: ФАО, 2010. – 375 с.
3. Чулошников, А.П. Феодалные отношения в Башкирии и башкирские восстания 17 и первой половины 18 вв. / А.П. Чулошников // Матер. по истории Башкирской АССР, 1936. – Ч 1. – С. 1–631.
4. Истомина, Э.Г. Лесоохранительная политика России в XVIII – нач. XX века / Э.Г. Истомина // Отечественная история – 1995 г. – № 4. – С. 34–35.
5. История народного хозяйства СССР 1917– 1959 гг. – М.: Социэкогиз, 1960. – 243 с.
6. Колданов, В.Я. Очерки истории советского лесного хозяйства / В.Я. Колданов. – М.: Экология, 1992 – 256 с.
7. Писаренко, А.И. Лесовосстановление и лесоразведение – основа решения глобальных проблем изменения климата / А.И. Писаренко // Лесное хоз-во России: начало третьего тысячелетия. К Всемирному лесному конгрессу. – М.: ВНИИЛМ, 2003. – С. 31–47.

ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА ПРОДУКТИВНОСТИ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЙ

О.В. МАРТЫНЕНКО, доц. каф. почвоведения МГУЛ,

Д.Г. ЩЕПАЩЕНКО, проф. Межд. инст. прикл. сист. анализа г. Лаксенбург, Австрия, д-р биол. наук,

В.Н. КАРМИНОВ, доц. каф. почвоведения МГУЛ, канд. с.-х. наук,

М.В. ЩЕПАЩЕНКО, доц. каф. ботаники и физиологии растений МГУЛ, канд. биол. наук

martinen@mgul.ac.ru; dschep@yandex.ru; vnk57@yandex.ru

Почвенная информация по-прежнему остается практически не востребованной в лесном хозяйстве и недостаточно используется в экологических работах. Тем не менее очевидно, что почвенная информация необходима для выполнения задач, декларированных в Лесном кодексе. Среди этих задач можно назвать устойчивое управление лесами, повышение их потенциала; использование лесов с учетом их глобального экологического значения; обеспечение многоцелевого, рационального использования лесов. Указанные принципы, а также развитие арендных отношений в лесном хозяйстве, неминуемо должны привести к увеличению потребности в почвенной информации и количественных данных о зависимости

продуктивности древесных насаждений от почвенных условий.

Сбор почвенной информации весьма трудоемок и требует существенных финансовых затрат. В то же время значительное количество почвенной информации было накоплено в советский период и хранится в лесхозах и учебных центрах (техникумах и ВУЗах). В частности, кафедра почвоведения МГУЛ в течение 20 лет (1970-е и 1980-е гг.) проводила почвенную съемку по заказу и параллельно с лесоустройством. В ходе этих работ составлены почвенные карты, покрывающие территорию около 1 млн га лесов только в Московской области. Ведущая роль в организации этих работ принадлежала В.Д. Зеликову.

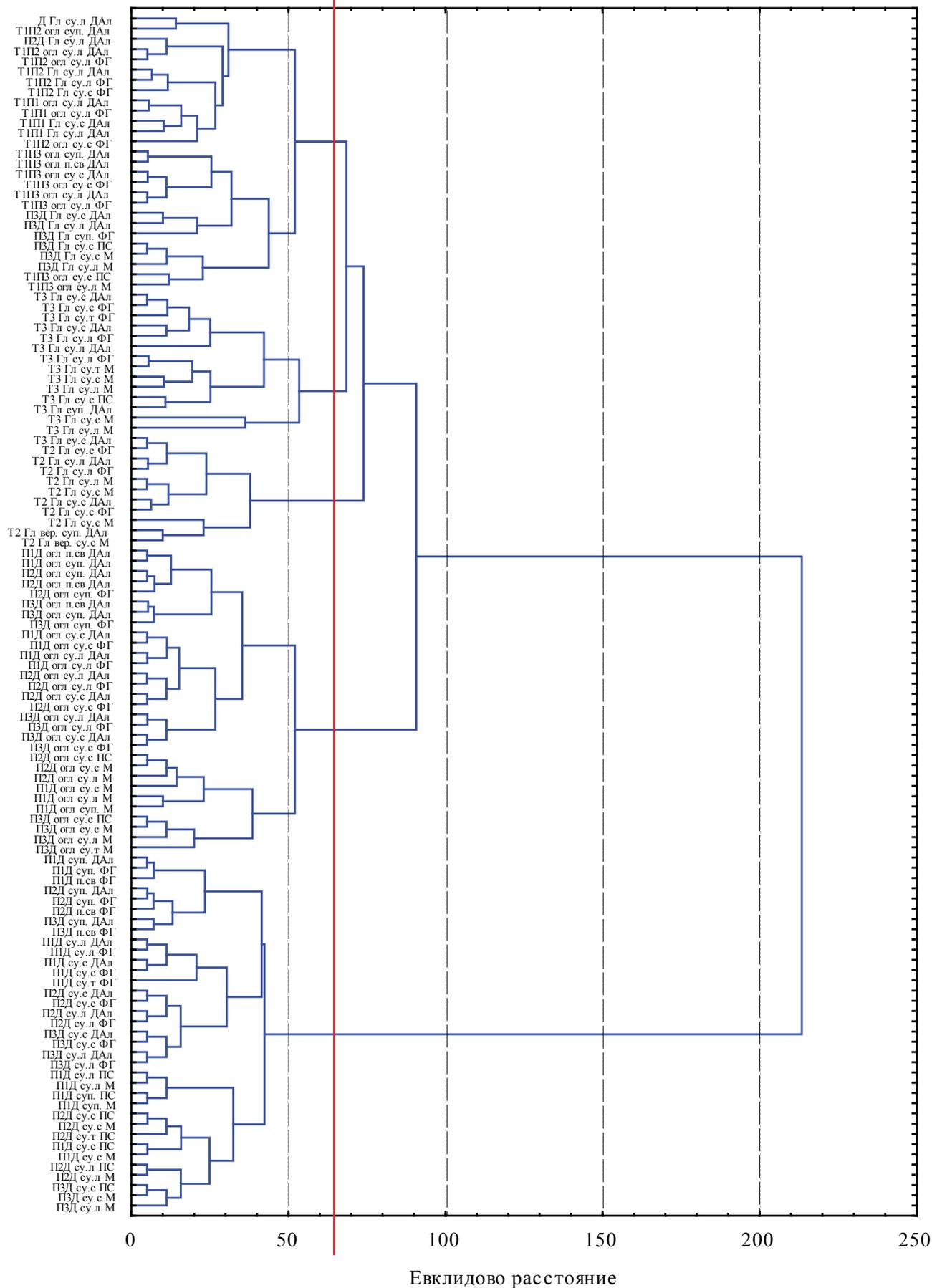


Рис. 1. Группировка почв по их свойствам и бонитету сосновых древостоев

Мы поставили себе цель проанализировать зависимость продуктивности насаждений от почвенных условий на основе производственных материалов: полевой почвенной съемки и данных лесоустройства. Объектом были выбраны сосновые насаждения Щелковского учебно-опытного лесхоза (ЩУОЛХ). Данные о почвах и лесе получены независимо друг от друга. Полевая почвенная съемка проведена кафедрой почвоведения МГУЛ. Таксационные данные получены в ходе лесоустройства.

В предыдущей публикации на эту тему [6] было отмечено, что поиск взаимосвязи почвы и продуктивности леса на производственных материалах обычно бывает неудачен. Среди причин этого можно назвать следующее:

1. Низкая требовательность древесных растений к почвенному плодородию и приспособляемость их к особенностям среды.
2. Недостаточная формализованность и точность измерений почвенных и лесных показателей, несогласованность их определенных.
3. Неудачный выбор показателей и объектов для поиска взаимосвязи почв и растений.

Было показано [6], что наибольшее влияние на бонитет сосновых насаждений ЩУОЛХ оказывают мощность органогенного горизонта и степень оглеения почв. Также было статистически подтверждено изменение класса бонитета сосняков в процессе их роста.

В данной работе мы поставили задачу классифицировать почвы по уровню продуктивности сосновых насаждений и проследить возрастную динамику продуктивности. Проблема использования почвенной информации заключается еще и в том, что генетическая почвенная классификация весьма неоднозначно сочетается с классификацией продуктивности древостоя. Так, в ЩУОЛХ выделено 127 почвенных разрядов, на которых растет сосна, и только 6 классов бонитета сосняков. Соотнести эти две классификации, не потеряв при этом прогнозный потенциал почвенной классификации, представляется важной научной и практической задачей.

Мы провели кластерный анализ всего многообразия почв (127 разрядов), встречающихся под сосновыми лесами ЩУОЛХ. Исходными данными послужили материалы лесоустройства и материалы почвенного картографирования. Показателем продуктивности насаждений была выбрана высота в 100 лет (бонитет насаждений). Почвы характеризовались следующими показателями:

- мощность органических горизонтов, см;
- мощность гумусового горизонта, см;
- мощность подзолистого горизонта, см;
- гранулометрический состав (процент физической глины) верхнего минерального горизонта;
- степень увлажнения почвенного профиля, %;
- глубина залегания глееватых горизонтов, см;
- степень оглеения, %;
- гранулометрический состав (процент физической глины) материнской породы.

Все многообразие почв было разделено на 5 групп в зависимости от показателя продуктивности насаждений и свойств самих почв (рис. 1):

1. Дерново-подзолистые (ПД).
2. Дерново-подзолистые глееватые (ПД огл).
3. Торфянисто-подзолистые глееватые и дерново-подзолистые глеевые (Т1П огл).
4. Болотные торфяно-глеевые (Т2 Гл).
5. Болотные торфяные верховые (Т3 вер).

Выделенные группы представляют собой единый естественный ряд по степени увлажнения от хорошо дренированных автоморфных почв к сильно переувлажненным болотным почвам. Свойства выделенных групп почв представлены в табл. 1.

Выделенные группы почв существенно отличаются друг от друга по своим свойствам. Продуктивность сосновых насаждений также существенно отличается, кроме первых двух групп (дерново-подзолистые и дерново-подзолистые глееватые, рис. 2.).

Свойства выделенных групп почв

Показатели		Группы почв				
		ПД	ПД огл	Т1П огл	Т2 Гл	Т3 вер
Мощность органического горизонта, см	Средняя	2,6	4,1	11,7	27,6	53,4
	Мин.	2	3	5	25	50
	Макс.	3	5	15	28	55
	Ст. откл.	0,50	0,83	4,44	1,09	2,39
Мощность гумусового горизонта, см	Средняя	13,5	12,8	0,0	0,0	0,0
	Мин.	12	11	0	0	0
	Макс.	15	14	0	0	0
	Ст. откл.	1,27	1,25	0,0	0,0	0,0
Мощность подзолистого горизонта, см	Средняя	10,4	13,1	19,0	0,0	0,0
	Мин.	1	1	0	0	0
	Макс.	23	25	27	0	0
	Ст. откл.	8,91	10,03	9,80	0,0	0,0
Содержание физической глины, %	Средняя	26,3	25,8	26,1	29,3	30,0
	Мин.	10	10	10	15	15
	Макс.	45	45	35	35	35
	Ст. откл.	9,88	9,75	7,55	6,46	6,32
Глубина залегания глееватого горизонта, см	Средняя	200,0	50,0	45,0	42,1	54,4
	Мин.	200	50	30	15	50
	Макс.	200	50	55	60	70
	Ст. откл.	0,00	0,00	9,26	16,14	8,15
Степень оглеения, %	Средняя	5,0	35,0	72,4	91,8	100,0
	Мин.	5	35	70	80	100
	Макс.	5	35	80	100	100
	Ст. откл.	0,00	0,00	3,30	6,08	0,00
Содержание физической глины в материнской породе, %	Средняя	22,7	21,0	17,7	20,0	22,5
	Мин.	10	10	10	10	10
	Макс.	40	40	40	40	40
	Ст. откл.	12,51	13,16	11,52	13,30	13,54

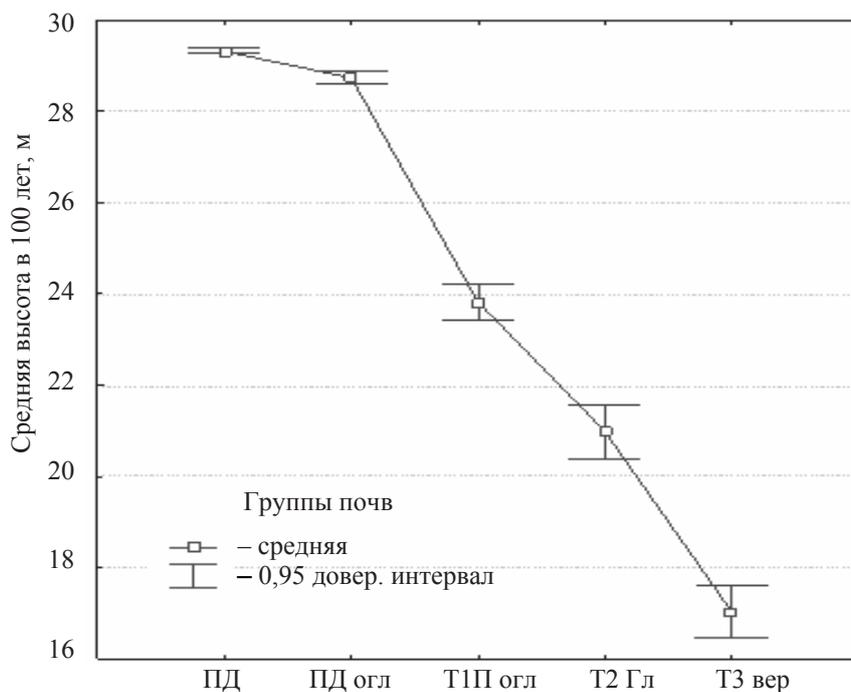


Рис. 2. Средняя высота сосновых древостоев в 100 лет для разных почвенных групп

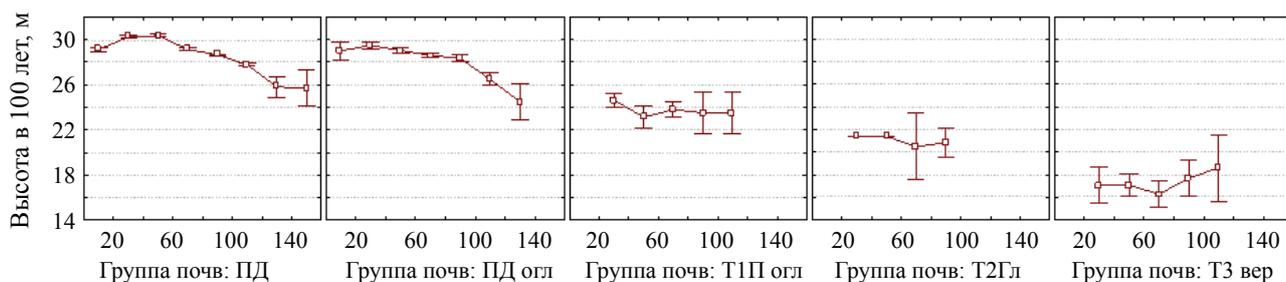


Рис. 3. Возрастная динамика бонитета насаждений (высота в 100 лет) на различных почвах

Т а б л и ц а 2

Динамика таксационных и биопродукционных показателей сосновых насаждений на различных группах почв

Класс возраста	Площадь, га	Полнота	Класс бонитета	Запас, м ³ /га	Фитомасса насаждения, т/га	Общая продуктивность фитомассы, т/га	Чистая первичная продукция, г С /м ² /год
Группа почв: ПД							
1	269	0,73	Ia,9	72	51	102	441
2	1801	0,75	Ia,6	168	110	250	543
3	1762	0,73	Ia,6	234	150	410	525
4	1661	0,68	Ia,9	278	181	576	444
5	2830	0,65	I,0	300	198	724	400
6	1554	0,62	I,3	300	200	834	375
7	76	0,52	I,8	249	176	901	365
Группа почв: ПД огл							
1	31	0,72	Ia,9	83	55	109	440
2	329	0,72	Ia,8	156	102	228	525
3	473	0,71	Ia,9	223	143	391	503
4	455	0,67	I,1	263	171	545	440
5	275	0,63	I,1	282	186	680	398
6	94	0,61	I,6	290	198	815	376
Группа почв: Т1П огл							
2	30	0,64	II,1	114	79	188	416
3	19	0,64	II,5	153	105	302	443
4	36	0,62	II,3	190	130	445	421
5	19	0,62	II,4	237	165	652	396
6	18	0,60	II,4	256	180	810	378
Группа почв: Т2 Гл							
2	2	0,65	III,0	120	91	223	336
3	8	0,63	III,0	138	101	309	382
4	10	0,61	III,3	153	111	406	386
5	21	0,60	III,1	190	139	590	378
Группа почв: Т3 вер							
2	14	0,57	IV,2	58	47	122	271
3	81	0,61	IV,2	108	84	275	323
4	64	0,60	IV,4	125	96	377	344
5	17	0,59	IV,0	170	130	599	351
6	7	0,55	III,8	180	139	733	353

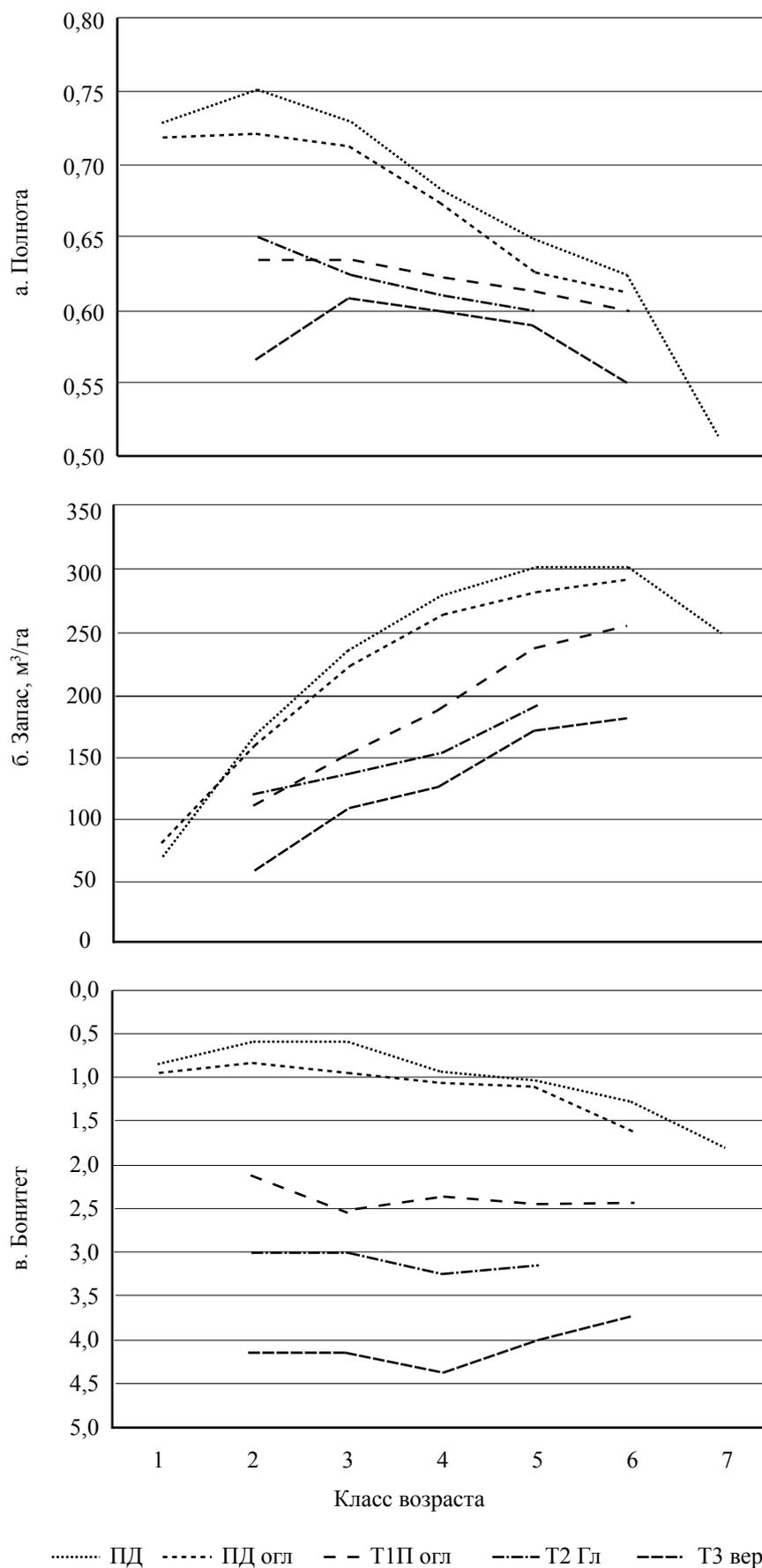


Рис. 4. Динамика некоторых таксационных показателей с возрастом (а – полнота, б – запас, в – бонитет)

Однако мы считаем важным сохранить эти две группы, не объединяя их. Вторая группа отличается от первой наличием заметного глеевого процесса. Степень его развития еще не ограничивает рост сосняков, но является важным показателем гидрологического режима. Глеевый процесс является очень динамичным, и дальнейшее его развитие может существенно повлиять на рост и продуктивность насаждений.

Рост сосновых насаждений на дерново-подзолистых (1 группа) и дерново-подзолистых глееватых (2 группа) почвах укладывается в основном в нормативы I класса бонитета. Третья группа почв – торфянисто-подзолистые поверхностно-глееватые обеспечивают продуктивность сосновых древостоев по II классу бонитета. Сосновые древостои III класса бонитета в основном наблюдаются на торфяно-подзолистых глеевых почвах (4-я группа). И, наконец, 5-я группа – болотные торфяные верховые почвы наблюдаются в основном под сосновыми древостоями IV класса бонитета.

Известно, что рост лесных насаждений в одних климатических условиях, при одном уровне хозяйственного воздействия и нарушений определяется почвенными условиями. На основании этого мы поставили задачу проанализировать возрастную динамику сосняков в различных почвенных условиях. На рис. 3 представлена возрастная динамика бонитета сосняков на различных группах почв. Только первая и вторая группы почв демонстрируют достоверное падение бонитета с возрастом.

Мы вычислили средние таксационные показатели сосновых насаждений по классам возраста для различных групп почв (табл. 2). Исходными данными для этого послужило таксационное описание лесных выделов ЩУОЛ, совмещенное с почвенной картой.

Показатели биологической продуктивности сосновых насаждений были вычислены на основании средних таксационных показателей и региональных моделей динамики биологической продуктивности сосновых насаждений (модальные сосновые древостои европейской части России – экорегионы южной тайги, зон смешанных, лиственных лесов и лесостепи) [5].

Возрастная динамика некоторых таксационных показателей насаждений на различных группах почв представлена на рис. 4. Мы видим падение полноты с возрастом, особенно выраженное у высокопродуктивных древостоев. Запас древостоев закономерно увеличивается с возрастом. Только древостои на наиболее продуктивных почвах начинают разрушаться в возрасте более 100 лет. Падение бонитета наблюдается в возрасте более 80 лет только на двух наиболее продуктивных группах почв.

Динамика некоторых показателей биологической продуктивности насаждений (включая древостой и нижние яруса леса – подрост, подлесок и живой напочвенный покров) представлена на рис. 5.

Общая фитомасса насаждений растет с возрастом до 100 лет, падая только у самых высокопродуктивных в перестойном возрасте. Насаждения накапливают к 100-летнему возрасту от 140 до 200 т сухой органической массы на 1 га в зависимости от почвенных условий.

Общее количество произведенного органического вещества сосновым насаждением за 100 лет своего развития составляет от 700 до 800 т/га. Причем этот показатель меньше зависит от почвенных условий. Дело в том, что в разных почвенных условиях значительно отличается структура фитомассы, а ее общее количество варьирует меньше. У высокополнотных и высокобонитетных насаждений велика доля стволовой фитомассы, а у низкополнотных – нижних ярусов леса. Этот результат подчеркивает экологическую роль низкобонитетных лесов. Если с хозяйственной точки зрения их роль невелика, то с точки зрения производства органического вещества и связывания углекислого газа они незначительно уступают высокобонитетным насаждениям.

Чистая первичная продукция (ЧПП) существенно изменяется с возрастом и, в зависимости от почвенных условий, варьирует от 270 до 540 г углерода на м² в год. Чем лучше почвенные условия, тем раньше наблюдается максимум ЧПП. Если у первой и второй группы почв мы наблюдаем максимум во втором классе возраста, то у пятой группы почв ЧПП растет вплоть до 6 класса возраста.

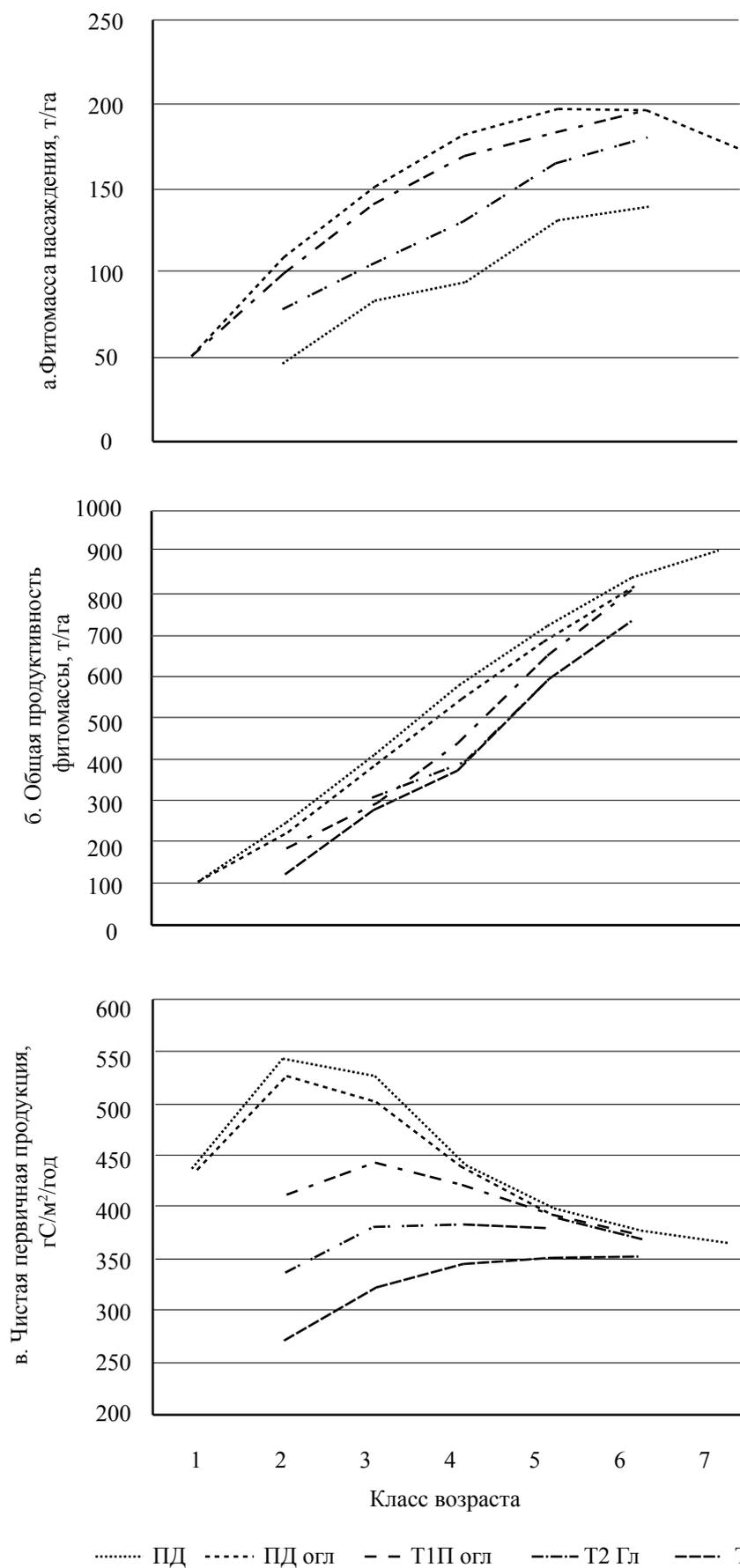


Рис. 5. Динамика некоторых биопродукционных показателей с возрастом насаждений (а – фитомасса насаждения, б – общая продуктивность фитомассы, в – чистая первичная продукция)

Таким образом, на основе производственных материалов подтверждается зависимость продуктивности сосновых насаждений Щелковского УОЛХ от таких свойств почв, как мощность органогенных горизонтов, гранулометрический состав почвы и материнской породы, степень увлажнения почвенного профиля, глубина залегания глееватых горизонтов и степень оглеения.

Статистически подтверждается падение бонитета сосняков в процессе их роста на класс и более в лучших почвенных условиях. Существенно различается возрастная динамика таксационных и биопродукционных показателей сосновых насаждений на различных почвах. Все это говорит о необходимости и возможности разработки нормативов роста древесных насаждений с учетом почвенной информации.

Библиографический список

1. Зеликов, В.Д. Имитационные модели лесных почв: в 3-х частях. / В.Д. Зеликов. – М.: МЛТИ. 1991.
2. Зеликов, В.Д. Почвы и бонитет насаждений / В.Д. Зеликов. – М.: Лесная пром-сть, 1971. – 120 с.
3. Зеликов, В.Д. Почвы и бонитет насаждений / В.Д. Зеликов. – М.: Лесная пром-сть, 1971. – 120 с.
4. Морозов, Г.Ф. Избранные труды: в 3-х т. / Г.Ф. Морозов. – М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 1994.
5. Швиденко, А.З. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы) / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепашенко, С. Нильссон и др. – М.: МПР РФ, 2006. – 803 с.
6. Щепашенко, Д.Г. Опыт совместного анализа материалов полевой почвенной съемки и данных лесоустройства на примере Щелковского УОЛХ / Д.Г. Щепашенко, В.Н. Карминов, О.В. Мартыненко и др. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2007 – № 7(56). – С. 47–49.

УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ

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

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

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

И.С. РОСЕТЕ, *асп. фак-та почвоведения МГУ*

gennadiy.fedotov@gmail.com

Гумус – совокупность всех органических соединений, находящихся в почве и не участвующих в построении растительных и животных остатков. Он состоит из специфических гумусовых веществ и неспецифических органических соединений [13, 17, 18, 23].

Неспецифические органические соединения представляют собой хорошо известные в биохимии вещества, поступившие в почву из разлагающихся растительных и животных остатков (углеводы, белки, полипептиды, аминокислоты, аминсахара, нуклеиновые кислоты, лигнин, воска, смолы, фосфолипиды и т.д.). Считается, что специфические гумусовые вещества (ГВ) – гуминовые кислоты (ГК), фульвокислоты (ФК) и гумин, это более или менее темноокрашенные, азотсодержащие высокомолекулярные соединения.

Огромное количество работ посвящено изучению ГВ – их состава, предполагаемой химической структуры, механизмов образования, взаимодействию с минеральной составляющей почв, удержанию ГВ питательных веществ, закреплению ГВ полютантов, влиянию ГВ на почвенную структуру и на другие свойства почв [1, 3, 11, 13, 14, 16, 17, 20, 23, 27, 34, 41, 42, 76 и т.д.].

Совершенно очевидно, что свойства ГВ являются следствием их состава и строения, поэтому проанализируем работы, посвященные данному направлению исследования ГВ.

Л.Н. Александрова [1] на основании дробного осаждения гуминовых кислот с использованием катионов разной валентности и разделения фульвокислот по способности диффундировать через целлофан развивала взгляд на ФК и ГК как на сложную систему

полимерных и гетерогенных соединений, тесно ассоциированных друг с другом и отличающихся различной степенью дисперсности, уменьшающейся от группы ФК к ГК. То есть она предполагала существование в гумусе этих соединений. Аналогичной точки зрения в течение длительного времени придерживались как наши, так и зарубежные исследователи [14, 41, 76].

И.В. Тюрин и его ученики в своих работах [1, 20] пришли к заключению, что в естественных условиях ГК связаны между собой в форме «полимерных комплексов», образуемых по способу сложных эфиров и легко гидролизуемых в процессе выделения.

Для характеристики ГВ в течение многих лет используется классическая схема определения фракционно-группового анализа И.В. Тюрина в различных модификациях [15, 17–19]. Согласно этой схеме фракционирование ГВ основывается на различной растворимости компонентов органического вещества почвы в кислотах и щелочах. Гуминовые вещества представлены гумусовыми кислотами (гуминовыми, гиматомелановыми и фульвокислотами) и гумином.

Накопленные в литературе сведения о размерах и форме частиц гумусовых кислот разнообразны и противоречивы. Приводимые разными авторами значения молекулярных масс удается разделить на две группы: первая – от нескольких сотен до 10–20 тыс. Дальтон и вторая – от 20–30 тыс. до 100–200 тыс. Дальтон (иногда приводятся и более высокие значения). Было показано, что отношение молекулярных масс к первой или второй группе в значительной мере связано с методами их определения. Для гуминовых кислот (ГК) вычисленные и найденные химическими методами молекулярные массы лежат, как правило, в пределах 1300–13000 Дальтон. Методы осмометрии, криоскопии, эбулиоскопии, диализа, диффузии и вискозиметрии дают величины порядка 700–26000 Дальтон. Для фульвокислот (ФК) нижний предел опускается до 200–300 Дальтон. Методы ультрацентрифугирования и светорассеивания дают величины порядка 30 000–80 000 Дальтон. По данным гель-фильтрация молекулярная масса основного количества ГК для большинс-

тва почв находится в интервале от 6 000 до 100 000 Дальтон, а ФК – в интервале от нескольких сот до 10000 Дальтон. В то же время применение детергентов приводило к значительному снижению определяемых молекулярных масс [16, 17].

Л.Н. Александрова, чтобы объяснить такие резкие различия, писала: «Очевидно, следует различать молекулярный и мицеллярный (частичный) вес гуминовых кислот» [3]. В соответствии с концепцией считалось, что необходимо различать два типа полидисперсности ГВ – истинную полидисперсность, обусловленную одновременным присутствием в составе ГВ молекул различных размеров, и вторичную полидисперсность, обусловленную способностью ГВ образовывать ассоциаты за счет водородных связей или других видов межмолекулярного взаимодействия.

Экспериментально различить два вида полидисперсности не удавалось, хотя это считалось очень важным для оценки свойств и поведения гумусовых кислот. Были предприняты попытки получить ответ на данный вопрос с использованием современных методов исследования – электронной [6, 10, 46, 71, 79], атомно-силовой (АСМ) [52, 54, 57–59, 69] и туннельной микроскопией (СТМ) [48].

Из работ по электронно-микроскопическому изучению гумусовых кислот почв и торфов [6, 10] следовало, что при изучении препаратов, приготовленных из растворов, в поле зрения электронного микроскопа наблюдаются частицы сферической формы диаметром 8–10 нм или округлые агрегаты диаметром от 13–30 нм до сотен нм. В некоторых случаях [46] гуминовая кислота представлена главным образом волокнами диаметром приблизительно 20 нм и изолированными относительно большими частицами (30–200 нм), в других [79] – волокнами, ламелями, перфорированными листами и смесью волокон и ламелей. Вид структур несколько менялся в зависимости от почвы, из которой выделяли ГК.

При изучении ФК методом АСМ наблюдается несколько видов структур [59]. При низких концентрациях – губчатые структуры, состоящие из колец ~15 нм в диаметре, наряду с шарами (10–50 нм). При более

высоких концентрациях – агрегаты из сфер и цепочечные образования. При очень высоких концентрациях, наблюдаются перфорированные листы. При низких концентрациях ГК < 10 мг/л, рН > 5 и низкой ионной силе наблюдались сферические частицы размером менее 2 нм, в работе [57] – 3–6 нм. Гуминовые кислоты, адсорбированные на свежерасщепленной слюде, исследовали методом АСМ бесконтактным способом в жидкости [69]. Было обнаружено, что ГК состоят из плоских частиц (8–13 нм в диаметре), ассоциатов частиц (20–100 нм), собранных в цепи, сети и подобные структуры. Еще более крупные кластеры со средним диаметром 436 ± 36 нм наблюдали, используя рассеяние лазерного излучения в растворе гуминовых кислот при 25 °С [46].

Использование малоуглового рассеяния нейтронов, сканирующей и просвечивающей микроскопий показало, что первичные наночастицы ГВ формируют фрактальные кластеры со средними радиусами в несколько десятков и сотен нанометров [50, 61, 71, 73, 74].

Вся полученная информация свидетельствовала о колоссальном стремлении ГВ к образованию ассоциатов (кластеров). Ассоциирование в растворах гуминовых кислот при концентрациях 10–30 мг/л наблюдали многие исследователи [12, 45, 51, 54, 62, 63, 70, 78]. При этом общепринято, что формирование нанокolloидов гуминовых кислот происходит посредством нековалентных взаимодействий [12, 56, 70, 77]. Долгое время казалось, что именно ассоциация макромолекул ГВ является основным фактором, влияющим на сложность их исследования и трудности в получении однозначно трактуемых результатов.

Однако в последнее десятилетие за рубежом появились и стали общепринятыми новые, принципиально иные подходы к строению ГВ [47, 49, 55, 56, 60, 64–68, 72, 75, 77, 80]. Там отвергаются существующие традиционные представления о том, что ГВ имеют полимерную природу. На основе экспериментальных данных, полученных с использованием большого числа современных методов, показано, что гуминовые вещества – ассоциаты относительно низкомолекуляр-

ных компонентов, возникающих при деградации и разложении биологического материала, динамически объединенных и стабилизированных нековалентными связями. Именно это является главным в структуре гуминовых веществ. Они представляют собой супрамолекулярные структуры [22], построенные по принципу «гость–хозяин», стабилизированные в основном слабыми, а не ковалентными связями. Гидрофобные, Ван-дер-Ваальсовы, π – π , СН– π и водородные связи ответственны за большой размер молекул гуминовых веществ.

Необходимо отметить, что подавляющее большинство подобных исследований проводили с ГВ, тем или иным образом выделенными из почвы, что не позволяло установить однозначной связи между их строением и структурной организацией систем, образующихся из ГВ в почвах.

