
С КАФЕДРЫ ПРЕЗИДИУМА РАН

10 декабря 2019 г. состоялось заседание президиума РАН на тему “Коренные изменения наземных экосистем в России в XXI веке: вызовы и возможности”. С основным докладом выступил директор Ботанического сада-института ДВО РАН член-корреспондент РАН П.В. Крестов, а содокладчиками стали директор ФИЦ “Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова” доктор биологических наук Е.К. Хлесткина и директор Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН член-корреспондент РАН Н.В. Лукина. Докладчик начал с известной фразы, сказанной Леонардо да Винчи: “Мы больше знаем о движении небесных тел, чем о земле под ногами”. С тех пор прошло много времени. Теперь, конечно, мы больше знаем о “земле под ногами”. Наземные экосистемы — это наш дом, который сегодня, как утверждали участники заседания, стремительно меняется под воздействием климатических изменений и антропогенных факторов. К сожалению, не в лучшую сторону. Понять причину этих изменений и предложить меры по сохранению и рациональному использованию богатейших природных ресурсов, которыми располагает наша страна, — вот цель, которую поставили перед собой участники заседания.

“Вестник РАН” публикует представленные академической аудитории доклады, а также материалы дискуссии, в которой участвовали доктор биологических наук Д.В. Гельтман, член-корреспондент РАН Ю.В. Плугатарь, кандидат биологических наук В.П. Упелник, И.В. Шмаков, доктор сельскохозяйственных наук Е.В. Журавлёва, доктор биологических наук А.А. Сирин, Ю.О. Лахтиков, академики РАН А.В. Адрианов, С.В. Рознов, Ю.Ю. Дзгбуадзе, Г.Г. Матишов.

КОРЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ В РОССИИ В XXI ВЕКЕ

© 2020 г. П. В. Крестов^{а,*}, К. А. Корзников^{а,**}, Д.Е. Кислов^{а,***}

^а Ботанический сад-институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

*E-mail: krestov@botsad.ru

**E-mail: korzkir@mail.ru

*** E-mail: kislov@easydan.com

Поступила в редакцию 05.03.2020 г.

После доработки 05.03.2020 г.

Принята к публикации 19.03.2020 г.

Происходящие сегодня изменения наземных экосистем — лесов, болот, тундры, лугов, степей — в результате возрастающих антропогенных нагрузок и потепления климата всё в больших масштабах трансформируют эволюционно сложившуюся структуру растительного покрова России, что увеличивает экологические и экономические риски. Комплексное изучение всех компонентов и механизмов функционирования наземных экосистем позволит разработать подход к управлению природными ресурсами в условиях их интенсивной эксплуатации, сохранить генофонд и биоразнообразие, определить стратегию природопользования. При текущих изменениях климата именно



КРЕСТОВ Павел Витальевич — член-корреспондент РАН, директор Ботанического сада-института ДВО РАН. КОРЗНИКОВ Кирилл Александрович — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Ботанического сада-института ДВО РАН. КИСЛОВ Дмитрий Евгеньевич — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Ботанического сада-института ДВО РАН.

состояние и нормальное функционирование наземных экосистем становится стратегически важным фактором стабильности, обеспечения среды обитания человека базовыми ресурсами (воздух, вода, пища) и экономического роста России.

Ключевые слова: наземная экосистема, растительность, флора, растительные ресурсы, изменение климата, антропогенное воздействие, экосистемный сервис, прогнозное моделирование.

DOI: 10.31857/S0869587320060067

Россия занимает значительную часть территории северной Евразии и располагается в пределах полярной, бореальной и умеренной природных зон с различными типами климата — от гиперокеанического (Командорские острова) до ультраконтинентального (Якутия) [1]. Разнообразие климата и геологического строения поверхности создаёт на территории нашей страны уникальную и весьма гетерогенную природную среду, которая поддерживает формирование редких по адаптациям растительных и флористических комплексов.

Северная Евразия благодаря последовательно выстроенной в XIX и XX вв. государственной политике рационального использования природных ресурсов в России [2] до сих пор остаётся хорошо сохранившимся анклавом необычайно богатого для северных широт биоразнообразия. Большая часть сибирской и дальневосточной Арктики, а также восточный сектор бореальной зоны находятся в пределах залегания вечной мерзлоты. Леса господствуют в растительном покрове России и представляют собой не только крупнейший в мире источник древесины, они обеспечивают важные экосистемные услуги — эффективное связывание атмосферного углерода, стабилизацию почв, регулирование водного цикла, поддержание высокого качества питьевой воды и воздуха, сохранение биоразнообразия.

РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ РОССИИ

Биоразнообразие на территории нашей страны распределено неоднородно и характеризуется общим градиентом обеднения с юга на север. У южных границ выделяются три основных региональных центра биоразнообразия: Крымский, Северо-Кавказский и Маньчжурский, сформировавшиеся на основе средиземноморской, ирано-туранской и восточноазиатской флор соответственно. Они отличаются высоким уровнем видового эндемизма и богатейшим реликтовым генофондом [3], представляющими большой интерес для современной селекции хозяйственно ценных растений.

Наиболее сложно устроенные наземные экосистемы находятся на юге Дальнего Востока [4]. В отличие от других регионов РФ, они обладают рядом уникальных особенностей:

- растительный покров имеет непрерывную историю развития с палеоцена;

- адаптация видов, полученная в течение продолжительного времени в условиях контрастного климата, существенно увеличивает способность растений и растительного покрова в целом переживать долгие неблагоприятные периоды, вызванные климатическими изменениями, и возможность расширения ареала исходного вида;

- наземные экосистемы, особенно на юге региона, отличаются рекордным уровнем биоразнообразия, сложной структурной организацией и разветвлёнными трофическими цепями;

- восточная окраина региона располагается в зоне активного вулканизма, оказывающего заметное влияние на миграционные процессы и эволюционный отбор видов со специфическими адаптивными стратегиями.

Наземные экосистемы на территории нашей страны имеют огромный в мировом масштабе ресурсный потенциал и выполняют значимые экосистемные функции [5, 6], связанные со стабилизацией глобальных процессов в атмосфере, гидросфере, в том числе вечной мерзлоте.

Надо признать, что в последнюю четверть века растительный покров России фактически перестал быть объектом внимания Российской академии наук. Академическое сообщество больше сосредоточено на морских и океанических биомах, при этом богатейшие и уникальные с точки зрения эволюции и разнообразия населяющих организмов наземные экосистемы практически не являются предметом современных исследований. Представления о ресурсной значимости флоры так и не вышли за пределы концепций развития лесной отрасли, основанных на получении древесины от эксплуатации естественных, ранее не затронутых рубками лесных насаждений [7]. Наблюдаемое катастрофическое снижение доходов государства от эксплуатации лесов — лишь вершина айсберга. Настоящих потерь существенно больше. Они связаны с исчезновением и обеднением генофонда растений флоры России, уникальных по адаптационному потенциалу. Спектр приспособительных реакций видов растений, сконцентрированных в основных центрах биоразнообразия в Крыму, на Северном Кавказе, в южной Сибири и на Дальнем Востоке, чрезвычайно широк, поэтому они представляют особую ценность при создании форм растений с заданными свойствами для использования в сельском хозяйстве и экономике. На исследованиях адаптационных свойств генотипов



Рис. 1. Концепция планетарных границ Й. Рокстрёма: внутренний зелёный круг представляет предполагаемое комфортное пространство для девяти планетарных систем. Красные сектора — оценка текущего значения каждой переменной. Границы в трёх системах (скорость утраты биоразнообразия, изменение климата и вмешательство человека в азотный цикл) уже были превышены. Рисунок воспроизводится с оригинала, опубликованного Rockström et al. [9].

растений российской дальневосточной флоры сосредоточено внимание создаваемых и развиваемых в странах-соседях (Китай, Япония, Корея и США) мощных исследовательских центров, аналогов которым нет в России.

Сегодня численность населения планеты составляет 7.6 млрд человек, к 2030 г., по оптимистичным прогнозам, она вырастет до 8.6 млрд, к 2050 г. — до 9.8 млрд. При этом структура глобальной экономики показывает, что более 98% жизненно важных ресурсов так или иначе связано с функционированием именно наземных, а не морских и океанических экосистем [8]. Потребляя ресурсы, человечество, согласно концепции планетарных границ, предложенной в 2009 г. шведским учёным Йоханом Рокстрёмом и австралийцем Уиллом Стеффеном [9], вышло из зоны комфортной среды обитания по таким параметрам, как климатические изменения, потери биоразнообразия и изменение биогеохимических циклов (рис. 1). Следует отметить, что один из важнейших ресурсов — пресная вода — также относится к продуктам функционирования наземных экосистем.

