

УДК 911.52(470.11)

А. В. ХОРОШЕВ

**ФАКТОРЫ САМОРАЗВИТИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ
ТАЕЖНОГО ЛАНДШАФТА**

При изучении изменений пространственной структуры ландшафтов основное внимание привлекает их краткосрочная динамика. Для исследований по дистанционным материалам она наиболее доступна, когда связана с развитием рельефа (особенно эрозионно-селевых процессов), а также с антропогенными воздействиями [1–4]. Для лесных районов лучше всего изучена динамика, связанная с вырубками [5] и пожарами [6]. Слабо освещен вопрос о долгосрочном (порядка столетий) саморазвитии пространственной структуры. Исключение составляют исследования саморазвития болотных и заболочиваемых ландшафтов вследствие, например, заиливания иллювиального горизонта, оглеения [7].

Пространственную структуру ландшафта можно представить как сочетание двух типов пространственной варибельности свойств мобильных компонентов — почв и растительности. Часть этих свойств тесно связана с геолого-геоморфологическими характеристиками или литогенной основой и поддается расчету. Другая часть варибельности от этой основы не зависит и оценивается как «остаток» общей варибельности, не описанный свойствами литогенной основы.

В силу разного характерного времени компоненты ландшафта не могут развиваться абсолютно синхронно. Следовательно, их взаимная адаптация — процесс долгосрочный. Если выявить интервалы значений свойств литогенной основы, когда изменчивость свойств почв и растительности наиболее ограничена, то это будет означать строгую литогенную детерминированность, сложившуюся в течение столетий. Если варьирование велико при однородной основе, то это может быть связано с антропогенной нарушенностью, разнообразием стадий развития одного и того же природно-территориального комплекса (ПТК), а также с возникновением новых пространственных единиц вследствие саморазвития. Под саморазвитием понимается изменение свойств мобильных компонентов ландшафта, межкомпонентных отношений и пространственной структуры, не детерминированное литогенной основой. Возможны как конвергенция, так и дивергенция ландшафтных единиц внутри единого литогенного ареала.

Цель данного исследования — выявление, во-первых, вклада саморазвития ландшафта как совокупности процессов, преобразующих исходную литогенную матрицу, в формирование и развитие пространственной структуры, во-вторых, — движущих сил саморазвития. Проверилась гипотеза о вкладе современных миграционных процессов, прежде всего радиального и латерального внутрпочвенного переноса вещества, в саморазвитие ландшафтной структуры. Исходное положение — зависимость интенсивности латеральной миграции от расчлененности рельефа, а радиальной миграции — от механического состава почвообразующей толщи.

Материал собран в ходе исследований, ведущихся с 1994 г. на полигоне Московского университета на юге Устьянского района Архангельской области (60°53' с.ш., 43°20' в.д.). Ландшафт представляет собой структурную эрозионно-моренную равнину с неглубоким залеганием пермских мергелей, с сочетанием мелколиственно-еловых лесов на подзолистых и дерново-карбонатных почвах и болот [8, 9]. Важную роль в ландшафтной дифференциации играют блоковое строение территории [10],

вариации строения двучленной почвообразующей толщи (карбонатные моренные суглинки московского возраста с маломощным плащом озерно-ледниковых супесей), а также подщелачивающее влияние грунтовых вод. Составлено 529 комплексных описаний фаций.

При разделении ареалов с литогенно детерминированными межкомпонентными отношениями, с одной стороны, и ареалов саморазвития — с другой, конструктивную роль может играть концепция полиструктурности ландшафта [11]. Она подразумевает одновременное существование в геопространстве трех относительно независимых парциальных структур. Геостационарные структуры создаются устойчивыми радиальными связями компонентов ландшафта, которые в локальном масштабе определяются прежде всего свойствами отложений, создающими тот или иной режим минерального питания, фильтрации атмосферной влаги, воздушный режим почвы и т. п.

Геоциркуляционные структуры обособляются в зависимости от напряженности и направленности латеральных потоков, биоциркуляционные — в зависимости от ориентировки по отношению к потокам инсоляции. В данной работе рассматриваются только первые два типа структур. Мобильные компоненты ландшафта в идеале постепенно адаптируются к режиму потоков вещества, однако в ходе эволюции ландшафта может возникать более сложная картина в отношениях компонентов; могут возникать сходные свойства мобильных компонентов по разные стороны от четкой литогенной границы.

