

Материалы

Пятой Национальной научной конференции
с международным участием



Математическое моделирование в экологии

16-20 октября 2017 г.
г. Пущино

УДК 57+51-7
ББК 28в6
М34

ISBN 978-5-904385-18-7

Ответственные редакторы
доктор физико-математических наук П.Я. Грабарник
профессор, доктор физико-математических наук Д.О. Логофет

Математическое моделирование в экологии / Материалы Пятой Национальной научной конференции с международным участием, 16–20 октября 2017 г. – Пущино, ИФХиБПП РАН, 2017. 261 с.

Материалы Пятой Национальной научной конференции с международным участием «Математическое моделирование в экологии» представляют современный уровень российских научных разработок в этой области знаний, содержат широкий спектр подходов к моделированию, применяемых для решения экологических задач. В сборнике представлены материалы докладов, посвященных различным проблемам математического моделирования экологических систем на организменном, популяционном, биогеоценотическом, региональном и глобальном уровнях организации живого покрова. Приведены подробные примеры применения математических моделей в экологических исследованиях. В ряде работ описаны новые математические методы, применяемые для решения задач в экологии. Сборник предназначен для математиков, экологов, биологов различных специальностей, почвоведов, географов, занимающихся анализом и прогнозированием развития биологических систем разных уровней организации, а также для студентов, магистрантов, аспирантов и широкого круга читателей, интересующихся современным состоянием моделирования в экологии.

*Организация и проведение конференции, издание сборника материалов поддержано грантом
Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 17-04-20347-з)*

© ИФХиБПП РАН, 2017

ЭКОСИСТЕМНЫЕ ФУНКЦИИ КУСТАРНИЧКОВ: МОДЕЛЬНЫЙ ПОДХОД К ИХ ОЦЕНКЕ

Зубкова Е.В.¹, Фролов П.В.¹, Лянгузова И.В.², Шанин В.Н.^{1,3}, Быховец С.С.¹

¹*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, Россия*

elenazubkova2011@yandex.ru, ximikadze@gmail.com, shaninvn@gmail.com, s_bykhovets@rambler.ru

²*Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия*
ilyanguzova@binran.ru

³*Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва, Россия*
shaninvn@gmail.com

Аннотация: рассмотрены разные аспекты учета экосистемных функций кустарничков *Vaccinium myrtillus* L. и *Vaccinium vitis-idaea* L. при моделировании травяно-кустарничкового яруса бореальных лесов.

К одному из основных назначений экологии, как науки, можно отнести исследование экосистемных функций разных компонентов природных экосистем, закономерностей их проявлений, устойчивость, влияние на человека и влияние деятельности человека на протекание процессов в природе. В последнее десятилетие в связи с развитием техники и технологии оценки последствий антропогенных нарушений для экосистем произошло осознание опасности превышения скоростей разрушающего техногенного воздействия человека на экосистемы над скоростями естественного восстановления сообществ; а зачастую и невозможности их восстановления после определенного рода нарушений. Комплексный подход к пониманию потребностей человека для полноценной успешной жизни и попытки оценить роль отдельных компонентов экосистем привел к трактовке жизненно необходимых для человека функций природы как «услуг» – выгод, которые человек получает от экосистем. При такой оценке учитывается польза от природы не только как от ресурса материалов для строительства и производства продуктов питания, но и как источника эстетического удовольствия, условий отдыха, восстановления сил и гармонии души человека, а также поддержания благоприятной среды обитания. В общих чертах принято выделять следующие аспекты функций и услуг лесов: продукционные (обеспечивающие), регулирующие и поддерживающие, рекреационные (Экосистемные услуги..., 2013). Разработке этой темы посвящены международные программы Европейского Союза (FP7 ERA-NET Sumforest “Sustainable Forests for the Society of the Future”) и программы России и ближнего зарубежья (Научно-техническая программа Союзного государства «Оценка и пути предотвращения рисков возникновения кризисных ситуаций в лесах при интенсификации лесного хозяйства»).