КОЛЕБАНИЯ КЛИМАТА И ТРАНСФОРМАЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

Существенные трансформации растительного покрова, вызванные человеком, происходят в зонах наиболее комфортного для его проживания

климата — в пределах широт от 30 до 50° севернее и южнее экватора Земли. Увеличение населения и урбанизация вызовут существенное повышение спроса на ресурсы, включая питьевую воду и продовольствие. Как следствие, произойдут значимые изменения в сельскохозяйственной инфраструктуре, а затем — и в функционировании наземных экосистем.

Ожидается, что колебания климата уже в ближайшие 50–70 лет повлекут за собой изменение условий, в которых наземные экосистемы в северной Евразии функционировали в последние 10 тыс. лет, что приведёт к созданию качественно иной среды обитания для многих организмов. Это негативно скажется на природных экосистемах и ухудшит их функции. Особенно заметно данный процесс будет проявляться на российском Дальнем Востоке, климатические условия которого характеризуются контрастными градиентами, а более половины территории располагается в зоне древней вечной мерзлоты. Напротив, высокие температуры могут стимулировать сельское хозяйство в северных регионах России: откроются перспективы вовлечения новых земель в прибыльное производство продуктов питания с мощным экспортным потенциалом. Возрастающее антропогенное влияние на экосистемы и быстро развивающиеся экономики соседних государств (Китай, Южная Корея, Япония) также могут представлять угрозу для природных экосистем России, увеличивая эксплуатацию ресурсов региона, что в перспективе будет сопровождаться ухудшением качества воды и воздуха из-за трансграничных переносов загрязнений.

При текущих изменениях климата состояние и нормальное функционирование именно наземных экосистем становится стратегически важным фактором глобальной стабильности, обеспечения среды обитания человека базовыми ресурсами (воздух, вода, пища) и экономического роста России.

Перечислим главные проблемы, общие для соседних с РФ государств, расположенных в пределах 30–50° с.ш. и обладающих благоприятными для населения климатическими ресурсами:

- сведение естественной растительности на огромной территории Восточной и Средней Азии, Малой Азии и Европы, приводящее к уменьшению биоразнообразия, в том числе генетического;
- усиливающееся воздействие на растительность поллютантов, переносимых воздушным путём из индустриальных и лишенных растительности регионов в виде аэрозолей и взвесей;
- прогрессирующее опустынивание внутренних регионов Азиатского континента;
- необратимые климатогенные изменения биоты;
- трансформация водного баланса материков;

- биотические поражения растительности, особенно искусственных плантаций, инвазионными вредителями и патогенами;
- бесконтрольное распространение генетически модифицированных растений.

В сложившихся обстоятельствах нам необходимо срочно разворачивать комплексные полноценные исследования наземных экосистем, прежде всего их главного продукционного компонента — фотосинтезирующего растения, с тем, чтобы иметь возможность его изучения на всех уровнях — от молекулярного до экосистемного, включая вопросы долговременного хранения генофонда. Экспериментальная база исследований с географически распределённым парком научного оборудования может быть сформирована за короткое время в научных институтах ботанического профиля, расположенных в разных природно-климатических зонах России. Таким образом мы сможем вернуть в нашу страну контроль над уникальными генетическими ресурсами мировой флоры и вовлечь их в экономику. Главная стратегическая задача в условиях быстрого изменения среды — создание сети региональных центров по исследованию растений в рамках разработок биотехнологий ускоренного воспроизводства лесных и сельскохозяйственных ресурсов, выявление адаптивных генотипов хозяйственно значимых растений и видов, находящихся под угрозой исчезновения, устойчивых к неблагоприятным климатическим условиям, а также сохранение генетического разнообразия растительной биоты как основы биобезопасности России.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Изучение фотосинтезирующего растения занимает особое место с точки зрения понимания закономерностей формирования надорганизменных биологических систем и среды обитания человека — экосистем и биосферы. Эта роль обусловлена способностью растительного покрова к формированию первичной продукции, дающей начало трофическим сетям и, в конечном счёте, определяющей энергетический баланс биосферы и обеспечивающей её стабильное функционирование. Кроме того, знание закономерностей формирования надорганизменных биологических систем применительно к сельскому хозяйству открывает возможности для развития существующих агротехнологий с целью повышения эффективности сельскохозяйственного производства при сниженной экологической нагрузке на окружающую среду.