Схема исследования (рис. 1) подразумевает на первом этапе идентификацию классов литогенной основы с непересекающимися сочетаниями свойств. Деление на классы — основа для упорядоченности, из которой могут сложиться (или не сложиться, в зависимости от обстоятельств) соответствующие ландшафтные структуры — геоциркуляционные, геостационарные или биоциркуляционные. Эти структуры можно считать реализованными, действительно целостными, т. е. ландшафтными, только в том случае, если каждому классу литогенной основы будет соответствовать не пересекающееся с другими классами сочетание свойств мобильных компонентов.

Классы рельефа выделены автоматически (кластерный анализ, метод k -средних) по комплексу стандартизованных характеристик дренированности — вертикальной расчлененности (дисперсия абсолютных высот в определенном радиусе от точки исследования), горизонтальной расчлененности (суммарная длина водотоков в том же радиусе), разнообразию (энтропия) экспозиций в том же радиусе, расстоянию до ближайшего водотока, уклону. Эти характеристики рассчитаны на основе цифровой модели рельефа полигона m -ба 1:50 000. Чтобы оценить эффект масштаба, для классификации использованы характеристики рельефа в двух вариантах: в радиусе 500 и 1000 м. Классы отложений выделены по совокупности характеристик механического состава на каждой точке наблюдения через пять сантиметров до глубины 150 см (градации по Н. А. Качинскому).

Затем проводится проверка на однозначность соответствия свойств почв и растительности каждому из классов литогенной основы (дискриминантный анализ) как группирующим переменным. Зависимые переменные — характеристики почв и растительности, описанные факторными значениями, рассчитанные методом многомерного шкалирования с использованием непараметрических корреляций¹. Факторы формирования растительности получены из данных по обилию видов отдельно для древесно-кустарникового и кустарничково-мохово-травяного ярусов, факторы почвы — по мощностям и цветовым характеристикам (по шкалам Манселла) генетических горизонтов.

Использован способ, когда не дается однозначного ответа «да» или «нет» о принадлежности к тому или иному классу, а рассчитывается вероятность, с которой объект может быть к ним отнесен. Эта логика соответствует континуальному представлению об организации ландшафтов [12]. Компактные территории, где мобильные компоненты с высокой вероятностью соответствуют тому же классу отложений, к которому фация отнесена при формальной классификации, считаются сформировавшимися целостными геостационарными структурами. Аналогично на основании классификации рельефа выделены целостные геоциркуляционные структуры.

По вероятности принадлежности свойств мобильных компонентов к каждому из классов литогенной основы по формуле Шеннона рассчитывается значение неопределенности классификационной принадлежности (НКП) описанных фаций. Низкие значения неопределенности интерпретируются как возможность наличия данного сочетания свойств почв и растительности в ограниченном диапазоне характеристик рельефа или отложений, т. е. в той или иной обстановке миграции. Это свидетельствует о равновесных межкомпонентных отношениях и существовании целостных геостационарных или геоциркуляционных структур. Высокая неопределенность свидетельствует о сочетании свойств почв и растительности, которое может с близкой вероятностью встречаться при разных характеристиках литогенной основы. Это доказывает неравновесность отношений и переходное во времени или пространстве состояние ПТК.

¹ Алгоритм расчета разработан Г. М. Алещенко и Ю. Г. Пузаченко.