На основании накопленных знаний в популяционной биологии растений и экологии создана компьютерная программа моделирования роста и развития популяций трав и кустарничков в разных экотопических условиях с возможностью оценки скоростей восстановления ценопопуляций при нарушениях. CAMPUS-S (Cellular Automata Model of Plant's United Spread) (Комаров и др., 2015; Фролов и др., 2015; Komarov et al., 2015) в композиции с комплексом программ EFIMOD лаборатории моделирования экосистем (<http://ecomodelling.ru/>) программа предназначена для моделирования динамики разрастания и расселения растений травянисто-кустарничкового яруса (ТКЯ). Программа содержит *структурный блок*, позволяющий оценивать геометрию, скорости роста и взаимодействие ценопопуляций растений и *продукционный блок*, учитывающий биомассы и вклад биогенных элементов разных органов растений в биогеохимические циклы азота и углерода. Программа явилась продолжением работ заведующего лабораторией моделирования экосистем д.б.н., проф. Александра Сергеевича Комарова по использованию метода клеточных автоматов для описания онтогенеза и жизни ценопопуляций травянистых растений (Зубкова и др., 2016).

Проведенная параметризация данных для кустарничков черники (*Vaccinium myrtillus* L.) и брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) позволяет учитывать вклад кустарничков в биогеохимический цикл лесов в разных экотопических условиях (*регулирующая функция*). Представленные виды относятся к доминантам травяно-кустарничковой яруса бореальных лесов, и хотя и различаются по экотопической приуроченности (по режиму влажности и богатства почв), имеют зону содоминирования. В местах поселения кустарнички создают сплошное покрытие как в надземной части, образуя сомкнутые заросли так и в лесной подстилке, формируя плотную «ткань» переплетенных корневищ и тонких корней; что препятствует выветриванию и смыву почвы (*поддерживающая функция*). По данным, полученным на пробной площади (ПП) размером 20×25 м в 80-летнем сосняке кустарничково-зеленомошном (9С1Б) на песчаных почвах (Московская обл., Отрадинское лесничество) у черники максимальное отмеченное число парциальных образований (ПО) разных онтогенетических состояний в микропонижениях рельефа, где она создает монодоминантное сообщество, составило 172 ПО на м²; в монодоминантных участках с брусникой – до 178 ПО на м²; в смешанном сообществе совокупное число ПО двух видов может составлять 248 шт. на м². Исследования показали, что распределение парцелл связано с элементами микрорельефа, который, в свою очередь, определяет влажность и почвенное богатство. На рисунке 1 а и б, представлены данные ПП по распределению ТКЯ и влажности почв, на рисунке 2 результат моделирования с учетом влажности почв.

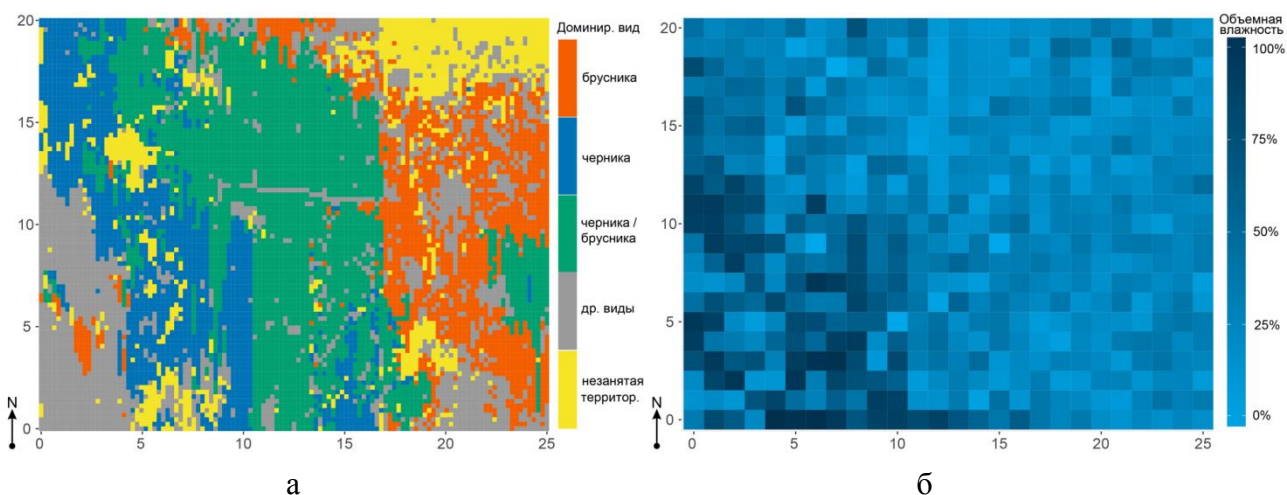


Рисунок 1 – План-схема ПП а) доминирования черники и брусники; б) пространственной неоднородности объемной влажности почвы (10.09.2016) на глубине корнеобитаемого слоя кустарничков (7-10 см)