Важной для исследований, мониторинга, управления и прогноза продукционного процесса в условиях бурного развития цифровых технологий становится классификация растительно-

сти, являющаяся по сути математической формализацией растительного покрова. Отсутствие единой национальной классификационной системы единиц растительности делает невозможным систематизацию растительных сообществ и фактически исключает прогнозные оценки национальной ресурсной базы в условиях меняющейся среды.

Создание качественных моделей климатогенной и антропогенной динамики биоты наземных экосистем на разных уровнях её организации — амбициозная задача, которая требует:

- ликвидации пробелов в современных знаниях о разнообразии и функционировании экосистем;
- внедрения новых, в том числе экспресс-методов индикации реакции биоты на изменение климата;
- разработки оригинальных подходов, позволяющих интегрировать результаты разрозненных исследований разнообразия, динамики и ресурсного потенциала растительных экосистем;
- проведения таксономических ревизий и выявления видового состава неизученных и малоизученных районов;
- интеграции усилий специалистов разных направлений.

Моделирование структуры экосистем необходимо для изучения и прогноза пространственного распределения продукционных свойств видов растений в каждой растительной зоне. Поскольку на разных уровнях пространственно-временной организации экосистем их интеграция контролируется различными факторами среды, принципы моделирования разнотипных экосистем также различны.

Для моделирования *на локальном уровне* используются системы постоянных пробных площадей, где, как правило, производится индивидуальная оценка и картографирование размещения деревьев. Использование дендрохронологического подхода позволяет ответить на вопросы, связанные с изучением индивидуального развития деревьев, реакцией различных видов на изменение среды, историей формирования древостоев.

При моделировании структуры растительного покрова локального уровня могут быть использованы переменные, описывающие локальный и региональный климат, а также топографические данные, рассчитываемые на основе глобальных цифровых моделей рельефа.

Биоклиматические ареалы видов растений и единиц растительности *на региональном уровне* определяются путём решения уравнений, независимыми переменными которых являются географические данные по распространению растений или материалы наземных наблюдений экосистем, а зависимыми — климатические параметры, полученные на основе разработанных моделей климата [10].

Для моделирования структуры растительного покрова в качестве промежуточного этапа необходимо оценить потенциальные места распространения ключевых видов, слагающих растительный покров, в существующих климатических условиях. Это даст возможность определить вклад среды и антропогенных факторов в ограничение современного ареала ключевых видов. Применение ранее разработанных сценариев климатических изменений позволяет оценить потенциальное распространение вида при различных климатических состояниях. Моделирование осуществляется в несколько этапов, включая построение статистических моделей с использованием алгоритмов для определения современного потенциального распространения вида или типа экосистем, верификацию моделей, интегрирование палеоданных для оценки исторического распространения ключевых видов и построение их потенциальной дигрессии или экспансии [11].

Чтобы понять механизм динамики ареалов видов и экосистем, необходимо установить ситуации в критические климатические эпохи: 140 тыс. лет назад (межледниковье), 21 тыс. лет назад (максимум последнего оледенения в плейстоцене), 6 тыс. лет назад (голоценовый оптимум). Для этих целей часто используют источник данных для экологического моделирования WorldClim с набором производных биоклиматических характеристик. Прогноз распространения видов и экосистем в регионе глубиной до 2100 г. разработан для ситуаций, актуальных при реализации климатических сценариев RCP 2.6, 4.5, 6.0 и 8.5 [12]¹.

Фактор времени (климатогенные и неклиматогенные изменения за последние годы) в моделях растительного покрова учитывается при использовании находящихся в открытом доступе данных спутникового аппарата MODIS, установленного на спутниковых аппаратах Terra и Aqua (США). Структурные модели растительного покрова на ландшафтном и региональном уровнях верифицируются на основе временных серий (до 40 лет) космических снимков, полученных с помощью американских и европейских спутников дистанционного зондирования Земли Landsat, Sentinel, Ikonos и др., созданных в рамках проекта глобального мониторинга окружающей среды. Сопоставление биоклиматических и ландшафтных моделей растительного покрова с его реальной

структурой в известный временной промежуток даёт возможность установить пределы толерантности различных видов и растительных комплексов к изменяющимся климатическим условиям.

КЛИМАТОГЕННЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Ретроспективное и прогнозное моделирование распространения основных хозяйственно ценных видов древесных растений и разных типов экосистем современной России показало две тенденции развития биоты при возможной реализации пессимистических (RCP8.5) и оптимистических (RCP2.6) климатических сценариев [13]. С одной стороны, модели с глубиной прогноза 70 лет показывают улучшение условий для роста основных лесообразователей и расширение их биоклиматических ниш. С другой стороны, местообитания в южных частях ареала, представлявшие места для сохранения биоты во время максимума последнего оледенения, с высокой вероятностью станут по климатическим показателям непригодными для поддержания популяций с древним генофондом. На этом фоне интерес представляют потенциальные иммигранты — те виды растений, для которых северные границы их обитания в ближайшие десятки лет станут по климатическим параметрам благоприятными для развития в том числе и на территории России, а также представители патогенной биоты, ранее не проявлявшие активности в регионе.

В умеренной зоне Евразии будут выражены два вектора миграций: для мезофитов открывается северное направление (рис. 2), для ксерофитов — распространение во внутриконтинентальные экосистемы. Таким образом, флора умеренной Евразии начнёт существенно меняться, что, с одной стороны, приведёт к генетическому обеднению аборигенных популяций, в том числе лесообразующих видов, а с другой — к усилению чужеродного компонента флоры. Кроме того, изменения неизбежно коснутся сохраняемых *in situ* диких родичей культурных растений, что потребует обновлённой интегральной стратегии *ex situ/in situ* сохранения и защиты исчезающих видов как источника генофонда для будущих адаптированных сортов растений с улучшенными свойствами и залога продовольственной безопасности.

Вместе с тем потепление климата может открыть новые возможности для перехода от использования биологических ресурсов естественных экосистем к плантационному хозяйству. В разворачивающейся климатической ситуации необходимо акцентировать внимание на концепции модулируемой миграции видов — потенциальных эдификаторов экосистем, создавать инфраструктуру и исследовательскую базу для длительного сохранения генофонда хозяйственно ценных

¹ Исследователям доступны модельные расчёты изменения климата, сформированные в 2013–2014 гг. в рамках международного проекта CMIP5 при подготовке Пятого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата. В проекте CMIP5 представлены сценарии RCP (Representative Concentration Pathway), предполагающие климатические изменения на ближайшую (до 2035 г.) и долгосрочную (до 2100 г.) перспективу. На основе прогнозов сценарии получили стандартизованные обозначения: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 и RCP8.5.

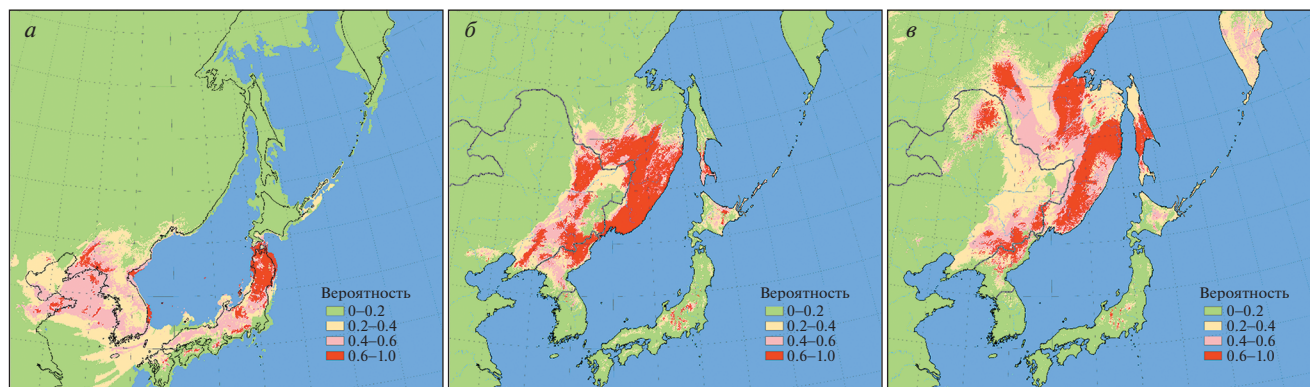


Рис. 2. Биоклиматические ареалы *Pinus koraiensis* Siebold & Zucc. во время последнего ледникового максимума (а), в настоящее время (б) и в 2070 г. (в), согласно климатическому сценарию RCP8.5, с указанными вероятностями присутствия. Для расчёта биоклиматических ниш использованы самые информативные из более чем 30 биоклиматических параметров: тепловой индекс Кира — сумма среднемесячных температур выше 5°C; холодовой индекс Кира — сумма среднемесячных температур ниже 5°C (в абсолютных значениях); индекс континентальности — разница средних температур самого тёплого и самого холодного месяцев; осадки за период с среднемесячной температурой выше 0°C. Значения биоклиматических индексов рассчитывались по данным WorldClim v.1.4 [10]. Модель, основанная на текущих климатических параметрах, была экстраполирована на климатические условия LGM (Last Glacial Maximum — максимум последнего оледенения) и условия, прогнозируемые на 2070 г. В обоих случаях использовалась климатическая модель CCSM4.