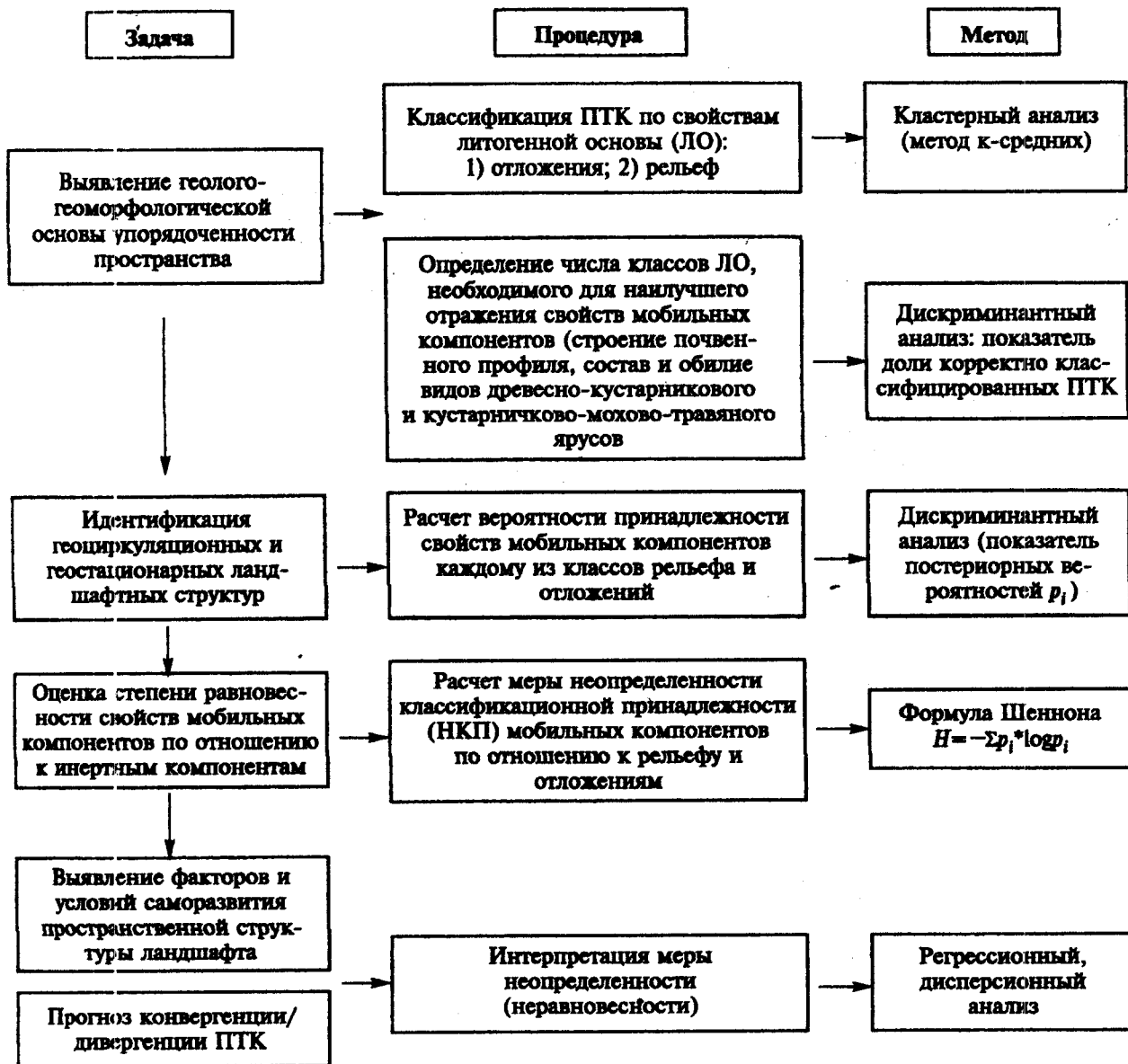


Рис. 1. Схема исследования.

Расчет НКП произведен в разных вариантах: отдельно по ярусам растительности, по почвам, по сочетанию всех мобильных компонентов — раздельно по отношению к отложениям, к рельефу в радиусе 500 м и 1000 м от места исследования. С точки зрения эволюции как вертикальной, так и пространственной структуры ландшафта неравновесные ПТК представляют наибольший интерес, поскольку в них идет интенсивный «поиск» вариантов дальнейшего развития, которое может пойти по разным траекториям в зависимости от случайных импульсов, в том числе антропогенных. Среди причин неопределенности межкомпонентных отношений могут быть: а) незавершенность адаптации растительности и почв к литогенной основе в силу меньшего характерного времени; б) антропогенное воздействие, например вырубки; в) положение в пределах экотона; г) возникновение саморазвивающихся ландшафтных структур, не зависящих от литогенной основы.

Заключительный этап исследования — интерпретация мер неопределенности, проверка гипотез о ее причинно-следственных связях с современными ландшафтными процессами. Показатель НКП рассматривается как зависимая переменная в регрессионных уравнениях, а разнообразные структурно-функциональные показатели ландшафта — как независимые.

По результатам дискриминантного анализа мобильные компоненты ландшафта в разной степени определяются особенностями рельефа и отложений. В наибольшей степени этими свойствами ограничивается разнообразие структуры кустарничково-мохово-травяного яруса: для 50–60 % описанных

фаций показатели обилия видов однозначно распределяются по непересекающимся классам литогенной основы. Для древесно-кустарникового яруса этот показатель составляет 40–45 %, а для почв не превышает 35–45 %. По совокупности мобильных компонентов фации на 50 % корректно распределяются между классами литогенной основы. Фации, не вошедшие в это число, скорее всего находятся под преобладающим влиянием механизмов, не зависящих напрямую от основы, в том числе от саморазвития.