Длительное время существовало логическое противоречие в подходах к изучению взаимосвязи между свойствами почв и ГВ – отсутствовало исследование структурной организации ГВ в почвах. С одной стороны, не вызывало сомнений огромное влияние ГВ на свойства почв, с другой стороны, при изучении многих свойств почвы рассматривали с позиций физической модели как полидисперсные системы, состоящие из частиц различных, в том числе коллоидных размеров. При этом было общепринято, что коллоидные частицы в виде гелей покрывают и связывают почвенные частицы между собой, определяя многие свойства почв [7–9, 27]. Однако роль ГВ в образовании гелей не конкретизировалась, их воспринимали либо как коллоидные частицы, либо как молекулы, адсорбированные на поверхностях минеральных частиц.

Наши исследования показали, что основной почвенных гелей является армированный минеральными частицами гумусовый студень [28–30, 32], образующийся при взаимодействии ГВ, низкомолекулярных и высокомолекулярных органических соединений [47], неорганических ионов [2, 31], микро- и наночастиц [5, 7, 24–26, 28]. Однако структурная организация гумусовой матрицы – основы почвенных гелей и ее свойства были неизвестны.

Бурное накопление опыта и знаний в области супрамолекулярной химии в конце 1990-х гг. привело к пониманию того, что многие супрамолекулярные ансамбли, имеющие структуру сеток, лент, циклов, проявляют в своем поведении и свойствах черты, свойственные полимерам – ковалентным соединениям той же топологии. Подобные ансамбли получили название супрамолекулярных полимеров [21].

Супраполимеры гумуса из-за наличия связей, соединяющих молекулы и макромолекулы в единую матрицу и наличия большого числа функциональных групп и гидрофобных участков являются аналогами полиэлектролитных гелей.

У амфифильных полимеров, к которым относятся и амфифильные супраполимеры, есть важное свойство – они обладают ярко выраженной способностью к самоорганизации. Сверхсильное набухание полиэлектролитных гелей в воде приводит к тому, что изменение их объема при ухудшении качества растворителя происходит чрезвычайно резко [4, 21, 37–40]. Объем геля при этом может скачкообразно уменьшаться в тысячи раз. Это явление называется коллапсом гелей. Оно связано с переходом «клубок – глобула» в цепях, составляющих полимерный гель. В результате образец геля коллапсирует как целое. При коллапсе полиэлектролитных гелей возникают наноструктуры, аналогичные возникающим в диблоксополимерах [21, 35, 36].

Можно было ожидать, что подобные наноструктуры должны образовываться и при микрофазном расслоении супраполимерных гумусовых систем.

Действительно такие структуры были обнаружены при изучении фракционированного гумуса почв и гумуса природных вод при помощи электронной и атомно-силовой микроскопии [6, 10, 46, 52, 53, 57–59, 69, 71, 79], а также при изучении почвенных гелей, выделенных из почв [33].

Изложенное выше позволяет выделить несколько уровней организации ГВ в почвах:

1. Молекулы низкомолекулярных веществ, взаимодействующие между собой и образующие супрамолекулярные частицы ГВ за счет нековалентных связей. На этом уровне

нельзя изучать состав и природу низкомолекулярных веществ, из которых образованы ГВ, прочность их закрепления в супрамолекулах ГВ, способность к обмену с другими молекулами. Эти цели можно достичь, используя методы меченых атомов, различные виды хроматографии и электрофореза, масс-спектрометрию, спектральные методы, ЭПР, ЯМР.

2. Супрамолекулярные частицы гумусовых веществ. Их изучение позволяет выяснить структуру, размер, форму и вид супрамолекулярных частиц ГВ, а также изменение под влиянием различных факторов, распределение в них функциональных групп, характер взаимодействия с различными веществами и между собой, соотношение различных видов супрамолекулярных частиц ГВ в почвах, биологическую активность супрамолекулярных частиц ГВ. Для исследования ГВ на этом уровне организации можно использовать электронные растровую и просвечивающую микроскопии, атомно-силовую микроскопию, туннельную микроскопию, другие виды зондовых микроскопий, фотон-корреляционную спектрометрию, различные виды хроматографии и электрофореза, спектральные методы, потенциометрическое титрование, фракционирование ГВ, методы оценки различных типов биологической активности.

3. Кластеры из супрамолекулярных частиц ГВ, включающие в свой состав частицы вторичных минералов. Изучение ГВ на этом уровне позволяет выяснить структуру, размер, форму и вид кластеров из супрамолекулярных частиц ГВ, тип связей в кластерах, а также их изменение под влиянием различных факторов, характер взаимодействия с различными веществами и их биологическую активность. Для этого можно использовать электронные растровую и просвечивающую микроскопии, атомно-силовую микроскопию, туннельную микроскопию, другие виды зондовой микроскопии, малоугловое рассеяние нейтронов и рентгеновский лучей, фотон-корреляционную спектрометрию, различные виды хроматографии и электрофореза, химические методы анализа, а также методы оценки различных типов биологической активности.

Уровни организации и методы исследования гумусовых веществ

Уровни организации гумусовых веществ	Параметры и свойства ГВ, изменяющиеся на данном уровне организации	Методы, позволяющие изучать ГВ на данном уровне организации
Молекулы низкомолекулярных веществ, взаимодействующие между собой и образующие супрамолекулярные частицы ГВ за счет нековалентных связей	На этом уровне можно изучать состав и природу низкомолекулярных веществ, из которых образованы супрамолекулы ГВ, прочность их закрепления в супрамолекулах, способность к обмену на другие низкомолекулярные вещества.	Использование меченых атомов, различные виды хроматографии и электрофореза, масс-спектрометрия, спектральные методы, ЭПР, ЯМР.
Супрамолекулярные частицы гумусовых веществ	Их изучение позволяет выяснить структуру, размер, форму и вид супрамолекулярных частиц ГВ, а также их изменение под влиянием различных факторов, распределение в них функциональных групп, характер взаимодействия с различными веществами и между собой, соотношение разных видов супрамолекулярных частиц ГВ в почвах, биологическую активность супрамолекулярных частиц ГВ.	Электронные растровая и просвечивающая микроскопии, атомно-силовая микроскопия, туннельная микроскопия, другие виды зондовой микроскопии, фотон-корреляционная спектрометрия, различные виды хроматографии и электрофореза, спектральные методы, потенциометрическое титрование, фракционирование ГВ и химические методы анализа, методы оценки различных типов биологической активности.
Кластеры из супрамолекулярных частиц ГВ, включающие в свой состав частицы вторичных минералов	Изучение ГВ на этом уровне позволяет выяснить структуру, размер, форму и вид кластеров из супрамолекулярных частиц ГВ, тип связей в кластерах, а также их изменение под влиянием различных факторов, характер взаимодействия с различными веществами и их биологическую активность.	Электронные растровая и просвечивающая микроскопии, атомно-силовая микроскопия, туннельная микроскопия, другие виды зондовой микроскопии, малоугловое рассеяние нейтронов и рентгеновский лучей, фотон-корреляционная спектрометрия, различные виды хроматографии и электрофореза, химические методы анализа, методы оценки различных типов биологической активности.
Гели почв, возникающие при объединении первичных частиц ГВ, кластеров из них и минеральных частиц	Изучение гелей позволяет выяснить их структурную организацию и ее изменения под влиянием различных факторов, химический и минеральный составы гелей, характер объединения частиц ГВ и минералов при образовании гелей. В связи с тем, что почвенные гели определяют многие свойства почв, возникает возможность поиска корреляций между свойствами почвенных гелей и свойствами почв.	Электронные растровая и просвечивающая микроскопии, зондовый микроанализ, атомно-силовая микроскопия, туннельная микроскопия, другие виды зондовой микроскопии, рентгено-фазовый и рентгено-флуоресцентный анализы, химические методы анализа, а также установление корреляций между свойствами почвенных гелей и свойствами почв.
Размещение гелей различных типов в почве	Характер распределения гелей в почвенной массе.	Методы, применяемые при изучении микроморфологии почв.

4. Гели почв, возникающие при объединении первичных частиц ГВ, кластеров из них и минеральных частиц. Изучение гелей позволяет выяснить их структурную организацию и ее изменения под влиянием различ-

ных факторов, химический и минеральный составы гелей, характер объединения частиц ГВ и минералов при образовании гелей. В связи с тем, что почвенные гели определяют многие свойства почв, возникает возмож-

ность поиска корреляций между свойствами почвенных гелей и свойствами почв. Электронные растровые и просвечивающие микроскопии, зондовый микроанализ, атомно-силовая микроскопия, туннельная микроскопия, другие виды зондовой микроскопии, рентгено-фазовый и рентгено-флуоресцентный анализ, химические методы анализа, а также установление корреляций между свойствами почвенных гелей и свойствами почв можно использовать при изучении этого уровня организации ГВ.

Микроморфологическое исследование почв [43, 44], а также исследование фракций, выделяемых из почв при определении их гранулометрического состава и гранулоденситометрическом фракционировании [5, 7, 24–26] свидетельствуют, что ГВ распределены в почвенной массе неравномерно. Это позволяет ввести 5 уровень организации ГВ, изучать который можно методами, используемыми в микроморфологии.

Таким образом, представленный анализ показывает, что при использовании тех или иных экспериментальных методов исследования мы изучаем не гумус вообще, а ГВ на определенном уровне их структурной организации. Подобный подход, с одной стороны, дает возможность правильно выбирать экспериментальные методы для достижения поставленных при изучении ГВ целей, а, с другой стороны, позволяет лучше понять полученную при проведении исследований информацию.

Библиографический список

1. Александрова, Л.Н. Гумус как система полимерных соединений / Л.Н. Александрова: Тр. юбил. сес. посв. 100-летию со дня рождения В.В. Докучаева. – М.: АН СССР, 1949. – С. 225–232.
2. Александрова, Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. / Л.Н. Александрова. – Л.: Наука, 1980. – 288 с.
3. Александрова, Л.Н. Современные представления о природе гумусовых веществ почвы и их органо-минеральных производных / Л.Н. Александрова // Проблемы почвоведения. – М., 1963. – С. 83.
4. Аскадский, А.А. Введение в физико-химию полимеров / А.А. Аскадский, А.Р. Хохлов. – М.: Научный мир, 2009. – 384 с.
5. Ванюшина, А.Я. Органо-минеральные взаимодействия в почвах / А.Я. Ванюшина, Л.С. Травникова // Почвоведение, 2003. – №4. – С. 418–428.
6. Воларович, М.П. Исследование высокодисперсной фракции торфа / М.П. Воларович, Н.К. Ельницкая // Сб. Комплексное использование торфа. – М.: Недра, 1965.
7. Воронин, А.Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв / А.Д. Воронин. – М.: МГУ, 1984. – 204 с.
8. Гапон, Е.Н. Адсорбция ионов и молекул коллоидной фракцией почвы и строение почвенных коллоидов. В кн.: Почвенный поглощающий комплекс и вопросы земледелия / Е.Н. Гапон. – М.-Л., 1937. – С. 35–96.
9. Гедройц, К.К. Ультрамеханический состав почвы: избр. соч./ К.К. Гедройц. – Т. 1. – М., 1955. – С. 387–405.
10. Глебова, Г.И. Определение размера и формы частиц гумусовых кислот с помощью электронной микроскопии / Г.И. Глебова // Почвоведение, 1972. – №7. – С. 115–119.
11. Дергачева, М.И. Органическое вещество почв: статика и динамика (на примере Западной Сибири) / М.И. Дергачева. – Новосибирск: Наука, 1984. – 153 с.
12. Евдокимов, И.П. Природные нанообъекты в нефтегазовых средах / И.П. Евдокимов, А.П. Лосев. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2008. – 104 с.
13. Ершов, Ю.И. Органическое вещество биосферы и почвы / Ю.И. Ершов. – Новосибирск: Наука, 2004. – 104 с.
14. Кононова, М.М. Органическое вещество почв / М.М. Кононова. – М.: АН СССР, 1963. – 314 с.
15. Кононова, М.М. Ускоренный метод определения состава гумуса / М.М. Кононова, Н.П. Бельчикова // Почвоведение, 1961. – №10. – С. 75–87.
16. Милановский, Е.Ю. Применение ионного детергента в гель-хроматографии гумусовых кислот почв / Е.Ю. Милановский // Почвоведение, 1984. – №8. – С. 142.
17. Орлов, Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д.С. Орлов. – М.: МГУ, 1990. – 325 с.
18. Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов. – М.: МГУ, 1992. – 400 с.
19. Пономарева, В.В. Методика и некоторые результаты фракционирования гумуса черноземов / В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова // Почвоведение, 1968. – №11. – С. 104–117.
20. Пономарева, В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование / В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова. – Л.: Наука, 1980. – 221 с.
21. Рамбиди, Н.Г., Березкин А.В. Физические и химические основы нанотехнологий. / Н.Г. Рамбиди, А.В. Березкин. – М.: Физматлит, 2008. – 456 с.
22. Сид Дж.В., Этвуд Дж.Л. Супрамолекулярная химия / Дж.В. Сид, Дж.Л. Этвуд. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – Т. 1. – 480 с.
23. Тейт Р. Органическое вещество почвы: Биологические и экологические аспекты. / Р Тейт. – М.: Мир, 1991. – 400 с.

24. Титова Н.А. Состав компонентов тонкодисперсных частиц пахотной дерново-подзолистой почвы / Н.А. Титова, Л.С. Травникова, Ю.В. Куваева, И.В. Володарская // Почвоведение, 1989. – № 6. – С. 89–97.
25. Титова Н.А. Развитие исследований по взаимодействию органических и минеральных компонентов почвы / Н.А. Титова, Л.С. Травникова, М.Ш. Шаймухаметов // Почвоведение. – 1995. – №5. – С. 639–646.
26. Травникова Л.С. Роль продуктов взаимодействия органической и минеральной составляющих в генезисе и плодородии почв / Л.С. Травникова, Н.А. Титова, М.Ш. Шаймухаметов // Почвоведение, 1992. – №10. – С. 81–96.
27. 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.
28. Федотов Г.Н. Гелевые структуры в почвах: дисс ... докт. биол. наук / Г.Н. Федотов. – М.: МГУ, 2006. – 345 с.
29. Федотов Г.Н. Гумус как основа коллоидной составляющей почв / Г.Н. Федотов, Г.В. Добровольский // Доклады АН РФ, 2007. – Т. 415. – № 6. – С. 767–771.
30. Федотов Г.Н. Коллоидные структуры и их влияние на некоторые физические свойства почв / Г.Н. Федотов, Г.В. Добровольский, В.И. Пуляев, А.В. Гаршев и др. // Почвоведение, 2006. – № 7. – С. 824–835.
31. Федотов Г.Н., Добровольский Г.В., Шоба С.А., Рудометкина Т.Ф., Черич М.С., Шалаев В.С. Микрофазное расслоение в гумусовых системах // Доклады Академии Наук РФ. 2009, т.429, №3, с.336–338.
32. Федотов Г.Н. Уточнение представлений о строении почвенных гелей / Г.Н. Федотов, Ю.Д. Третьяков, В.И. Пуляев, Е.И. Пахомов и др. // Доклады АН РФ, 2006. – Т. 411. – № 2. – С. 203–205.
33. Федотов Г.Н. Исследование наноструктурной организации почвенных гелей / Г.Н. Федотов, В.С. Шалаев, В.И. Пуляев, Д.М. Иткис // Вестник МГУЛ–Лесной вестник, 2010 – № 3. – С. 212–222.
34. Фокин А.Д. Исследование процессов трансформации, взаимодействия и переноса органических веществ, железа и фосфора в подзолистой почве: автореф. дис. докт. биол. наук / А.Д. Фокин. – М.: МГУ, 1975.– 28 с.
35. Халатур П.Г. Самоорганизация полимеров / П.Г. Халатур // Соросовский образовательный журнал, 2001. – Т.7. – № 4. – С. 36–43.
36. Хмелевская В.С. Процессы самоорганизации в твердом теле / В.С. Хмелевская // Соросовский образовательный журнал, 2000. – Т. 6. – № 6. – С. 85–91.
37. Хохлов А.Р. Восприимчивые гели / А.Р. Хохлов // Соросовский образовательный журнал. 1998. №11. С. 138-142.
38. Хохлов А.Р. Инженерия АВ-сополимеров / А.Р. Хохлов // Соросовский образовательный журнал, 2000. – Т. 6. – № 10. – С. 108–115.
39. Хохлов А.Р. Самоорганизация в ион-содержащих полимерных системах / Хохлов А.Р., Дормидонтова Е.Е. // Успехи физических наук, 1997. – Т. 167. – № 2. – С. 113–128.
40. Хохлов А.Р. Лекции по физической химии полимеров / А.Р. Хохлов, С.И. Кучанов. – М.: Мир, 2000. – 192 с.
41. Шинкарев А.А., Гиниятуллин К.Г., Мельников Л.В., Кринари Г.А., Гневашев С.Г. Органические компоненты глино-металло-органического комплекса почв лесостепи (теоретические и экспериментальные аспекты изучения) / А.А. Шинкарев, К.Г. Гиниятуллин, Л.В. Мельников, Кринари Г.А., С.Г. Гневашев. – Казань: Казанский ГУ им. В.И. Ульянова-Ленина, 2007. – 248 с.
42. Ширшова Л.Т. Полидисперсность гумусовых веществ почв / Л.Т. Ширшова. – М.: Наука, 1991. – 85 с.
43. Шоба С.А., Добровольский Г.В. Растровая электронная микроскопия почв / С.А. Шоба, Г.В. Добровольский. – М.: МГУ, 1978. – 144 с.
44. Шоба С.А. Морфогенез почв таежной зоны / С.А. Шоба. – М.: НИИ-Природа, 2007. – 299 с.
45. Alvarez-Puebla R.A., Valenzuela-Calahorra C., Garrido J.J. “Theoretical study on fulvic acid structure, conformation and aggregation: A molecular modelling approach”. *Science of the Total Environment*. 2006. 358. pp. 243– 254.
46. Baalousha M., Motelica-Heino M., Galaup S., Le Coustumer P. Supramolecular structure of humic acids by TEM with improved sample preparation and staining”. *Microscopy Research and Technique*. 2005. 66(6). pp. 299 – 306.
47. Baigorri B., Fuentes M., Gonzalez-Gaitano G., Garcna-Mina J.M. “Simultaneous Presence of Diverse Molecular Patterns in Humic Substances in Solution”. *Journal of Physical Chemistry*. 2007. B 111(35). pp. 10577 - 10582.
48. Bailey G. W., Shevchenko S.M., Yu Y.S., Kamermans H. Combining Scanning Tunneling Microscopy and Computer Simulation of Humic Substances: Citric Acid, a Model Soil Sci Soc Am J. 1997. 61. pp. 92-101.
49. Cozzolino A., Conte P., Piccolo A., 2001. Conformational changes of humic substances induced by some hydroxy-, keto-, and sulfonic acids. *Soil Biology and Biochemistry* 33, 563-571.
50. Diallo M.S., Glinka C.J., Goddard W.A., Johnson J.H., 2005. Characterization of nanoparticles and colloids in aquatic systems 1. Small angle neutron scattering investigations of Suwannee river fulvic acid aggregates in aqueous solutions. *Journal of Nanoparticle Research* 7, 435-448.
51. Fasurova N., Cechlovska H., Kucerik J. A comparative study of South Moravian lignite and standard IHSS humic acids’ optical and colloidal properties. *Petroleum and Coal*. 2006. 48(2): 24-32.

52. Gerin P.A. and Dufrene Y.F. Native surface structure of natural soil particles determined by combining atomic force microscopy and X-ray photoelectron spectroscopy // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2003, Vol. 28, Pages 295-305.
53. Heil D. and Sposito G. Organic Matter Role in Illitic Soil Colloids Flocculation: III. Scanning Force Microscopy *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59 (1995), pp. 266–269.
54. Hosse M., Wilkinson K.J. 2001. “Determination of electrophoretic mobilities and hydrodynamic radii of three humic substances as a function of pH and ionic strength”. *Environmental Science and Technology* 35: 4301-4306.
55. Kerner M., Hohenberg H., Ertl S., Reckermann M., Spitzky A. 2003. “Self-organization of dissolved organic matter to micelle-like microparticles in river water”. *Nature* 422: 150-154.
56. Langford C.H., Melton J.R. “When should humic substances be treated as dynamic combinatorial systems?”. In: *Humic Substances: Molecular Details and Applications in Land and Water Conservation*. Ghabbour, E.A., Davies, G. (Eds.). New York: Taylor & Francis. 2005. p. 65-78.
57. Liu A., Wu R.C., Papadoulous E.E., 2000. AFM on humic acid adsorbed on mica. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 174, 245-252.
58. Maurice P.A., Namjesnik-Dejanovic K., 1999. Aggregate Structure of sorbed humic substances observed in aqueous solution. *Environmental Science and Technology* 33, 1538-1541.
59. Namjesnik-Dejanovic K., Maurice PA, 1997. Atomic force microscopy of soil and stream fulvic acids. *Colloids and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects* 120, 77-86.
60. Nardi S., Arnoldi G. and Dell’Agnola G. Release of the hormone-like activities from *Allophob-ora rosea* (sav.) and *Allophobora caliginosa* (sav.) feces. *Can.J. Soil Sci.* 1988. 68. pp. 563-567.
61. Пjsterberg R., Mortensen K. 1992. “Fractal dimension of humic acids. A small angle neutron scattering study”. *European Biophysics Journal* 21(3): 163-167.
62. Palmer N.E., von Wandruszka R. Dynamic light scattering measurements of particle size development in aqueous humic materials. *Fresenius’ Journal of Analytical Chemistry*. 2001. 371(7): 951-954.
63. Peca-Miñdez E.M., Havel J., Patočka J. 2005. “Humic substances, compounds of still unknown structure: applications in agriculture, industry, environment, and biomedicine”. *Journal of Applied Biomedicine* 3: 13-24.
64. Piccolo A., Conte P. and Cozzolino A. Effects of mineral and monocarboxylic acids on the molecular association of dissolved humic substances. *Eur. J. Soil Sci.* 1999. 50. pp. 687-694.
65. Piccolo A., Nardi S. and Cancheri G. Structural characteristics of humic substances as related to nitrate uptake and growth regulation in plant systems. *Soil Biol. Biochem.* 1992. 24. pp. 373-380.
66. Piccolo A. S., Nardi and Cancheri G. Macromolecular changes of soil humic substances induced by interactions with organic acids. *Eur. J. Soil Sci.* 1996. 47. pp. 319-328.
67. Piccolo A. S., Nardi, and G. Cancheri. Micellelike conformation of humic substances as revealed by size-exclusion chromatography. *Chemosphere.* 1996. 33. pp. 595-600.
68. Piccolo A. “The Supramolecular Structure of Humic Substances”. *Soil Science.* 2001. 166(11). pp. 810-832.
69. Plaschke M., Romer J., Klenze R., Kim J.I. In situ AFM study of sorbed humic acid colloids at different pH // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 1999, Vol. 160, Pages 269-279.
70. Reid P.M., Wilkinson A.E., Tipping E., Jones, M.N. “Aggregation of humic substances in aqueous media as determined by light-scattering methods”. *European Journal of Soil Science.* 1991. 42(2): 259–270.
71. Rizzi F.R., Stoll S., Senesi N., Buffle J. A Transmission Electron Microscopy Study of the Fractal Properties and Aggregation Processes of Humic Acids *Soil Science: November 2004 - Volume 169 - Issue 11 - pp 765-775.*
72. Schaumann G.E. Review Article Soil organic matter beyond molecular structure Part I: Macromolecular and supramolecular characteristics. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2006, 169, pp. 145-156.
73. Senesi N., Rizzi F.R., Dellino P., Acquafredda P. Fractal dimension of humic acids in aqueous suspension as a function of pH and time. *Soil Science Society of America journal* 1996, vol. 60, n° 6, pp. 1613-1678.
74. Senesi N., Rizzi F.R., Dellino P., Acquafredda P. Fractal humic acids in aqueous suspensions at various concentrations, ionic strengths, and pH values. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.* Volume 127, Issues 1-3, (2 July 1997), Pages 57-68.
75. Љмејкалова D., Piccolo A. Aggregation and Disaggregation of Humic Supramolecular Assemblies by NMR Diffusion Ordered Spectroscopy (DOSY-NMR) *Environ. Sci. Technol.* 2008, 42, 699–706.
76. Stevenson F.J. *Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions*, 2nd Ed. Wiley, New York. 1994. 443 p.
77. Sutton R, Sposito G. “Molecular structure in soil humic substances: The new view”. *Environmental Science and Technology.* 2005. 39. pp. 9009-9015.
78. Swift R.S. “Macromolecular properties of soil humic substances: Fact, fiction, and opinion”. *Soil Science.* 1999. 164. pp. 790-802.
79. Tan K.H., Scanning Electron Microscopy of Humic Matter as Influenced by Methods of Preparation *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49 (1985) 1185.
80. Wilson M.A., Tran N.H., Milev A.S., Kannangara G.S.K., Volk H., Lu G.Q.M. Nanomaterials in soils. *Geoderma*, 2008. 146. pp. 291-302.

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С СОЛЯМИ МИКРОФАЗНО
РАССЛОЕННЫХ ПОЧВЕННЫХ ГЕЛЕЙ**

Г.Н. ФЕДОТОВ, *ст. научн. сотр. Института экологического почвоведения МГУ
им. М.В. Ломоносова, д-р. биол. наук,*
В.С. ШАЛАЕВ, *проф., директор ИСИЛ МГУЛ, д-р. техн. наук*

gennadiy.fedotov@gmail.com

В последнее десятилетие за рубежом появились и стали общепринятыми новые, принципиально иные подходы к строению гумусовых веществ (ГВ) [9–12]. Там отвергаются существующие традиционные представления о том, что ГВ имеют полимерную природу. На основе экспериментальных данных, полученных с использованием большого числа современных методов, показано, что гуминовые вещества – ассоциаты относительно низкомолекулярных компонентов, возникающих при деградации и разложении биологического материала, динамически объединенных и стабилизированных, в основном, слабыми связями. Именно это является главным в структуре гуминовых веществ. Они представляют собой супрамолекулярные структуры, построенные по принципу «гость–хозяин», стабилизированные в основном слабыми, а не ковалентными связями. Гидрофобные, ван-дер-ваальсовы, π – π , СН– π и водородные связи ответственны за большой размер молекул гуминовых веществ.

Рассмотрим некоторые экспериментальные результаты, которые позволили исследователям сделать такой вывод:

1. Лабораторные исследования показали, когда уксусную кислоту добавляют к отдиализованному ГВ, при последующем диализе из системы выходят низкомолекулярные компоненты [13]. Эти низкомолекулярные фракции являются продуктами конформационной перестройки, возникающими при взаимодействии ГВ с уксусной кислотой, которые отличаются по составу от большей части ГВ. Выделенные фракции стимулировали определенные биологические свойства в растениях и обладали большей биологической активностью по сравнению с гуминовыми материалами, от которых они были отделены [14].

Было показано, что добавление органических кислот к растворам гумуса при-

водит к значительному увеличению выхода низкомолекулярных фракций при разделении этих растворов гельпроникающей хроматографией низкого давления [15, 16]. Чтобы объяснить эти результаты, авторы предположили, что, вместо того, чтобы быть устойчивым полимером, ГВ при нейтральных и щелочных значениях рН представляют собой надмолекулярные ассоциации различных относительно малых молекул, связанных за счет слабых взаимодействий. Добавление органических кислот изменило структурную организацию ГВ за счет формирования субсистем богатых водородными связями, и последующее хроматографическое вымывание отделило образующиеся субсистемы меньшего размера [9].

2. При использовании высокоэффективной гельпроникающей хроматографии получили то же самое изменение хроматографических пиков, как и наблюдаемые ранее при низком давлении [17]. Было показано, чем выше содержание углерода в органических кислотах и чем ниже гидрофильно-гидрофобное отношение в гуминовых материалах, тем большим является уменьшение в среднем молекулярном размере ГВ. Уменьшение молекулярных размеров не может быть объяснено разрывом эфирных и других ковалентных связей, используемым небольшим количеством модификаторов, с учетом тех щелочных и кислотных обработок, которым ГВ были подвергнуты во время выделения и очистки.

3. При изучении влияния различных органических кислот на молекулярно-массовое распределение растворенных гуминовых веществ [18] было показано, что они оказывают различное разрушающее влияние на ГВ. Причем это влияние определяется, в основном, их строением и сходством со строением ГВ, к которым они добавляются. Метилсульфокислота была более эффективной при разрушении молекулярных ассоциаций

ГВ, которые содержали преобладающе алифатические и алкилированные части, а бензолсульфокислота лучше разрушала богатый ароматикой гуминовый материал из-за, вероятно, большего π - π взаимодействия с ароматическими гуминовыми компонентами [9].

4. При сравнении спектров фракций, выделенных методом высокоэффективной гельпроникающей хроматографии из исходных водных растворов ГВ и водных растворов ГВ, обработанных уксусной кислотой, полученных методом пиролитической хромато-масс-спектрометрии, было показано, что обработка уксусной кислотой вызвала сильное изменение химического состава фракций [9]. Спектры пиролитической хромато-масс-спектрометрии показали, что добавление уксусной кислоты изменило распределение гуминовых молекулярных компонентов во фракциях разного размера. Алкилированные цепи были перемещены из фракций большего молекулярного размера во фракции меньшего молекулярного размера. Большинство ароматических частей, которые были найдены во фракциях большего молекулярного размера для обработанного уксусной кислотой ГВ, переместилось во фракции более низкого молекулярного размера после добавления к ГВ уксусной кислоты. Углеводы, которые были необнаружимы в любой фракции необработанного ГВ, появились после обработки во фракциях самого малого молекулярного размера. Из полученных результатов следовало, что уксусная кислота разрушила слабые связи в ассоциатах ГВ.

Бурное накопление опыта и знаний в области супрамолекулярной химии в конце 1990-х гг. привело к пониманию того, что многие супрамолекулярные ансамбли, имеющие структуру сеток, лент, циклов, проявляют в своем поведении и свойствах черты, свойственные полимерам – ковалентным соединениям той же топологии. Подобные ансамбли получили название супрамолекулярных полимеров [1]. Супраполимеры обладают рядом уникальных и полезных особенностей: их синтез не сопровождается химическими превращениями и потому не требует использования высокоактивных токсичных мономеров. Самосборка супермолекул, в отличие от

многих химических реакций, обычно легко протекает в мягких условиях. Размерами и формой агрегатов можно управлять, изменяя внешние условия как в момент их сборки, так и в процессе эксплуатации.

Что же делает супрамолекулярный ансамбль супрамолекулярным полимером? Супраполимеры обычно формируются под действием водородных или координационных связей, а также эффектов π -сопряжения. Во-первых, это относительно прочные и, как правило, множественные межмолекулярные взаимодействия, которые на порядок сильнее сольвофобных эффектов, ван-дер-ваальсовых и ненаправленных электростатических взаимодействий. Во-вторых, водородные и координационные связи, подобно химическим, проявляют насыщенность и направленность. Благодаря этому достигается точная взаимная ориентация молекулярных компонентов. В результате супраполимеры обладают хорошо определенной пространственной структурой с предсказуемым расположением молекулярных компонентов. Как для мономеров, образующих полимер, можно однозначно установить их функциональность, т.е. число других мономеров, способных соединиться с данным, так и для субъединиц супраполимеров можно точно установить тип, число и относительное расположение координируемых ими других субъединиц [1].

Супраполимеры гумуса из-за наличия связей, соединяющих молекулы и макромолекулы в единую матрицу, и большого числа функциональных групп и гидрофобных участков являются аналогами полиэлектролитных гелей.

У амфифильных полимеров, к которым относятся и амфифильные супраполимеры, есть важное свойство – они обладают ярко выраженной способностью к самоорганизации. Полиэлектролитный гель наряду с заряженными мономерными звеньями содержит контрионы, так что в целом макроскопический образец геля электронейтрален. Когда гель набухает в большом объеме воды, контрионам, казалось бы, должно быть выгодно покинуть гель и перейти во внешний раствор, что привело бы к существенному выигрышу в их трансляционной энтропии.

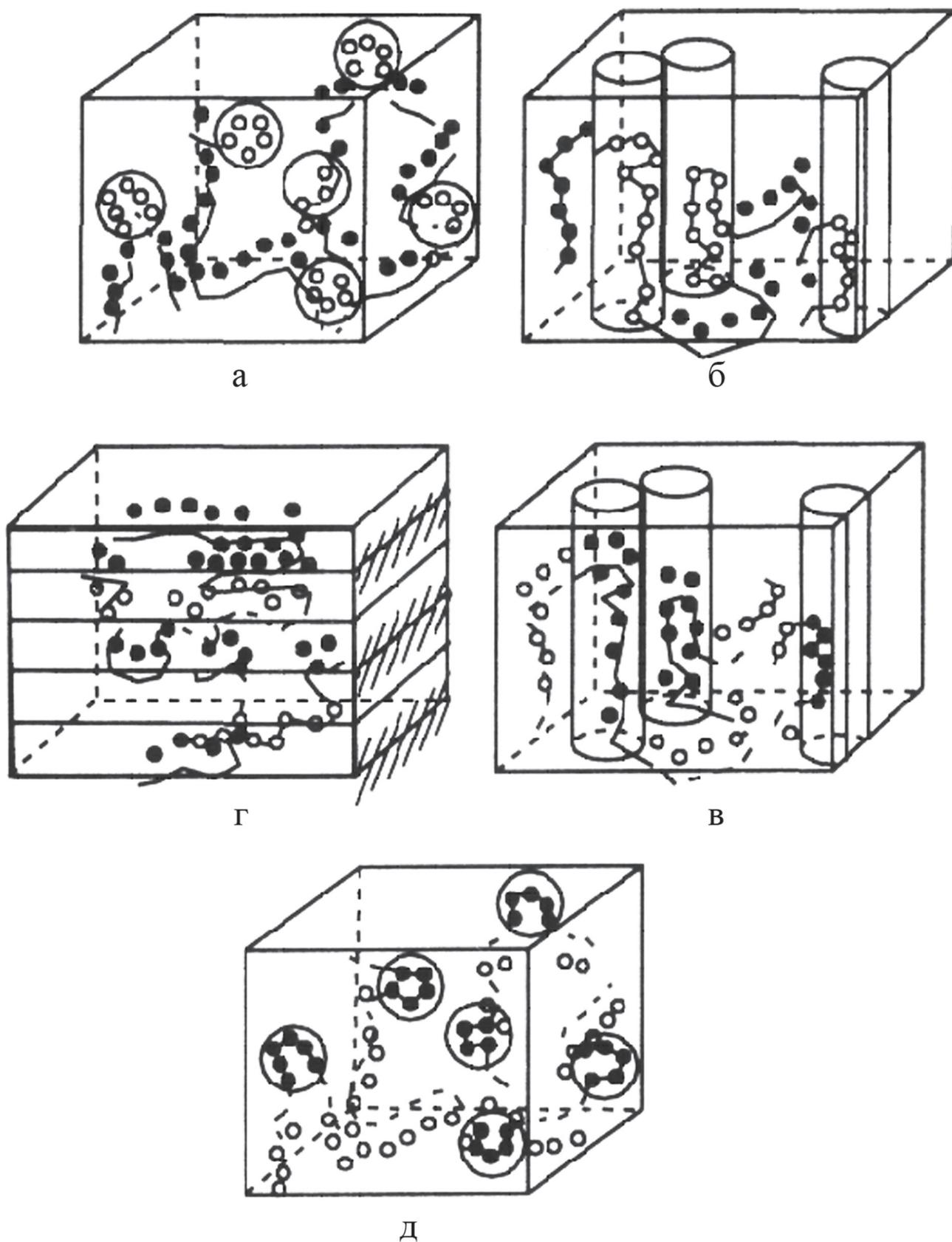


Рис. 1. Схема наноструктур, образующихся при микрофазном расслоении полимеров: а, д – сферическая гранецентрированная или сферическая объемноцентрированная упаковка; б, г – упаковка из гексагонально упакованных параллельных цилиндров; в – ламелярная упаковка

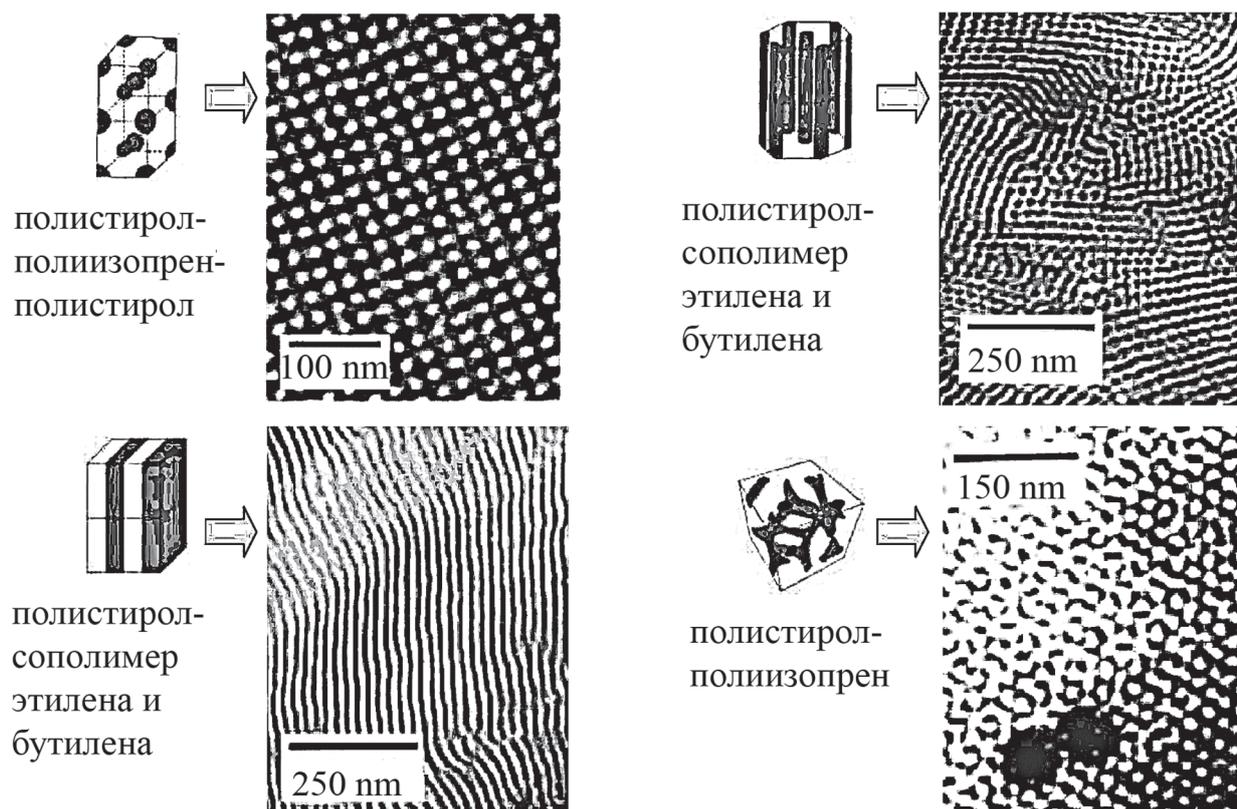


Рис. 2. Схемы наноструктур, образующихся при микрофазном расслоении полимеров и соответствующие схемам микрофотографии реальных систем

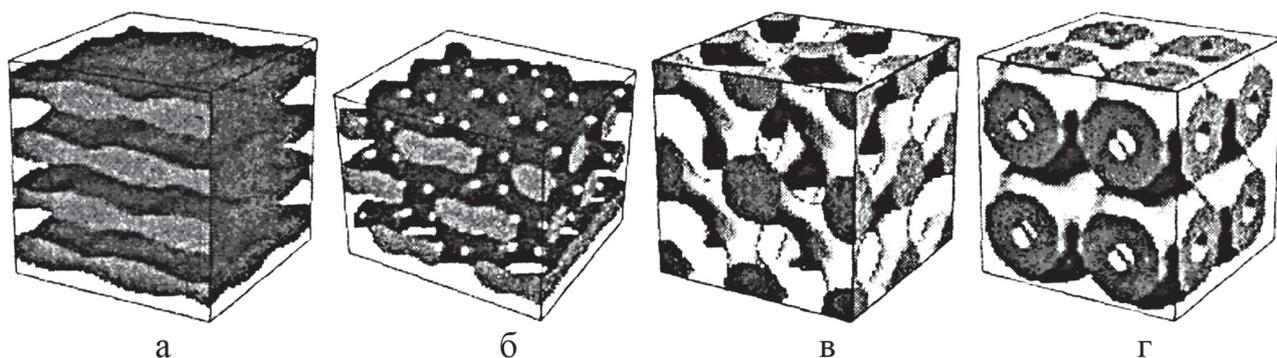


Рис. 3. Неравновесные и «неклассические» наноструктуры блок-сополимеров: а – модулированная ламелярная; б – перфорированная ламелярная; биконтинуальные структуры: в – F-типа и г – P-типа

Однако этого не происходит, поскольку это ведет к нарушению условия электронейтральности макроскопического образца геля. Контрионы вынуждены оставаться внутри геля и создавать там распирающее осмотическое давление. Это осмотическое давление ответственно за два наиболее важных физических эффекта, связанных с полиэлектролитными гелями, набухающими в воде [1–3].