видов растений, в том числе не представленных на территории России, и разрабатывать прогнозные сценарии развития экономики, базирующейся на биологических ресурсах наземных экосистем.

Потепление климата, наблюдаемое сейчас на всей территории России и особенно ярко выраженное в её северо-восточной части, имеет свои плюсы: новые территории могут стать пригодными для земледелия и развития сельскохозяйственного производства, ориентированного на получение продуктов с высокой добавленной стоимостью (рис. 3). В то же время потепление климата и сельское хозяйство увеличивают потребление воды, ведут к эрозии и деградации почв, росту агроэкологических рисков, связанных с появлением новых сорняков, вредителей и патогенов. Сельское хозяйство не только будет трансформироваться с изменением климата, но также существенно увеличит влияние на региональный климат через усиливающиеся выбросы парниковых газов. Прогнозные сценарии развития земледелия и других направлений агропромышленного комплекса в меняющемся климате необходимы для улучшения условий ведения сельского хозяйства и продовольственной безопасности. Это позволит снизить негативное воздействие сельскохозяйственного производства на окружающую среду.

Возрастающее вовлечение наземных экосистем в экономику сопровождается не только обеднением ресурсной базы, но и существенным и деятельным участием человека в трансформации биогеохимических и биогеоклиматических циклов, которые обеспечивают стабильность наземных экосистем и биосферы в целом. Это про-

исходит на фоне фундаментальной перестройки среды обитания человека, зависящей от текущей динамики климата.

Усиление интенсивности лесных пожаров, вызванных потеплением, и изменение практик землепользования будут иметь важные обратные связи по биогеохимическим циклам и приведут к ухудшению качества воздуха и локального климата [14]. Чтобы понимать последствия данных процессов, необходимо развивать прогнозные моделирование с целью достижения баланса между расширением сельхозугодий и сохранением естественной растительности.

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ СОХРАНЕНИЯ И РАЗВИТИЯ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Изменение климата, повсеместно регистрируемое в умеренной зоне Евразии, — один из основных вызовов, с которыми Россия столкнётся уже в ближайшее десятилетие. Увеличение числа погодных аномалий с интенсивными и частыми стихийными бедствиями — наводнениями, засухами, тайфунами — факт очевидный. В этих условиях возникает потребность в разработке региональных сценариев изменений климата по сезонам с глубиной прогноза до 10 лет при высоком пространственном разрешении климатических моделей для выработки оптимальной политики регионального развития.

Возможное увеличение эмиссии метана при деградации вечной мерзлоты и возросшая интенсивность лесных пожаров, несомненно, скажутся на функционировании региональных экосистем и дальнейшем развитии городских поселений.

