

ПРОЯВЛЕНИЕ ДИНАМИКИ ЭКОСИСТЕМ В ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А.Ю. КОРОЛЮК

RELATIONSHIPS BETWEEN ECOSYSTEM DYNAMICS AND VEGETATION STRUCTURE ON THE SOUTHERN PART OF WESTERN SIBERIA

A.Ju. KOROLYUK

*Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, 630090 Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101
Central Siberian Botanical Garden, SB RAS, 630090 Novosibirsk, Zolotodolinskaya str., 101
Fax: +7 (383) 330–19–86; e-mail: akorolyuk@rambler.ru*

На примере изучения серии ключевых полигонов продемонстрированы возможности различных методов для анализа динамики растительности. Дешифрирование растительности по прямым признакам и сопоставление карт используется при наличии разновременных снимков. Широкий спектр возможностей предоставляется косвенными методами анализа. В основе таких работ лежит изучение пространственной структуры растительного покрова. Хорошие результаты дает анализ рисунка снимка с последующей полевой верификацией. Использование топо-ординационных схем растительности позволяет прогнозировать смены растительных сообществ.

Ключевые слова: динамика растительности, пространственная структура растительного покрова, степная и лесостепная зоны, Западная Сибирь.

A range of key testing sites was used to show the capabilities of different methods of vegetation dynamics analysis. Recognition of vegetation according to direct features and comparison of maps are applied with space photos made at different time. The indirect methods of analysis also provide a wide spectrum of possibilities. Such a work is based on study of spatial structure of vegetation cover. The analysis of space photo patterns with further field verification works well. Application of topo-ordination schemes of vegetation allows to forecast plant community changes.

Key words: vegetation dynamics, spatial structure of vegetation, steppe and forest-steppe zone, Western Siberia.

ВВЕДЕНИЕ

Степные и лесостепные районы Западно-Сибирской равнины характеризуются высокой изменчивостью гидрологических процессов, циклическая динамика которых проявляется во всех компонентах экосистем и на всех уровнях организации ландшафтов (Куркин, 1976; Максимов, 1989; Микроартроподы ..., 1991). Растительность является одним из ключевых комплексных индикаторов изменений природных условий. Для изучения динамики экосистем используются различные ботанические показатели: флористический состав фитоценозов, обилие и встречаемость ключевых видов растений, возрастные спектры ценопопуля-

ций и др. Особенно рельефно изменения природной среды проявляются в структуре растительного покрова: в наборе сообществ и закономерностях их взаимного расположения. Использование данных дистанционного зондирования дает нам новые возможности в изучении динамики экосистем. На аэрофотоснимках и космических снимках высокого разрешения проявляются многие динамические процессы.

Целью нашей работы было выявление динамических явлений в растительном покрове степной и лесостепной зон Западной Сибири на основании анализа данных дистанционного зондирования.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В основу данной работы легли материалы многолетних исследований Обь-Иртышского междуречья в пределах Алтайского края и Новосибирской области. В ходе экспедиционных работ был собран значительный объем данных, позволяющий описать структуру растительного покрова серии ключевых полигонов, представляющих различные типы степных и лесостепных ландшафтов.

В качестве основы для анализа пространственно-структурной организации растительного покрова использовались данные дистанционного зондирования. Для оценки состояния растительнос-

ти в прошлом применялись крупномасштабные аэрофотоснимки, для оценки современного состояния — космические снимки различного пространственного разрешения (Landsat, Quick Bird).