Во-первых, теория показывает, что эффект распирающего осмотического давления

очень сильный, он приводит к значительному набуханию геля в воде: на один грамм сухого полимера при этом может приходиться до нескольких килограмм абсорбируемой гелем воды [1–3].

Во-вторых, сверхсильное набухание полиэлектролитных гелей в воде приводит к тому, что их контракция при ухудшении качества растворителя происходит чрезвычайно резко. Объем геля при этом может скачкообразно уменьшаться в тысячи раз. Это явление

называется коллапсом гелей. Оно связано с переходом клубок – глобула в цепях, составляющих полимерный гель; в результате образец геля коллапсирует как целое. При этом, чем больше степень заряженности геля, тем более резко происходит коллапс. Теория коллапса гелей показывает, что это связано с тем, что сколлапсированная фаза стабилизируется силами притяжения незаряженных звеньев и объем геля в этом случае слабо зависит от степени заряженности, тогда как объем набухшего геля существенно возрастает с увеличением степени заряженности за счет распирающего осмотического давления контрионов [1–3].

Следует отметить, что при коллапсе полиэлектролитных гелей возникают наноструктуры (рис. 1–3), аналогичные структурам, возникающим в диблоксополимерах [1, 4, 5].

Можно было ожидать, что подобные наноструктуры должны образовываться и при микрофазном расслоении супраполимерных гумусовых систем.

Действительно подобные и более сложные структуры были обнаружены при изучении фракционированного гумуса почв и гумуса природных вод при помощи электронной и атомно-силовой микроскопий [6, 7, 19–22].

Таким образом, проведенный анализ позволяет предположить, что в результате взаимодействия между компонентами коллоидной составляющей почв должны возникать супрамолекулярные соединения и супрамолекулярные ансамбли, которые объединяются в супраполимерную полиэлектролитную гумусовую матрицу. Данная матрица должна обладать свойствами, соответствующими свойствам полиэлектролитных систем – микрофазно расслаиваться с образованием наноструктур.

Подобный подход был подтвержден нами при изучении микрофазного расслоения в гумусовых системах [8], а также при изучении наноструктурного уровня организации почв и влияния изменения наноструктурной организации на свойства почв.

Предлагаемая модель дает возможность объяснить и предсказать поведение почв. Однако не все почвенные свойства можно объяснить с этих позиций. В част-

ности важным и не находящим должного объяснения в рамках существующей модели свойством почв является их способность удерживать соли. С точки зрения используемой модели при промывке почв все свободные соли должны из них удаляться, но этого не происходит.

Можно предположить, что если соли удерживаются супраполимерной гумусовой матрицей, то ее разрушение должно приводить к их высвобождению. Для этого почвы высушивали до воздушно-сухого (40 °С) и абсолютно сухого (105 °С) состояний, а количество выделяющихся солей оценивали, измеряя электропроводность водных вытяжек из почв.

Нами определялась электропроводность водных вытяжек (1:10) из почв влажностью 0,8–0,9 НВ, полученных добавлением воды к воздушно-сухим почвам и выдержанных в течение 2 недель, а также из воздушно-сухих и абсолютно-сухих почв. Содержащаяся в почвах влага учитывалась при приготовлении суспензии.

Для всех изученных почв (таблица) были получены общие закономерности. Удельное электросопротивление водных вытяжек из воздушно-сухих почв было максимально.

В воздушно-сухих дерново-подзолистой почве и черноземе содержание влаги близко к содержанию гумуса. В этом состоянии наблюдается усиление микрофазного расслоения, но не распад супраполимерной гумусовой матрицы. Следовательно, при микрофазном расслоении соли входят в состав и, по-видимому, каким-то образом стабилизируют выделяющиеся гидрофобные области.

Результаты измерения диффузионно-адсорбционных потенциалов, возникающих между почвами различной влажности, дают дополнительную информацию.

Измерение разности потенциалов проводилось при помощи стандартных хлор-серебряных электродов, связанных с измеряемой системой через загущенные агаром солевые мостики с насыщенным раствором хлорида калия. В качестве измерителя напряжения использовались цифровой мультиметр фирмы «Mastech» M890 с внутренним сопротивлением 10 МОм.

Удельное электросопротивление водных вытяжек из почв, Ом×см

Дерново-подзолистая почва			Торфяная почва			Тепличный субстрат			Чернозем		
ЕВ	ВС	АС	ЕВ	ВС	АС	ЕВ	ВС	АС	ЕВ	ВС	АС
5400	7000	5500	2250	5200	1800	2700	3500	2000	5150	7200	5050

ЕВ – почва влажностью 0,8-0,9 НВ, ВС– воздушно-сухая почва, АС– абсолютно-сухая почва

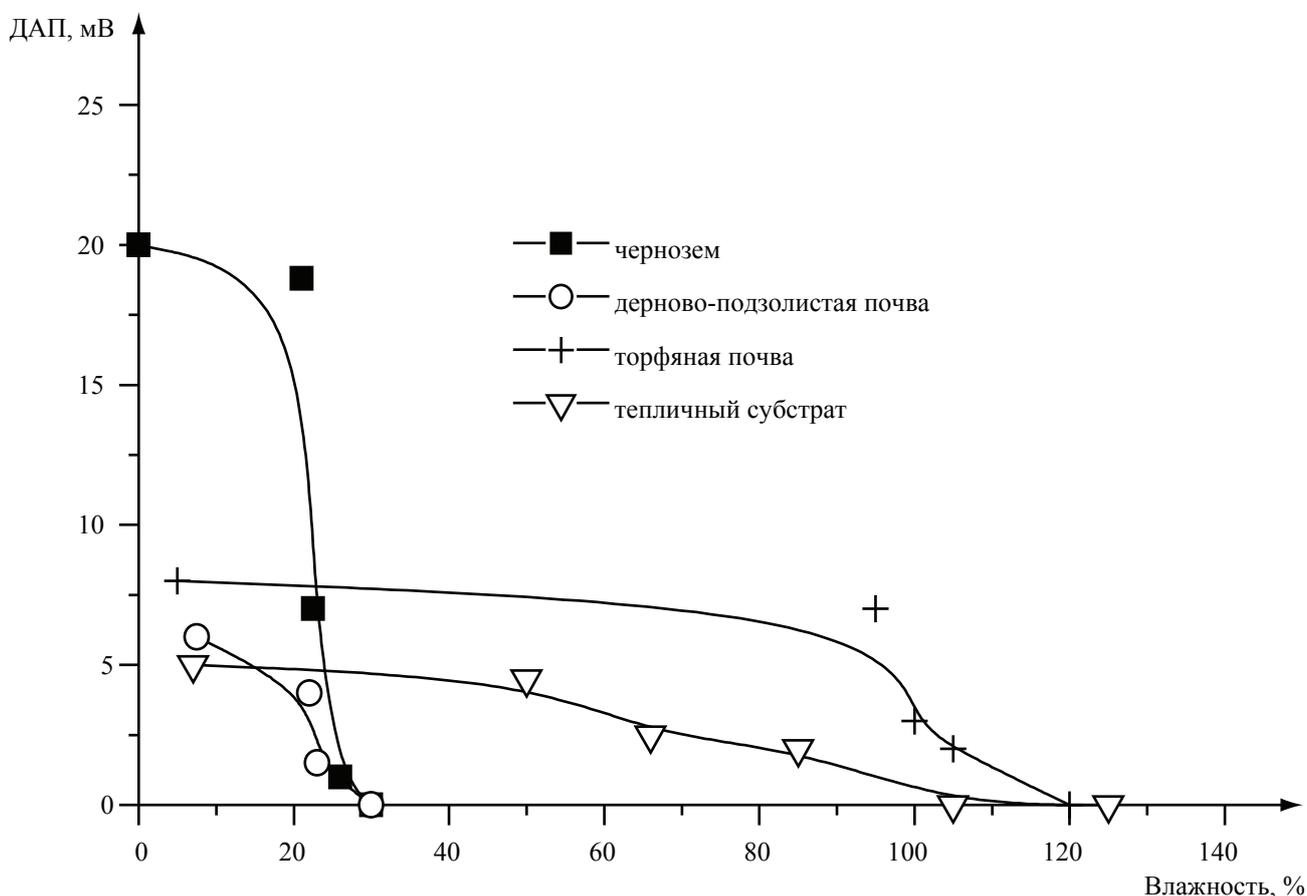


Рис. 4. Зависимость величины диффузионно-адсорбционных потенциалов между влагонасыщенной почвой от влажности контактирующей с ней почвы

Полученные данные по измерению разности потенциалов между электродами, помещенными в контактирующие почвы одного вида, но различной влажности, свидетельствуют, что для всех изученных почв наблюдается S-образная зависимость (рис. 4), причем более влажные почвы заряжаются отрицательно.

Возникновение подобной разности потенциалов обусловлено разной активностью ионов в контактирующих почвах. Отрицательная зарядка более влажных почв (с меньшим количеством микрофазно расслоенных областей) свидетельствует, что в эти области включаются катионы, а не анионы. При этом активность катионов в других час-

тях системы понижается, а анионов возрастает. Однако количество микрофазно расслоенных областей не может увеличиваться бесконечно, так же как не может бесконечно уменьшаться. Поэтому кривые изменения диффузионно-адсорбционных потенциалов между почвой с фиксированной влажностью и той же почвой, влажность которой меняется от измерения к измерению, имеют S-образный характер.

Для подтверждения вхождения катионов солей в микрофазно расслоенные области супраполимерной гумусовой матрицы почв были сняты зависимости изменения активности ионов калия и хлора в различных почвах от содержания хлорида калия.

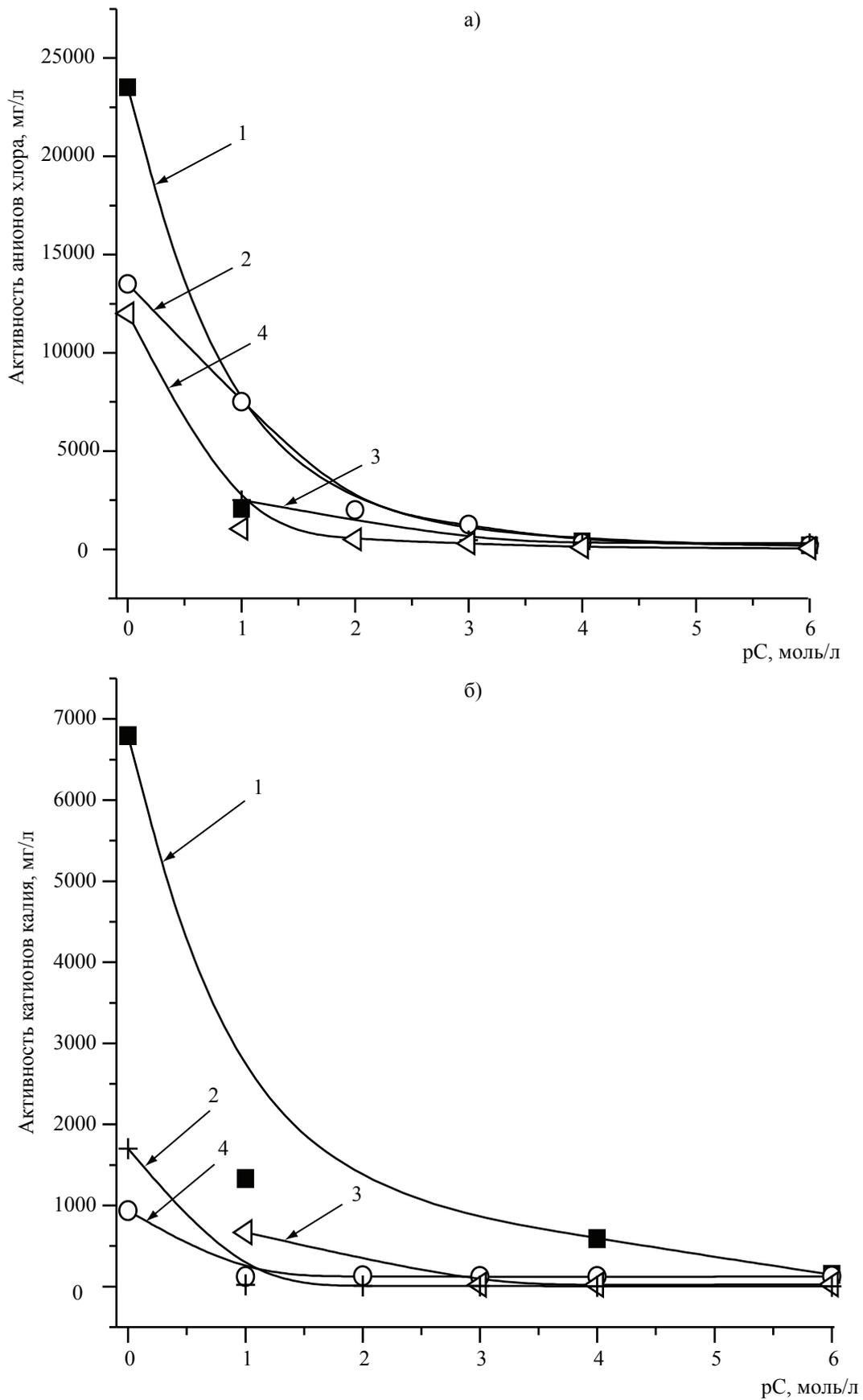


Рис. 5. Изменение активности анионов хлора (а) и катионов калия (б) в зависимости от содержания хлорида калия в почвенном растворе в различных почвах. 1 – тепличный субстрат; 2 – дерново-подзолистая почва; 3 – торфяная почва; 4 – чернозем

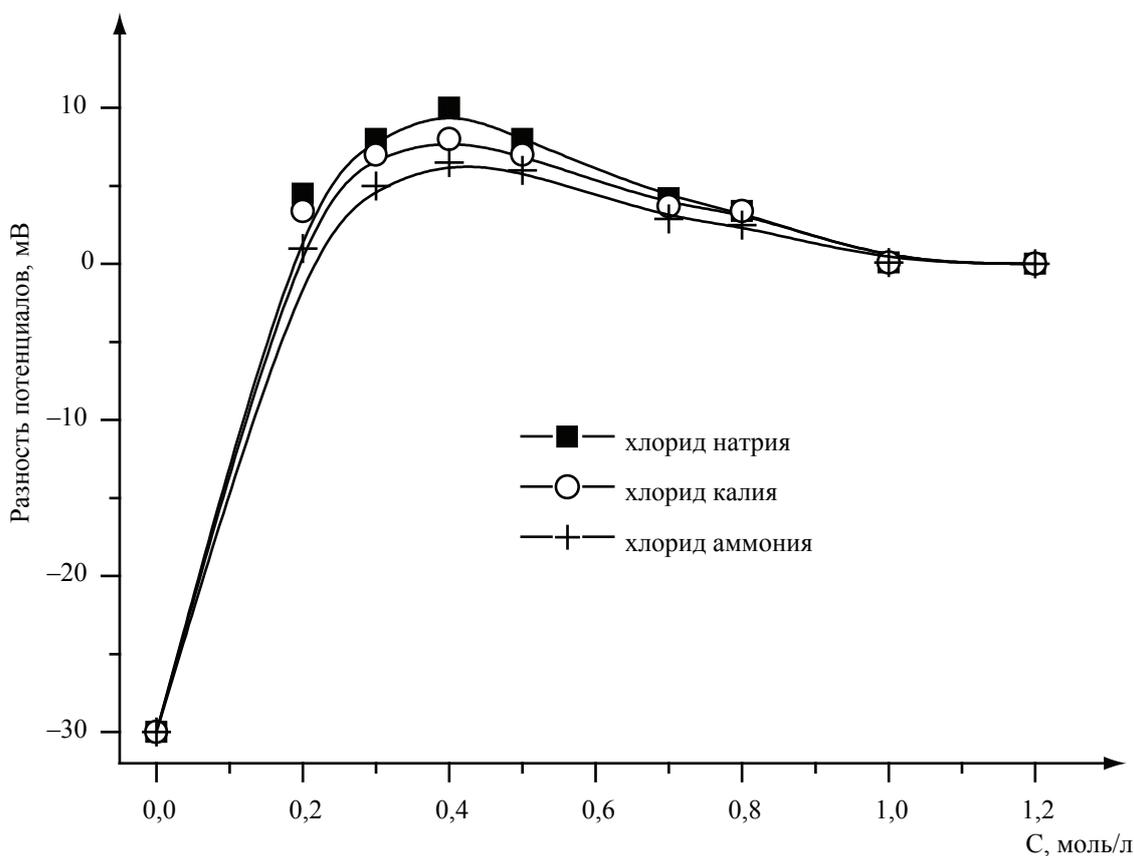


Рис. 6. Зависимость величины электрических полей, возникающих при неустановившемся движении растворов солей различной концентрации

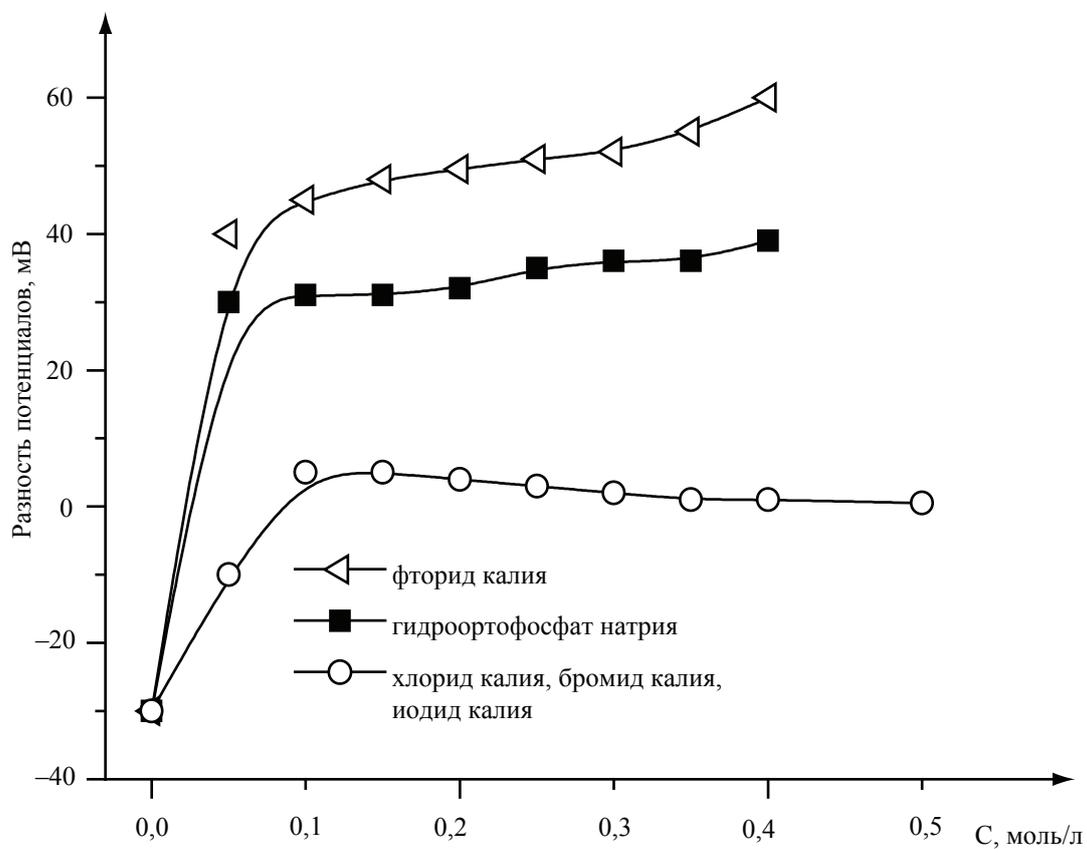


Рис. 7. Зависимость величины электрических полей, возникающих при неустановившемся движении растворов солей различной концентрации

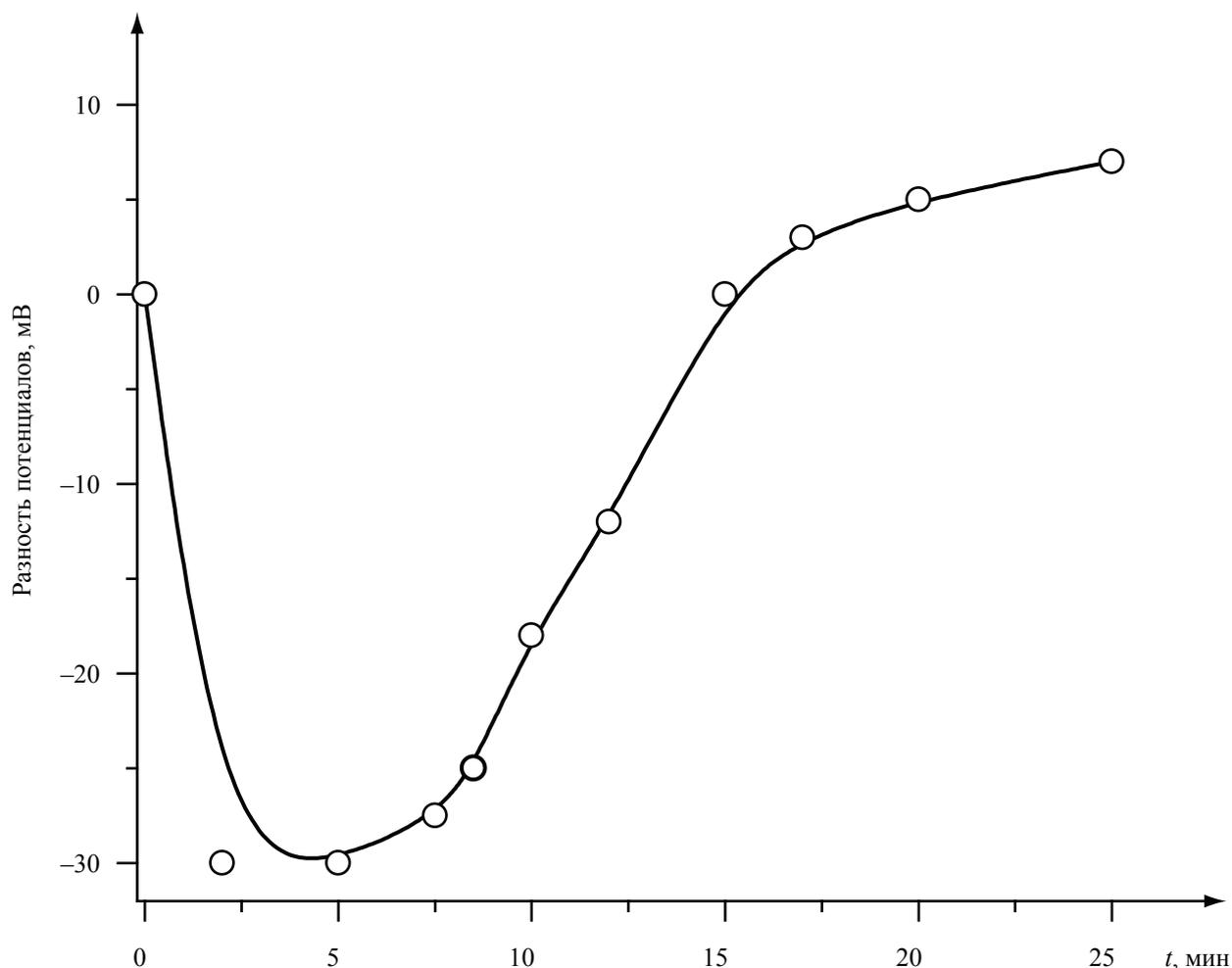


Рис. 8. Влияние длительности фильтрации воды через почву на возникающие электрические поля. Слой воды над почвой –150 мм, скорость фильтрации – 200 мл/мин

Образцы почв, содержащие соли, готовили, добавляя растворы солей различных концентраций в воздушно-сухие почвы до содержания воды 0,8–0,9 НВ и выдерживая несколько недель.

Измерение активности ионов калия и хлора в почвах проводили при помощи ион-селективных электродов на иономере И-500 фирмы «Аквилон». Ошибка при определении активности ионов составляла 10 %.

Из полученных данных (рис. 5) хорошо видно, что активность ионов хлора во всем интервале концентраций значительно выше активности ионов калия. Более того, с ростом концентрации соли разница активностей увеличивается. На самом деле разница должна быть еще более значима, так как электрод сравнения, находясь в почве, имеет более отрицательный потенциал, чем он имел бы, находясь в растворе (эффект Палмана-Лу-

зь). Как следствие, определяемая таким образом активность анионов ниже, чем в действительности, а катионов выше.

Полученные данные подтверждают преимущественное вхождение катионов солей в микрофазно расслоенные области супраполимерной гумусовой матрицы почв. В результате в почвах возникает ряд неожиданных свойств.

Так при изучении фильтрации воды в почвах было обнаружено, что при движении воды в режиме неустановившейся фильтрации наблюдается возникновение разности потенциалов между верхней и нижней частями почвенного образца по ориентации противоположное классическому потенциалу течения, наблюдаемому в отрицательно заряженных дисперсных система.

Эффект был обнаружен на тепличном субстрате, представляющем собой отрица-

тельно заряженную систему с катионами в качестве противоионов. При движении воды через такие системы происходит смещение катионов и, следовательно, положительного заряда по направлению движения жидкости – возникает потенциал течения. Появление отрицательного потенциала невозможно было объяснить, не имея представлений о наноструктурном уровне организаций почвы.

Для изучения нового эффекта провели ряд экспериментов в лабораторных условиях. Навеску тепличного субстрата в количестве 650 г помещали в гофрированную пластиковую трубу (диаметр 56 мм, высота 400 мм) и виброуплотняли, создавая слой толщиной 350 мм.

Разность потенциалов измеряли между электродами, расположенными на различном расстоянии от поверхности почвы, используя стандартные хлорсеребряные электроды, связанные с образцами почвы через загущенные агаром солевые мостики с насыщенным раствором хлорида калия. В качестве измерителя разности потенциалов между электродами использовали цифровой мультиметр фирмы «Mastech» M890 с внутренним сопротивлением 10 МОм. Ошибка не превышала 10 % измеряемой величины.

Было рассмотрено влияние различных факторов, в том числе концентрации и вида растворенных солей в растворе на величину возникающего электрического поля (рис. 6–8).

Рассмотрение эффекта с позиций закрепления катионов избыточных солей в микрофазно расслоенных областях позволяет объяснить наблюдаемое явление повышенной активностью в почвах анионов неотмываемых солей по сравнению с катионами. При движении воды через такие системы в нижнюю часть почвы должны в большей степени смещаться ионы, активность которых повышена – анионы, что и приводит к возникновению потенциала наблюдаемой направленности.

Предлагаемый механизм объясняет результаты экспериментов по проливу почв растворами солей. При повышении концентрации растворов солей, состоящих из катиона щелочного металла и однозарядного аниона, не образующего нерастворимых соединений

с катионами почвы, уменьшается относительная разница активностей катионов и анионов. В результате действие избыточной активности анионов уменьшается, а при повышении концентрации соли и совсем исчезает. Разность потенциалов при фильтрации в данном случае образуется только за счет потенциала течения (рис. 6). При повышении концентрации солей, состоящих из катиона щелочного металла и однозарядного аниона, образующего нерастворимые соединения с катионами почвы, происходит резкое уменьшение активности анионов и эффект их действия очень быстро исчезает, сменяясь потенциалом течения (рис. 7).

При продолжительной фильтрации воды соли вымываются, активность анионов понижается. Начинает доминировать и определяет направленность возникающего при установившейся фильтрации электрического поля обычный потенциал течения (рис. 8).

Обнаруженный эффект может существовать только в системах, которые, взаимодействуя с солями, понижают активность катионов, включая их в свою структуру, и повышают активность анионов за счет их отрицательной адсорбции.

Таким образом, проведенные исследования позволяют уточнить строение гидрофобных микрофазно расслоенных областей гумуса, которые сближаются и стабилизируются за счет хелатирования ионов металлов гидрофильными участками молекул, входящих в эти области.

Библиографический список

1. Рамбиди, Н.Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Н.Г. Рамбиди, А.В. Березкин. – М.: Физматлит, 2008. – 456 с.
2. Хохлов, А.Р. Восприимчивые гели / А.Р. Хохлов // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 11. – С. 138–142.
3. Хохлов, А.Р. Самоорганизация в ион-содержащих полимерных системах / А.Р. Хохлов, Е.Е. Дормидонтова // Успехи физических наук. – 1997. – Т. 167. – № 2. – С. 113–128.
4. Халатур, П.Г. Самоорганизация полимеров / П.Г. Халатур // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – Т. 7. – № 4. – С. 36–43.
5. Хмелевская, В.С. Процессы самоорганизации в твердом теле / В.С. Хмелевская // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – Т. 6. – № 6. – С. 85–91.

6. Воларович, М.П. Исследование высокодисперсной фракции торфа / М.П. Воларович, Н.К. Ельницкая // Сб. Комплексное использование торфа. – М.: Недра, 1965.
7. Глебова, Г.И. Определение размера и формы частиц гумусовых кислот с помощью электронной микроскопии / Г.И. Глебова // Почвоведение. – 1972. – № 7. – С. 115–119.
8. Федотов, Г.Н. Микрофазное расслоение в гумусовых системах / Г.Н. Федотов, Г.В. Добровольский, С.А. Шоба, Т.Ф. Рудометкина и др.// Доклады АН РФ. – 2009. – Т. 429. – № 3. – С.336–338.
9. Piccolo A. "The Supramolecular Structure of Humic Substances". Soil Science. 2001. 166(11). pp. 810-832.
10. Schaumann G.E. Review Article Soil organic matter beyond molecular structure Part I: Macromolecular and supramolecular characteristics. J. Plant Nutr. Soil Sci. 2006, 169, pp. 145-156.
11. Sutton R, Sposito G. "Molecular structure in soil humic substances: The new view". Environmental Science and Technology. 2005. 39. pp. 9009-9015.
12. Wilson M.A., Tran N.H., Milev A.S., Kannangara G.S.K., Volk H., Lu G.Q.M. Nanomaterials in soils. Geoderma, 2008. 146. pp. 291-302.
13. Nardi S., Arnoldi G. and Dell'Agnola G. Release of the hormone-like activities from *Allophobora rosea* (sav.) and *Allophobora caliginosa* (sav.) feces. Can.J. Soil Sci. 1988. 68. pp. 563-567.
14. Piccolo A., Nardi S. and Cancheri G. Structural characteristics of humic substances as related to nitrate uptake and growth regulation in plant systems. Soil Biol. Biochem. 1992. 24. pp. 373-380.
15. Piccolo A. S., Nardi and Cancheri G. Macromolecular changes of soil humic substances induced by interactions with organic acids. Eur. J. Soil Sci. 1996. 47. pp. 319-328.
16. Piccolo A. S., Nardi, and G. Cancheri. Micellelike conformation of humic substances as revealed by size-exclusion chromatography. Chemosphere. 1996. 33. pp. 595-600.
17. Piccolo A., Conte P. and Cozzolino A. Effects of mineral and monocarboxylic acids on the molecular association of dissolved humic substances. Eur. J. Soil Sci. 1999. 50. pp. 687-694.
18. Cozzolino A., Conte P., Piccolo A., 2001. Conformational changes of humic substances induced by some hydroxy-, keto-, and sulfonic acids. Soil Biology and Biochemistry 33, 563-571.
19. Baalousha M., Motelica-Heino M., Galaup S., Le Coustumer P. Supramolecular structure of humic acids by TEM with improved sample preparation and staining". Microscopy Research and Technique. 2005. 66(6). pp. 299 – 306.
20. Balnois E., Wilkinson K.J., 1999. Atomic force microscopy of humic substances: effects of pH and ionic strength. Environmental Science & Technology 33, 3911-3971.
21. Gerin P.A. and Dufrene Y.F. Native surface structure of natural soil particles determined by combining atomic force microscopy and X-ray photoelectron spectroscopy // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2003, Vol. 28, Pages 295-305.
22. Heil D. and Sposito G. Organic Matter Role in Illitic Soil Colloids Flocculation: III. Scanning Force Microscopy Soil Sci. Soc. Am. J. 59 (1995), pp. 266–269.

ВЛИЯНИЕ МИКРОФАЗНОГО РАССЛОЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ ГЕЛЕЙ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ

Г.Н. ФЕДОТОВ, *ст. научн. сотр. Института экологического почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, д-р биол. наук,*
Т.Ф. РУДОМЕТКИНА, *ст. научн. сотр. МГУЛ, канд. хим. наук*

gennadiy.fedotov@gmail.com

Ферменты – биологические катализаторы, ускоряющие в сотни и тысячи раз химические реакции в живых организмах. Разнообразные ферменты накапливаются в почве в результате жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, мезофауны и корневой системы растений. Они участвуют в важных биохимических процессах [1].

Многие трудности при определении ферментативной активности в почвенных пробах обусловлены невозможностью освободить ферменты из почвенных частиц. Внеклеточные ферменты обычно связаны с

различными коллоидными фракциями почвы, с гуминовыми веществами и илами [2]. Активность фермента может уменьшаться в результате его взаимодействия с коллоидными частицами, которые затрудняют доступ субстрата к активному центру, а также в результате связывания субстрата.

Для того чтобы исключить влияние связывания субстрата в качестве изучаемого фермента, нами была выбрана каталаза. Этот фермент катализирует реакцию разложения пероксида водорода, который образуется в процессе дыхания живых организмов и в ре-

зультате различных биохимических реакций окисления органических веществ. Роль каталазы в почве заключается в том, что она разрушает ядовитый для организмов пероксид водорода.

Показано, что каталаза, как и многие другие ферменты, иммобилизуется гумусом [3–7]. Однако механизмы иммобилизации ферментов в почве до сих пор не выяснены. Ряд авторов [12, 13] считают, что органическое вещество в почве тесно связано с почвенными минералами и, следовательно, ферменты ассоциируются с органоминеральным комплексом.

В настоящее время гумусовые вещества рассматривают как набор супрамолекулярных соединений и ансамблей [14, 15]. Считается, что в подобных системах наноструктурная организация возникает при микрофазном расслоении супраполимерной гумусовой матрицы [8]. Это означает, что ферменты входят в состав супраполимерной гумусовой матрицы почв, и при микрофазном расслоении последней часть ферментов должна попасть в гидрофобные области, имеющие большую плотность. В результате активность ферментов должна уменьшиться как из-за стесненности условий, в которые они попадают, и соответствующего искажения их конформаций, так и из-за уменьшения их доступности для субстрата.

Результаты по изучению влияния обменных катионов на ферментативную активность почв [9–11] подтверждают эти предположения. Показано, что увеличение концентрации обменного алюминия ведет к понижению ферментативной активности, а, как известно, увеличение концентрации обменного алюминия усиливает микрофазное расслоение в гумусовых системах [8].

Целью работы являлась проверка влияния степени микрофазного расслоения в супраполимерной гумусовой матрице различных почв на их ферментативную активность.

Было изучено влияние концентрации обменных катионов алюминия, железа, меди и цинка в черноземе, дерново-подзолистой и серой лесной почвах.

Каталазную активность почв изучали при варьировании концентрации ионов метал-

лов до 10–15 % емкости катионного обмена. Сорбцию ионов металлов на почвах проводили из растворов с последующим отделением почв центрифугированием и высушиванием до воздушно-сухого состояния при 40 °С.