Зависимость от освещенности под кронами сосны и ели в сосняке кустарничковом и сосняке с елью и березой не выявлена. Выполненная для кустарничков параметризация (онтогенез, толерантность к условиям среды, биомасса, содержание биотических элементов), а также данные о микрорельефе и почвах позволяют строить прогноз восстановления сообщества после пожаров, техногенных и зоогенных нарушений. К зоогенным, в частности, относятся, наблюдаемые на площади весенние и летние порои кабанов, приводящие к переворачиванию подстилки и обнажению почвы до минерального горизонта. Особенностью черники является расположение корневищ в горизонте F (ферментативном) и Н (гумусовом) подстилки – наиболее богатых продуктами разложения опада (хвои, листьев, коры, шишек и др.). Проведенные исследования показали, что в этом случае происходит высыхание тонких корней и отмирание оборванных подземных побегов (корневищ) и вырванных парциальных кустов. Восстановление черники наблюдается преимущественно за счет нарастания побегов с краевых зон. Брусника имеет более глубокое (в минеральной почве) залегание отдельных корневищ, и ее восстановление происходит по всей площади пороя из единичных

фрагментов, сохранившихся в минеральной почве. Данные, введенные в модель, позволяют рассчитывать скорость восстановления покрытия при разных нарушениях.

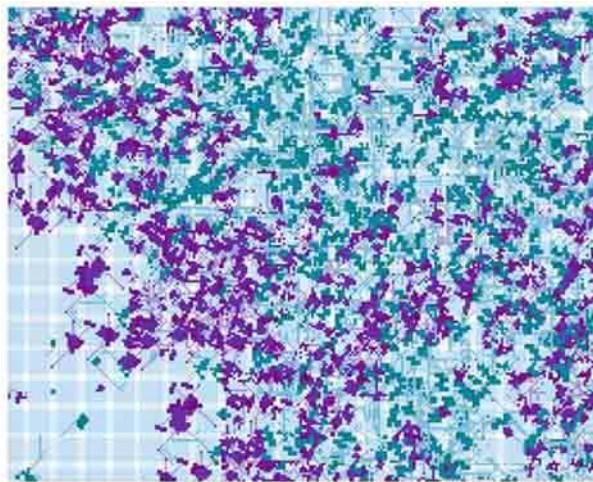


Рисунок 2 – Результаты тестового прогона структурного блока модели CAMPUS:
сиреневый – черника; зеленый тон – брусника

Принципиально другим типом нарушений являются аэротехногенные загрязнения, при которых зона воздействия монотонно изменяется с расстоянием от источника и зависит от розы ветров. Для моделирования дополнительно необходимы данные о рельефе и содержании загрязняющих веществ в почве, а также знания о характере отклика растений на разные их концентрации. На примере данных, многолетних исследований, проведенных лабораторией экологии растительных сообществ БИН РАН в 1989-2009 годах в зоне воздействия комбината «Североникель» (г. Мончегорск, Мурманская обл.) на ягодные кустарнички чернику и бруснику начата работа по созданию алгоритмов моделирования аэротехногенного воздействия и отклика на него растительности. Исследования показали, что при таком воздействии происходит изменение ростовых параметров растений – уменьшается размер надземных побегов, укорачиваются подземные побеги; сокращается длительность онтогенеза у значительной части парциальных кустов (Мазная, Лянгузова, 2010). Были созданы схемы онтогенезов таких растений (Фролов и др., 2016). В силу отсутствия карты микрорельефа и влажности почв исследуемой территории для оценки влияния морфологических изменений на восстановительные возможности кустарничков было проведено тестовое моделирование в условиях ПП Московской области. Показано, что изменения морфологии черники приводят к удлинению времени восстановления на нарушенной территории. Таким образом, даже при отсутствии данных по продуктивности моделирование позволяет в первом приближении оценить изменение свойств элементов экосистемы в ответ на воздействие. Оценка доли участия кустарничков в балансе биогенных элементов при приближении к источнику загрязнения нуждается в более детальных исследованиях в зоне воздействия. Ранее такая задача не ставилась и не выполнялась. В связи с тем, что существенные территории страны подвержены аэротехногенным воздействиям разного генезиса (промышленность, транспорт, выбросы сельскохозяйственных производств и городских агломератов), разработка такой модели актуальна и предполагает решение ряда практических задач.