Для оценки связей растительности с факторами среды использовались экологические шкалы растений (Методические ..., 1974; Королук, 2006). Ординация сообществ на градиентах увлажнения и богатства-засоленности почв выполнялась по ранее описанной методике (Королук, 2007). Хранение и обработка материалов проводились в пакете IBIS (Зверев, 2007).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Эффективным методом исследования динамики растительного покрова является анализ разновременных серий аэрофото- и космоснимков. На равнинных территориях юга Западной Сибири одним из широко распространенных вариантов изменений, которые легко читаются на снимках, являются смены лесных и травяных сообществ. Ведущей естественной причиной деградации лесных массивов является увеличение увлажненности местообитаний в рамках циклического изменения гидрологических условий. С этим связано широко распространенное явление «вымокания» лесов, характерное для ландшафтов колочной лесостепи Барабинской низменности. Изменения противоположной направленности наблюдаются на южном пределе распространения лесов. Здесь наблюдается деградация мелколиственных лесов, которая связана с аридизацией условий и прогрессирующим засолением почв исходно лесных местообитаний. Растительный покров юга Западной Сибири подвержен сильнейшему хозяйственному прессу, что во многих случаях усложняет выявление естественных процессов, приводящих к сменам травяных и лесных сообществ. Основными агентами антропогенной трансформации выступают пожары, рубки и выпас скота, чье воздействие в значительной степени объясняет деградацию лесов многих районов.

На первом этапе исследований нашей задачей была оценка возможностей анализа разновременных снимков. Такой анализ проводился на ключевом полигоне в районе с. Красносельское (Чановский район Новосибирской области). Сопоставление аэрофотоснимков (1976 и 1980 гг.) и снимков высокого разрешения (2008 г.), доступных в Интернет, показало следующее. В пределах небольшой тер-

ритории, характеризующейся единством физико-географических условий, в разных ее частях мы обнаруживаем разнонаправленные изменения. Так, в центральной части полигона наблюдается активное зарастание деревьями переувлажненных местообитаний, занятых ранее болотно-солончаковыми лугами и злаково-осоковыми болотами. Эта часть полигона более всего удалена от населенных пунктов и в силу этого в наименьшей степени подвержена антропогенному влиянию, как в настоящее время, так и в 80-е годы прошлого столетия. Экспансию лесов мы также наблюдаем в колочных ландшафтах в непосредственной близости от с. Оравка (западная часть полигона), где неглубокие западины, ранее занятые злаково-осоковыми евтрофными болотами и болотно-солончаковыми лугами, трансформировались в мелколиственные колки. В то же время на отдельных участках полигона произошла деградация лесных массивов, что в первую очередь связано с пожарами. Объяснить экспансию лесов можно двумя причинами. Естественная причина связана с процессами аридизации юга Западно-Сибирской равнины. Этим фактом объясняется облесение некоторых болотных массивов и внутренних частей «аллапных» колков (лесные массивы с контуром злаково-осокового болота в центральной части) в удалении от населенных пунктов. Здесь мы вправе ожидать циклические изменения болото-лес-болото в рамках многолетних циклов увлажнения. Другая причина восстановления лесов связана со снижением антропогенной нагрузки на травяные экосистемы вблизи населенных пунктов, что объясняется значительным сокращением поголовья скота в период между 1990 и 1995 гг. Снижение выпаса приводит к увеличению проективного покрытия травяных сообществ, окру-

жающих лесные массивы, а также к образованию подстилки. За счет рыхлящей деятельности животных уменьшается плотность почвы. В совокупности эти процессы приводят к уменьшению поверхностного водного стока, значительная часть воды впитывается в почву и расходуется на транспирацию, в результате чего уменьшается привнос солей в колочные западины. Можно предположить, что происходит рассоление колочных западин за счет выноса солей тальми водами. При этом создаются условия, благоприятные для поселения деревьев и на месте болотного сообщества формируется древесный фитоценоз с хорошо развитым напочвенным покровом из мезофитных трав.

Анализ разновременных снимков с использованием прямых дешифровочных признаков является эффективным методом исследования динамических процессов. Но такого рода исследования ограничены временными рамками, в течение которых проводилась крупномасштабная съемка. Этот период для большинства регионов Южной Сибири не превышает 50 лет. Более того, следует признать, что архивные аэрофотоснимки стали гораздо менее доступны. Мы можем предположить, что значительная часть архивов уничтожена или утеряна за последние два десятилетия. Всё это заставляет искать другие методы в изучении динамики растительности и природных экосистем.