Измеряли каталазную активность почв по изменению концентрации пероксида водорода, добавленного в водную суспензию навески набухшей почвы, после встряхивания полученной суспензии в течение 30 мин. Для приготовления образцов набухших почв к 200 г растертых почв добавляли 36 мл дистиллированной воды и хорошо перемешивали шпателем. Стаканы с почвами помещали в эксикатор, на дно которого было налито небольшое количество воды. Для предотвращения образования микрофлоры туда же помещали стаканчик с толуолом. Эксикаторы с почвами оставляли на срок не менее 1 недели для прохождения процесса набухания. После этого непосредственно перед исследованиями определяли влажность набухших почв.

Определение степени микрофазного расслоения почвенных гелей проводили, выделяя гели обработкой дистиллированной водой высушенных образцов, отобранных из гумусово-аккумулятивных горизонтов дерново-подзолистой почвы из окрестностей почвы р. Яхромы, серой лесной почвы Владимирского ополья и курского чернозема, до и после внесения в них модификаторов. Гелевые пленки, поднимающиеся на поверхности воды, помещали на атомно-гладкую поверхность слюды.

Исследование проводили при помощи растрового электронного микроскопа JEOL-6060A (фирмы JEOL, Япония) с вольфрамовым катодом. На образцы перед исследованием напыляли платину, используя установку JFC-1600 (фирмы JEOL, Япония).

В работе использовали также сканирующий туннельный микроскоп «ФемтоСкан» (фирмы ООО НПП «Центр перспективных технологий», Россия).

Исследование образцов при помощи электронной и туннельной микроскопий, показало, что при увеличении концентрации вводимых ионов металлов микрофазное расслоение в почвенных гелях усиливается. При этом каталазная активность почв уменьшается в несколько раз (рис. 1–3).

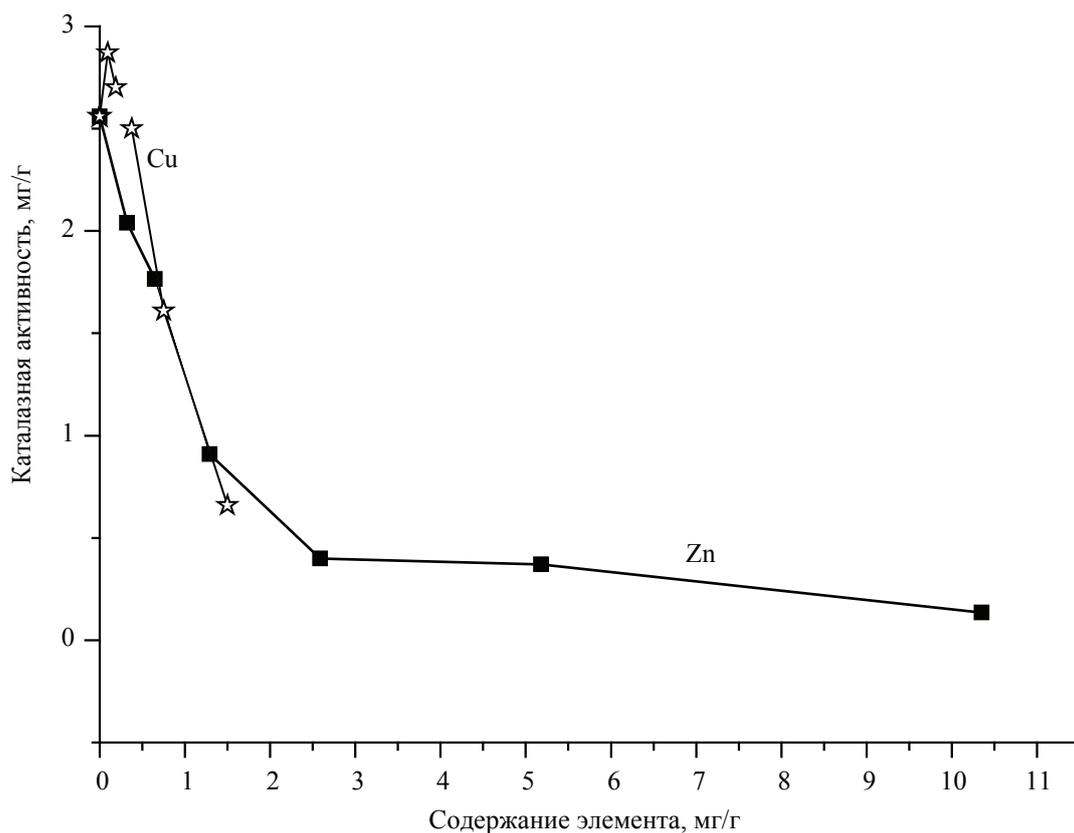


Рис. 1. Каталазная активность дерново-подзолистой почвы в зависимости от количества внесенных в нее меди и цинка

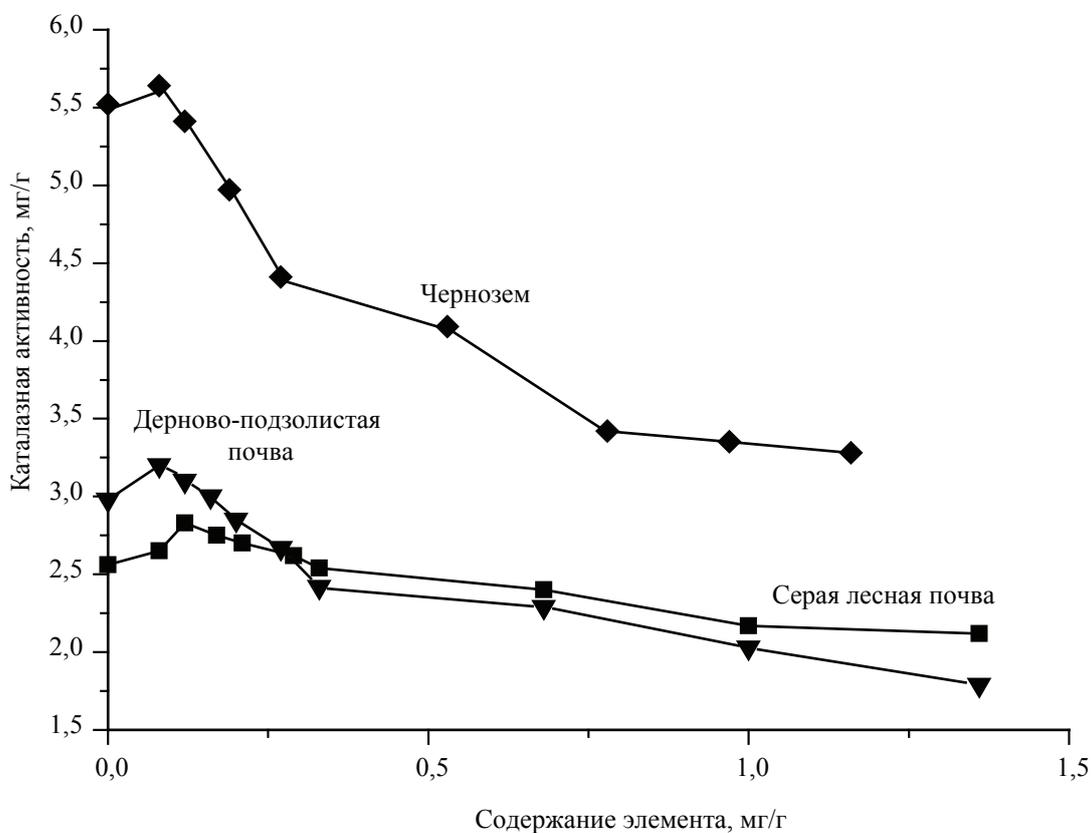


Рис. 2. Каталазная активность чернозема, дерново-подзолистой и серой лесной почв в зависимости от количества внесенного в них железа

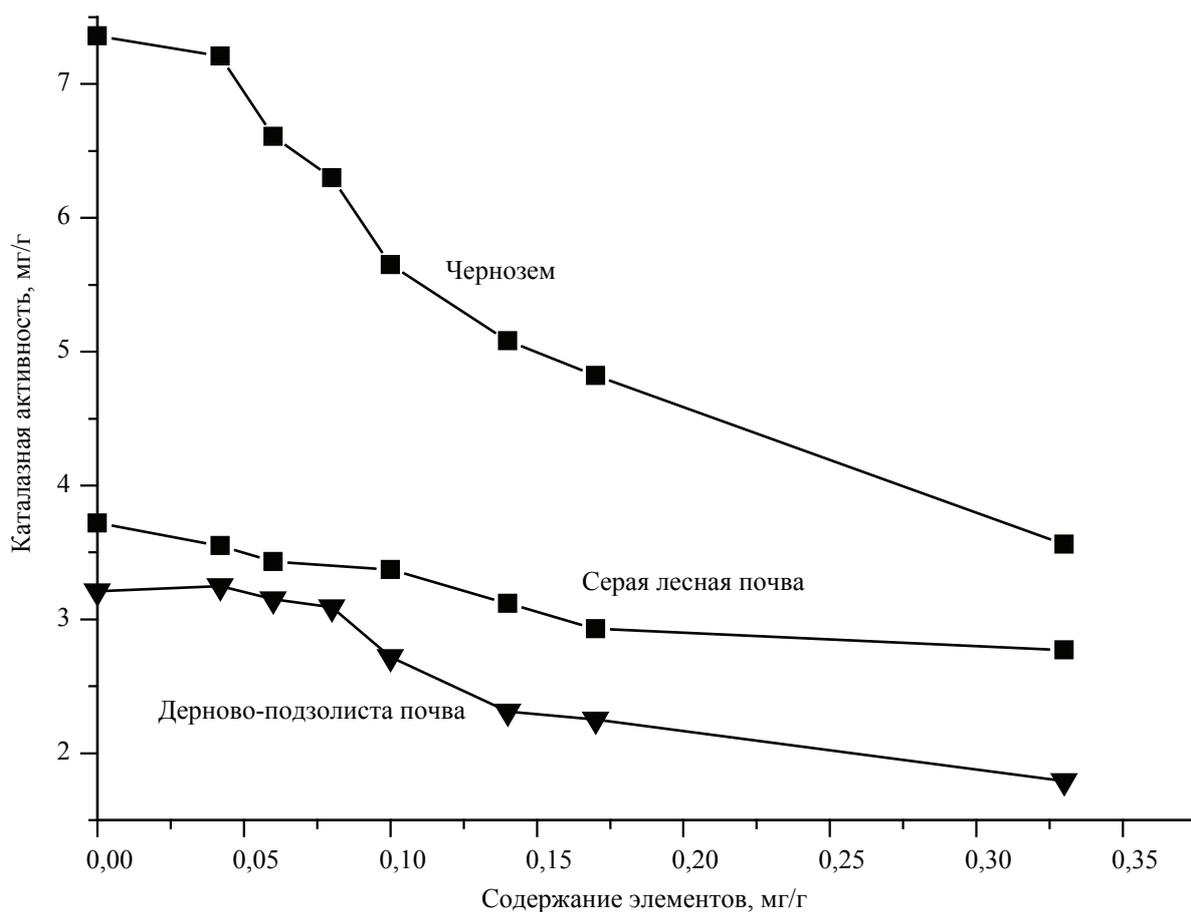
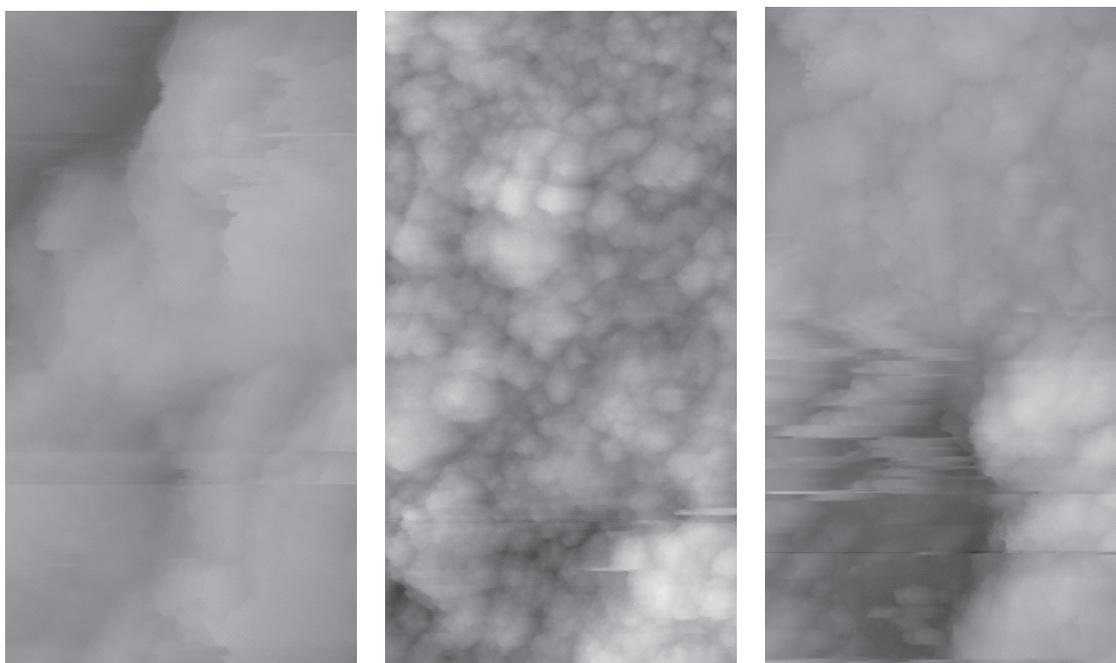


Рис. 3. Каталазная активность чернозема, дерново-подзолистой и серой лесной почв в зависимости от количества внесенного в них алюминия



Дерново-подзолистая почва

500 нм
Серая лесная почва

Чернозем

Рис. 4. Изображение топографии поверхности гелей, выделенных из дерново-подзолистой и серой лесной почв и чернозема, полученное на туннельном микроскопе

Обращает на себя внимание резкое уменьшение каталазной активности при небольшом количестве введенных металлов, а затем при дальнейшем увеличении концентрации добавок происходит более плавное ее снижение. Также меняется и микрофазное расслоение в почвенных гелях – сильно при небольших концентрациях, а затем изменения становятся менее значительными. Это подтверждается слабым уменьшением каталазной активности серой лесной почвы при введении ионов металлов по сравнению с черноземом и дерново-подзолистой почвой (рис. 1–3). Супраполимерная гумусовая матрица исходной серой лесной почвы оказалась уже достаточно сильно микрофазнорасслоенной (рис. 4), и введение ионов металлов оказывало на нее значительно меньшее влияние.

В случае иммобилизованных ферментов структурные изменения могут способствовать или препятствовать образованию связи фермент-субстрат. В результате вхождения в выделившуюся при микрофазном расслоении фазу каталазы может начать с ней взаимодействовать, что может привести к нарушению связей, стабилизирующих четвертичную структуру фермента. Модификация четвертичной структуры вызывает изменение трехмерной структуры активного центра, что в свою очередь препятствует молекулам субстрата и/или продукта свободно связываться с ферментом. Именно это может приводить к инактивации фермента.

Для каталазы маловероятно уменьшение скорости ферментативной реакции за счет затруднения доступа пероксида водорода к активному центру, но для других почвенных ферментов, которые образуют фермент-субстратные комплексы с крупными молекулами субстратов, замедление реакции по этому механизму может иметь большое значение.

Для ряда ферментов, таких как целлюлаза, характерно не движение субстрата к ферменту, а обратная картина – движение фермента к молекулам субстрата. Поэтому некоторые внеклеточные ферменты должны быть способны проникать на участки с высокой концентрацией субстратов. Их закрепление при микрофазном расслоении может мешать такому перемещению.

Таким образом, можно предположить, что скорость различных ферментативных реакций при микрофазном расслоении будет уменьшаться по-разному, а, следовательно, по-разному будут изменяться условия существования различных микроорганизмов – активность одних будет подавляться в большей степени, чем других.

Проведенные исследования свидетельствуют, что микрофазное расслоение в супраполимерной гумусовой матрице, приводящее к уменьшению ферментативной активности почв, может оказать негативное влияние на ее биологическую активность при применении веществ, улучшающих структуру почвы, механизм действия которых основан на изменении наноструктурной организации супраполимерной гумусовой матрицы.

Библиографический список

1. Хазиев, Ф.Х. Ферментативная активность почв: метод. пос. / Ф.Х. Хазиев – М.: Наука, 1976. – 180 с.
2. Тейт, Р. Органическое вещество почвы: Биологические и экологические аспекты / Р. Тейт. М.: Мир, 1991. – 400 с.
3. Тульская, Е.М. Роль органического вещества при иммобилизации ферментов / Е.М. Тульская // Вестник МГУ. – Сер. 17. – 1982. – № 2. – С. 76–78.
4. Тульская, Е.М. Иммобилизация каталазы почвами / Е.М. Тульская, Д.Г. Звягинцев // Почвоведение, 1981. – № 12. – С. 91–96.
5. Тульская, Е.М. Влияние протеолитических ферментов на каталазу в почвах / Е.М. Тульская, Д.Г. Звягинцев // Почвоведение, 1981. – № 10. – С. 46–53.
6. Тульская, Е.М. Иммобилизация каталазы и специфика каталазной активности / Е.М. Тульская, Д.Г. Звягинцев // Почвоведение, 1980. – № 1. – С. 90–96.
7. Тульская, Е.М. Локализация и специфичность действия каталазы в почвах. Автореф. дисс. на соискание уч. ст. канд. биол. наук / Е.М. Тульская. – М.: МГУ, 1980. – 24 с.
8. Федотов, Г.Н. Микрофазное расслоение в гумусовых системах / Федотов Г.Н., Добровольский Г.В., Шоба С.А., Рудометкина Т.Ф. и др. // Докл. АН РФ, 2009. – Т. 429. – № 3. – С. 336–338.
9. Абрамян, С.А. Влияние обменных катионов на ферментативную активность почв / С.А. Абрамян, А.Ш. Галстян // Биологический журнал Армении, 1981. – Т. 34. – № 2. – С. 142–148.
10. Абрамян, С.А. Ферментативная активность почв в зависимости от pH среды и состава обменных катионов. Автореферат дисс. на соискание уч. ст.

- канд. биол. наук / С.А. Абрамян. – М.: МГУ, 1980. – 25 с.
11. Абрамян, С.А. Природа регуляции ферментативных процессов в почве. Автореф. дисс. на соискание уч. ст. д-ра биол. наук / С.А. Абрамян. – М.: МГУ, 1990. – 36 с.
 12. Burns R.G., El-Sayed M.H., McLaren A.D. Extraction of an urease-active organocomplex from soil. *Soil Biol. Biochem.* 1972. V. 4, № 1.
 13. Burns R.G., Pukite A.H., McLaren A.D. Concerning the location and persistence of soil urease. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1972, V. 36, № 2.
 14. Piccolo A. "The Supramolecular Structure of Humic Substances". *Soil Science.* 2001. 166 (11). pp. 810-832.
 15. Sutton R, Sposito G. "Molecular structure in soil humic substances: The new view". *Environmental Science and Technology.* 2005. 39. pp. 9009-9015.

ГУМУСОВЫЕ КИСЛОТЫ В ПОЧВАХ

Г.Н. ФЕДОТОВ, *ст. научн. сотр. Института экологического почвоведения МГУ*

им. М.В. Ломоносова, д-р. биол. наук,

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

gennadiy.fedotov@gmail.com

Гумус – совокупность всех органических соединений, находящихся в почве и не участвующих в построении растительных и животных остатков. Он состоит из специфических гумусовых веществ и неспецифических органических соединений [1].

Традиционно гумусовые вещества рассматривали как смесь ассоциированных макромолекул [2–3]. Долгое время казалось, что именно ассоциация макромолекул гумусовых веществ является основным фактором, влияющим на результаты их исследования [2–5]. Однако в последнее десятилетие отвергаются существующие представления о том, что гумусовые вещества имеют полимерную природу. На основе экспериментальных данных показано, что гумусовые вещества – ассоциаты относительно низкомолекулярных компонентов, возникающих при деградации и разложении биологического материала, динамически объединенных и стабилизированных, в основном, слабыми связями [6–9]. Именно это является главным в структуре гумусовых веществ.

Предлагаемый подход к описанию строения гумусовых веществ с позиций их супрамолекулярной организации объясняет большое число экспериментальных данных и является большим шагом вперед в науке о гумусе, но, развитый для водных растворов, он является явно недостаточным для почв. Из этого подхода следует, что гуминовые кислоты и фульвокислоты представляют собой супрамолекулярные соединения. В растворах

они существуют как частицы гумуса различного размера и состава. Однако на основе этой информации невозможно ответить на вопрос о существовании их в почвах.

Целью работы было выяснение вопроса о реальности существования гумусовых веществ в почвах, т.е. являются ли гуминовые кислоты и фульвокислоты фрагментами единой гумусовой матрицы, возникающими при ее распаде под воздействием химических реагентов [10], или это структурные единицы, реально существующие в почвенных гелях и объединенные в гумусовую матрицу.

Для ответа на этот вопрос были выделены и изучены гелевые пленки, собирающиеся на поверхности воды при капиллярном увлажнении высушенных почвенных агрегатов [11].

В качестве объектов исследования использовали образцы, отобранные из гумусово-аккумулятивных горизонтов дерново-подзолистой почвы из окрестностей почвы р. Яхромы, серой лесной почвы Владимирского ополья и типичного курского чернозема.

Электронно-микроскопические исследования проводили на растровом электронном микроскопе LEO SUPRA – 50 VP (фирмы Carl Zeiss, Германия) с автоэмсионным источником при ускоряющем напряжении 3-10 кВ с использованием детектора вторичных электронов типа InLens, а также на растровом электронном микроскопе JEOL-6060A (фирмы JEOL, Япония) с вольфрамовым катодом.

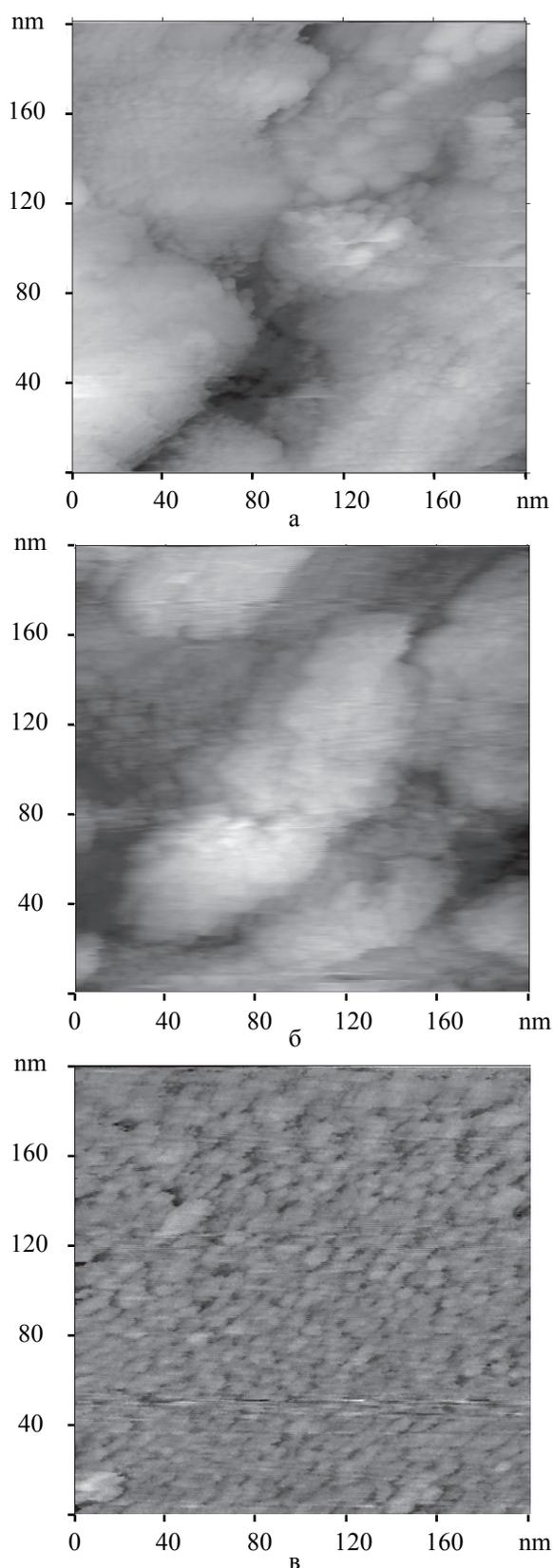


Рис. 1. Изображение топографии поверхности гелевой пленки, выделенной из дерново-подзолистой почвы (а), серой лесной почвы (б) и чернозема (в) на подложке слюды, выполненное при помощи туннельного микроскопа. Увеличение соответствует примерно $\times 1250000$

После удаления воды на образцы напыляли углерод (термический испаритель Univex-300, фирмы Leybold, Германия) или платину, используя установку JFC-1600 (фирмы JEOL, Япония).

В работе использовали также сканирующий туннельный и атомно-силовой микроскопы «ФемтоСкан» (фирмы ООО НПП «Центр перспективных технологий», Россия).

Возможность исследования воздушно-сухих гелевых пленок при помощи сканирующего туннельного микроскопа основана на их достаточно высокой проводимости из-за содержания в них воды практически равного содержанию органического вещества.

При подготовке к исследованию гелевые пленки помещали на атомно-гладкую поверхность свежерасщепленной слюды путем приведения в контакт поверхности слюды с водной поверхностью, на которой находилась пленка. Затем удаляли влагу при $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Расчеты, проведенные на основании молекулярных весов гуминовых и фульвокислот, показывают [12], что их размер должен быть $\sim 10\text{ нм}$ и $2\text{--}5\text{ нм}$ соответственно. Экспериментальные исследования разбавленных водных растворов это подтверждают [13–15].

Большинство растровых электронных микроскопов не позволяют изучать связанные между собой частицы гумуса таких размеров, а просвечивающая электронная микроскопия не дает возможности видеть морфологию поверхности. Поэтому основное внимание в работе при изучении наноструктурной организации почвенного гумуса было уделено использованию сканирующей туннельной микроскопии.

Из представленных результатов (рис. 1) следует, что в гумусе дерново-подзолистой почвы увидеть частицы, из которых он состоит, сложнее всего. Границы между ними размыты, но при увеличении, соответствующем 1250000 , можно различить, что он состоит из частиц размером $2\text{--}4\text{ нм}$.

Гумус чернозема и серой лесной почвы образован частицами размером $8\text{--}12\text{ нм}$, но если в черноземе границы между частицами гумуса достаточно четкие, то в серой лесной почве они сильно размыты.

Следует отметить, что на каждые 10 изображений поверхности гелей, выделенных из чернозема, подобных представленному, приходится 1–2 изображения, близких по морфологии изображениям, наблюдаемым в гелях дерново-подзолистой почвы. В свою очередь, в гелях, выделенных из дерново-подзолистой почвы, наблюдаются в небольшом количестве структуры, характерные для чернозема. По-видимому, следует говорить о статистической картине перераспределения структур гумуса в почвенных гелях между двумя морфологическими типами, а не об определенном размере частиц гумуса, характерном для конкретной почвы.

На основе полученных данных можно предположить, что частицы гумуса в почвенных гелях, совпадающие по размеру с гуминовыми кислотами в растворах, являются гуминовыми кислотами, а совпадающие по размеру с фульвокислотами в растворах являются фульвокислотами. Однако прежде чем выдвигать подобное предположение, проанализируем данный вопрос с общих позиций:

– Гумусовые вещества содержат гидрофильные и гидрофобные участки.

– В гумусовой матрице почвенных гелей частицы гумусовых веществ связаны между собой.

– Многозарядные катионы и некоторые органические вещества приводят к самоорганизации гумусовой матрицы. В результате происходит микрофазное расслоение, выделяется гидрофобная фаза, что приводит к упрочнению гумусовой матрицы – повышению устойчивости к различным воздействиям [16].

– При фракционировании гумуса [17] обработка серной кислотой с точки зрения структурной организации гумуса призвана удалить многозарядные катионы и либо снять микрофазное расслоение и сделать гумусовые вещества растворимыми в воде, либо уменьшить микрофазное расслоение, чтобы последующая обработка щелочью позволила перевести гумусовые вещества в раствор. В случае если подобными обработками не удастся снять микрофазное расслоение и обеспечить растворение гумусовых веществ, они представляют собой нерастворимый остаток и получили название гуминов.

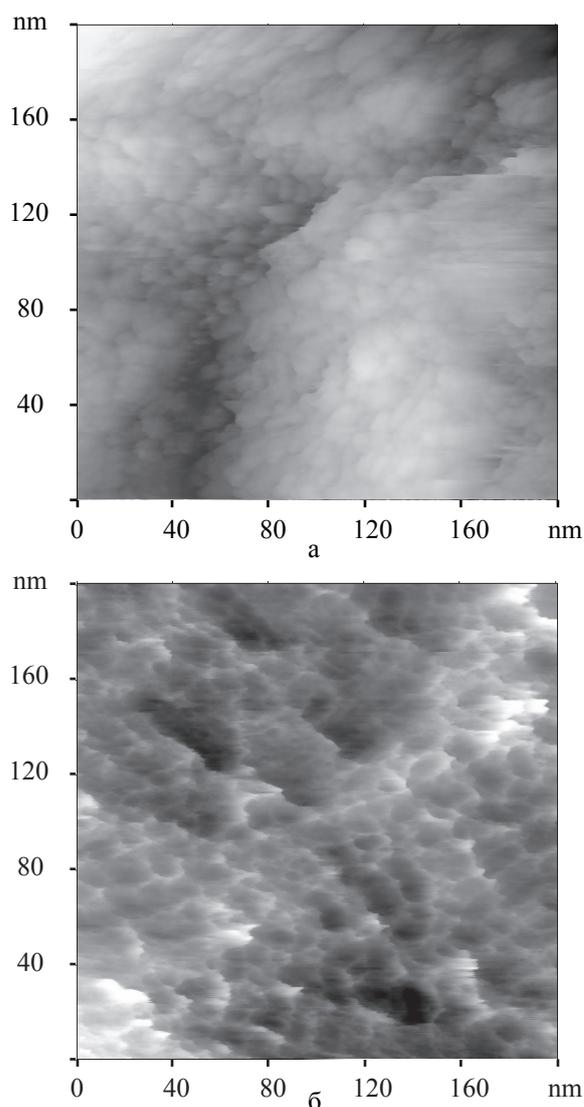


Рис. 2. Изображение топографии поверхности гелевой пленки, выделенной из дерново-подзолистой почвы после добавления модификатора, выполненное при помощи туннельного микроскопа. Увеличение соответствует примерно $\times 1250000$ (а). Увеличение соответствует примерно $\times 2500000$ (б)

Таким образом, гуминовыми кислотами являются гумусовые вещества, содержащие по сравнению с фульвокислотами большее количество гидрофобных участков, в большей степени способные к микрофазному расслоению, более устойчивые к различным воздействиям в водных средах из-за большей плотности органического вещества в супрамолекулярном клубке и менее растворимые при низких рН. По-видимому, более высокая плотность клубка и способность к микрофазному расслоению обеспечиваются в немалой степени и связями, возникающими между

азотом и кислородом в органических соединениях. Поэтому гуминовые кислоты содержат большее количество азота по сравнению с фульвокислотами [1].

Устойчивость в водных средах должна обеспечивать в этих средах больший размер гуминовых кислот по сравнению с фульвокислотами, но в почвенном гумусе взаимопроникновение частиц гумусовых веществ должно стабилизировать их существование в гумусовой матрице, а выделение может приводить к распаду крупных недостаточно стабильных частиц на более мелкие, которыми являются фульвокислоты. Поэтому нельзя исключить существование в матрице гумуса крупных фульвокислот и их распад при выделении.

Из проведенного анализа следует, что малый размер частиц гумусовых веществ в почвенных гелях (2–4 нм) позволяет отнести их к фульвокислотам, но большой размер (8–12 нм) не позволяет однозначно предполагать, что это – гуминовые кислоты. Следовательно, фульвокислотами в почвенных

гелях могут быть не только частицы малого размера, но и большие частицы достаточно гидрофильные, чтобы не содержать больших упрочняющих их микрофазно расслоенных областей и способные к распаду при их выделении по стандартной процедуре после удаления катионов или других веществ, обеспечивающих микрофазное расслоение в этих частицах.

Для проверки результатов проведенного анализа в агрегаты дерново-подзолистой почвы были введены модификаторы, вызывающие сильное микрофазное расслоение в гумусовой матрице почвенных гелей при их содержании в почвах на уровне 3–5 ppm. После этого гели были выделены и изучены при помощи туннельного микроскопа.

На полученных изображениях видно (рис. 2а), что введение модификатора приводит к укрупнению частиц гумуса от 2–4 нм до 8–12 нм. Проведенный анализ изображения показал (рис. 2б), что происходит не просто объединение частиц размером 2–4 нм в агрегаты 8–12 нм, а полная их перестройка.

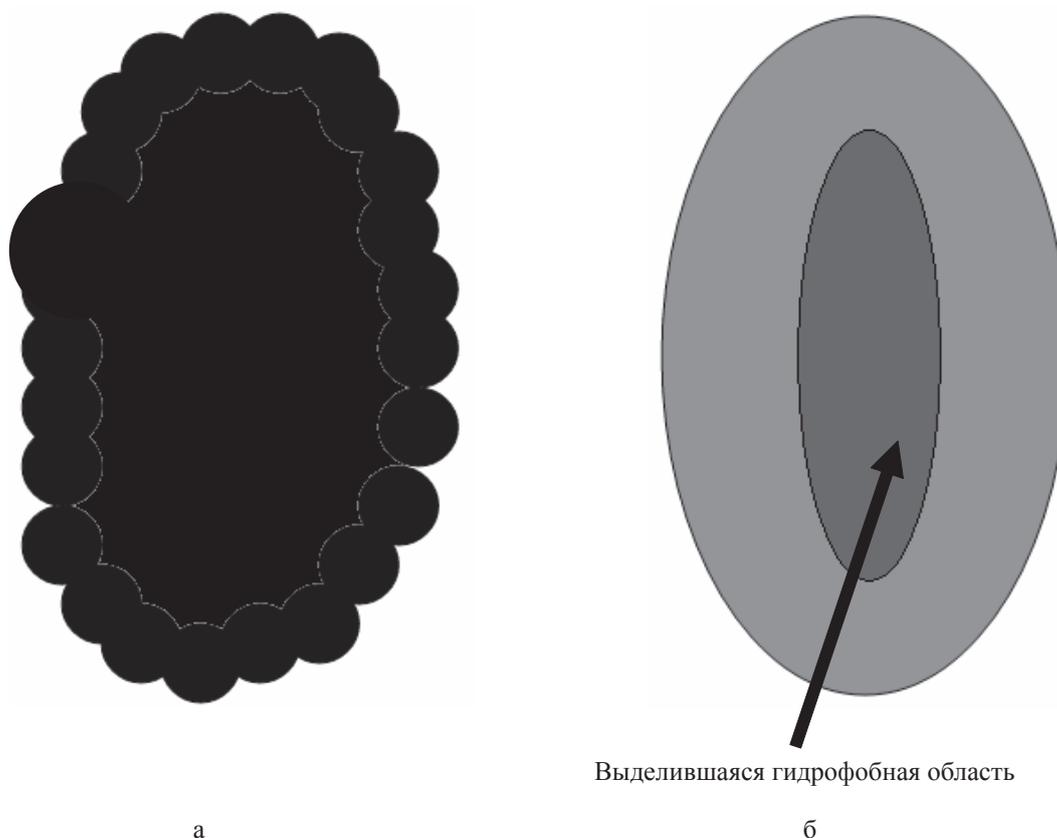


Рис. 3. Схема структуры частиц при объединении фульвокислот в ассоциат (а) и после перестройки структуры путем микрофазного расслоения (б)

Об этом свидетельствует исчезновение неровностей размеров 2–4 нм на поверхности образующихся частиц (рис. 3а) – поверхность частиц становится гладкой (рис. 3б).

Итак, в результате введения очень небольших количеств модификатора морфология гумуса гелевых пленок из дерново-подзолистой почвы становится подобной морфологии гумуса гелевых пленок из чернозема.

Можно предположить, что некоторые модификаторы, вызывающие объединение фульвокислот в агрегаты, могут вызывать микрофазное расслоение и упрочнить частицы гумусовых веществ, повысив их химическую стабильность и уменьшив растворимость в кислых растворах, т.е. превратив их в гуминовые кислоты. По-видимому, возможен и обратный процесс. Подобный механизм хорошо объясняет сезонные изменения в соотношении гуминовых и фульвокислот в почвах [18].

Выводы

1. В почвах существуют частицы гумуса размером 2–4 нм, которые представляют собой фульвокислоты.

2. Частицы размером 8–12 нм могут относиться по существующей классификации, основанной на химической устойчивости частиц гумусовых веществ и их растворимости в водных растворах, как к фульвокислотам, так и к гуминовым кислотам.

3. При сезонном изменении условий функционирования почв возможен переход фульвокислот в гуминовые кислоты путем объединения частиц фульвокислот размером 2–4 нм в агрегаты размером 8–12 нм и перестройки их структуры путем микрофазного расслоения. Возможен и обратный переход.

Библиографический список

1. Орлов, Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д.С. Орлов. – М.: Изд. МГУ, 1990. – 325 с.
2. Кононова, М.М. Органическое вещество почв / М.М. Кононова. – М.: Изд. АН СССР, 1963. – 314 с.