Эти оценки необходимо конкретизировать для разных геолого-геоморфологических условий. С этой целью сопоставлены дисперсии значений факторов, управляющих мобильными компонентами, в разных диапазонах характеристик литогенной основы. Так, среди шести классов рельефа минимальная дисперсия для большинства факторов выявлена для класса плоских и слабонаклонных междуречий с неглубокими ложбинами. Особенно жестко детерминированы видовой состав древесно-кустарникового яруса (осиново-еловые леса) и почвенный профиль (вложенный субпрофиль альфегумусового подзола). Показательно, что небольшое разнообразие состояний присуще не только «быстрому» компоненту с характерным временем — порядка десятков лет (растительность), но и почвам с характерным временем в сотни лет, что свидетельствует об устойчивом равновесии в данной группе урочищ.

Равновесие современных почвообразовательных процессов по отношению к литогенным условиям можно оценить с помощью цветовых характеристик почв [13] с целью учета максимального разнообразия профилообразующих процессов, поскольку стандартные индексы горизонтов недостаточны. Каждый горизонт — результат долговременных процессов (столетия), но его цветовая гамма может отражать и более быстрые процессы — в несколько лет.

На основе цветовых характеристик в трех горизонтах — элювиальном супесчаном, надконтактном супесчаном или легкосуглинистом и иллювиально-суглинистом — рассчитаны значения трех факторов. Два из них характеризуют современное элювиально-иллювиальное перераспределение и показывают противоположные соотношения осветления (яркость — Value) и ожелезнения (цветность — Chroma) в элювиальном и иллювиальных (надконтактном и подконтактном) горизонтах. Иначе говоря, это факторы оподзоливания и иллювиирования, но только в пределах песчано-супесчаного плаща или с проникновением в суглинистый слой.

Судя по дисперсии значений этих факторов, в данной группе урочищ разнообразие вариантов элювиально-иллювиального перераспределения вещества в супесчаном плаще минимально — обязательно формирование поверхностного и контактного элювиальных горизонтов, разделенных иллювиально-железистым горизонтом. В то же время существует много вариантов поверхностной аккумуляции органического вещества (третий фактор), зависящей от наличия или отсутствия подпитки почв щелочными грунтовыми водами.

Таким образом, есть основания полагать, что в пределах данной группы урочищ процесс оподзоливания находится в относительном равновесии с латеральными и радиальными потоками, но в то же время возможна дивергенция ПТК внутриурочищного уровня по минеральному питанию.

Максимальная дисперсия значений большинства факторов характерна для класса ложбин, днищ и покатых густорасчлененных склонов долин. Здесь явно преобладает долговременная тенденция к дивергенции траекторий развития мелких ПТК. Исключение составляет фактор, определяющий соотношение видов трав с противоположной требовательностью к минеральному питанию, а поскольку повсеместно развито неморальное разнотравье, то разнообразие невелико.

Современные почвенные процессы, судя по факторам цвета, неоднозначны по направленности. Ограничено разнообразие процессов гумусовой аккумуляции в супесчаном плаще (сравнительно интенсивное гумусонакопление), что, видимо, частично объясняется навязанной человеком конвергенцией свойств почв покатым склонам, удобных в прошлом для распашки (гумусонакопление изначально присуще днищам долин и ложбинам). В то же время появляется множество вариантов перераспределения в пределах супесчаного плаща.

Противоречивое сочетание тенденций развития почв отражает частичное их восстановление после антропогенной нарушенности предвоенного периода, когда распаханность относительно удаленных от поселений междуречий достигала максимума. Сейчас урочища данной группы находятся на разных стадиях восстановления после антропогенных нарушений.

Разнообразие состояний мобильных компонентов могут ограничивать также литологические условия. Среди классов отложений наиболее строго эти ограничения проявляются при суглинистом профиле, когда формируются преимущественно оглеенные горизонты. В классе двучленных отложений (супесчаный плащ на моренных суглинках) с маломощным супесчаным плащом дисперсия современных процессов максимальна, в основном за счет множества вариантов соотношения гумусонакопления и оподзоливания, зависящего от степени минерального питания.