Даже не имея аэрофотоснимков, отражающих прошлое состояние растительного покрова, мы можем анализировать деградацию растительности базирываясь на современных космических снимках высокого пространственного разрешения. В данном случае один из эффективных путей исследования динамики растительности состоит в изучении закономерностей структуры растительного покрова по рисунку снимка. Работа такого рода может состоять из следующих этапов.

На первом этапе оценивается ландшафтная однородность анализируемой территории. Она должна обладать единым набором элементов — типов растительных сообществ, а также единой топологической структурой растительного покрова, отражающейся в единстве формы и взаимного расположения сообществ. Далее на снимке определяется центр или совокупность центров антропогенного воздействия, чаще всего это населенные пункты или сельскохозяйственные объекты. В противовес этому находятся наименее нарушенные ландшафты, максимально удаленные от антропогенных образований. На снимке закладывается система линий, на которых предполагается клинальное изменение антропогенной нагрузки. Система линий может быть заменена системой радиальных

зон с разной степенью антропогенной нагрузки. На последнем этапе анализируется изменение в растительности ключевых форм рельефа и выясняется зависимость структуры и состава сообществ от степени хозяйственного пресса.

Данную методику можно проиллюстрировать на примере ландшафтов колочной лесостепи. Лесостепные ландшафты этого типа широко распространены на территории Новосибирской области и Алтайского края и характеризуются многочисленными и небольшими по размерам лесными массивами по суффозионным западинам. Это определяет своеобразный мелкопятнистый рисунок колочной лесостепи на снимках. Западины различных размеров обладают различной структурой растительного покрова. Самые малые из них, достигающие в поперечнике нескольких десятков метров, заняты травяными осиново-березовыми лесами. По мере увеличения размеров западины до первых сотен метров, в ее центральной части появляются кустарниковые и травяные болота. Крупные западины и котловины заняты гетерогенной водно-болотной растительностью, по их периферии развиваются солонцово-солончаковые комплексы. Западины и котловины вкраплены в фоновые степные и луговые фитоценозы, развивающиеся на почвах солонцового ряда. Антропогенный пресс на данные ландшафты приводит к трансформации всех компонентов растительного покрова. Остановимся лишь на двух наиболее ярких примерах.

Под влиянием интенсивной пастбищной нагрузки происходит деградация лесных массивов по западинам малого и среднего размеров. Сильный выпас в окружающих леса солонцеватых лугах приводит к снижению проективного покрытия травостоя и обнажению поверхности почвы. В полугидроморфных условиях уплотнение верхних горизонтов почв приводит к подтягиванию легко растворимых солей к поверхности почвы в результате выпотного режима. Тальми и, в меньшей степени, дождевыми водами соли переносятся в лесные западины. В результате этого происходит гибель деревьев, а лесное сообщество трансформируется в солончаковатый луг. Не последнюю роль в интенсификации таких процессов играет цикличность увлажнения, приводящая к вымочкам лесов, которые в условиях антропогенного пресса и вторичного засоления не имеют шансов восстановить свой исходный облик. Данные явления мы наблюдали в различных районах Новосибирской области.

Близкие процессы протекают по окраинам крупных озерно-болотных котловин. В условиях интенсивного выпаса в травяных сообществах происходит изреживание травостоя и рост засоления

верхних горизонтов почв. Это приводит к увеличению доли корковых и мелких солонцов, а также антропогенных солончаков, возникающих в процессе плоскостной водной эрозии на сбитых пастбищах. Данные элементы растительного покрова без труда дешифрируются на снимках высокого разрешения. В зависимости от их доли в растительном покрове мы можем оценить степень антропогенной деградации растительности конкретной котловины. Увеличение засоленности ландшафтов и сопряженное с ним уменьшение покрытия растительности часто имеет широкий размах, позволяющий дешифрировать процессы деградации растительности на снимках среднего разрешения по изменениям их спектральных характеристик. В совокупности, анализ деградации колков и прогрессирующего засоления дают нам инструмент для анализа антропогенной трансформации растительности и зонирования территории по этому признаку.