3. Stevenson F.J. Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions, 2nd Ed. Wiley, New York. 1994. 443 p.
4. Reid P.M., Wilkinson A.E., Tipping E., Jones, M.N. "Aggregation of humic substances in aqueous media as determined by light-scattering methods". European Journal of Soil Science. 1991. 42(2): 259–270.
5. Александрова, Л.Н. Гумус как система полимерных соединений / Л.Н. Александрова // Тр. юб. сес. посв. столетию со дня рождения В.В. Докучаева. – М.: Изд. АН СССР, 1949. – С. 225–232.
6. Piccolo A. "The Supramolecular Structure of Humic Substances". Soil Science. 2001. 166(11). pp. 810–832.
7. Schaumann G.E. Review Article Soil organic matter beyond molecular structure Part I: Macromolecular and supramolecular characteristics. J. Plant Nutr. Soil Sci. 2006, 169, pp. 145–156.
8. Sutton R, Sposito G. "Molecular structure in soil humic substances: The new view". Environmental Science and Technology. 2005. 39. pp. 9009–9015.
9. Wilson M.A., Tran N.H., Milev A.S., Kannangara G.S.K., Volk H., Lu G.Q.M. Nanomaterials in soils. Geoderma, 2008. 146. pp. 291–302.
10. Федотов, Г.Н. Гумус как основа коллоидной составляющей почв / Г.Н. Федотов, Г.В. Добровольский // Доклады Академии Наук РФ. – 2007. – Т. 415. – № 6. – С. 767–771.
11. 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.
12. Глебова, Г.И. Определение размера и формы частиц гумусовых кислот с помощью электронной микроскопии / Г.И. Глебова // Почвоведение. – 1972. – № 7. – С. 115–119.
13. Balnois E., Wilkinson K.J. Atomic force microscopy of humic substances: effects of pH and ionic strength. Environmental Science & Technology. 1999. 33, 3911–3971.
14. Liu A., Wu R.C., Papadoulou E.E. AFM on humic acid adsorbed on mica. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2000. 174, 245–252.
15. Plaschke M., Romer J., Klenze R., Kim J.I. In situ AFM study of sorbed humic acid colloids at different pH // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 1999, Vol. 160, Pages 269–279.
16. Федотов, Г.Н. Микрофазное расслоение в гумусовых системах / Г.Н. Федотов, Г.В. Добровольский, С.А. Шоба и др. // Доклады Академии Наук РФ. – 2009. – Т. 429. – № 3. – С. 336–338.
17. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. – М.: Изд. МГУ, 1989. – 304 с.
18. Дергачева, М.И. Органическое вещество почв: статика и динамика / М.И. Дергачева. – Новосибирск: Наука, 1984. – 153 с.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ И ГРУНТОВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

О.В. КОРМИЛИЦЫНА, доц. каф. почвоведения МГУЛ, канд. с-х. наук,
В.В. БОНДАРЕНКО, доц. каф. почвоведения МГУЛ, канд. биол. наук,
Д. КООЛЕН, проф. Вагенингенского университета

bondarenko@mgul.ac.ru

При установлении главных причин изменения состояния насаждений в урбанизованных условиях требуется всестороннее изучение основных свойств почв и грунтов, в разной степени измененных антропогенной деятельностью. Определение такого базового показателя водного режима, как эвапотранспирация, требует учета нескольких коэффициентов, один из которых коэффициент водного стресса, а другой – коэффициент соляного стресса, т.е. стресса растений, вызванного избыточным засолением почвы [1, 2]. В настоящее время экспресс-оценка степени засоления урбанизованных почв проводится, в том числе и с помощью показателя электропроводности почвы, а полученные значения сопоставляются с данными о чувствительности тех или иных видов растений к засолению почв. Безусловно, электропроводность почвы зависит от ее влажности, температуры, порозности и других показателей. Поэтому требуется преобразовать данные об электропроводности таким образом, чтобы они были сопоставимы между собой и могли достаточно точно оценивать именно засоление.

Для трансформации данных об электропроводности почв, полученных при различных значениях объемной влажности, температуры, общей порозности, и последующего их сопоставления были использованы следующие уравнения (Heimovaara, 1993; Mualem and Friedman, 1991):

$$EC_{w, 25} = EC_{w, T} \cdot (1 + 0,0216 \cdot (25 - T));$$

$$EC_{SatExt} = EC_{w, 25} (\theta_a / \theta_{Sat}),$$

где $EC_{w, 25}$ – электропроводность почвы при актуальной объемной влажности и температуре почвы $T = 25$ °С (стандарт), мСм/см;

$EC_{w, T}$ – электропроводность почвы при актуальной объемной влажности и температуре почвы, мСм/см;

EC_{SatExt} – электропроводность почвы при полной влагоемкости (все поры насыщены водой, кроме пор с заземленным воздухом), мСм/см;

T – температура почвы, °С;

θ_a – актуальная объемная влажность почвы, %;

θ_{Sat} – полная влагоемкость почвы, %.

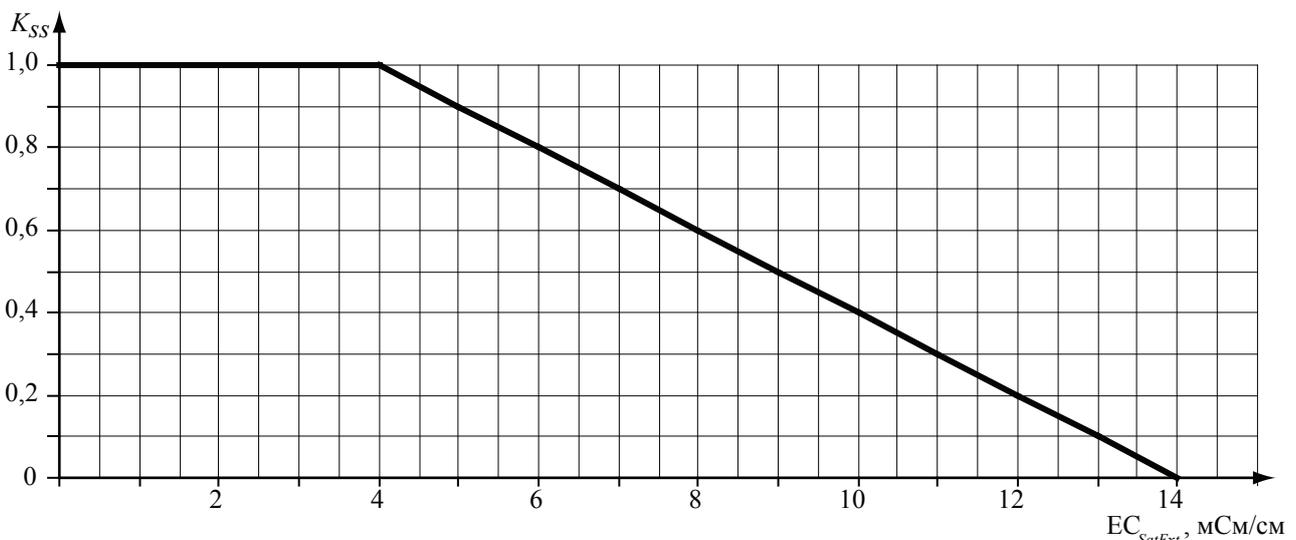


Рисунок. Изменение коэффициента соляного стресса K_{SS} в зависимости от электропроводности почвы (для липы мелколистной)

Для исследования взаимосвязей между указанными свойствами почв и водным стрессом насаждений в г. Москве были подобраны участки (пр. Сахарова, ул. Стромынка, ул. Хабаровская) с посадками липы мелколистной (*Tilia cordata*) разного состояния. Измерение актуальной объемной влажности, температуры и электропроводности почвы проводилось с помощью специального оборудования W.E.T-sensor («Eijkelkamp», Netherlands) в корнеобитаемой зоне до глубины 1 м (через каждые 10 см).

В результате удалось выяснить, что на большинстве участков значения электропроводности (EC_{SatExt}) не превышали $0,77 \pm 0,04$ мСм/см.

Взаимосвязь между значениями электропроводности (EC_{SatExt}) и коэффициентом соляного стресса для липы мелколистной (*Tilia cordata*) выражается зависимостью (экспериментальные данные [3]), изображенной на рисунке. Горизонтальная часть графика демонстрирует взаимосвязь указанных показателей до наступления соляного стресса ($K_{ss} = 1$). При увеличении значений электропроводности происходит изменение коэффициента соляного стресса, что уменьшает значение интенсивности эвапотранспирации

(в том числе за счет ухудшения состояния растений).

Таким образом, используя полученные нами данные и сравнивая их с критическими значениями электропроводности почвы (для липы мелколистной это 4 и более мСм/см), можно сделать вывод о том, что на исследуемых участках не было обнаружено существенного засоления почв и грунтов, влияющих на состояние насаждений. Вместе с тем предложенный подход обеспечивает весьма эффективную оценку по целому ряду показателей состояния почв и грунтов, что может быть использовано при изучении как существующих, так и искусственно создаваемых при посадке насаждений почвенно-грунтовых условий.

Библиографический список

1. Feddes, R.A., Dam van, J.C. and Witte, J.P.M., 2003. Soil Physics and Agrohydrology. Lecture Notes, Chair Soil Physics, Agrohydrology and Groundwater Management. Wageningen University. Wageningen, The Netherlands, 9-11 pp.
2. Maas, E.V., 1990. Crop salt tolerance. In: K.K. Tanji (Ed.), Agricultural salinity assessment and management, ASCE Manuals and Reports on Engineering practice, 71, New York, 619 pp.
3. Weissenhorn, I., 2002. Mycorrhiza and Salt Tolerance of Trees. Final report of EU-project Mycorem, Nederland, 36 pp.

ЛОКАЛЬНЫЕ СУХИЕ ПЯТНА НА ГАЗОНАХ ГОЛЬФ ГРИНОВ КАК СЛЕДСТВИЕ ДЕФИЦИТА ВОДЫ И ГИДРОФОБНОСТИ ПОЧВЫ

Л.В. ПАНИНА, асп. каф. почвоведения МГУЛ

la-lubov@rambler.ru

Основной задачей обслуживания газонов на грингах гольф полей является поддержание однородной по цвету и фактуре поверхности газона. Однако этого не всегда удается добиться. Потерю цвета, увядание, а в крайних случаях и засыхание травы часто приписывают повреждениям насекомыми и болезнями, нарушениям в режиме питания и полива. А что если программа по уходу практически безупречна, но при этом газон все равно имеет изъяны?

Одной из проблем газонов на грингах часто становятся локальные сухие пятна,

которые представляют собой участки неправильной формы с завядшей или погибшей травой (рис. 1). Вначале такие пятна имеют небольшие размеры, до 5–10 см в диаметре. Затем они увеличиваются, внешне напоминая такие заболевания, как долларовые пятна (возбудитель: *Sclerotinia homoeocarpa*), красная нитчатость (возбудитель: *Laetisaria fuciformis*; syn. *Corticium fuciforme*) и др. В действительности причиной появления локальных сухих пятен является пересыхание почвы и развитие почвенной гидрофобности.

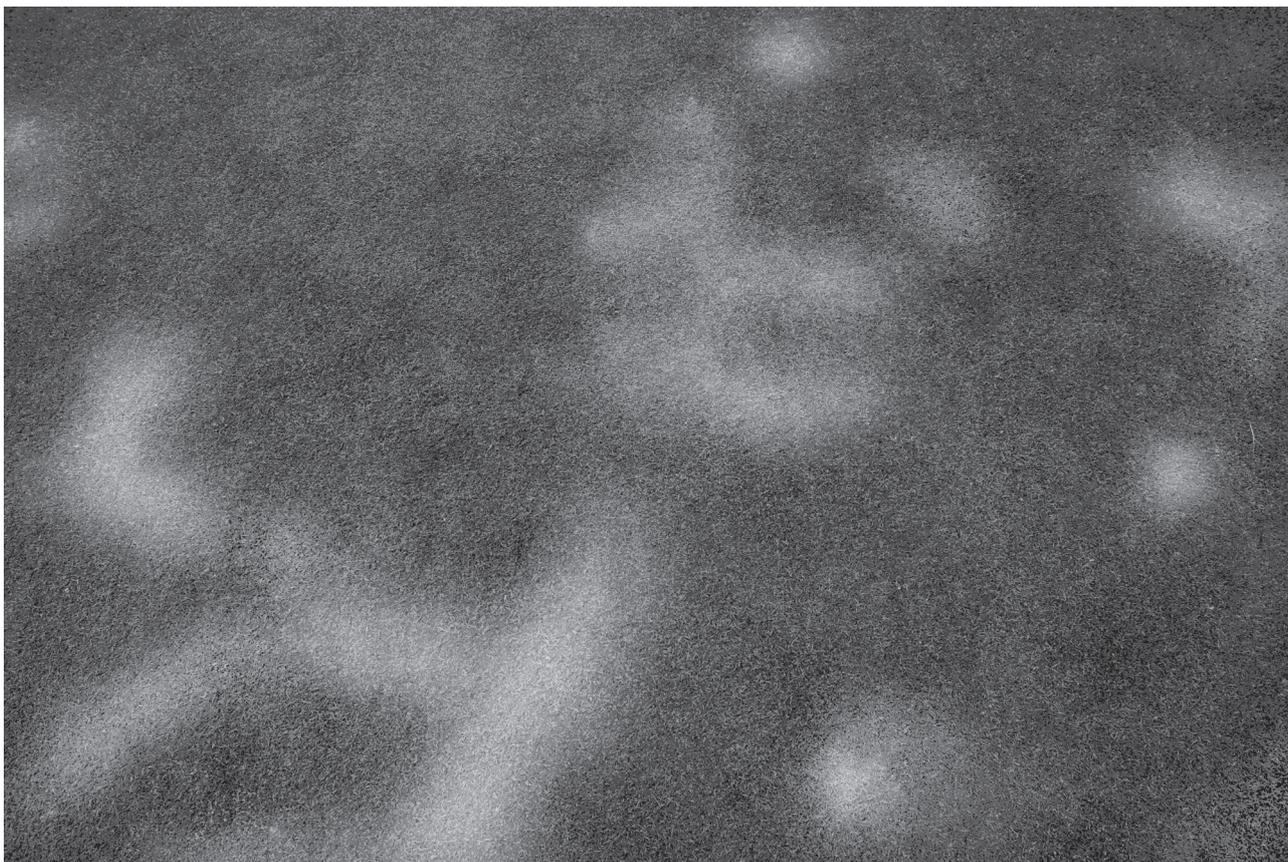


Рис. 1. Локальные сухие пятна на грине

Гидрофобной называют почву, которая не смачивается моментально. Если на поверхность такой почвы поместить каплю воды, то она вместо того, чтобы быстро впитаться в почву, останется лежать какое-то время в виде сплюснутой бусины [4]. Группа исследователей, проведя анализ более ранних работ, отмечала: «Природная гидрофобность в целом является характерной чертой гидрофобного покрытия органического происхождения на частицах почвы, накапливающегося в окружающей среде почвы. Источники этих гидрофобных материалов могут включать: накопленное органическое вещество растительной природы (разложившиеся корни и растительные ткани, выделения корней), выделяемые растениями воски и органические кислоты, гифы грибов, микробные органические кислоты и полисахариды» [5]. Природа оболочки и ее воздействие на процесс смачивания частиц почвы до сих пор не полностью изучены.

Известно, что почва становится гидрофобной в результате пересыхания, когда содержание воды в ней опускается ниже

некоторого критического значения, которое различается среди типов почв и зависит от гранулометрического состава [8]. Когда влажность почвы постепенно увеличивается и находится выше этого критического уровня, гидрофобный эффект временно исчезает. Процесс смачивания гидрофобной почвы занимает некоторое время, и чем оно продолжительнее, тем выше степень гидрофобности или, как говорят, больше ее устойчивость. На границе молекул воды и почвенных частиц гидрофобной почвы постепенно происходит понижение поверхностного натяжения воды, после чего частицы смачиваются, гидрофобный эффект временно ослабевает и вода впитывается в почву. При повторном высыхании почвы гидрофобность может восстанавливаться. Можно утверждать, что гидрофобность почвы является зависимым от времени свойством почвы, так как под воздействием воды устойчивость к смачиванию гидрофобной почвы со временем будет ослабевать. Это увеличение способности почвы намочить делает статистические расчеты гидрофобности неадекватными [4].

Степень гидрофобности для одной и той же почвы может быть неодинакова и часто определяется с помощью *теста на время впитывания капли воды* (ВВКВ) [2]. Голландские исследователи Деккер и Ритзема ввели понятия *актуальная* и *потенциальная* гидрофобность для измерения на свежесобранных и высушенных образцах почвы соответственно [4]. Потенциальная гидрофобность будет всегда выше актуальной, и ее принято считать независимым от времени параметром, который может изменяться только от места к месту в зависимости от разнообразия местной растительности и/или качества и количества органического вещества [8].

Гидрофобность является непостоянным и непредсказуемым свойством и была обнаружена во многих типах почв, но критические случаи были найдены на песчаных почвах [2]. Частицы песка быстрее покрываются органическим материалом в силу их относительно малой площади поверхности, чем частицы других типов почвы [9]. Согласно широко используемым нормативам Ассоциации гольфа Соединенных Штатов для строительства гринов, 30-тисантиметровый почвенно-грунтовый слой должен состоять на 90 % из песка и располагаться на гравийном дренаже [8]. В связи с этим газоны гринов более остальных подвержены развитию гидрофобности.

Гидрофобность и ее пространственная изменчивость вызывают неоднородное увлажнение почвы и неравномерный внутрипочвенный сток воды [2], что приводит к уменьшению количества доступной для растений воды в почве [7, 9]. Главное воздействие гидрофобности на свойства почвы – это снижение скорости инфильтрации, увеличение поверхностного стока, изменение внутрипочвенного транспорта воды [2]. На газонах это приводит к увяданию и засыханию травы и образованию сухих пятен.

Цель данной работы заключается в изучении локальных сухих пятен на разных участках гринга и выявлении причины их появления.

Исследование проводилось на газонах гринов гольф поля Ле меридиен московской кантри клуб в поселке Нахабино Московс-

кой области. Грины гольф поля построены в 1994 г. по методике USGA, газон представлен полевицей побегообразующей. Полив производился регулярно в ночное время с учетом дней с осадками. В целом уход за газоном производится согласно стандартной схемы для гринов [1].

В последние годы на некоторых грингах стали появляться локальные сухие пятна. Было замечено, что пятна появлялись уже в начале лета, и, несмотря на ежедневный полив, они особенно сильно проявлялись в жаркую и сухую погоду. Более остальных гринов пострадал грин 4, он имеет историю с сухими пятнами с 2005 г. Этот грин был выбран для изучения. Грин расположен на небольшой возвышенности, имеет микрорельеф, перепад высот составляет около 1 м, площадь гринга 907 м².

Исследование проводилось в период наибольшего проявления сухих пятен на гринге в июле 2007 и июне 2008 г. В июле 2007 г. они занимали около 20 % площади гринга и располагались хаотично, преимущественно на участках склонов, в июне 2008 г. сухие пятна занимали около 8 % площади гринга и располагались только на склонах.

В дни обследования гринга (10.07.07 и 4.06.08) были выбраны участки газона с разными условиями по внешнему виду: три площадки 1×1 м на участках с сухими пятнами, расположенных на наклонных поверхностях и три контрольные площадки 1×1 м со здоровым газоном на различных участках гринга.

С каждой площадки в трехкратной повторности с глубины распространения корневой системы (до 15 см) и с глубины 20–25 см с помощью бура были собраны образцы почвы для определения содержания органики (метод сжигания), влажности и потенциальной гидрофобности почвы, которая была определена с помощью теста ВВКВ на воздушно-сухих образцах (табл. 1, 2) [2, 3]. С помощью металлических цилиндров были собраны образцы почвы ненарушенного сложения для определения плотности, порозности, а также для определения гранулометрического состава пипетным методом.

Т а б л и ц а 1

Классификация устойчивости гидрофобности [3]

Класс	ВВКВ (сек.)	Характеристика почвы
0	< 5	влажная; не гидрофобная
1	5–60	слабо гидрофобная
2	60–600	сильно гидрофобная
3	600–3600	особо сильно гидрофобная
4	> 3600	чрезвычайно гидрофобная

Т а б л и ц а 2

Тест на время впитывания капли воды и полевая влажность почвы

№ пло- щад- ки/ точка	10 июля 2007 г.						№ пло- щад- ки/ точка	10 июля 2007 г.					
	Газон с сухими пятнами							Здоровый газон					
	ВВКВ, сек			Влажность, %				ВВКВ, сек			Влажность, %		
	5–10	10–15	20–25	5–10	10–15	20–25		5–10	10–15	20–25	5–10	10–15	20–25
1/1	1497	190	66	1,34	1,61	6,13	4/1	68	8	5	8,49	7,17	7,61
1/2	1536	202	34	0,80	2,64	7,77	4/2	39	20	14	10,22	8,56	9,94
1/3	1365	298	45	2,18	3,16	5,73	4/3	55	21	4	13,22	7,12	8,70
2/1	918	306	113	0,84	1,55	5,82	5/1	59	10	2	11,27	7,05	9,04
2/2	502	46	2	2,31	1,04	5,75	5/2	238	4	2	7,52	6,47	7,91
2/3	1002	202	3	2,01	1,02	5,40	5/3	97	2	2	14,09	8,70	10,92
3/1	471	17	3	3,57	3,48	7,23	6/1	110	2	2	9,09	6,51	9,81
3/2	373	61	8	5,25	1,71	6,31	6/2	187	2	1	7,80	7,56	9,93
3/3	576	53	5	4,81	4,67	7,00	6/3	69	18	1	11,12	7,94	8,92
4 июня 2008							4 июня 2008						
7/1	1253	124	54	4,02	4,48	6,58	10/1	137	34	8	13,96	8,86	10,67
7/2	551	21	3	6,61	4,93	5,90	10/2	254	12	11	10,62	8,20	10,45
7/3	989	34	5	5,19	3,66	6,40	10/3	120	21	1	12,65	8,47	10,85
8/1	765	32	8	6,75	2,98	4,69	11/1	105	10	3	11,05	9,32	9,20
8/2	1230	235	2	2,14	3,91	5,34	11/2	126	37	3	10,23	7,69	11,08
8/3	1128	54	2	4,90	3,46	5,13	11/3	65	26	2	12,00	8,86	11,49
9/1	845	32	3	6,64	5,02	8,25	12/1	56	9	2	14,47	10,34	10,88
9/2	764	39	5	5,03	5,22	6,59	12/2	96	23	2	14,10	10,92	12,13
9/3	981	26	2	4,74	5,00	6,82	12/3	45	8	1	11,42	9,64	14,38

Т а б л и ц а 3

Содержание органики, плотность и порозность

Состояние газона на площадке	Норма по USGA	Газон с сухими пятнами			Здоровый газон		
		0–10	10–20	20–30	0–10	10–20	20–30
Глубина взятия образца, см							
Содержание органики (по весу), %		1,52±0,21	0,81±0,04	0,76±0,04	1,47±0,04	0,78±0,04	0,67±0,02
Плотность сложения, г/см ³		1,60±0,01	1,61±0,04	1,60±0,03	1,64±0,02	1,67±0,02	1,70±0,01
Общая порозность, %	35–55	38,67±0,23	38,31±1,43	38,65±1,01	37,34±0,72	35,96±0,58	34,75±0,22
Капиллярная порозность, %	15–25	19,43±0,07	11,99±0,28	13,82±0,23	20,93±0,24	15,88±0,14	18,80±0,60
Порозность аэрации, %	15–30	19,24±0,30	25,32±1,70	24,83±1,23	16,41±0,96	20,09±0,73	15,95±0,29

Гранулометрический состав

Фракции по размеру частиц, мм	Содержание фракции, %	
	Норма по USGA	Грин 4
2,0–3,4	< 10, max 3 % фракции 2,0–3,4 мм	3,35
1,0–2,0		
0,5–1,0	> 60	32,65
0,25–0,50	< 20	46,38
0,15–0,25	< 10	5,31
0,05–0,15		< 5
0,002–0,05		< 5
< 0,002		< 3
		0,21
		0,48

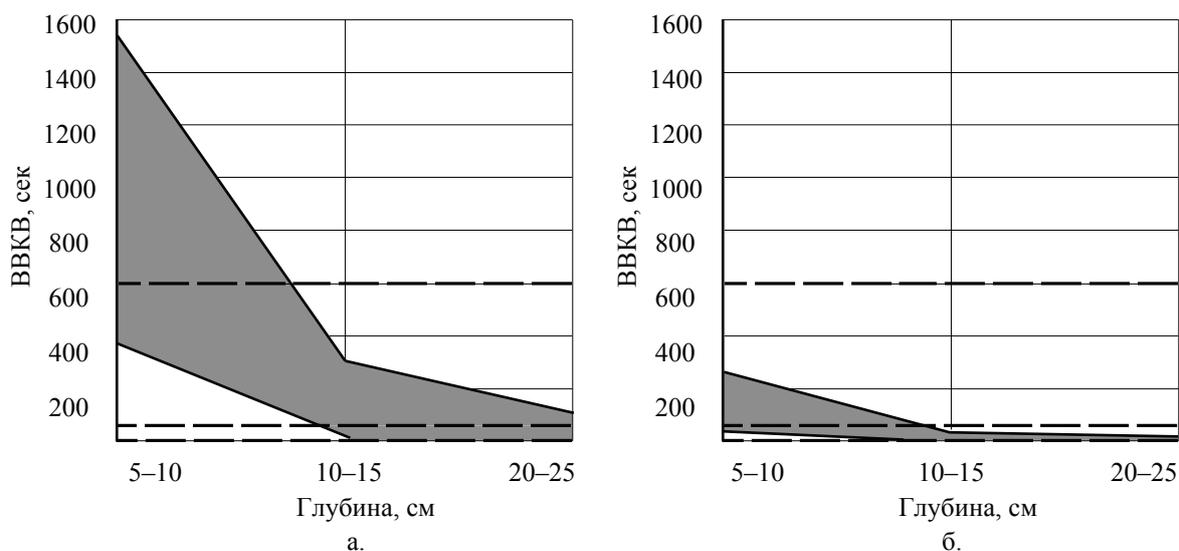


Рис. 2. Диапазон распределения значений показателя ВВКВ, измеренного на 54 образцах почвы, собранных с трех глубин на площадках с сухими пятнами (а) и контроле (б)

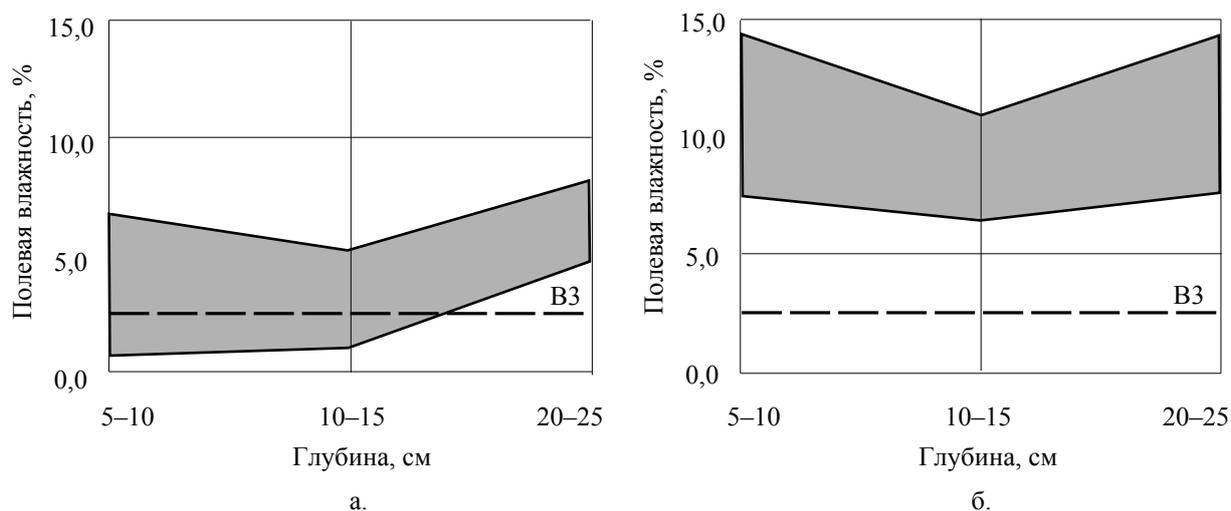


Рис. 3. Диапазон распределения значений полевой влажности почвы, измеренной на 54 образцах почвы, собранных с трех глубин на площадках с сухими пятнами (а) и контроле (б)

В ходе обследования газона наличие заболеваний и поражений насекомыми не было диагностировано.

Полевая влажность почвы на газоне с сухими пятнами была ниже, чем на контрольных площадках, и особенно на глубине

распространения корневой системы, до 15 см (табл. 2). На сухих пятнах влажность почвы увеличивалась с глубиной, кроме того на глубине до 15 см в некоторых случаях она была ниже влажности завядания, равной 2,53 % и измеренной методом вегетационных мини-атюр на растениях полевицы побегообразующей (рис. 3а, б). Это указывает на то, что гибель газона произошла из-за дефицита влаги. На участках со здоровым газоном влажность почвы находилась в пределах доступной для растений влаги, но на глубине 10–15 см она была ниже, чем на других глубинах.

У образцов почвы, собранных с площадок с сухими пятнами, потенциальная гидрофобность была намного больше, чем у контрольных (рис. 2а, б). Степень гидрофобности уменьшалась с глубиной. Самые высокие значения показателя ВВКВ были получены на всех образцах, собранных с верхнего слоя 5–10 см. Вероятно, это связано с большим содержанием органики в верхних слоях (табл. 3).

Плотность почвенно-грунтового слоя на всех исследуемых участках превышала оптимум для газона 1,2–1,3 г/см³, причем на площадках с сухими пятнами она была меньше, чем на здоровом газоне. Общая порозность и порозность аэрация находилась в пределах нормы USGA (табл. 3). На здоровом газоне капиллярная порозность также была в норме.

Содержание органического вещества и гранулометрический состав почвенно-грунтового слоя глина отвечает требованиям нормативам USGA (табл. 3, 4). Содержание органики уменьшалось с глубиной.

В ходе отбора образцов было обнаружено, что глубина слоя песка на грине варьирует от 33 до 55 см, последняя была обнаружена на возвышенном участке. Такая глубина превышает норму, установленную USGA (до 30 см), что говорит о нарушениях в конструкции грина при строительстве. Возможно, это могло повлиять на процесс распределения и удерживания воды в профиле грина и быть причиной его недостаточного увлажнения, о чем также свидетельствует и более низкая капиллярная порозность на глубине 10–30 см. Наряду с этим, даже при регулярном поливе,

участки склона могли испытывать недостаток воды из-за стекания и неравномерного распределения по поверхности грина.

По результатам выполненной работы можно заключить, что причиной низкого качества газона и образования сухих пятен явился недостаток воды в почве. Дальнейшее пересыхание почвы на наклонных участках вследствие указанных факторов привело к развитию гидрофобности, неспособности почвы увлажняться при регулярных поливах и было причиной частичной гибели газона.

Ежедневный визуальный осмотр газона, мониторинг за влажностью почвы в сухие периоды и особенно на наклонных участках грина, своевременный полив на основании наблюдений за погодой, поддержание почвы в состоянии оптимальной для растений влажности являются наиболее простыми способами контроля и предотвращения образования локальных сухих пятен на газоне.

Библиографический список

1. Beard, J.B., 1973. Turfgrass: Science and culture. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey U.S.A. 658 pp.
2. Dekker, L.W., 1998. Moisture variability resulting from water repellency in Dutch soils. Doctoral thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands, 240 pp.
3. Dekker, L.W., Jungerius, P.D., 1990. Water repellency in the dunes with special reference to the Netherlands. *Catena Supplement* 18, 173-183.
4. Dekker, L.W., Ritsema, C.J., 1994. How water moves in a water repellent sandy soil. 1. Potential and actual water repellency. *Water Resources Research* 30, 2507-2517.
5. Moral Garcia, F.J., Dekker, L.W., Oostindie, K., Ritsema, C.J., 2003. Soil Water repellency in the Natural Park of Donana, southern Spain. In: *Soil Water Repellency: Occurrence, Consequences and Amelioration*. Ritsema C.J., Dekker L.W. (eds). Amsterdam, Elsevier. 1: 121-125.
6. Ritsema, C. J., Dekker, L.W., 1994. How water moves in a water repellent sandy soil, 2. Dynamics of fingered flow, *Water Resources Research* 30, 2519-2531.
7. Tucker, K.A., Karnok, K.J., Radcliffe, D.E., Landry, Jr.G., Roncadori, R.W., Tan, K.H., 1990. Localized dry spots as caused by hydrophobic sands on bentgrass greens. *Agronomy Journal* 82, 549-555.
8. USGA Green Section Staff, 1973. Refining the Green Section specifications for putting green construction. *USGA Green Section Record* 11(3), 1-8.
9. Wallis, M.G., Horne, D.J., 1992. Soil water repellency. *Advances in Soil Science* 20, 92-146.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ПОЧВЫ

Б. ДЖАЛИЛ ПУР, асп. каф. почвоведения МГУЛ

babakjalilpour@mail.ru

Хозяйственная деятельность человека нарушает природные биогеохимические циклы, загрязняет воздух, водоемы и почвы различными органическими и неорганическими веществами. Использование разнообразных ядохимикатов в сельском хозяйстве и в быту, отходы двигателей внутреннего сгорания транспортных средств, включая космические, добыча и переработка ископаемых, городские стоки мегаполисов, военные действия и т.д. приводят к нарушению природных циклов и сбалансированных условий окружающей среды. Так, например, тяжелые металлы и химические загрязнители среды, накапливаясь и продвигаясь по пищевой цепи (почва–растения–животные–человек), поражают различные органы животных и человека, вызывая заболевания.

Однако на современном этапе урбанизации и развития общества – это неизбежная реальность. В настоящее время учеными однозначно доказано: чем на более высокой стадии развития находится общество, тем более сложным является его экологическое состояние [1].

Известны различные способы восстановления нарушенных экосистем. В последнее время в экономически развитых и развивающихся странах мира все чаще прибегают к биологической очистке окружающей среды с помощью растений, которые не только сами активно участвуют в процессах фиторемедиации, но и во многих случаях благоприятно действуют на микрофлору почв, повышая эффективность процессов восстановления естественных условий. Совместное симбиотическое использование детоксикационного потенциала микроорганизмов и растений может быть очень эффективным [3].

Считается, что биологический способ восстановления антропогенно нарушенных экосистем является наиболее экономичным и безопасным. Мировой опыт показывает, что

существуют виды растений, накапливающие избыток тяжелых металлов, а также виды, аккумулирующие пестициды и разрушающие их до безвредного состояния [5].

Наименьшую стоимость на сегодняшний день имеют экстенсивные биотехнологии, которые рассчитаны на более длительный промежуток времени и не требуют больших материальных и энергетических затрат, например, фиторемедиация загрязненных почв [6].

Фиторемедиационная технология основана на способности растений удалять токсичные вещества из окружающей среды или превращать их в безопасные соединения – метаболиты.

В настоящее время в ряде районов Ирана сложилась очень напряженная экологическая обстановка. При этом одними из наиболее опасных загрязнителей окружающей среды являются тяжелые металлы. Поэтому изучение способности растений удалять токсичные вещества из окружающей среды является достаточно актуальным для Ирана, как впрочем и для других стран.

Работы проведены в течение двух периодов 2008–2009 гг. в Щелковском учебно-опытном лесхозе МГУЛ. Для проведения эксперимента были взяты 330 трехлетних *Pinus sylvestris*. Растения были посажены в 3-х литровые контейнеры (длиной 19,2 см и шириной 16,8 см). Для исследований была выбрана легкосуглинистая почва Гребневского питомника Щелковского лесхоза с различными уровнями рН (KCL) 3,5; 4,5; 5,5 и 6,5. К каждой группе растений с одинаковым уровнем кислотности весной были добавлены загрязняющие вещества (кадмий) в разных концентрациях 200, 400, 800 и 1600 мг/кг (ppm) [2].

Содержание кадмия определяли в конце вегетационного периода в сухих образцах листьев, корня и стебля на атомно-эмиссионном спектрометре (АЭС) [7].