В классе неконтрастных двучленов, где между супесчаным плащом и суглинком есть легкосуглинистый горизонт, ограничено разнообразие факторов цвета, особенно управляющих процессами в

супесчаном плаще. Поскольку ослабление контрастности двучлена — результат накопления ила в надконтактном слое за счет внутрипочвенного перераспределения вещества, то сам такой профиль можно считать результатом саморазвития ландшафта. Здесь невысокое разнообразие современных процессов по сравнению с суглинками или контрастными двучленами означает, что в заиленных профилях эти процессы находятся в равновесии с «модифицированной» литогенной основой. Неравновесными в этом случае следует считать почвы, где процесс заиливания песчано-супесчаного плаща еще не привел к формированию легкосуглинистого надконтактного горизонта. Иными словами, многовариантность цветовых гамм, отображающих современные процессы в двучленах, свидетельствует о более ранних стадиях развития процесса заиливания.

Следовательно, анализ дисперсии состояний мобильных компонентов при разных диапазонах литогенных свойств позволяет оценить возможное разнообразие вертикальных структур внутри той или иной группы урочищ, а значит, и потенциальное разнообразие траекторий их саморазвития при сходных литогенных условиях. Для интерпретации движущих сил саморазвития построен ряд регрессивных моделей, связывающих НКП мобильных компонентов с различными структурными показателями состояния ландшафта.

НКП почвенного профиля (соотношения мощности горизонтов) довольно хорошо интерпретируется факторами цветовой гаммы. Например, на крутых склонах НКП почв по отношению к классам отложений и рельефа характеризуется двумя факторами цвета соответственно на 41 и 36 %. Наиболее тесная связь (с описанием до 52–53 % варибельности значений НКП) при квадратичном уравнении связи с факторами цветовой гаммы выражена при средней горизонтальной расчлененности в радиусе 500 м от точки исследования. Это означает, что современное иллювиальное перераспределение может вызывать такие изменения структуры профиля, которые влияют на равновесность почв по отношению к отложениям преимущественно в среднедренированных позициях. При этом современная структура профиля соответствует современным процессам, т. е. это — «почва-момент».

При слишком сильном или очень слабом дренаже влияние современных процессов на равновесность профиля по отношению к отложениям сокращается; профиль отражает долговременные процессы и в большей степени отвечает понятию «почва-память». Наименьшей неопределенностью по отношению к отложениям отличаются характерные для региона [14] почвы с ярко выраженным развитием вложенного альфегумусового подзола. В таких почвах современные процессы пришли в равновесие с модифицированной в результате саморазвития литогенной основой, в остальных — продолжается «поиск» оптимальных вариантов и наблюдается многовариантность современных процессов. Мера неопределенности в этом случае отражает разные стадии развития процесса, степень его незавершенности.

Современная цветовая гамма почв при определенных условиях согласуется и с состоянием растительности. Наибольшая равновесность кустарничково-мохово-травяного яруса с условиями рельефа наблюдается при отсутствии гумусового прокрашивания в сочетании с элювиально-иллювиальным перераспределением железа в супесчаном плаще и проникновением олеения в суглинистую толщу. При гумусонакоплении — наоборот, как правило, кустарничково-мохово-травяной покров приходит в неравновесие с рельефом в силу парадоксального сочетания бореальных и неморальных видов, по-разному относящихся к выщелачиванию почв латеральными потоками.

Указанные закономерности, как правило, описываются нелинейными регрессионными уравнениями с участием квадратичной составляющей с гораздо более высокой точностью (коэффициент детерминации R^2 до 0,7), чем простыми линейными уравнениями (R^2 не превышает 0,3). Вид уравнений меняется для разных микроблоков [9], что свидетельствует о специфичности межкомпонентных отношений в зависимости от неотектонической обстановки и об урочищном уровне проявления процесса.

Для более крупных территорий (местности и ландшафты) статистически значимых зависимостей нет, поэтому нельзя говорить о единообразном влиянии перераспределения вещества в почвах на неравновесность мобильных компонентов для всего исследованного гетерогенного ландшафта. Показательно, что мера неравновесности древесно-кустарничкового яруса по отношению к рельефу не может быть объяснена современными почвенными процессами в силу разницы характерных времен.

Для древесно-кустарничкового яруса установлена прямая связь между неопределенностью его отношения к классам отложений и рельефа и фактором, определяющим соотношение первичных и вторичных пород (рис. 2, а). Это фактор стадий восстановительной сукцессии: после первоначального зарастания вырубок березой и сосной их доля начинает снижаться по мере их вытеснения елью. Обилие ели в 1-м ярусе и подрдсте соответствует высокой НКП, т. е. рост обилия ели нивелирует межурочищные литогенные различия.