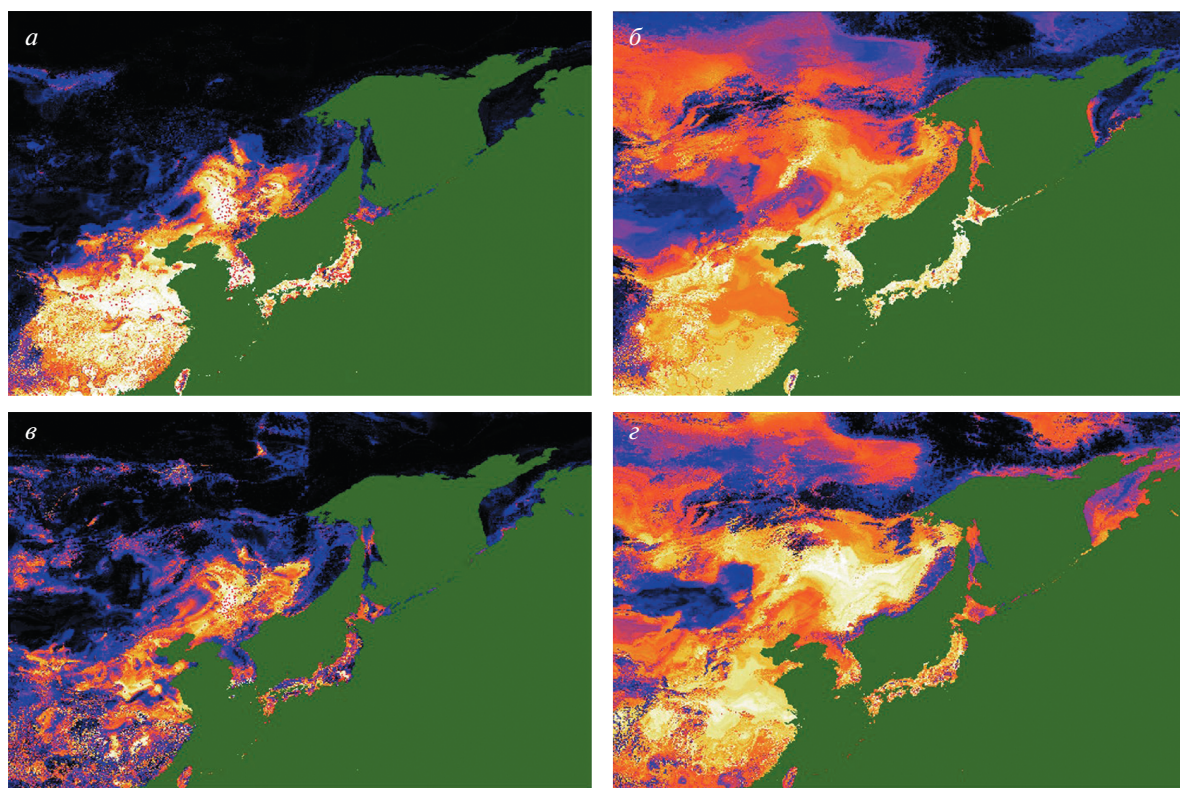


Рис. 3. Биоклиматические ареалы наиболее распространённых на Дальнем Востоке России сельскохозяйственных культур: сои (*а, б*) и пшеницы (*в, г*) в настоящее время (*а, в*) и в 2070 г. (*б, г*), согласно климатическому сценарию RCP8.5. Чем светлее область, тем оптимальнее условия для возделывания культуры. Пояснения по деталям моделирования — на рисунке 2.

Сейчас данные об эмиссиях и концентрациях парниковых газов, загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу, в России представлены фрагментарно и недостаточны для достоверной оценки состояния парниковых газов в атмосфере. Необходимо создать интегрированную сеть наблюдений, которая включала бы мониторинг экологических круговоротов и комплексный контроль загрязнений.

Сегодня изменение климата, наряду с антропогенной деятельностью, признаётся главной причиной сокращения биологического разнообразия. Ожидается, что потепление будет способствовать миграции видов, в том числе высокопатогенных организмов, в высокие широты, а также появлению чужеродных видов. Следует оценить негативные и/или позитивные последствия этих процессов для природных экосистем с возможным изменением экосистемных сервисов, в частности, для отраслей, связанных с переработкой природных ресурсов и туризмом.

Необходимо организовать принципиально новый вид оперативного обслуживания экономики России по природным зонам, основанный на разработке сезонных краткосрочных прогнозов изменений климата с использованием данных мо-

нитторинговых сетей, спутниковых наблюдений и прогнозных моделей. Сценарии изменения климата должны быть включены в стратегическое экономическое планирование регионов и страны в целом. Влияние климата на качество воздуха и воды, а значит, на здоровье человека должно контролироваться, анализироваться и моделироваться комплексно.

Связывание атмосферного углерода российскими лесами обеспечит значительный вклад в достижение целей Парижского соглашения, предусматривающего обязательство России сократить выбросы углекислого газа в атмосферу. Механизмы углеродной торговли (торговли выбросами) могут быть включены в региональную и федеральную политику. В связи с этим особое значение приобретает разработка надёжных методов учёта углерода, а также конкретных правил управления углеродным рынком.

Для достижения перечисленных задач следует нарастить региональный университетский потенциал, внедряя в структуру интегрированных учебных планов вузов климатическую науку, которая требует междисциплинарного подхода, и усиливая направления фундаментальной биологии и геофизики.