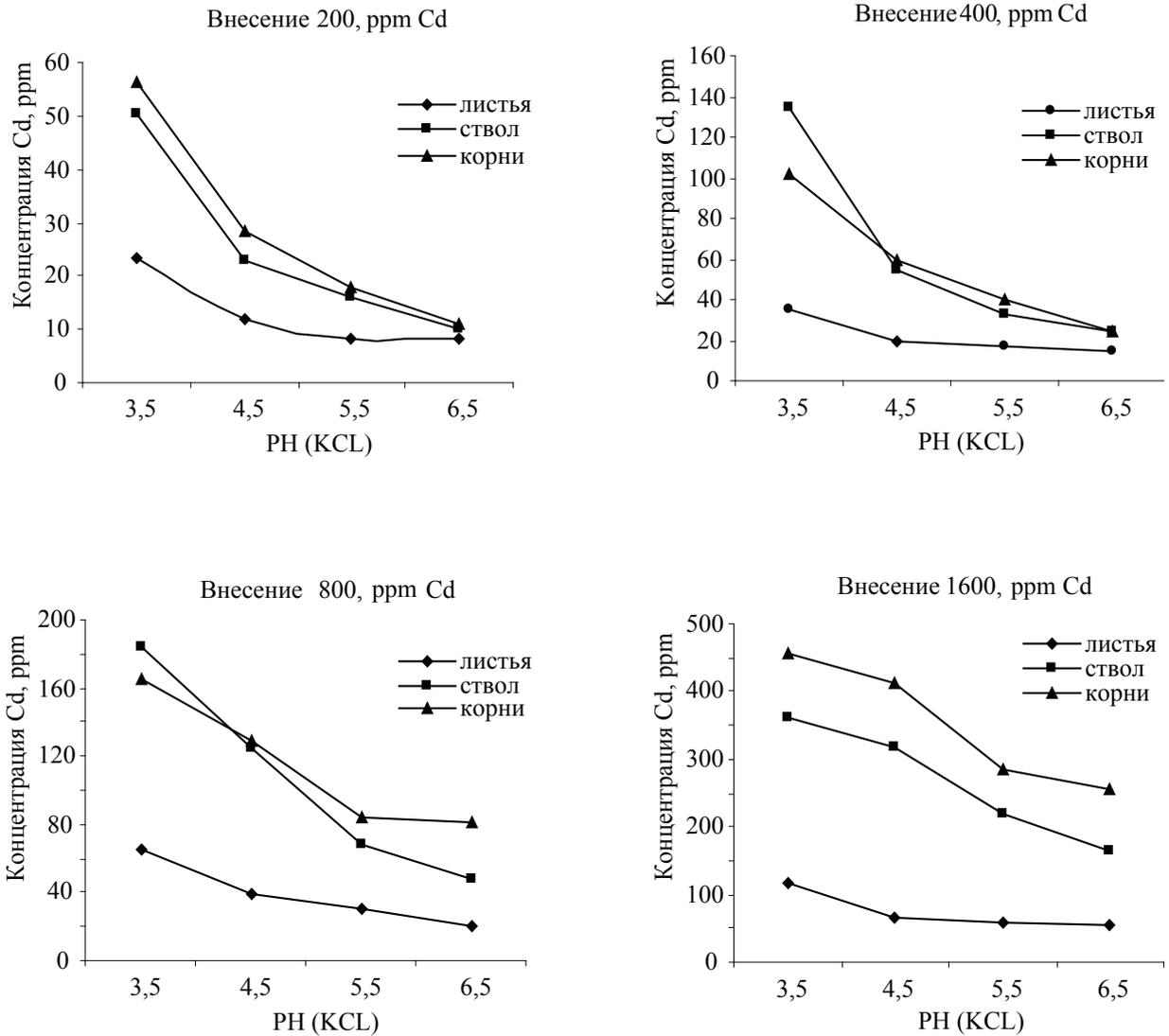


Рис. 1. Содержание кадмия в сосне при различных дозах внесения в почву

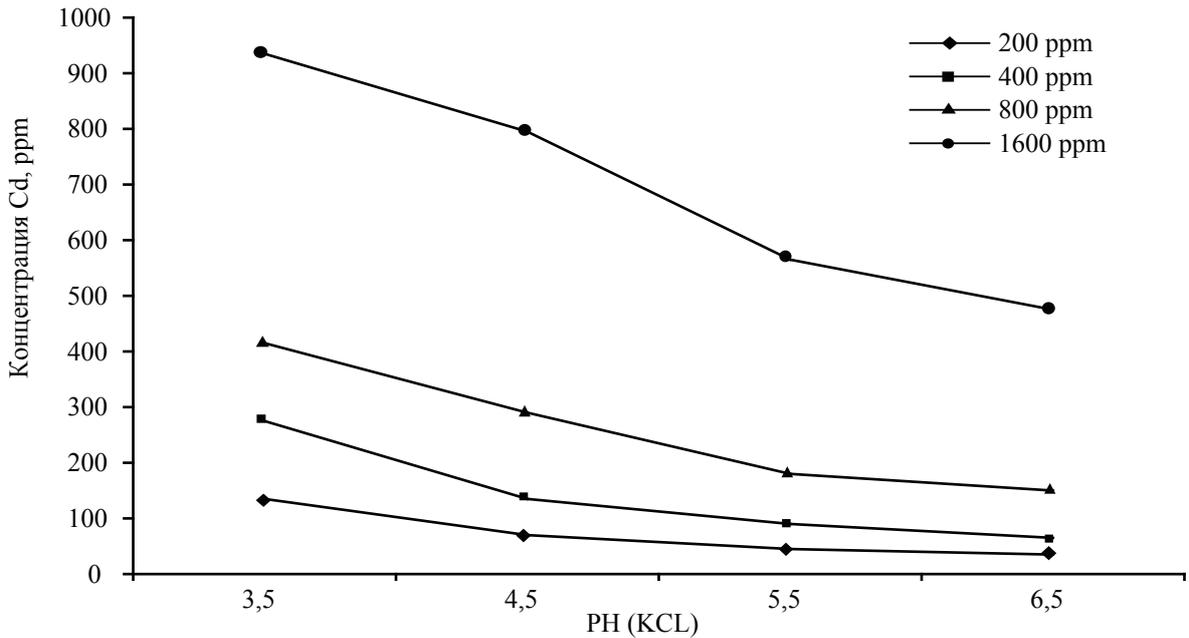
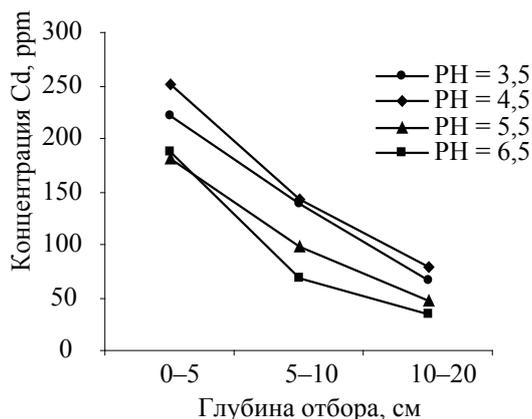
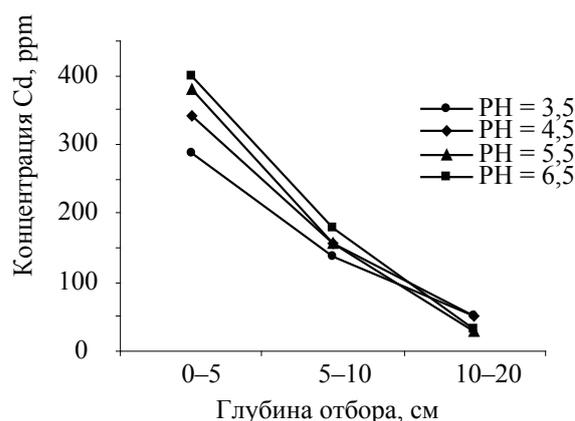


Рис. 2. Суммарное содержание кадмия в сосне при различных дозах внесения в почву

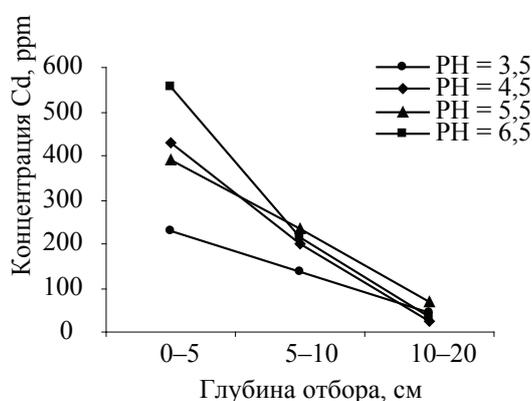
Содержение Cd в почве при внесении 200 ppm



Содержение Cd в почве при внесении 400 ppm



Содержение Cd в почве при внесении 800 ppm



Содержение Cd в почве при внесении 1600 ppm

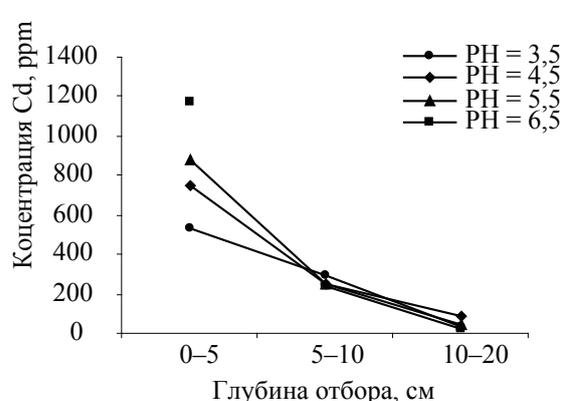


Рис. 3. Содержания кадмия в почве (*Pinus sylvestris*)

Результаты исследований свидетельствуют о том, что трехлетние саженцы сосны за вегетационный период накапливают кадмий от 8,05 до 362,26 мг/кг (ppm). Максимальное количество кадмия наблюдается в корнях, затем в стволах. Минимальное количество содержит хвоя трехлетней сосны. Эта закономерность сохраняется при минимальных (200 ppm) и максимальных (1600 ppm) дозах внесения кадмия в почву (рис. 1).

Хочется отметить, что концентрация кадмия в хвое при максимальном внесении кадмия в почву увеличивается до 5 раз по сравнению с минимальным внесением, а в корне и стволе – до 15–25 раз, а в некоторых случаях и более (рис. 2).

Известно, что кадмий имеет довольно высокую подвижность в почве – в 100 раз более подвижен, чем другие тяжелые металлы [4], и, следовательно, доступность этого элемен-

та для растений является довольно высокой. Поэтому достаточно четко прослеживается зависимость содержания кадмия в растениях от его содержания в почве: чем больше кадмия накапливается в сосне, тем меньше этого загрязнителя в почве. Наибольшее количество кадмия было отмечено в зоне внесения – на глубине 0–5 см в почве и зоне наибольшего его распространения – 5–10 см (рис. 3).

Таким образом, на основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) является эффективным поглотителем таких токсичных веществ, как кадмий. Ее можно использовать в качестве биологического способа восстановления антропогеннонарушенных экосистем. Наибольшее количество кадмия поглощают корень и ствол сосны. Минимальное количество кадмия поглощается хвоей сосны.

Библиографический список

1. Августиневич, А.Н. Культура использования древесных растений / А.Н. Августиневич // Лесной Журнал. – 2008. – № 24. – С. 5–6.
2. Маракуев, С.Т. Использование древесных растений для очищения почвы / С.Т. Маракуев. – М.: Наука, 1992. – 112 с.
3. Черных, Н.А. Изменение содержания ряда химических элементов в растениях под действием различных количеств тяжелых металлов в почве / Н.А. Черных // Агрохимия. – 1999. – № 3. – С. 68–76.
4. Ягодин, Б.А. Агрохимия / Б.А. Ягодин, Ю.П. Жуков, В.И. Кобзаренко. – М.: Колос, 2002. – С. 38–42.
5. Cunningham, S.D., Anderson T.A., Schwab A.P., Hsu F.C., 1996. Phytoremediation of Soils contaminated with organic pollutants. *Adv. agron.* 56, 55-114.
6. Prasad, M.N.V., Hagemeyer, J. (Eds.), (2002), *Heavy Metal Stress in Plants: From Molecules to Ecosystems*. Springer, Berlin, pp. 51–72.
7. Young soo Cho, James A. Bolick and David J. Butcher, Phytoremediation of lead with green onions (*Allium fistulosum*) and uptake of arsenic compounds by moonlight ferns (*Pteris cretica* cv *Mayii*) Original Research Article *Microchemical Journal*, Volume 91, Issue 1, January 2009, Pages 6–8.

**ДИНАМИКА ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОЯСОВ ЗЕМЛИ
В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ**

В.Д. БУРКОВ, *проф. каф. ИИС и ТП МГУЛ, д-р техн. наук,*
 В.С. ШАЛАЕВ, *проф., директор ИСИЛ МГУЛ, д-р техн. наук,*
 Ю.С. КАПРАНОВ, *начальник отдела волоконно-оптической техники*
ОАО НПЦ «Систем прецизионного приборостроения»,
 С.В. ПЕРМИНОВ, *асп. каф. ИИС и ТП МГУЛ*

caf-ptpp@mgul.ac.ru

Взаимодействие техносферы с плазменно-магнитными оболочками Земли проявляется в виде возмущений естественно протекающих процессов в этих оболочках. Возмущения магнитосферы могут носить как временный, так и длительный характер (образование искусственных поясов радиации и т.п.). Кроме того, антропогенное воздействие на электромагнитные оболочки планеты может носить как локальный (радионагрев КВ-излучением, выброс химических веществ, старты ракет и т.п.), так и глобальный («паразитное» излучение от линий электропередач, радиоизлучения средств связи, работа «загоризонтных» РЛС дальнего обнаружения) характер. Техногенные воздействия можно разделить, помимо прочего, на контролируемые и неконтролируемые.

Неконтролируемые воздействия на «эфирные» оболочки Земли можно считать «неизбежной платой» за достаточно высокий уровень развития цивилизации. Что касается целенаправленных, контролируемых воздействий, то тут следует иметь в виду, что происходит вмешательство в точный и хрупкий механизм, который отвечает как за климатические, так и литосферные изменения на

планете. Помимо этого, воздействия на магнитосферу нарушают баланс солнечно-земных связей, к которым весьма чувствительны как биологические, так и социальные процессы. Механизмы солнечно-земных связей еще недостаточно изучены, хотя их влияние бесспорно, как это показал пионер в этой области исследований, А.Л. Чижевский [1]. Влияние этих механизмов на развитие биологических систем определяется потоками солнечных и галактических космических лучей [2, 3].

На пути у потоков солнечных и галактических лучей между источником и биосферой всегда стоял очень мощный барьер – атмосфера и, главное, магнитосфера Земли. На протяжении всей земной истории человечество было лишено технической возможности вторжения в эти защитные оболочки Земли. Но начиная с 50-х гг. XX в. человечество получило возможность (и немедленно этой возможностью воспользовалось) изменять характеристики ионосферно-магнитосферных оболочек планеты.

Воздействия на магнитосферные оболочки планеты проводились в рамках исследований околоземной среды. Исследования производятся путем активных воздействий на

ионосферу и магнитоплазменные оболочки Земли. Например, в качестве источников возмущений в 1958 и 1962 гг. были использованы ядерные и термоядерные взрывы. Возникающие искусственные образования значительно влияют на распространение радиоволн в широком диапазоне частот и оптического (лазерного) излучения [4]. Получаемые искусственные образования могут быть использованы для физического моделирования некоторых геофизических эффектов, возникающих при других типах воздействий.

Существующая модель магнитосферы Земли вполне удовлетворительно работает на дистанциях от 500 до 150 000 км от земной поверхности, в областях переднего фронта магнитосферы и в хвостовой области на расстояниях, превышающих $3R_E$ (R_E – радиус Земли, ~ 3600 км).

Взаимодействуя с «солнечным ветром», магнитосфера Земли захватывает часть частиц, из которых и состоит космическое излучение. Так образовались радиационные пояса Земли, обнаруженные С.Н. Верновым и Дж. Ван-Алленом [5, 6]. Внешний, состоящий в основном из электронов, простирающийся на расстояниях от 10 до 50 тыс. км, имеющий максимальную концентрацию заряженных частиц (электронов) на расстоянии около 17 000 км, и внутренний, образованный, главным образом протонами. Внутренний радиационный пояс расположен на расстояниях от 500–1500 км до 10 000 км. Максимальная концентрация протонов внутреннего радиационного пояса соответствует расстоянию около 3000 км. Именно эти оболочки определяют столь сложную и эффективную защиту всего живого от внешних космических катаклизмов.

1. Методы и средства создания искусственных образований

К настоящему времени уже сложился типовой набор способов создания искусственных образований в ионосфере и магнитосфере [4].

Искусственные пояса радиации

В магнитосфере Земли, помимо естественно существующих радиационных поясов, можно создать искусственные радиационные

пояса путем инъекции заряженных частиц в магнитосферу Земли.

Наиболее простой способ искусственной инъекции заряженных частиц в магнитосферу Земли – высотный ядерный взрыв, был предложен американским физиком Кристофилосом и осуществлен впервые осенью 1958 г. [7].

При космическом ядерном взрыве в магнитосферу Земли инжектируются осколки деления, электроны распада этих осколков. Все эти частицы, будучи захвачены геомагнитным полем, и создадут искусственные радиационные пояса [6]. Максимальный радиус разлета частиц в направлении, перпендикулярном магнитному полю, определяется выражением:

$$\frac{B^2}{8\pi} = \frac{8}{15} \cdot \frac{3W}{4\pi r^3}, \quad (1)$$

откуда:

$$r \approx 51,2 \sqrt[3]{\frac{W}{B^2}}. \quad (2)$$

В выражении (2) r – радиус разлета частиц (в км) в направлении, перпендикулярном магнитному полю,

W – мощность взрыва в килотоннах,

B – напряженность магнитного поля в точке взрыва в Гс.

При достижении указанного радиуса дальнейшее движение частиц перпендикулярно магнитному полю прекратится, и образовавшиеся частицы будут расширяться вдоль силовых линий геомагнитного поля.

Скорость β -распада осколков деления дается следующим приближенным выражением

$$\frac{dN_\beta}{dt} = (1,96 + 1,17t)^{-1} \cdot e^{-0,018t}, \quad (3)$$

где t – время в секундах.

Максимальное число электронов, приходящихся на один акт деления:

$$N_\beta = \int_0^\infty (1,96 + 1,17t) \cdot e^{-0,018t} dt = 6,9. \quad (4)$$

Часть этих электронов будет захвачена геомагнитным полем, образуя при этом сравнительно узкий пояс в пределах тех оболочек, на которых могли оказаться осколки деления.

Ширина искусственного пояса электронов, возникшего за счет β -распада осколков деления ядерного взрыва, определяется мощностью взрыва и напряженностью магнитного поля в точке взрыва.

**Параметры ядерных взрывов, произведенных
в космическом пространстве различными странами**

Страна	Кодовое наименование	Мощность взрыва	Высота подрыва заряда	Географические координаты	Дата
США	Аргус 1	1–2 кт	480 км	12°з.д., 38°ю.ш.	17.08.58
США	Аргус 2	1–2 кт	480 км	8°з.д., 50°ю.ш.	30.08.58
США	Аргус 3	1–2 кт	480 км	10°з.д., 50°ю.ш.	06.09.58
США	Старфиш	1,4 Мт	400 км	170°з.д., 17°с.ш.	09.07.62
СССР	№ 1	500 кт	–	–	22.10.62
СССР	№ 2	<1000 кт	–	–	28.10.62
СССР	№ 3	1000 кт	–	–	01.11.62
КНР	№ 1	<1000 кт	~20 км	85°в.д., 30°с.ш.	27.12.68

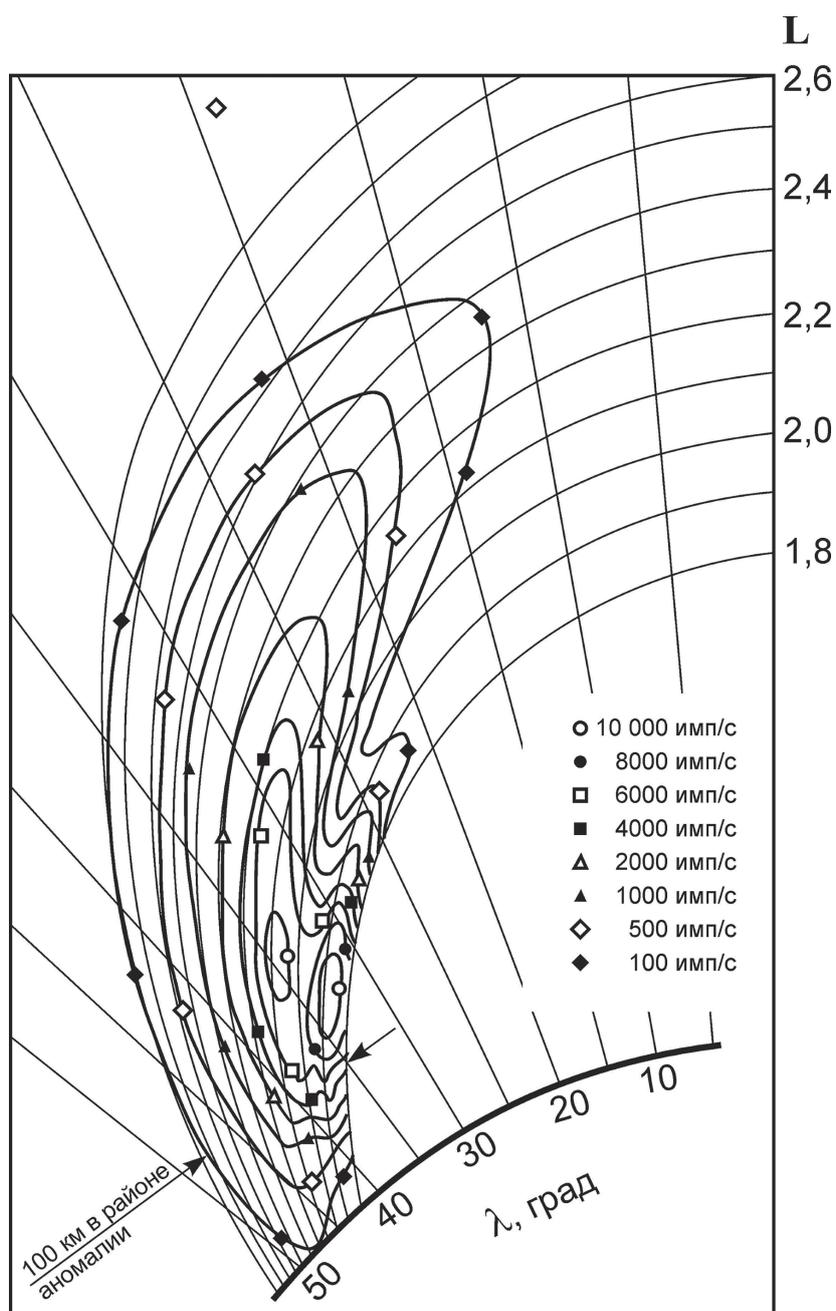


Рис. 1. Карта пространственного распределения электронов, образовавшихся после термоядерных взрывов в октябре 1962 г. [5, 7]

К настоящему времени имеются данные по некоторым ядерным взрывам, произведенным на больших высотах. Результаты наших исследований по данному вопросу [5–7] представлены в табл. 1.

Для взрывов «Аргус 1-3» толщина оболочек радиационных поясов, созданных за счет β -распада осколков деления, составляла 90 км для взрывов «Аргус-1» и «Аргус-2» и 150 км для взрыва «Аргус-3».

9 июля 1962 г. над островом Джонстон (Тихий океан, атолл Джонстон, южнее Гавайских островов) был произведен термоядерный взрыв мощностью 1,4 Мт. В результате этого взрыва образовался пояс искусственной радиации порядка 500–3000 км. Радиус разлета осколков деления ~ 2000 км. Радиус разлета осколков деления был зафиксирован аппаратурой спутника «Космос-5» [5].

Дальнейшие исследования радиационных эффектов термоядерного взрыва 09.07.1962 г. подтвердили полученные ранее результаты, в том числе о сохранении осколков деления в течение длительного времени после взрыва. Возбужденное состояние ионосферы после взрыва 09.07.1962 г. сохранялось продолжительное время [5, 7].

Космические ядерные и термоядерные взрывы примерно в то же время, что и «знаменитый» термоядерный взрыв «Старфиш», проводились и в СССР и в КНР [7]. Как и при американском термоядерном взрыве 09.07.1962 г., было зарегистрировано образование достаточно мощных поясов искусственной радиации и существенные возмущения в ионосфере. Карта пространственного распределения электронов для этих взрывов в координатах λ –L представлена на рис. 1.

Время существования искусственных поясов радиации разными авторами оценивалось по-своему, но надежды на быстрый спад искусственно образованной радиации в околоземном космическом пространстве не оправдались, и по данным С.Н. Вернова с сотрудниками, основанных на результатах многолетних наблюдений, дозы радиации через десять лет после взрыва уменьшились всего лишь в 10 раз.

Основываясь на данных, полученных с помощью спутников «Эксплорер-4», «Инжун-3» и «Реле-2», предполагалось, что доза наведенной радиации будет убывать по закону $t^{-1.5}$ и через 1–3 года наведенная радиация будет неразличима на стационарном фоне. Эти прогнозы не оправдались, и время жизни искусственных поясов радиации превысило расчетные 1000 суток. Потоки частиц, обусловленные экспериментами 1962 г., регистрировались вплоть до 1972 г.

Следовательно, эксперименты, проведенные в 1958 и в 1962 гг., привели к возникновению долговременных искусственных образований, которые получили название искусственные радиационные пояса. Долговременные последствия этих экспериментов до сих пор не изучены.

Мощные радиотехнические средства

Специальные эксперименты по воздействию на ионосферу мощным радиоизлучением были начаты в 1970 г. Уже первые из них, проведенные в США (Боулдер) и СССР (Горький), показали, что для решения задач по взаимодействию радиоволн с ионосферно-магнитосферной плазмой, необходимы радиопередающие системы, обеспечивающие в диапазоне 3–10 МГц эффективную мощность $P_G > 100$ МВт.

В настоящее время в рабочем состоянии находятся только несколько станций КВ-радионагрева атмосферы (табл. 2).

Первая установка по радионагреву ионосферы была создана в Боулдере и начала действовать с 1970 г. Для экспериментов по вертикальному нагреву использовались частоты ниже 10 МГц. Облучаемая область ионосферы на высоте ~ 300 км имеет диаметр ~ 85 км.

Основу мощного экспериментального комплекса «Сура» в Нижнем Новгороде составляют три КВ-передатчика с номинальной мощностью 150 кВт каждый. Антенная система представляет собой горизонтальную фазированную решетку и построена из трех секций с размерами 100×300 м (общие размеры антенны 300×300 м), причем на каждую секцию работает свой передатчик.

Некоторые технические данные по программе «НААРР»

Место расположения станда	Диапазон частот, МГц	Коэффициент усиления антенны G	Эквивалентная мощность, PG, МВт	Примечание
Аресибо (Пуэрто-Рико), 18°N	3,0–12,0	200–400	160–300	
Боулдер (США), 40°N	4,5–9,0 2,7–3,3	60–80 30	120–160 60	
Нижний Новгород (Россия), 56,1°N	4,6–5,75 4,5–9,0 1,2–1,5	100–150 240 35	15,0–22,5 150–320 7,0	Функционирует частично
Тромсе (Норвегия), 69,3°N	2,5–8,0	240	360	
Гакхон (Анкоридж) Аляска, США 145°W, 65°N	2,0–10,0	240	860	Программа НААРР Мощн. изл. 3,7 МВт

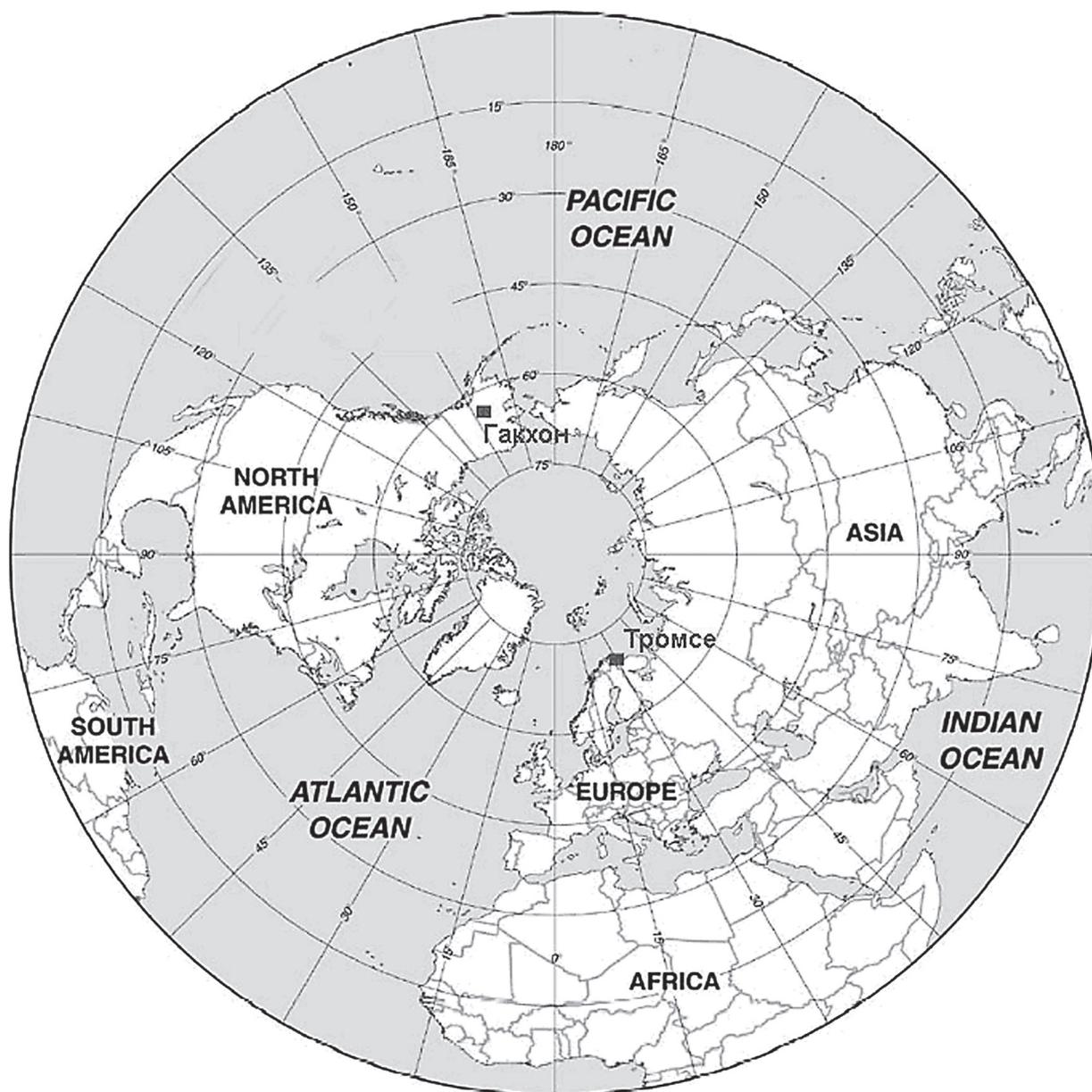


Рис. 2. Взаимное расположение нагревных станций на Аляске и в г. Тромсе

Установка радионагрева в г. Тромсе (Норвегия) имеет антенную систему с линейными размерами ~ 2 км. Особенностью этой установки перед другими является ее соседство с крупными измерительными диагностическими комплексами, такими как станция некогерентного рассеяния EISCAT и двумя европейскими радарными.

В настоящее время появилась информация о нагревной ионосферной станции на Аляске (США), созданной по программе «HAARP». Некоторые технические данные по этой программе приведены в табл. 2.

Суммарная площадь антенной решетки нагревного стенда, созданного по программе HAARP, превышает 20 акров. Суммарная мощность сигнала, излучаемого с помощью антенной системы типа «фазированная решетка», достигает 3,7 МВт в непрерывном режиме. Эквивалентная мощность такой излучательной системы с учетом коэффициента усиления антенной системы достигает гигантских величин, около 1 ГВт непрерывной мощности. По сравнению с энергией, получаемой Землей от Солнца в этом частотном диапазоне, энергия, которая излучается системой HAARP, превышает энергию Солнца на 5–6 порядков.

Помимо собственных характеристик каждой из представленных в табл. 2 антенных систем для ионосферного нагрева, следует учитывать и их взаимное расположение, поскольку синхронная работа двух и более нагревных стендов может привести к возникновению мощных кумулятивных эффектов в магнитосфере. Таким образом синфазная (согласованная) работа таких расположенных в меридианальной плоскости систем может вызвать в магнитосфере эффекты, которые недостижимы при имеющихся уровнях мощности излучения для каждой из нагревных станций.

На рис. 2 приведена карта Северного полушария Земли, на которой отмечены места расположения нагревных станций в г. Тромсе и на Аляске. Само взаимное расположение этих станций говорит о многом.

Воздействие на ионосферу и магнитосферу Земли мощными радиоволнами приводит к широкому кругу явлений в ионосферной

и магнитосферной плазме – крупномасштабным возмущениям температуры и электронной концентрации N_e , модификации профиля электронной концентрации, к возникновению периодических неоднородностей в D -, E -, и F -областях. Эти воздействия приводят к возникновению различного рода неустойчивостей, генерации ускоренных электронов и резонансному взаимодействию с захваченными частицами радиационных поясов Земли. Мощные радиоволны, облучающие ионосферу, вызывают модуляцию ионосферных токовых систем, что влечет за собой появление искусственного низкочастотного излучения и генерацию искусственного радиоизлучения ионосферы.

При облучении ионосферы возникают неоднородности с измененной электронной концентрацией – в литературе такие неоднородности называют «ионосферными пузырями» или «диамагнитными полостями». Как показали теоретические исследования, процессы модификации магнитосопреженных областей ионосферы вызывают процессы перераспределения плазмы вдоль всей силовой трубки [8]. В то же самое время Г.Л. Гдалевич с сотрудниками опубликовал ряд работ по тропическому циклогенезу, из которых наиболее интересна работа [9]. На основании данных по корреляции солнечных вариаций и интенсивности годового тропического циклогенеза было показано наличие связей между геомагнитной активностью Земли и генерацией крупномасштабных вихревых систем. Позднее (2002 г.) было показано, что нелинейные возмущения типа «диамагнитных пузырей» в ионосфере могут возникать спонтанно, под действием внутренних гравитационных волн. Активность таких внутренних гравитационных волн определяется индексом солнечной активности и характером возбуждения внешней плазмосферы. В процессе естественного развития эта возмущенная область перемещается по нормали к геомагнитному полю в сторону поверхности Земли. В то же время за счет вращения Земли возмущенная область перемещается с востока на запад (в северном полушарии), т.е. против часовой стрелки. За счет трения между слоями возмущение передается в стратосферу и верхнюю тропосферу.

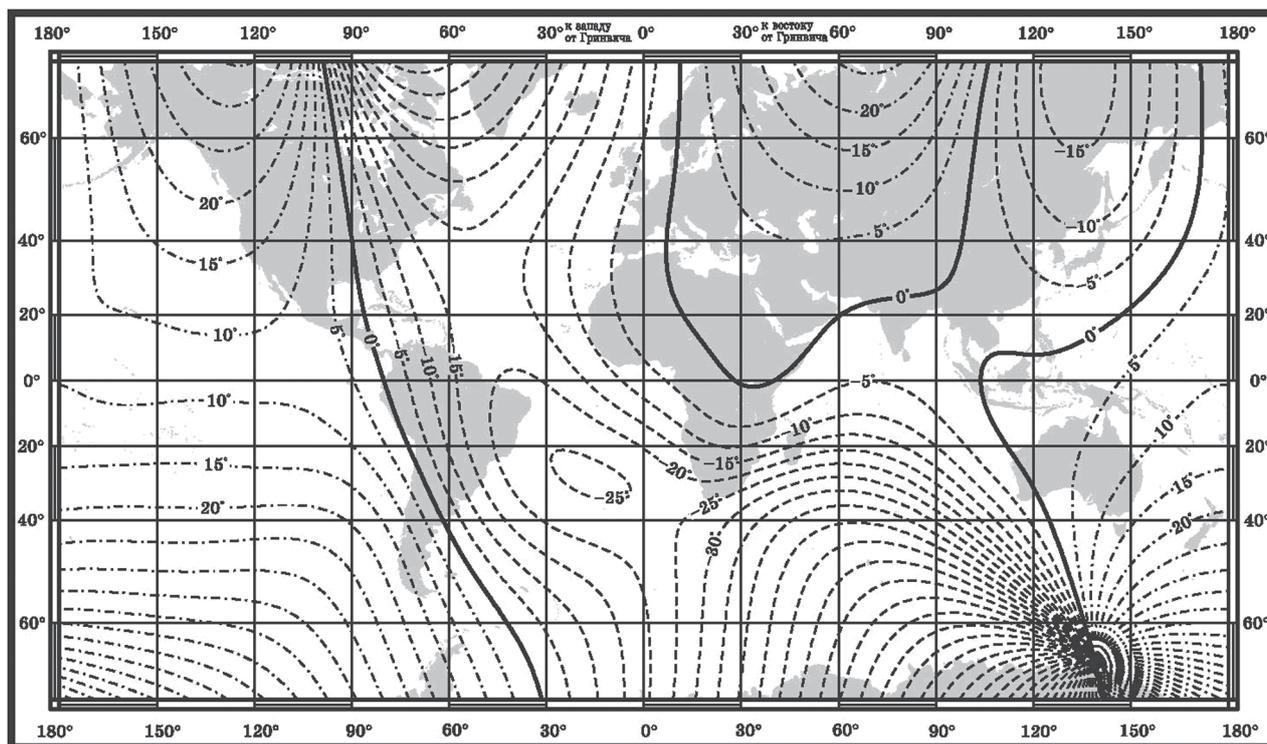


Рис. 3. Карта магнитных склонений на 2000 г. по всемирной магнитной модели WMM-2000. Интервал между соседними контурами равен 5°. Штрих-пунктиром обозначено положительное (восточное) магнитное склонение, пунктиром – отрицательное (западное) магнитное склонение

Те же процессы происходят и в магнитосопряженной области. Возникает момент сил, который передается в верхнюю тропосферу и может служить спусковым или «триггерным» механизмом запуска очередного тайфуна.

В работе [8] приведена математическая модель высокоширотной F -области, которая была применена на моделировании ионосферного отклика на воздействие мощных коротких радиоволн. Моделирование проводилось для части магнитной силовой трубки, которая пересекает на уровне F -слоя область, облучаемую норвежским нагревным стендом (Тремсе), когда он находится вблизи магнитного меридиана (табл. 2). Существенные изменения профилей электронной температуры, скорости положительных ионов и электронной концентрации возникнут в ночном F -слое вследствие высокочастотного нагрева. Расчеты показывают, что обусловленное 20-секундным прямоугольным импульсом возмущение должно длиться не менее 20 мин на уровне максимума F -слоя. В течение этого периода возмущенный плазменный объем может покинуть область, облучаемую

нагревным стендом, и удалиться от него на расстояние более 500 км. Область с такими параметрами и представляет собой «диамагнитный ионосферный пузырь». Скорость перемещения возбужденной области может достигать 1500 км/ч. Точно такая же возмущенная область возникнет в магнитосопряженной области. Образующийся момент сил может сыграть роль спускового механизма при «запуске» очередного разрушительного тайфуна. Правда, исходя из представленной в [9] модели, тайфуны будут возникать исключительно в приэкваториальной области. Наибольшая эффективность такого рода воздействий будет соответствовать утренним и вечерним сеансам облучения [10].

2. Динамика магнитных полюсов и напряженности околоземного магнитного поля

Магнитное поле Земли у поверхности планеты. Основные параметры

В соответствии с принятыми в настоящее время моделями магнитное поле Земли

представляет собой поле эквивалентного магнитного диполя, который характеризуется геометрическим расположением внутри Земли и магнитным моментом. Магнитное поле Земли и параметры эквивалентного магнитного диполя подвержены существенным изменениям во времени. Измерения магнитного поля Земли проводятся регулярно, и модели геомагнитного поля уточняются каждые 10 лет. На поверхности Земли геомагнитное поле характеризуется «магнитным склонением» и «магнитным наклонением». Эти параметры указывают, насколько реальное геомагнитное поле отличается от магнитного поля, создаваемого симметричным эквивалентным магнитным диполем.

На рис. 3 приведена крупномасштабная карта магнитных склонений на 2000 г.

Математические модели моделируют именно главное поле Земли и его вековые вариации. Процедура приближения модельного поля к главному полю достигается разложением на сферические гармоники. Величина, характеризующая магнитное поле Земли непосредственно у поверхности планеты, описывается формулой (5)

$$U(l, \Theta, \varphi) = R_3 \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{R_3}{a} \right)^{n+1} \times (g_n^m \cos m\varphi + h_n^m \sin m\varphi) P_n^m \cos \Theta. \quad (5)$$

Получаемая величина U является скалярной и представлять вектор магнитного поля в выбранной точке не может. Величина U называется геомагнитным скалярным потенциалом. Напряженность магнитного поля B получается из геомагнитного потенциала U путем взятия градиента с обратным знаком $B = -\text{grad } U$.