Описанные выше способы могут быть эффективно использованы при условии, когда исследуемая территория резко неоднородна по степени трансформации. В случае, когда антропогенная нагрузка распределяется равномерно, мы можем использовать косвенные методы анализа динамики растительности посредством изучения рисунка снимка с последующей полевой верификацией.

В качестве примера такого рода исследований можно привести результаты комплексных экспедиционных работ на территории полигона в южной части Касмалинской боровой ленты (Алтайский

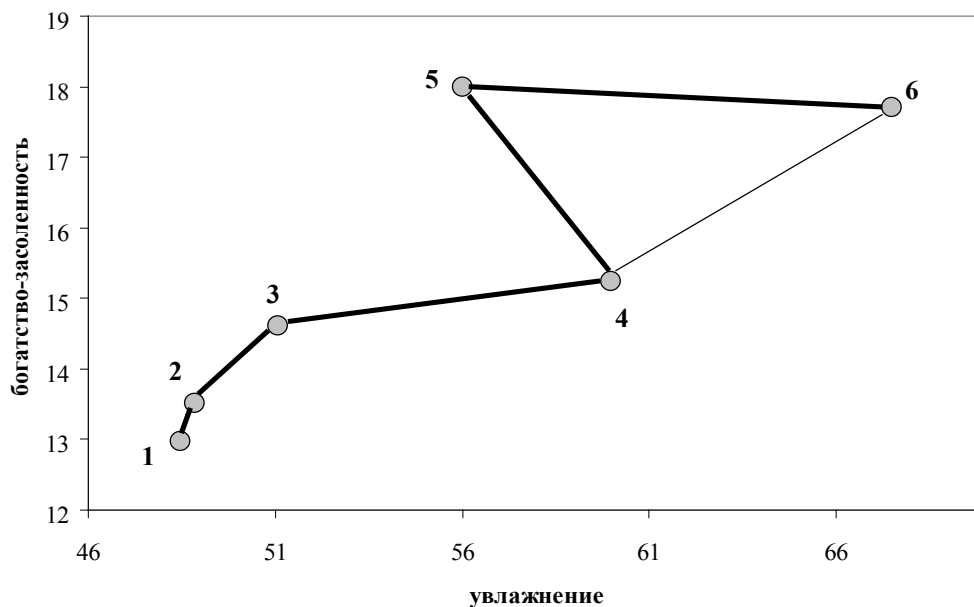
край). Изученная территория характеризуется сложными комплексами растительности, сложенными сообществами степного, лугового и галофитного типов (Королюк и др., 2007). Для оценки возможных путей трансформации растительности было проанализировано распределение типов экосистем на осях ведущих экологических факторов — увлажнения и богатства-засоленности почв, на основании чего разработана топо-ординационная модель растительного покрова (рисунок).

Методика построения топо-ординационных схем растительности позволяет на одной модели визуализировать экологическое положение сообществ и их топологические связи (соседство). Для построения схемы выполняются следующие действия:

1. Вычисление экологических статусов для всех типов сообществ с использованием экологических шкал растений (Королюк, 2007).

2. Ординация типов сообществ в пространстве ведущих экологических факторов.

3. Определение топологических связей. Для этого оценивается вероятность контакта между всеми парами сообществ. В своих исследованиях мы используем результаты описания ландшафтных профилей. В этом случае подсчитываются случаи контакта между различными типами сообществ. Как показывает наш опыт, это наиболее простой, но, в то же время, эффективный метод. Также возможно определение топологических контактов по длине границ между различными типами. Это можно делать тремя способами.