Таким образом, чтобы обеспечить экономический и экологический суверенитет России, необходимо:

- провести инвентаризацию и мониторинг флоры и микобиоты;
- разработать технологию инвентаризации лесных экосистем и национальную классификацию растительности;
- усовершенствовать нормативно-правовую базу (в частности, принять федеральный закон о растительном мире, новый “Лесной кодекс Российской Федерации”), регулиующую рациональное использование растительных ресурсов, особенно лесных;
- развить методы оценки и прогноза динамики лесных экосистем и ареалов ресурсно значимых видов растений в условиях климатических изменений;
- системно использовать диких родичей культурных растений в селекционной работе;
- сохранять мировой генофонд хозяйственно ценных растений на территории РФ для его последующего применения в национальной экономике;
- разрабатывать новые научные программы для воспроизводства научных кадров в области антропогенного и климатогенного изменения наземных экосистем.

Изучение растительного покрова и его изменений может быть результативным только при переходе профильных институтов к сетевой форме организации науки, которая подразумевает использование ресурсов нескольких учреждений, что обеспечит распределение экспериментальной базы по разным климатическим регионам России.

Особую роль в изучении наземных экосистем играют функционирующие под научно-методическим руководством РАН ботанические сады, которые стали не только уникальными площадками для сохранения генофонда растительных ресурсов страны, но и научными центрами по инвентаризации и исследованию растительной биоты [15]. Именно здесь открываются возможности для системного воспроизводства научных открытий. Генетические ресурсы растений, сохраняемые в ботанических садах и других интродукционных пунктах — дендрологических парках, специализированных сельскохозяйственных институтах и питомниках, муниципальных и частных ботанических собраниях, представляют единую национальную коллекцию, распределённую по всей территории Российской Федерации с её широким разнообразием климатических зон. Этот огромный потенциал должен быть максимально использован для изучения и сохранения растительных ресурсов России, оценки функционирования наземных экосистем и прогнозирования их развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Krestov P.V., Omelko A.M., Nakamura Y.* Phytogeography of higher units of forests and krummholz in North Asia and formation of vegetation complex in the Holocene // *Phytocoenologia*. 2010. V. 40. № 1. P. 41–56.
2. *Sheingauz A., Nilsson S., Shvidenko A.* 1995. Russian forest legislation, IIASA Working Paper (WP-95-45). Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis, 1995. P. 1–26.
3. *Hobohm C., Janišová M., Steinbauer M. et al.* Global endemics-area relationships of vascular plants // *Perspectives in Ecology and Conservation*. 2019. V. 17. № 2. P. 41–49.
4. *Krestov P.V.* Forest vegetation of Easternmost Russia (Russian Far East) // *Forest vegetation of Northeast Asia*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. P. 93–180.
5. *Gauthier S., Bernier P., Kuuluvainen T. et al.* Boreal forest health and global change // *Science*. 2015. V. 349. № 6250. P. 819–822.
6. *Bukvareva E., Zamolodchikov D., Grunewald K.* National assessment of ecosystem services in Russia: Methodology and main problems // *Science of the Total Environment*. 2019. V. 665. P. 1181–1196.
7. *Newell J.P., Simeone J.* Russia's forests in a global economy: how consumption drives environmental change // *Eurasian Geography and Economics*. 2014. V. 55. № 1. P. 37–70.
8. *Lade S.J., Steffen W., de Vries W. et al.* Human impacts on planetary boundaries amplified by Earth system interactions // *Nature Sustainability*. 2020. V. 3. P. 119–128.
9. *Rockström J., Steffen W., Noone K. et al.* A safe operating space for humanity // *Nature*. 2009. V. 461. P. 472–475.
10. *Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L. et al.* Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas // *International Journal of Climatology*. 2005. V. 25. P. 1965–1978.
11. *Kadambari D., Morelli T.L., Tenan S.* Multi-species occupancy models: review, roadmap, and recommendations // *Ecography*. 2020. V. 43. P. 1–13.
12. *Collins W.D., Ramaswamy V., Schwarzkopf M.D. et al.* Radiative forcing by well-mixed greenhouse gases: Estimates from climate models in the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report (AR4) // *Journal of Geophysical Research*. 2006. V. 111. P. D14317.
13. *Moss R.H., Edmonds J.A., Hibbard K.A. et al.* The next generation of scenarios for climate change research and assessment // *Nature*. 2010. V. 463. P. 747–756.
14. *Di Paola A., Valentini R., Santini M.* An overview of available crop growth and yield models for studies and assessments in agriculture // *Science of food and agriculture*. 2016. V. 96. № 3. P. 709–714.
15. *Edwards C.E., Jackson P.W.* The development of plant conservation in botanic gardens and the current and future role of conservation genetics for enhancing those conservation efforts // *Molecular Frontiers Journal*. 2019. V. 3. № 1. P. 44–65.