Хорошие современные модели эталонного геомагнитного поля, такие как IGRF или «всемирная магнитная модель» («World Magnetic Model» WMM), имеют точность в пределах 30' для магнитного склонения и наклонения и в пределах 0,2 мкТл по интенсивности.

Динамика магнитного поля Земли. Дрейф полюсов

Существующие модели IGRF и WMM не предсказывают поведение магнитных аномалий или дрейф полюсов с абсолютной точ-

ностью. Характер векового дрейфа магнитных полюсов в течение XX века имеет пока не выясненную природу, но процессы, приводящие к изменению положения геомагнитного диполя, имеют явную тенденцию к ускорению, особенно хорошо это видно на примере дрейфа Северного магнитного полюса. Хотелось бы особо отметить, что дрейф магнитных полюсов Земли, изменение рисунка изолиний магнитного склонения, все эти явления имеют наиболее выраженную картину непосредственно на поверхности земного шара. По мере удаления от поверхности планеты эта картина микшируется, смягчается и уже на расстояниях порядка 100 км от поверхности Земли существенное влияние на картину геомагнитного поля оказывает лишь такое мощное локальное возмущение, как бразильская магнитная аномалия.

Несмотря на лабильность параметров геомагнитного поля и зависимость его характеристик от времени (вековой ход магнитных полюсов) в литературе почему-то утвердились «незыблемые» значения параметров эквивалентного магнитного диполя [4, 6]. Эти значения соответствуют параметрам геомагнитного диполя для эпохи 1970 г. В эту эпоху геомагнитное поле соответствовало полю эквивалентного эксцентричного диполя, смещенного относительно центра Земли на 436 км в направлении точки поверхности земного шара с координатами 15,6° с.ш., 150,9° в.д. Ось эквивалентного магнитного диполя в эпоху 1970 г. была наклонена относительно земной оси на 11,5°. С течением времени ось эквивалентного магнитного диполя изменила свое местоположение, и к началу XXI в. можно говорить, что ось эквивалентного магнитного диполя наклонена на угол порядка 10°. Координаты центра эксцентричного магнитного диполя и характер его изменения, а также магнитного момента в течение XX в. приведены в табл. 3.

Для табл. 3 приняты следующие обозначения. X, Y, Z – положение эксцентричного диполя в прямоугольных декартовых координатах (начало координат находится в центре масс Земли, ось X проходит 0° д., 0° ш., расположенную на гринвическом меридиане, ось Y – через точку 90° з.д., 0° ш., ось Z направлена к Северному географическому полюсу).

Положение центра эксцентричного диполя Земли и координаты его полюсов

Модель	Положение центра				Сев. полюс		Юж. полюс	
	X (км)	Y (км)	Z (км)	d (км)	С. ш.	З. д.	Ю. ш.	В. д.
DGRF-45	-355,24	175,47	92,33	406,83	80°54'	83°52'	75°31'	121°05'
DGRF-50	-359,03	190,67	101,29	418,95	81°02'	84°23'	75°23'	120°41'
DGRF-55	-362,59	203,52	110,75	430,30	81°09'	84°56'	75°15'	120°17'
DGRF-60	-365,90	214,78	122,42	441,58	81°18'	85°34'	75°11'	119°59'
DGRF-65	-368,77	223,78	133,56	451,57	81°24'	86°16'	75°08'	119°37'
DGRF-70	-373,13	230,96	146,40	462,60	81°32'	87°04'	75°06'	119°24'
DGRF-75	-378,57	237,02	159,83	474,38	81°41'	87°59'	75°07'	119°17'
DGRF-80	-385,41	247,49	170,21	488,63	81°53'	89°03'	75°07'	119°10'
DGRF-85	-391,78	258,51	178,73	502,26	82°09'	90°03'	75°09'	119°11'
DGRF-90	-396,49	270,82	185,88	514,87	82°23'	91°03'	75°11'	119°03'
IGRF-95	-400,51	282,84	192,87	526,89	82°39'	92°12'	75°14'	118°52'
IGRF-2000	-401,86	300,25	200,61	540,27	83°03'	93°30'	75°34'	118°66'

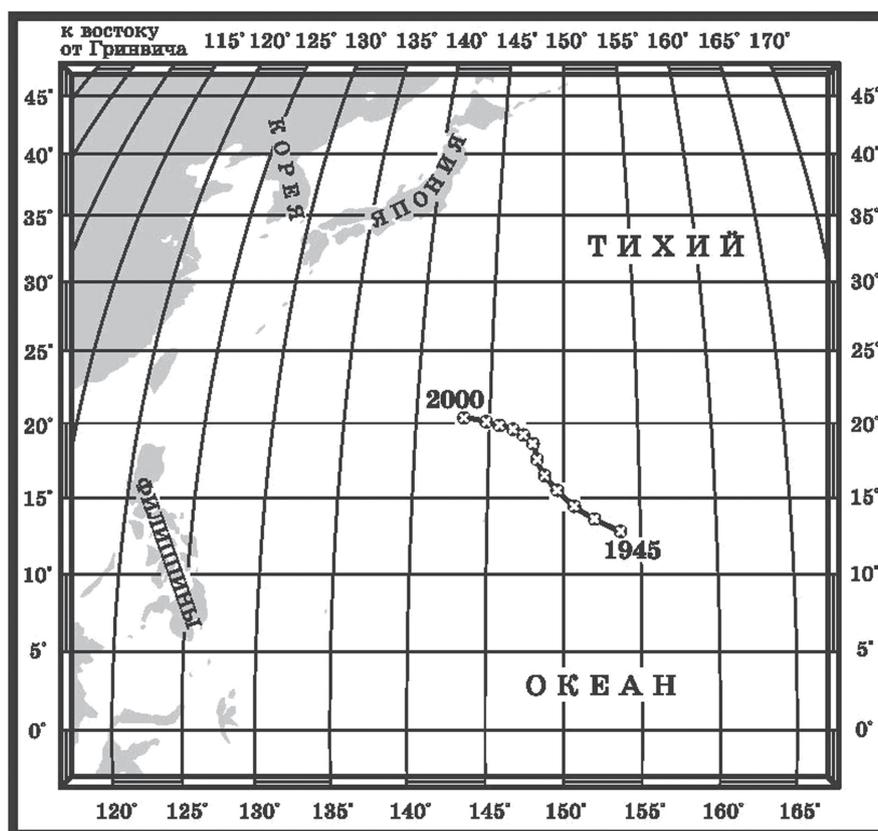


Рис. 4. Проекция центра эксцентричного диполя из центра Земли на ее поверхность за период 1945–2000 гг. (модель IGRF)

Тогда расстояние от центра масс Земли до центра эксцентричного диполя выражается формулой

$$D = \sqrt{X^2 + Y^2} . \quad (6)$$

Проекция центра эксцентричного диполя на поверхность Земли может быть найдена из следующих соотношений

$$\text{широта } \lambda = \arcsin(Z/d), \text{ [град]}, \quad (7)$$

$$\text{долгота } \varphi = 90^\circ - \arctg(X/Y), \text{ [град]}. \quad (8)$$

В 2000 г. эта точка находилась в северо-западной части Тихого океана, у северной оконечности Марианских островов.

Характер дрейфа проекции центра эксцентричного геомагнитного диполя по поверхности Земли показан на рис. 4.

Динамика геомагнитного поля особенно ярко проявляется при дрейфе магнитных полюсов. Дрейф полюсов в XX в. покрывал обширные районы Арктики и Антарктики. На рубеже XXI в. Южный магнитный полюс покинул территорию материковой Антарктиды и переместился в Индийский океан. Весьма интересна и динамика такого дрейфа. Если Южный магнитный полюс несколько снизил скорость своего перемещения, то Северный магнитный полюс резко (в разы!) увеличил скорость дрейфа. Характер перемещения Северного магнитного полюса в XX столетии представлен на рис. 5.

Если в начале 1970-х гг. ускорение движения Северного магнитного полюса составляло величину $0,22 \text{ км/год}^2$, то к концу 1990-х гг. ускорение движения северного магнитного полюса достигло отметки $2,21 \text{ км/год}^2$. Из источников по палеомагнитным наблюдениям и истории таких наблюдений известно, что за последние 450 лет наклон эксцентричного диполя по отношению к оси вращения планеты сперва увеличивался от $3^{\circ}06'$ до $11^{\circ}30'$, а теперь снова стремительно уменьшается – со скоростью около $2'24''$ в год.

Еще удивительнее ведет себя общий магнитный момент планеты М: он монотонно убывает. Всего за 450 лет напряженность магнитного поля Земли уменьшилась почти на 20 %. Палеомагнитные данные говорят о том, что убывание М продолжается уже около двух тысячелетий, причем в последние века его величина падает особенно интенсивно. Динамика магнитного момента Земли достаточно точно описывается линейным законом

$$M = (8,27 - 0,004t) \cdot 10^{15} \text{ Тл} \cdot \text{м}^3, \quad (9)$$

где t – время в годах, отсчитываемое вперед или назад от 1900 г.

Экспериментальный характер этой зависимости приведен на рис. 6.

Приблизительно с 1970 г. ситуация еще усугубилась. Коэффициент перед t в возрос до 0,006. Ослабление общего магнитного момента планеты неизбежно скажется на характере взаимодействия магнитосферы с потоками солнечной плазмы, что изменит обстановку на околоземных орбитах не только в области полярного каспа, но и на всем протяжении магнитосферы.

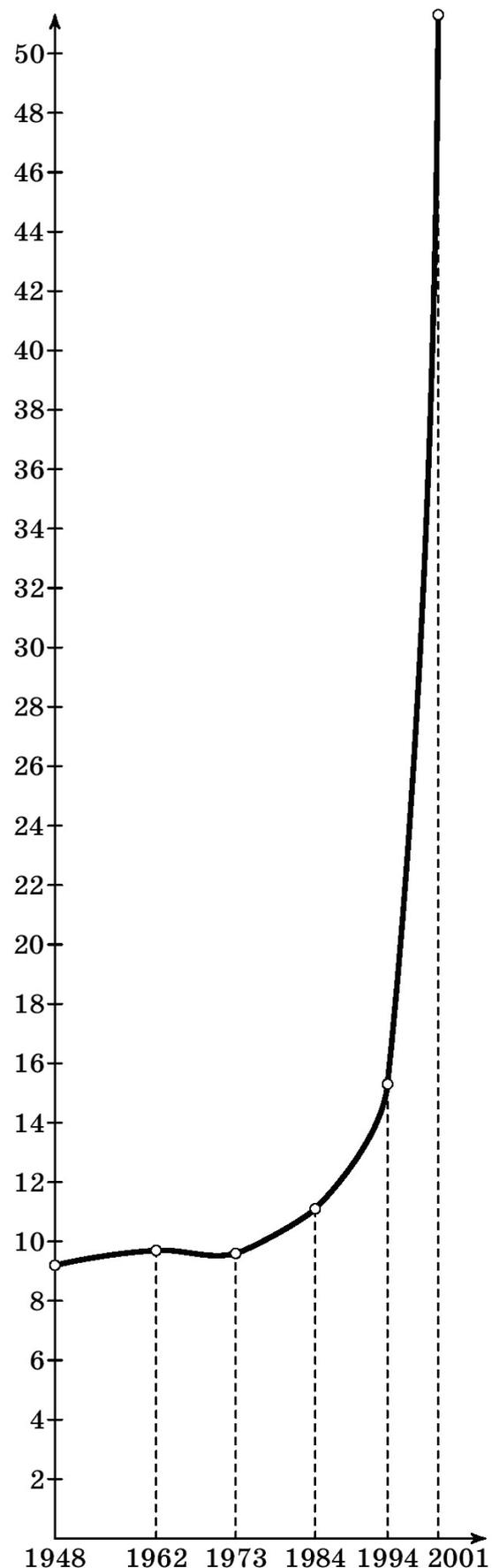


Рис. 5. Скорость дрейфа северного магнитного полюса в 1948–2001 гг. (км/год)

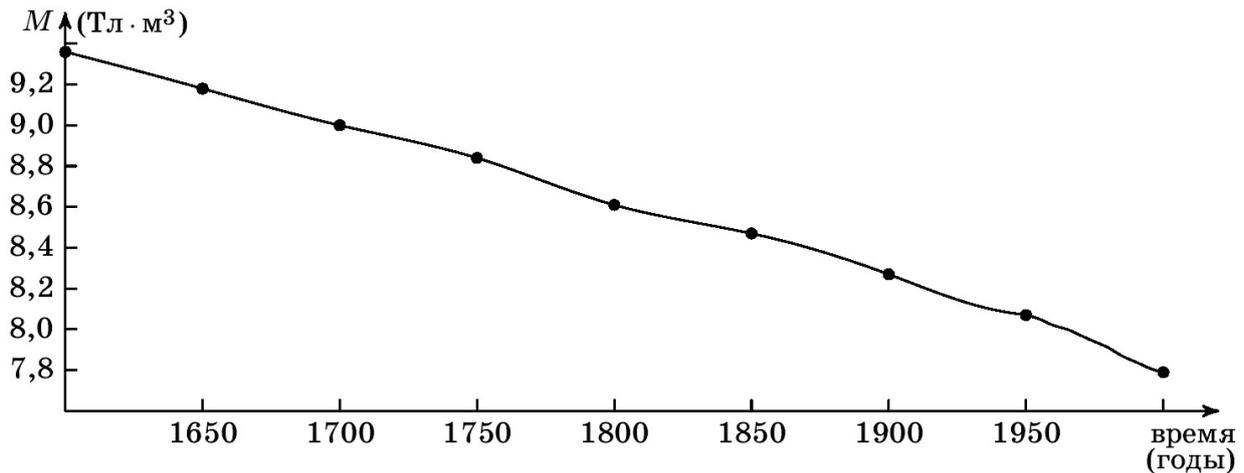


Рис. 6. Падение дипольного момента Земли за четыре столетия

Как показывает история развития активных экспериментов в верхней атмосфере и ионосфере Земли, и в дальнейшем следует ожидать интенсивного проведения подобных экспериментов [4]. Следовательно, эти воздействия приводят к изменению общей картины магнитосферы Земли.

Изменяя случайным образом параметры магнитосферы, мы неизбежно изменяем параметры верхней атмосферы, что приводит к образованию случайных неустойчивостей, которые в процессе развития вызывают аномальные атмосферные процессы. К сожалению, к настоящему времени сложно оценить масштабы этой разбалансировки.

Участившиеся в последние годы аномальные атмосферные процессы могут быть откликом системы на дополнительные воздействия. Эффект от такого воздействия в локальной области сопоставим с воздействием мощной солнечной вспышки. Поэтому триггерные механизмы запуска разрушительных явлений могут быть обусловлены искусственным вмешательством в магнитосферные процессы.

Данные, представленные в настоящей работе, могут свидетельствовать как *pro-*, так и *contra-* гипотезы о влиянии техногенных процессов на характер изменения магнитного поля Земли. Возможно, что мы имеем дело с естественными циклическими процессами. Правда, корреляция резких изменений параметров земного магнитного поля с техногенными процессами, на которые был так богат XX в., настораживает. Смущает и привязка во времени ускорения дрейфа магнитных по-

люсов и окончания Второй мировой войны. Именно в этот период получило широкое распространение телевидение и радиолокация (радионагрев ионосферы), впервые было использовано ядерное оружие, были проведены ядерные и термоядерные взрывы в околоземном космическом пространстве.

Помимо вышесказанного, нарушение установившихся солнечно-земных связей может изменить степень влияния Солнца на состояние биосферы. К сожалению, к настоящему времени сложно оценить масштабы этой разбалансировки. Статистика, которой располагают авторы, не позволяет количественно определить изменения, происходящие в биосистемах под воздействием изменения собственных параметров магнитосферы.

Можно сделать следующие выводы:

1. Наблюдается ярко выраженная тенденция к дальнейшему совершенствованию и модификации существующих средств и разработке новых источников искусственного возмущения ионосферы, верхней атмосферы и магнитосферы Земли.

2. При искусственном возмущении околоземного космического пространства возможен произвольный запуск весьма разрушительных механизмов. Уровень и качество экспериментальных и теоретических исследований по проблеме в целом не позволяют в данный момент разработать и предложить обоснованные критерии экологической безопасности при проведении такого рода экспериментов. В том случае, если искусственное воздействие на магнитосферу совпадет с

мощной солнечной вспышкой, при наличии кумулятивного эффекта, последствия для всего живого на Земле могут носить непрогнозируемый характер.

3. Процессы, наблюдаемые при изучении земного магнетизма, особенно при изучении дрейфа геомагнитных полюсов, позволяют сделать предположение, что интенсивная техногенная нагрузка на внешнюю магнитосферу может вызвать обратный отклик. Изменяя параметры внешней магнитосферы мы (человечество) способны спровоцировать нежелательный отклик в работе «геомагнитного динамо», сама физика работы которого во многом еще не изучена в достаточной степени.

4. Отдаленные последствия экспериментов по «модификации» магнитосферных оболочек Земли для развития биосферы планеты и общественных процессов пока не поддаются количественному учету. Изменение «эфирных оболочек» Земли способно «запустить» неконтролируемые процессы в природе и обществе.

Библиографический список

1. Чижевский, А.Л. Космический пульс жизни: Земля в объятиях Солнца. Гелиотараксия / А.Л. Чижевский. – М.: Мысль, 1995. – 720 с.
2. Ягодинский, В.Н. Нами правит Космос / В.Н. Ягодинский. – М.: РИПОЛ КЛАССИК, 2003. – 256 с.
3. Гумилев, Л.Н. Этносфера и космос / Л.Н. Гумилев, К.П. Иванов. // Космическая антропоэкология: техника и методы исследования: Матер. II Всесоюзного совещания по космической антропоэкологии. – М.: 1988. – С. 211–220.
4. Козлов, С.И. Методы и средства создания искусственных образований в околоземной среде и оценка характеристик возникающих возмущений. 1. Методы и средства создания искусственных образований / С.И. Козлов, Н.В. Смирнова // Космич. исслед., 1992. – Т. 30. – Вып. 4. – С. 495–523.
5. Бурлаков, А.Б. Регуляторные механизмы солнечно-земных связей и деятельность человека / А.Б. Бурлаков, Ю.С. Капранов, С.В. Перминов // Матер. V междисциплинарной научной конференции Этика и наука будущего. Жизнь во Вселенной. Ежегодник, 2005. – М.: Дельфис, – С. 165–171.
6. Перминов, С.В. Анализ влияния ионизирующих излучений космического пространства на работоспособность и срок службы элементов волоконно-оптических систем передачи данных / С.В. Перминов // Электромагнитные волны и электронные системы, 2003. – Т. 8. – № 9. – С. 40–44.
7. Капранов, Ю.С. К вопросу о нарушениях регуляторных механизмов солнечно-земных связей за счет деятельности человека / Ю.С. Капранов, С.В. Перминов, А.Б. Бурлаков // матер. международной конференции «Актуальные проблемы экологической физиологии, биохимии и генетики животных». – Саранск: Мордов. ун-т, 2005. – С. 96–101.
8. Власов, М.Н. Моделирование эффектов антропогенных воздействий в сопряженных областях ионосферы и плазмосферы / М.Н. Власов, С.А. Ишанов, В.В. Медведев // Космич. исслед., 1994. – Т. 32 – № 1. – С. 154–158.
9. Гдалевич Г.Л. Магнитосферные процессы как стимуляторы глобального тропического циклогенеза / Г.Л. Гдалевич, И.В. Покровская, Е.А. Шарков // Космич. исслед., 1994. – Т. 32. – № 2. – С. 108–111.
10. Библиогр. указ. «Воздействие мощным радиоизлучением на ионосферную плазму» 1925–1979 гг., 1979–1983 гг., 1983–1985 гг., 1986–1988 гг. Горький: НИРФИ, 1980, 1983, 1986, 1989.

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ КАТАСТРОФ ПОСРЕДСТВОМ ИННОВАЦИОННЫХ ФИНАНСОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Н.А. ХУТОРОВА, доц. каф. стратегического маркетинга МГУЛ, канд. экон. наук

legion_o@mail.ru

Стремительное развитие рынков, повышение волатильности и возникновение глобальных угроз вследствие роста антропогенной нагрузки стимулировали активное появление инновационных финансовых инструментов. В современных условиях высокой неопределенности проблема управления глобальными, техногенными рисками приоб-

ретает все большую значимость. Существует множество моделей управления различными рисками, но все они разделяются на два вида: управления рисками в значении превентивных мер по недопущению неблагоприятной ситуации и комплекс мер, которые компенсируют финансовые потери вследствие наступления неблагоприятного события.

Человечество, достигнув пределов роста антропогенной нагрузки на экосистему, вынуждено активно формировать модели управления рисками, создавая принципиально новые финансовые инструменты, многие из которых представляют собой финансовые инновации. Финансовая инновация предоставляет участникам рынка возможность маневренности в ранее неизведанном масштабе, превращая тот или иной товар в объект рынка не товарного, а уже финансового.

В современных условиях резко возросла потребность в эффективных инструментах, позволяющих хеджировать, преобразовывать и перемещать рыночные риски, что вызвало бурный рост новых финансовых инструментов и технологий, способных решать указанные проблемы. Важнейшим направлением генерации финансовых инноваций является процесс секьюритизации, то есть процесс, посредством которого различные финансовые и нефинансовые активы оформляются в ценные бумаги, которые затем распространяются среди инвесторов. Такие ценные бумаги в международной практике известны как ABS (англ. «asset-backed securities», обеспеченные активами ценные бумаги). Секьюритизирован может быть любой настоящий или будущий денежный поток, генерируемый активами. По мере роста и развития рынка ABS расширялся и список активов, поддающихся секьюритизации.

Как и традиционные деривативы, инновационные финансовые инструменты служат целям снижения рисков и извлечения спекулятивной прибыли.

Обращает на себя внимание тот факт, что большинство финансовых инноваций относятся к группе производных финансовых инструментов и первоначально получают распространение на международных рынках, лишь позднее переходя на национальные. Зарождению и распространению финансовых инноваций на национальных рынках препятствуют ограничения и регламентация работы участников рынка со стороны государственных регулирующих органов. Именно на международных рынках, свободных от излишней зарегулированности, происходит становление новых сегментов рынка, отработка практики

работы на нем и появления стандартных контрактов, что впоследствии может быть перенесено на национальные рынки [1].

В рамках данной работы охарактеризовано несколько видов инновационных инструментов управления рисками, позволяющих компенсировать финансовые потери.

Облигации катастроф (Act-of-Cod Bonds) – это займы, обеспечивающие перестрахование. По структуре, становясь похожими на производные, они отличаются от стандартных механизмов перестрахования и в то же время не сливаются со стандартными производными (опционами и т.п.). Они стали предметом биржевой торговли (Чикагской торговой биржи) и используются совместно с другими биржевыми инструментами. События, ведущие к наступлению срока выполнения обязательств по этим займам, могут состоять либо в общем ущербе от отдельных природных катастроф в определенный период, в определенном месте, либо в масштабах природной катастрофы, измеряемых по установленным правилам (скорость ветра при штормах, значения шкалы Рихтера при землетрясениях), либо в техногенных катастрофах и ущербе от них [2]. Впервые такие инструменты появились на финансовых рынках в начале 1990-х гг.

Известны три группы займов катастроф: *ликвидные путы (Liquidity Puts)*, *купоны рискованного займа (Coupon-at-Risk-Bonds)*, *досрочные платежи (Principal-at-Risk-Bonds)*.

В ликвидных путах (*Liquidity Puts*) платежи связаны с состоявшимся стихийным бедствием. Владелец облигации по этому займу – страховое общество – при наступлении заранее указанного определенного стихийного бедствия вправе потребовать выплаты денежной суммы займа с начала срока обращения бумаги. Эмитентами таких бумаг обычно являются высоконадежные институты, а инвестируют в данные бумаги лица, находящиеся в зоне риска стихийных бедствий и согласные оплачивать такого рода страховку. Соответственно страховая компания принимает на себя относительно невысокий кредитный и платежный риски. Возможный дополнительный риск для инвестора компенсируется купоном с повышенными (по срав-

нению с обычными рыночными) процентными ставками [2].

В 2009 г. Всемирный банк в лице Международного банка реконструкции и развития (МБРР) объявил о начале реализации программы «MultiCat» – программы эмиссии облигаций на катастрофы, обеспечивающей правительствам стран и другим государственным учреждениям доступ к международным рынкам капитала для страхования риска стихийных бедствий [2]. Это программа, разработанная для оказания помощи правительствам развивающихся стран в приобретении страхового покрытия по доступной цене на рынках капитала. Участники программы MultiCat получают возможность покупать страховое покрытие многочисленных рисков в разных странах и регионах. Эмиссия облигаций организована Казначейским департаментом Всемирного банка, который привлек корпорации SwissRe Capital Markets и Goldman Sachs в качестве управляющих и соучредителей консорциума и корпорацию MunichRe в качестве консультанта. Программа MultiCat ознаменовала собой расширение ассортимента инструментов страхования риска катастроф, предлагаемых Всемирным банком. Этот ассортимент также включает такие инструменты, как опцион отсроченной выборки средств в случае стихийного бедствия, который представляет собой кредитную линию, обеспечивающую незамедлительный доступ к финансированию после стихийного бедствия, посреднические услуги по хеджированию погодных рисков и Карибский фонд страхования риска катастроф [3].

Как и многие сегменты финансового рынка, рынок облигаций катастроф, в 2009–2010 гг. постепенно восстанавливался, преодолевая последствия разрушительного спада в результате мирового финансового кризиса. Это происходило вследствие повышения спроса со стороны инвесторов и сужению спредов. Сектор облигаций катастроф был практически бездейственным с конца 2008 г. из-за того, что коллапс Lehman Brothers вызвал беспокойство о надежности обеспечения бумаг. Однако растущая уверенность в финансовых рынках и факторы, специфичные для сектора бумаг, привязанных к страховке (insurance-

linkedsecurities, созданные для секьюритизации части рисков страховыми организациями), существенно поддерживали разворот рынка. Фундаментально изменились настроения инвесторов, на рынке появилась ликвидность и капитал для сделок с бумагами этого сектора. Индекс SwissRe Catastrophe Bond Total Return Index, отслеживающий общий доход по всем выпущенным облигациям катастроф, деноминированных в долларах и основанный только на ценовых индикаторах SwissRe, в 2009 г. преодолел максимум в 172,27 пункта (минимум во время финансового кризиса составил 165,23), достигнутый еще до банкротства Lehman Brothers в 2008 г. На протяжении 10 месяцев 2010 г. индекс стабильно находился на уровне выше своего максимума. По данным рейтингового агентства Fitch Ratings, спреды сузились на 15 %. Для характеристики состояния данного сектора облигаций стоит отметить следующие показатели. В трех кварталах 2009 г. было размещено 11 выпусков облигаций катастроф общим объемом 1,79 млрд долларов, для сравнения в 2008 г. было 13 выпусков, общей стоимостью 2,69 млрд долл. Но в денежном выражении объем выпусков третьего квартала 2009 больше показателя 2008 г. на 29 %. За весь 2009 г. в целом объем выпуска составил 3,9 млрд долларов. Во второй половине 2009 г. были погашены облигации на сумму в 960 млн долл., а общий годовой объем погашения составил 2,54 млрд долл. По мнению аналитиков в целом по 2010 г. прогнозируется размещения на сумму около 5 млрд долл. [4]. Большая часть этих денег будет инвестирована в новые облигации, это стало возможным в результате значительного улучшения структуры облигаций, в основном по обеспечению, что и помогло вернуть инвесторов в эти инструменты.

Специалистами признается, что в займах катастроф профиль «шансы–риски» может быть выгоднее для страховых компаний по сравнению с обычными займами или эмиссией ими акций. Динамика рынка за всю историю его существования показывает, что облигации катастроф перестают быть дополнением к традиционным методам управления рисками катастроф и превращаются в важный элемент политики управления рисками.

Погодные фьючерсы

Погодный риск – это возможность убытков, связанных с неопределенностью денежного потока вследствие изменчивости погодных условий. Таким образом, изменение погодных условий может приводить к возникновению существенного риска объема для оптовых продавцов, покупателей электроэнергии, а также конечных потребителей. Следует отметить, что погодные условия могут оказывать как негативное, так и позитивное влияние на величину дохода компании.

Необходимость хеджирования погодных рисков привела к появлению срочных биржевых и внебиржевых контрактов на погоду. Впервые сделки по фьючерсному контракту на индекс температуры были заключены в 1999 г. на Чикагской товарной бирже (СМЕ). Первоначально это были фьючерсные и опционные контракты на индексы обогрева и охлаждения (HDD и CDD), которые рассчитывались для наиболее важных населенных пунктов и энергоузлов США. Основными участниками торгов стали энергетические, газовые, коммунальные компании. Уже в 2000 г. аналогичные контракты появились в Европе, на LIFFE и Eurex, где были введены фьючерсы на температуру в районе международных аэропортов Лондона, Берлина и Парижа.

Сначала основными игроками были пары «энергетики–газовики», затем к торгам присоединились представители компаний сельского хозяйства, коммунального сектора, строители и транспортники. В середине 2000 г. в США объем рынка погодных производных инструментов оценивался в 3,5 млрд, в 2006 г. годовой объем торгов уже составил 45 млрд долл. [5]. В настоящее время торгуются контракты на индекс температуры (29 городов в мире), на количество осадков, величину снежного покрова, силу ветра (ураганы). В основе сделок лежат индексы, некоторые из них уже стандартизированы, и учитывают те или иные погодные факторы. Это стандартные «индекс обогрева» HDD (Heating Degree Days) и «индекс охлаждения» CDD (Cooling Degree Days).

Ведущие инвестиционные банки (UBS, Merrill Lynch) разрабатывают и вводят в обра-

щение структурные продукты, основанные на «погодных» фьючерсах. Согласно исследованию Price Waterhouse Coopers (2009 г.): 47 % от объема торгов погодными фьючерсами обеспечивает сектор ТЭК, 14 % – сельское хозяйство, 9 % – ритейл, 6 % – строительство и 24 % – прочие отрасли [6].

Следующим инновационным финансовым инструментом на данном рынке стоит представить погодный своп (weatherswap). Погодный своп – это контракт, в котором одна сторона продает, а другая покупает погодный индекс. Стороны оговаривают в контракте некоторый базовый уровень погодного индекса, с которым сравнивается фактическое значение HDD за расчетный период. Фактическое (расчетное) значение HDD за этот период определяется как сумма их ежедневных значений. Разность между расчетным значением HDD и базовым уровнем умножается на контрактный номинал свопа. Данная сумма является величиной выплаты по контракту. Если на конец расчетного периода расчетное значение HDD больше базового значения индекса, то продавец свопа (погодного индекса) уплатит данную сумму покупателю свопа (погодного индекса). Если расчетный уровень HDD окажется ниже базового значения индекса, то эту сумму покупатель уплатит продавцу.

Таким образом, покупатель индекса HDD в свопе ожидает более холодной, чем обычно погоды и более высокого расчетного значения HDD по сравнению с его базовым уровнем. Так он страхуется от понижения температуры в течение контрактного периода. Продавец же ожидает более теплой погоды и более низкой величины расчетного значения HDD по сравнению с базовым уровнем и страхуется от более высокой температуры.

Круг основных выгодоприобретателей по данным инструментам достаточно широк: среди них государство, реальный сектор экономики, финансовый сектор и ритейл. Каждый из перечисленных может преследовать различные целеиспользования фьючерсных контрактов на индекс температуры. Так, например, промышленные предприятия, предприятия ЖКХ и сельского хозяйства могут иметь цели управления риском неблагоприятного изменения объемов отпускае-

мой продукции, компенсации затрат от роста энергопотребления и амортизационных и ремонтных расходов, а также нивелирование ущерба от неурожая. Государство же, приобретая погодные фьючерсы, может достичь ограничения роста государственных расходов, связанных с низкими температурами в отопительный сезон. Финансовый сектор в лице страховых компаний таким образом хеджирует риски при страховании сельского хозяйства, а если инвесторами являются банки, то они таким образом создают кредитные и ифакторинговые продукты, которые учитывают «температурные» особенности бизнеса клиента. Профессиональные участники фондового рынка посредством использования погодных фьючерсов расширяют линейку своих инструментов и расширяют круг клиентов за счет компаний реального сектора.

В России впервые погодные фьючерсы были разработаны на бирже РТС в секции FORTS в 2007 г., это был контракт на среднемесячную температуру воздуха [6]. Базовый актив – средняя температура расчетного месяца в аэропорте Внуково (г. Москва). После начала расчетного месяца торгуется средняя температура оставшейся части расчетного месяца. Территориальный охват – 16 регионов Центрального федерального округа России. Цена контракта выражается в градусах Цельсия (принимает положительные и отрицательные значения). Стоимость 1 градуса – 100 руб. Гарантийное обеспечение – 5–10 %. Расчет средней температуры производится автоматически каждый час. Погода за день определяется как среднее арифметическое между минимальной и максимальной температурой, зарегистрированной в определенной точке наблюдения за 24 часа.

В качестве иллюстрации можно привести пример использования фьючерсного контракта на среднемесячную температуру воздуха в целях хеджирования рисков на примере компании ЖКХ. В соответствии с договором компания обязана поддерживать постоянную температуру в помещении не ниже 20 °С. В зависимости от температуры на улице компания затрачивает определенные средства на обогрев, но при наступлении аномальных холодов затраты резко возрастают, от такого

события до недавнего времени было невозможно застраховаться. Сегодня, используя в целях хеджирования погодные фьючерсы, компания получает возможность компенсировать дополнительные затраты. Так, к примеру, при падении средней температуры на один градус ниже –15 °С у компании появятся дополнительные затраты в размере 500 тыс. руб. Пусть согласно метеопрогнозу средняя температура января будет находиться в диапазоне от –6 °С до –15 °С. Компания планирует застраховаться от убытков в случае снижения температуры ниже –15 °С. Для этого необходимо продать на бирже некое количество (N) фьючерсных контрактов. Рассчитав величину вариационной маржи, начисляемой по фьючерсному контракту, возможно определить количество контрактов N . Для этого необходимо разделить сумму потенциальных убытков (500 000 руб.) на величину вариационной маржи. Таким образом, убытки, связанные с основным бизнесом предприятия, компенсируются за счет прибыли по биржевым операциям.

В связи с большими убытками от природных и антропогенных катастроф перед домохозяйствами, компаниями и государствами остро стоит проблема источников финансирования экономического ущерба от этих событий. Традиционным и основным средством компенсации до недавнего времени были государственные выплаты постфактум, что существенно повышает нагрузку на бюджет в случае крупной катастрофы и заставляет искать новые инновационные инструменты и подходы в урегулировании данных убытков.

Библиографический список

1. Крылов, В.С. Инновации на финансовых рынках и возможности их применения в России: дисс ... канд. экон. наук / В.С. Крылов. – М., 2007.
2. Фельдман, А.Б. Производные финансовые и товарные инструменты / А.Б. Фельдман. – М.: Финансы и статистика, 2006.
3. Материалы сайта Всемирного банка. www.wds.worldbank.org
4. Guy Carpenter World Catastrophe Reinsurance Market: World catastrophe report. September, 2010. - p. 15
5. Материалы II профессионального форума энерготрейдеров России. Москва, 1 ноября 2007 г. ОАО «РТС» С. Данов.
6. www.fortsmarket.ru

ИЗМЕРИТЕЛЬ ПАРАМЕТРОВ ВАГОННОЙ БУКСЫ

Ю.П. БАТЫРЕВ, доц. каф. физики МГУЛ, канд. техн. наук,
 Н.П. ПОЛУЭКТОВ, проф. каф. физики МГУЛ, д-р техн. наук,
 В.Н. ХАРЧЕНКО, проф. каф. физики МГУЛ, д-р техн. наук,
 Ю.П. ЦАРЬГОРОДЦЕВ, доц. каф. физики МГУЛ, канд. техн. наук

batyrev@mgul.ac.ru

Для безопасной эксплуатации высокоскоростных пассажирских вагонов необходима система контроля исправности технического состояния различных узлов с возможностью дальнейшего прогнозирования. Основой такой системы должен быть набор датчиков, контролирующих основные параметры эксплуатации и функциональные узлы вагона [1–3].

В настоящее время одним из важных параметров состояния вагона является температура нагрева буксы, которую контролирует «Термодатчик–393» вагонной буксы пассажирских вагонов всех типов, выпускаемый ОАО «МТЗ Трансмаш» [4]. Принцип действия термодатчика 393 основан на расплавлении легкоплавкой вставки внутри корпуса при достижении в буксовом узле критической температуры 96 ± 4 °С и разрыва цепи питания постоянного напряжения 50 В, который свидетельствует о неисправности. Датчик устанавливается в стандартное гнездо в буксе

путем ввинчивания пустотелого болта, в который он помещен.

Недостатками датчика такого типа являются:

- сигнальный режим работы, исключающий возможность упреждающего диагностирования буксы;
- ограниченное число измеряемых параметров, необходимых для упреждающего диагностирования технического состояния.

Как известно, возможность диагностирования ранних признаков неисправности буксы можно осуществить путем контроля нарастающих значений виброперегрузок. В этой связи был разработан измеритель, сочетающий в себе возможность одновременного измерения температуры буксы и ее виброперегрузки с передачей информации по существующей двухпроводной линии электропитания и размещении его в том же стандартном узле буксы, что и термодатчик 393.