Аспектом полезности кустарничков, связанным с *обеспечивающей функцией*, является использование ягод в пищу и листьев как лекарственного сырья. Урожайность черники и брусники изменяется по годам и зависит от ряда параметров, включая погодные условия в предыдущий год в период завязывания цветочных почек (Валова, 1976), а также условия температуры и влажности в период цветения. Эти данные носят региональный характер и

требуют большого временного и статистического материала и последующей проработки. Со сбором ягод также связан и *рекреационный* аспект, так как прогулки в лесу являются одним из наиболее любимых и массовых занятий на отдыхе жителей близлежащих населенных пунктов и горожан. Ценность в данном случае не зависит от урожайности ягодника, а определяется близостью расположения дорог и наличием вегетирующих кустов черники и брусники. Негативным последствием такого отдыха для экосистемы является прокладывание тропинок и проезд автомобилей, что может приводить к невозможности распространения кустарничков подземными побегами на новые территории вследствие уплотнения почвы. В модели предусмотрена возможность задания неоднородности условий с ограничением поселения кустарничков при определенных почвенных условиях.

Таким образом, модель CAMPUS-S, обладая возможностью принимать во внимание метеорологические (климатические), экотопические, и другие пространственные условия, после проведения параметризации позволяет оценивать роль трав и кустарничков индивидуально в разных аспектах их экосистемных функций и услуг и давать прогноз последствий антропогенных воздействий на травяно-кустарничковый ярус бореальных лесов.

Авторы благодарят директора филиала-лесничего ГКУМО «Русский лес» В.И. Вишневого за возможность проводить исследования. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (гранты №15-04-08712, 16-34-00670).

Литература

- Валова З.Г. Фенология и условия формирования урожая черники в Белорусии // Экология. 1976. № 4. С. 87–90.
- Зубкова Е.В., Жукова Л.А., Фролов П.В., Шанин В.Н. Работы А.С. Комарова по клеточно-автоматному моделированию популяционно-онтогенетических процессов у растений // Компьютерные исследования и моделирование. 2016. Т. 8. № 2. С. 285–295.
- Комаров А.С., Зубкова Е.В., Фролов В.П. Клеточно-автоматная модель динамики популяций и сообществ кустарничков // Сибирский лесной журнал. 2015. Вып. 3. С. 57–69.
- Мазная Е.А., Лянгузова И.В. Эколого-популяционный мониторинг ягодных кустарничков при аэротехногенном загрязнении. СПб: «ВВМ», 2010. 195 с.
- Фролов П.В., Зубкова Е.В., Комаров А.С. Клеточно-автоматная модель сообщества двух видов растений разных жизненных форм // Известия Российской академии наук, сер. биологическая. 2015. № 4. С. 341–349. / Frolov P.V., Zubkova E.V., Komarov A.S. A cellular automata model for a community comprising two plant species of different growth forms // Biology Bulletin. 2015. V. 42. No. 4. P. 279–286.
- Фролов П.В., Зубкова Е.В., Лянгузова И.В. Подходы к моделированию антропогенных воздействий на ценопопуляции кустарничков (на примере *Vaccinium vitis-idaea* L. и *Vaccinium myrtillus* L.) // Проблемы популяционной биологии. Материалы XII Всероссийского популяционного семинара памяти Николая Васильевича Глотова (1939–2016), Йошкар-Ола, 11–14 апреля 2017 г. Йошкар-Ола: ООО ИПФ «СТРИНГ», 2017. С. 246–248.
- Экосистемные услуги наземных экосистем России: первые шаги. Status Quo Report. М.: Центр охраны дикой природы, 2013. 45 с.
- Komarov A., Frolov P., Zubkova E., Salemaa M., Mäkipää R. A model of population dynamics of dwarf shrubs. Abstracts of the 17th IBFRA Conference, May 24–29, 2015, Rovaniemi, Finland (Eds. R. Mäkipää and T. Kilponen), P. 73.