Фрагмент топо-ординационной схемы растительности Касмалинского полигона. Жирной линией показаны постоянные связи, тонкой — наблюдаемые лишь иногда. Сообщества: 1 — песчаные степи, 2 — гемипсаммофитные степи, 3 — солонцеватые степи, 4 — солончаковатые дуга, 5 — сообщества однолетних галофитов, 6 — бескильницевые сообщества

- С использованием GPS прокладываются пути по границам различных сообществ, в камеральных условиях подсчитываются их длины.

- По крупномасштабной геоботанической карте подсчитываются длины границ между различными типами сообществ.

- Высчитывание длины границ производится по результатам дешифрирования космических снимков высокого разрешения.

4. Топологические связи наносятся на схему.

Анализ положения типов сообществ в топо-ординационной схеме полигона (см. рисунок) позволяет прогнозировать изменения в растительном покрове, связанные с динамикой гидрологического

режима. Так как эти изменения чаще всего носят постепенный характер, то в зависимости от направления динамики (обсыхание или переувлажнение) сообщество замещается соседствующими в схеме ценозами. Так, при повышении сухости на территории полигона мы вправе ожидать увеличение площадей солонцеватых степей за счет солончковых лугов и сообществ однолетних галофитов. Начальные стадии динамики мы можем обнаруживать в ходе полевых исследований, они в первую очередь проявляются в изменении флористического состава сообществ, а также в соотношении обилия индикаторных групп растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение пространственной структуры растительного покрова является основой для создания системы мониторинга природных процессов. При анализе динамики лесных сообществ в ходе повторяющихся наблюдений на ключевых полигонах анализируется появление и гибель возобновления деревьев и кустарников в травяных сообществах, а также по опушкам кустарниково-лесных контуров. Более сложным, но в то же время более информативным, является анализ динамики границ между различными типами травяных сообществ. Для этой цели проводятся повторяющиеся полевые исследования на постоянных ландшафтных профилях с точной географической привязкой. В первую очередь анализируется динамика границ между травяными экосистемами, связанная с наступлением и обсыханием болот, взаимодействием между степными и луговыми сообществами.

При изучении динамики растительного покрова мы можем эффективно использовать различные методы. При наличии разновременных снимков наиболее эффективным методом является дешифрирование растительности по прямым признакам и сопоставление полученных карт. При отсутствии разновременных снимков могут использоваться косвенные методы анализа динамики растительности посредством изучения рисунка снимка с последующей полевой верификацией.

Работы по изучению экосистем Южной Сибири проводятся при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 08-04-00055, 10-04-91159-ГФЕН) и проекта «Разработка системы комплексной индикации процессов опустынивания для оценки современного состояния экосистем Сибири и Центральной Азии, создание на ее основе прогнозных моделей и системы мониторинга» подпрограммы «Проблемы опустынивания» программы РАН № 16.

ЛИТЕРАТУРА

- Зверев А.А. Информационные технологии в исследованиях растительного покрова. Томск, 2007. 303 с.
- Королюк А.Ю. Экологические оптимумы растений юга Сибири // Ботанические исследования Сибири и Казахстана. 2006. Вып. 12. С. 3–38.
- Королюк А.Ю. Использование экологических шкал в геоботанических исследованиях // Актуальные проблемы геоботаники. Лекции. Петрозаводск. 2007. С. 177–197.
- Королюк А.Ю., Смоленцев Б.А., Егорова А.В., Хрусталева И.А., Маслова О.М. К характеристике почвенно-растительного покрова лугово-степных ложбин в ленточных борах юга алтайского края // Ботанические исследования Сибири и Казахстана. 2007. Вып. 17. С. 89–99.
- Куркин К.А. Системные исследования динамики лугов. М., 1976. 284 с.
- Максимов А.А. Природные циклы (причины повторяемости природных процессов). Л., 1989. 237 с.
- Методические указания по экологической оценке кормовых угодий лесостепной и степной зон Сибири по растительному покрову. М., 1974. 246 с.
- Микроартроподы, почвы, растительность в условиях пульсирующего увлажнения (на примере Карасукской равнины). Новосибирск, 1991. 166 с.