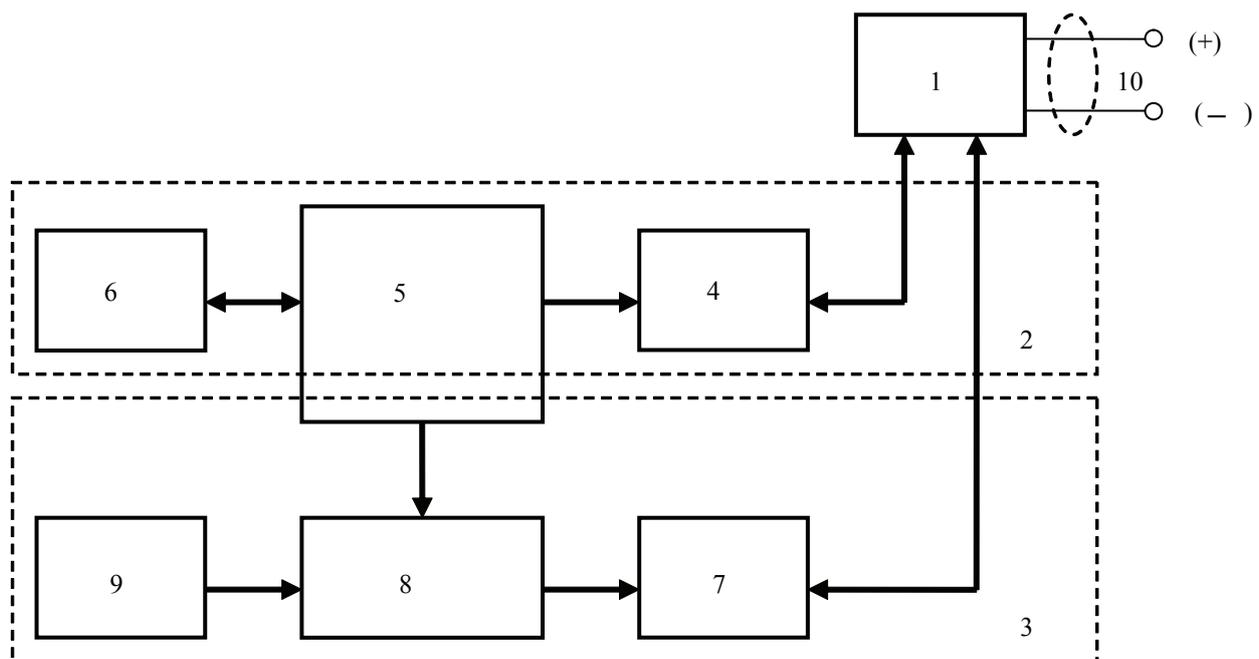


Рис. 1. Функциональная схема измерителя

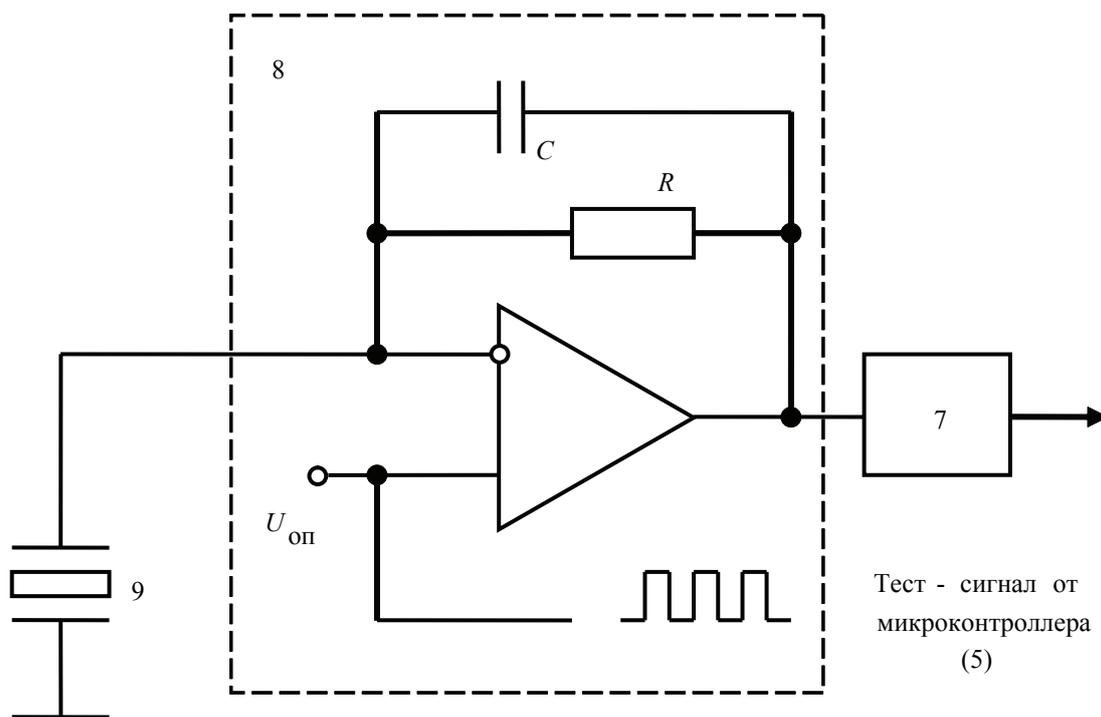


Рис. 2. Электронная схема измерителя в режиме измерения виброперегрузки

Функциональная блок-схема измерителя (рис. 1) содержит коммутатор питания (1) тракты (2, 3) измерения параметров буксы: тракт измерения температуры (2) в составе формирователя выходного сигнала (4) микроконтроллера (5) и датчика температуры (6) и тракт измерения виброперегрузки (3), в составе формирователя выходного сигнала (7), усилителя заряда (8), микроконтроллера (5), датчика виброперегрузки (9). Выходной сигнал в виде токовой петли 4–20 мА передается в устройство сбора и обработки (УСО) по двухпроводной линии связи (10).

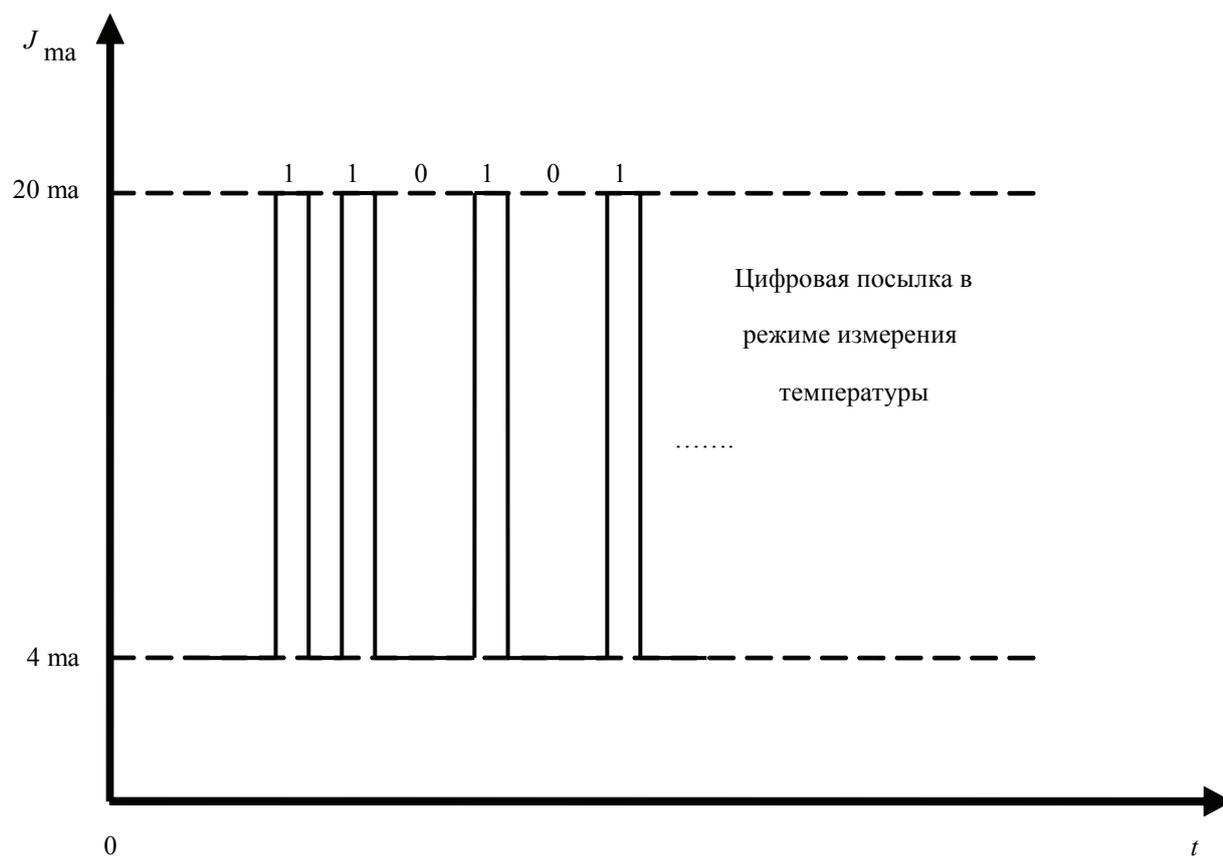
Электронная схема измерителя в режиме измерения виброперегрузки иллюстрируется рис. 2. Она содержит датчик виброперегрузки (9), усилитель заряда (8), собранный на операционном усилителе, формирователь выходного сигнала (7).

Принцип работы измерителя состоит в следующем. В зависимости от полярности питания коммутатор осуществляет питание либо тракта измерения температуры, либо тракта измерения виброперегрузки. Способ измерений, при постоянном питающем напряжении, основан на изменении величины тока нагрузки в цепи питания электронной схемы, формирующей информационный сигнал. Темп измерений температуры или вибро-

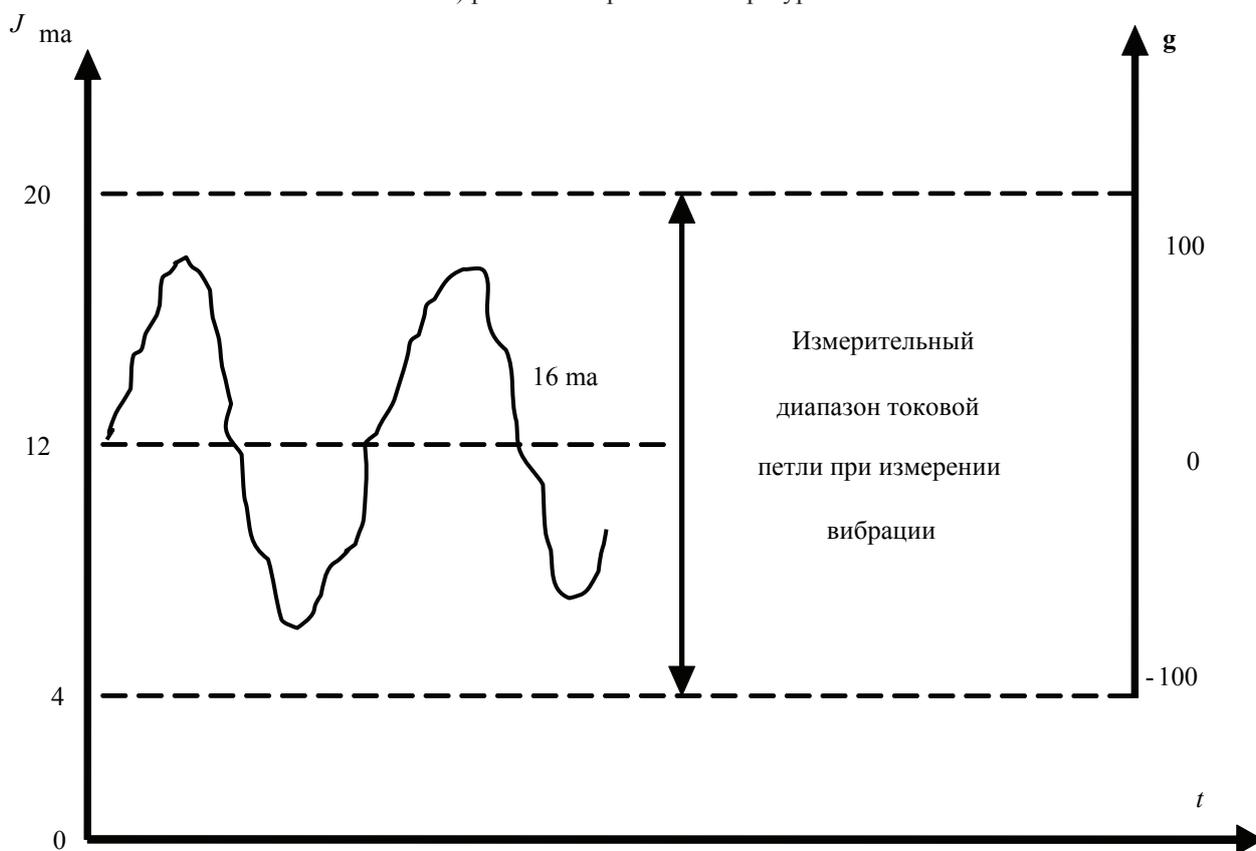
перегрузки задают скоростью переключения полярности питания двухпроводной линии.

Основу измерительной цепи температуры буксы составляет двухпроводная токовая петля, работающая в стандартной шкале параметра 4–20 мА, при этом на питание самой электронной схемы датчика используется диапазон 0–4 мА. В режиме измерения температуры микроконтроллер считывает показания датчика температуры типа DS18B20 и формирует информационный кадр, содержащий данные электронного паспорта датчика и текущее значение температуры. Информационный кадр имеет байтную структуру, при этом значению «0» соответствует уровень 4 мА, а значению «1» – уровень 20 мА. Вид цифрового сигнала в тракте измерений температуры и шкала параметра иллюстрируются рисунком рис. 3а.

В режиме измерения вибрации в начале цикла измерения микроконтроллер подает на вход усилителя заряда тестовый сигнал (меандр) (рис. 2), что позволяет провести калибровку датчика и судить о работоспособности тракта измерения. После тестирования на задаваемом интервале времени микроконтроллер работает в режиме ожидания. На вход усилителя заряда поступает сигнал от датчика.



а) режим измерения температуры



б) режим измерения вибрации

Рис. 3. Выходной сигнал измерителя

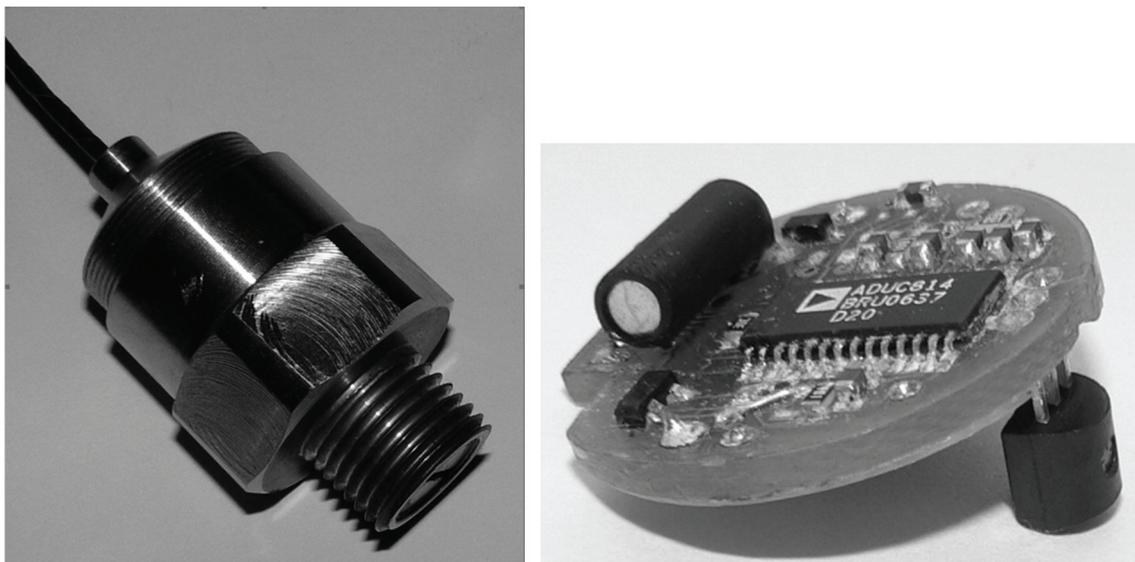


Рис. 4. Внешний вид измерителя

Схема формирования выходного сигнала обеспечивает ток в двухпроводной линии питания, равный середине измерительной шкалы, т.е. 12 мА, который модулируется текущими аналоговыми значениями вибрации в диапазоне ± 8 мА. При этом диапазон измерения виброперегрузки соответствует шкале от 0 до ± 100 г (рис. 3б).

Эффективность измерителя определяется возможностью упреждающего диагностирования неисправных вагонных букс на основе текущих непрерывных измерений.

Внешний вид измерителя и электронной платы представлен на рис. 4. Измеритель защищен патентом РФ № 2356771.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №08-08-00455.

Библиографический список

1. Трестман, Е.Е. Автоматизация контроля буксовых узлов в поездах / Е.Е. Трестман, С.Н. Лозинский, В.Л. Образцов. – М.: Транспорт, 1983. – 352 с.
2. Криворудченко, В.Ф. Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов подвижного состава железнодорожного транспорта / В.Ф. Криворудченко, Р.А. Ахмеджанов. – М.: Маршрут, 2005. – 436 с.
3. Датчики измерения и контроля устройств железнодорожного транспорта. – М.: Транспорт, 1990. – 119 с.
4. Термодатчик – 393. ВКГ ОКП 31.8411, ОАО «МТЗ Трансмаш», Тормозное оборудование, ТУ 2405.158-88.

Шалаев В.С. ОБ УГРОЗАХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКОСИСТЕМЫ.

В статье рассматриваются угрозы антропогенного воздействия на экосистемы и значимость при этом лесных экосистем. Подчеркивается необходимость первичности, составляющей восстановление в постулате пользование-восстановление.

Ключевые слова: антропогенное воздействие, лесные экосистемы, пользование-восстановление.

Shalaev V.S. ABOUT THREATS OF ANTHROPOGENOUS INFLUENCE ON ECOSYSTEM.

Threats of anthropogenous influence on ecosystem and the importance of forest ecosystems are considered. The primary role of restoration in a postulate «use-restoration» is emphasized.

Key words: anthropogenous influence, forest ecosystems, use-restoration.

Бурков В.Д., Крапивин В.Ф., Шалаев В.С., Солдатов В.Ю. ТЕХНОЛОГИЯ ГИБКИХ ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ КАК ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ.

Обсуждены вопросы организации системного мониторинга лесных экосистем с целью оперативного выявления возможных негативных последствий антропогенного воздействия. Предложен ряд схем для такой организации мониторинга. Рассмотрена задача информационного и модельного оснащения систем мониторинга. Показано, что применение технологии гибких информационно-моделирующих систем может обеспечить решение задач оперативной диагностики и прогнозирования эволюции лесных экосистем. Для оценки состояния экосистем предложен индикатор биологической сложности.

Ключевые слова: модель, архив данных, лесная экосистема, дистанционный мониторинг, биосложность.

Burkov V.D., Krapivin V.F., Shalaev V.S., Soldatov V.Yu. TECHNOLOGY OF FLEXIBLE INFORMATION-MODELING SYSTEM AS INSTRUMENT FOR INVESTIGATION OF CONSEQUENCES FROM ANTHROPOGENIC IMPACTS ON THE FOREST ECOSYSTEMS

The questions of system monitoring organization for the forest ecosystems are discussed with the purpose of operative detection of possible negative consequences from anthropogenic impacts. The set of schemes for such monitoring organization is proposed. The problem of information and model equipment of monitoring systems is considered. It is shown that use of technology of the flexible information-modeling systems can help to solve the tasks of operative diagnostics and forecasting of forest ecosystem evolution. Biocomplexity indicator is proposed to be used for the ecosystem assessment.

Key words: model, data archive, forest ecosystem, remote monitoring, biocomplexity.

Беднова О.В., Кузнецов В.А. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ МЕГАПОЛИСА.

Обсуждается проблема индикации устойчивого развития урбанизированных территорий. Для индикации устойчивого развития мегаполиса предложены система показателей состояния лесных экосистем городских особо охраняемых территорий и показатель негативного воздействия на абиотические компоненты экосистем.

Ключевые слова: устойчивое развитие, мегаполис, экологические индикаторы, биоразнообразие, лесоэкологический мониторинг, абиотические компоненты урбоэкосистем.

Bednova O.V., Kuznetsov V.A. THE ECOLOGICAL INDICATORS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE MEGAPOLIS.

The problem of the indication of sustainable development of the urbanized territories is discussed. The indices of the qualitative biotic characteristics of forest ecosystems located in protected natural areas and

index of adverse environmental impact are proposed as ecological indicators of sustainable development of the megapolis.

Key words: sustainable development, megapolis, ecological indicators, biodiversity, forest-ecological monitoring, abiotic components of the urban ecosystems.

Белов Д.А. ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ РАСТИТЕЛЬНОДНЫХ ЧЛЕНИСТОНОГИХ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ.

Приведены показатели для оценки биологического разнообразия растительнодных членистоногих на урбанизированных территориях на первом этапе исследований экосистем, в различной степени подвергшихся урбанизации.

Ключевые слова: биологическое разнообразие, растительнодные членистоногие, коэффициенты общности.

Belov D.A. PERFORMANCE EVALUATION OF BIOLOGICAL DIVERSITY OF HERBIVOROUS ARTHROPODS AT URBANIZED AREAS AND METHODS OF THEIR DEFINITIONS.

Given the parameters for the assessment of the biological diversity of herbivorous arthropods in the urbanized areas in the first stage of studies of ecosystems, in varying degrees, affected by urbanization.

Key words: biological diversity, herbivorous arthropods, the coefficients of community.

Давыдов В.Ф., Батырев Ю.П. СПОСОБ РАННЕЙ ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ.

Рассмотрен способ ранней лесопатологической диагностики на основе космического мониторинга лесов. На основе анализа изменения знака производной спектрограммы и смещения результирующего спектра отражения лесного полога делается предположение о наличии лесопатологического процесса.

Ключевые слова: лесопатологическая диагностика, дистанционный мониторинг, спектрограмма, лесопатологический процесс.

Davydov V.F., Batyrev Y.P. WAY EARLY FOREST PATHOLOGICAL DIAGNOSTICS.

The way early forest pathological diagnostics on the basis of space monitoring woods is considered. On the basis of the analysis of change of a sign on the derivative spectrogram and displacement resulting spectrum of reflection wood canopy the assumption of presence forest pathological process is done.

Key words: forest pathological diagnostics, remote monitoring, the spectrogram, forest pathological process.

Галкин Ю.С., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Потапов В.Н., Семенова В.П., Эсеналиев Ч.Д. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЕСОТАКСАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ТЕСТИРОВАНИИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ.

Статья посвящена вопросам тестирования космических снимков по наземным лесотаксационным материалам. Объясняются причины недостаточности производственных данных для оценки точности дешифрирования космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения. Показана необходимость специальных дополнительных работ при подготовке наземных тестовых участков.

Ключевые слова: тестирование космических снимков, наземные тестовые полигоны.

Galkin Y.S., Shalaev V.S., Batyrev Y.P., Potapov V.N., Semenova V.P., Esenaliev Ch.D. FEATURES OF APPLICATION FOREST INVENTORY INFORMATION AT TESTING SPACE PICTURES.

Article is devoted to questions of testing of space pictures on ground forest inventory materials. The reasons of insufficiency of industrial data for an estimation of accuracy interpretation space pictures of the high and ultrahigh sanction speak. Necessity of special additional works is shown by preparation of ground test sites.

Key words: testing of space pictures, ground test ranges.

Пушкарский С.В. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И СИНТЕЗА МФКС.

Проведены исследования построения многофункциональной космической системы, предназначенной для дистанционного зондирования Земли, ее операций и взаимодействия со средой, целей, показателей и критериев, объектов моделирования и синтеза, исходных данных и ограничений, необходимых для постановки задачи синтеза системы. Постановка задачи служит основой для проведения последующих этапов синтеза системы – разработки математической модели, моделирования на ЭВМ и выработки рекомендаций.

Ключевые слова: многофункциональная космическая система (МФКС), моделирование, синтез, дистанционное зондирование Земли.

Pushkarsky S.V. PROBLEM STATEMENT OF MULTIFUNCTIONAL SPACE SYSTEM MODELING AND SYNTHESIS.

Research of constructing a multifunctional space system (MSS) for Earth remote sensing are carried out. It concludes the step of setting goals and objectives of the system. Formulation problems is the basis of subsequent phases of the synthesis system – the development of mathematical models, computer simulations and recommendations.

Key words: multifunctional space system, modeling, synthesis, Earth remote sensing.

Давыдов В.Ф., Батырев Ю.П. СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА НАСАЖДЕНИЙ.

Рассмотрен дистанционный способ определения состава насаждений путем совместной программной обработки сигнала изображений лесных массивов, получаемых во всем видимом диапазоне и на спектральных линиях цветности основных древесных пород в зеленой полосе, а также на переходных спектральных линиях от красного к ближнему инфракрасному диапазону.

Ключевые слова: состав насаждений, лесной массив, древесная порода, дистанционный мониторинг, спектральные линии

Davydov V.F., Batyrev Y.P. WAY OF DEFINITION OF STRUCTURE OF PLANTINGS.

The remote method of definition of structure of plantings by joint program processing a signal of images of the large forests received in all visible range and on spectral lines of chromaticity of the basic tree species in a green strip, and on transitive spectral lines from red to a near infra-red range is considered.

Key words: structure of plantings, forestland, wood breed, remote monitoring, spectral lines.

Чумаченко С.И., Яковлева А.И. ИЗУЧЕНИЕ ТЕНЕВЫНОСЛИВОСТИ ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ВИДОВ СРЕДНЕЙ ЧАСТИ ПРИМОРСКОГО КРАЯ.

В работе представлены результаты измерений светового минимума подроста основных лесобразующих видов средней части Приморья. Полученная количественная шкала теневыносливости сравнивается с ранее разработанными качественными шкалами.

Ключевые слова: теневыносливость, световой минимум, подрост, онтогенез.

Chumachenko S.I., Yakovleva A.I. STUDY OF SHADE-TOLERANCE OF THE BASIC FOREST TREE SPECIES OF THE MIDDLE PART OF PRIMORSKI TERRITORY.

The results of light minimum measurements are presented in current study. Similitude of the quantitative and qualitative scales of shade-tolerance is provided.

Key words: shade tolerance, light minimum, underwood, ontogenesis.

Теплякова Е.В. СОКРАЩЕНИЕ ДОСТУПНОГО К ОСВОЕНИЮ ЛЕСНОГО ФОНДА В РОССИИ В СВЯЗИ С ЛЕСОЗАГОТОВКАМИ.

На протяжении многих веков лес в России считался чем-то само собой разумеющимся и вследствие этого малоценным. Это послужило причиной, что долгое время лес просто хищнически истреблялся людьми. Истощительное лесопользование и незаконные лесозаготовки являются серьезным ант-

ропогенным воздействием на лес и его обитателей. В статье рассматривается проблема использования лесных ресурсов.

Ключевые слова: лес, лесозаготовка, истощительное лесопользование, вырубка, лесистость, торговля, лесное законодательство, лесовосстановление.

Terlyakova E.V. REDUCTION OF FOREST FUND AVAILABLE FOR LOGGING IN RUSSIA.

During centuries, forest in Russia was somewhat common and, thus, has no value. That was a reason that for a long time forest was injuriously exterminated by people. Exhaustive forest use and illegal logging are serious antropogenic impacts on forest and its inhabitants. A problem of forest and timber use is described in this paper.

Key words: forest, logging, exhaustive forest use, felling site, forest ratio, timber trade, forest legislation, forest restoration.

Мартыненко О.В., Щепашенко Д.Г., Карминов В.Н., Щепашенко М.В. ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА ПРОДУКТИВНОСТИ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЙ.

Рассматривается зависимость продуктивности лесных насаждений от почвенных условий, с использованием массового материала полевой почвенной съемки. Построена классификация почв в зависимости от почвенных свойств и продуктивности сосновых насаждений Щелковского УОЛХ. Показана возрастная динамика таксационных и биопродукционных показателей насаждений по группам почв.

Ключевые слова: сосновые леса, классификация почв, фитомасса, продуктивность, бонитировка.

Martynenko O.V., Schepaschenko D.G., Karminov V.N., Schepaschenko M.V. DYNAMICS OF PINE FOREST PRODUCTIVITY WITH AGE DEPEND ON SOIL PROPERTIES.

Dependence of forest productivity on soil conditions is considered, using a mass material of field soil survey. Soil classification was built based on both soil properties and productivity of pine stand in Schelkovo forest enterprise (Moscow region). Pine forest dynamics with age are presented for various soil groups.

Key words: pine forest, soil classification, live biomass, productivity.

Федотов Г.Н., Шалаев В.С., Рудометкина Е.Ф., Росете И.С. УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ.

В работе проведен анализ результатов, получаемых при исследовании гумусовых веществ почв различными методами. Сделан вывод о том, что гумусовые вещества почв имеют несколько уровней организации.

Ключевые слова: гумусовые вещества, уровни организации, почва.

Fedotov G.N., Shalaev V.S., Rudometkina T.F., Rosete I.S. LEVELS OF ORGANIZATION HUMUS SUBSTANCES IN SOILS.

In work the analysis of the results received at research gumus substances of soils by various methods is lead. It is drawn a conclusion that gumus substances of soils have some levels of the organization.

Key words: gumus substances, levels of the organization, soil.

Федотов Г.Н., Шалаев В.С. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С СОЛЯМИ МИКРОФАЗНО РАССЛОЕННЫХ ПОЧВЕННЫХ ГЕЛЕЙ.

В статье делается предположение, что при взаимодействии между компонентами коллоидной составляющей почв должны возникать супрамолекулярные соединения и супрамолекулярные ансамбли, которые объединяются в супраполимерную полиэлектролитную гумусовую матрицу. Данная матрица должна обладать свойствами полиэлектролитных систем – микрофазно расслаиваться с образованием наноструктур.

Ключевые слова: почвенные гели, супрамолекулярный ансамбль, микрофазное расслоение, гумусовая матрица.

Fedotov G.N., Shalaev V.S. INTERACTION WITH SALTS OF THE MICROPHASE STRATIFIED SOIL GELS.

In article the assumption is done, that at interaction between components of colloid component of soils should arise supramolecular connections and supramolecular ensembles which are united in suprapolymer polyelectrolyte humus matrix. The given matrix should possess properties polyelectrolyte systems – microphase to be stratified with formation nanostructures.

Key words: soil gel, supramolecular ensemble, microphase stratification, humus stencil.

Федотов Г.Н., Рудометкина Т.Ф. ВЛИЯНИЕ МИКРОФАЗНОГО РАССЛОЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ ГЕЛЕЙ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ.

Сделан вывод о том, что микрофазное расслоение в супраполимерной гумусовой матрице, приводящее к уменьшению ферментативной активности почв, может оказать негативное влияние на ее биологическую активность при применении веществ, улучшающих структуру почвы, механизм действия которых основан на изменении наноструктурной организации супраполимерной гумусовой матрицы.

Ключевые слова: ферментативная активность, почвенные гели, гумус, микрофазное расслоение.

Fedotov G.N., Rudometkina T.F. INFLUENCE OF MICROPHASE STRATIFICATION OF SOIL GELS ON BIOLOGICAL ACTIVITY OF SOILS.

It is drawn a conclusion that microphase stratification in suprapolymer humus matrix, leading reduction activity soil, can render negative influence on its biological activity at application of substances improving structure of soil which mechanism of action is based on change nanostructured organizations suprapolymer humus matrixes.

Key words: activity, soil gels, humus, microphase stratification.

Федотов Г.Н., Рудометкина Т.Ф. ГУМУСОВЫЕ КИСЛОТЫ В ПОЧВАХ.

Установлено, что почвенные частицы размером 8–12 нм могут относиться как к фульвокислотам, так и к гуминовым кислотам. Показано, что при введении модификаторов частицы фульвокислот размером 2–4 нм ассоциируют с последующей перестройкой структуры частиц путем микрофазного расслоения.

Ключевые слова: фульвокислоты, гуминовые кислоты, модификаторы, микрофазное расслоение.

Fedotov G.N., Rudometkina T.F. HUMUS ACIDS IN SOILS.

It is established, that soil particles in the size of 8–12 nanometers can concern both to fulvic acids and to humus acids. It is shown, that at introduction of modifiers of a particle fulvic acids in the size 2–4 nanometers associate with the subsequent reorganization of structure of particles by microphase stratification.

Key words: fulvic acids, humus acids, modifiers, microphase layering.

Кормилицына О.В., Бондаренко В.В., Коолен Д. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ И ГРУНТОВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ.

Рассмотрена взаимосвязь основных показателей водного режима урбанизированных территорий, влияние на состояние насаждений почвенно-грунтовых условий и современные методы их оценки.

Ключевые слова: водный режим, соляной стресс, электропроводность.

Kormilitzyna O.V., Bondarenko V.V., Koolen D. MODERN METHODS OF AN ESTIMATION OF A CONDITION SOILS AND GROUNDS URBANIZED TERRITORIES.

The interrelation of the basic parameters of a water mode of the urbanized territories, influence on a condition of plantings of soil-soil conditions and modern methods of their estimation is considered.

Key words: water regime, salt stress, electroconductivity.

Панина Л.В. ЛОКАЛЬНЫЕ СУХИЕ ПЯТНА НА ГАЗОНАХ ГОЛЬФ ГРИНОВ КАК СЛЕДСТВИЕ ДЕФИЦИТА ВОДЫ И ГИДРОФОБНОСТИ ПОЧВЫ.

В работе приведены результаты исследования гидрофобности почвы на местах локальных сухих пятен и здорового газона на гольф грингах. Исследование проводилось в течение двух вегетационных периодов 2007 и 2008 года. По результатам работы можно заключить, что причиной низкого качества газона и образования сухих пятен явился недостаток воды в почве. Дальнейшее пересыхание почвы на наклонных участках привело к развитию гидрофобности, неспособности почвы увлажняться при регулярных поливах и было причиной частичной гибели газона.

Ключевые слова: гольф, гидрофобность почвы, сухие пятна на газоне.

Panina L.V. LOCAL DRY SPOTS ON LAWNS GOLF GREENS AS CONSEQUENCE OF DEFICIENCY OF WATER AND WATER REPELLENCY OF GROUND.

The aims of the current paper are to review soil water repellency on localized dry spots and healthy turfgrass of golf greens. The study was conducted during the growing seasons of 2007 and 2008. According results of the current work we can conclude that reason of poor turfgrass quality and occurrence of dry spots was the lack of water in soil. The further drying of soil on slopes has led to development of water repellency, inability of soil to wet at regular irrigation and caused partial dying of turfgrass.

Key words: golf, water repellency, dry spots on turf.

Джалил Пур Б. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ПОЧВЫ.

Загрязнение почв и водных источников тяжелыми металлами является важной проблемой по защите окружающей среды. Фиторемедиация, над которой работают заводы по удалению загрязненной почвы, широко используется в последние десятилетия. Представленные исследования направлены на сравнение количества поглощения кадмия различными частями трехлетних сеянцев сосны обыкновенной в различных диапазонах pH.

Ключевые слова: биологическая очистка, загрязнение почвы, фиторемедиация, кадмий.

Jalilpour B. USE OF WOODY PLANTS FOR PHYTOREMEDIATION OF SOILS.

Pollution of soil and water sources with heavy metals is an important environmental problem. Phytoremediation which employs plants to remove contaminated soil content has been largely used in last decades. The presented research focuses on comparing the quantity of cadmium absorption through different parts of plant; root, stem, leaf and soil in three years old seedlings of *Pinus sylvestris* at various pH ranges.

Key words: biological purification, soil pollution, phytoremediation, cadmium.

Бурков В.Д., Шалаев В.С., Капранов Ю.С., Перминов С.В. ДИНАМИКА ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОЯСОВ ЗЕМЛИ В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ.

Данная работа призвана оценить степень влияния антропогенных и техногенных воздействий на магнитосферу и плазменные оболочки Земли. Существующая литература по этим вопросам весьма обширна, но, как правило, отражает лишь узкие аспекты общей проблемы взаимодействия техносферы и естественных магнитных и плазменных оболочек планеты. Но в последние годы под пристальное внимание специалистов самых различных областей попали процессы, характеризующие динамику магнитосферы и плазмосферы Земли, обусловленную влиянием техногенной деятельности человека.

Ключевые слова: магнитосфера, магнитные полюса, солнечно-земные связи, околоземное космическое пространство, техногенные и антропогенные воздействия.

Burkov V.D., Shalaev V.S., Kapranov J.S., Perminov S.V. DYNAMICS OF NATURAL RADIATION BELTS OF EARTH TAKING INTO ACCOUNT INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC FACTORS.

In the scientific article the degree of influence of the anthropogenic and technogenic affecting is estimated magnetosphere and plasma shells of Earth. Last years specialists in the most different areas of scitech investigate processes, characterizing the dynamics of magnetosphere and plazmosfery of Earth. Processes in a magnetosphere in a modern period of time depend on activity of man.

Key words: magnetosphere, magnetic poles, sun-earthly connections, circumterrestrial space, technogenic and anthropogenic influences.

Хуторова Н.А. УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ КАТАСТРОФ ПОСРЕДСТВОМ ИННОВАЦИОННЫХ ФИНАНСОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ.

В статье представлен обзор инновационных финансовых инструментов, посредством которых возможно компенсировать финансовые потери при наступлении природных и антропогенных катастроф. Приведены основные показатели данных сегментов финансовых рынков.

Ключевые слова: инновационные финансовые инструменты, секьюритизация, облигации катастроф, погодные фьючерсы.

Khutorova N.A. RISK MANAGEMENT OF THE DISASTER BY INNOVATIVE FINANCIAL INSTRUMENTS.

Article provides an overview of innovative financial instruments which may offset the financial losses in case of natural and man-made disasters. There are major indices data segments of financial markets in this outlook.

Key words: innovative financial instrument, securitization, act-of-cod bonds, weather futures.

Батырев Ю.П., Полуэктов Н.П., Харченко В.Н., Царьгородцев Ю.П. ИЗМЕРИТЕЛЬ ПАРАМЕТРОВ ВАГОННОЙ БУКСЫ.

Рассмотрены устройство и принцип работы интеллектуального измерителя параметров буксы пассажирского вагона. Показаны структурная схема и принцип работы измерителя в режимах измерения температуры и вибрации. Приведены основные характеристики.

Ключевые слова: букса, интеллектуальный измеритель, вибрация, токовая петля.

Batyrev Y.P., Poluektov N.P., Kharchenko V.N., Tzargorodtzev Y.P. MEASURING DEVICE OF PARAMETERS OF A CARRIAGE AXLE BOX.

The device and principle of work of an intellectual measuring instrument of parameters of an axle box of the carriage are considered. The block diagram and a principle of work of a measuring instrument in modes of measurement of temperature and vibration are shown. The basic characteristics are resulted.

Key words: an axle box, an intellectual measuring device, vibration, current loop.