Следовательно, чем ближе лес к среднетаежной норме, тем слабее зависимость его вертикальной структуры от литогенных условий. Наибольшая же чувствительность (наименьшая НКП) к литогенной основе наблюдается при преобладании вторичных пород — березы и особенно осины. При вос-

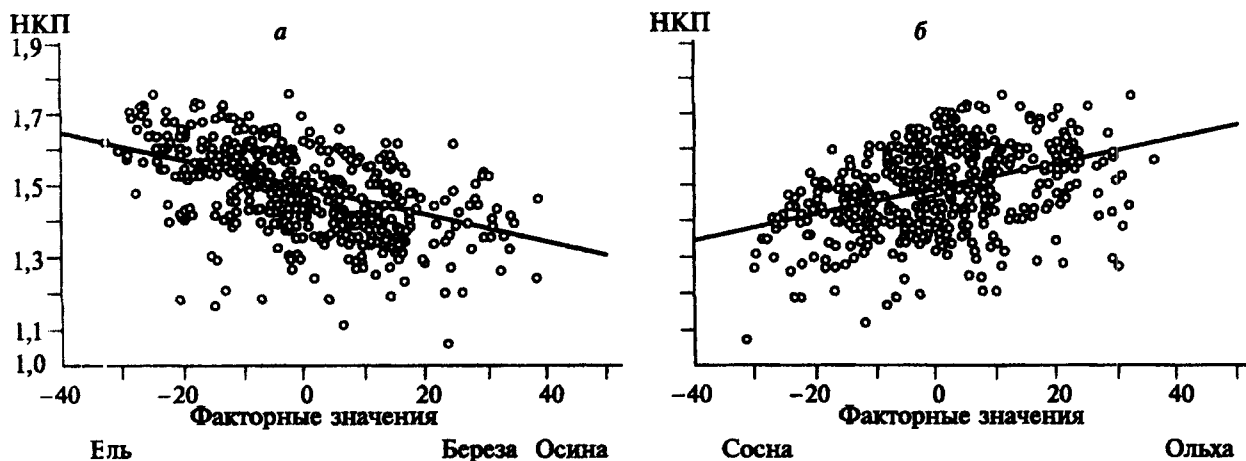


Рис. 2. Интерпретация НКП древесно-кустарничкового яруса по отношению к классам рельефа в зависимости от соотношения первичных и вторичных пород (а) и минерального питания (б).

становительной сукцессии через осину — индикатор повышенного минерального питания в районе исследования — после недавних антропогенных нарушений возникают наиболее строго детерминированные отношения между составом древостоя и условиями радиальной и латеральной миграции вещества. По мере вытеснения осины елью древесно-кустарничковый ярус становится более однообразным и менее чувствительным к литогенным контрастам. Ареал наиболее старых ельников (130—150 лет по дендрохронологическим данным Ю. Н. Бочкарева) совпадает с участками минимальной чувствительности растительности к литогенным условиям, что свидетельствует о тенденции к конвергенции вертикальной структуры разных урочищ в ходе восстановительных сукцессий.

Неравновесность на уровне урочищ может создаваться миграцией щелочных грунтовых вод, нарушающей бореальный характер ландшафтообразующих процессов независимо от рельефа, но, как правило, в соответствии с отложениями. Независимость выходов грунтовых вод от рельефа косвенно свидетельствует в пользу напорных разгрузок по не выраженным в рельефе разрывным нарушениям самого низкого уровня, находящихся в согласии с общим для региона рисунком линейментов [9].

НКП древесно-кустарничкового яруса определяется значениями фактора, ответственного за соотношение видов с противоположными потребностями в минеральном питании (см. рис. 2, б). В саморазвитии ландшафта четко прослеживается роль разгрузки щелочных грунтовых вод. Она может происходить в разных позициях рельефа, поэтому велика НКП по отношению к рельефу. Однако зависимость разгрузок от мест выклинивания супесчаного плаща снижает НКП по отношению к отложениям. Здесь преимущественно развиты ольха, осина, малина, смородина. Итак, детерминирующая роль отложений по отношению к растительности, которая проявляется опосредованно через миграцию грунтовых вод, более значима, чем роль рельефа.

Приведенные некоторые механизмы развития структуры ландшафта характеризуют адаптацию мобильных компонентов к свойствам рельефа в радиусе 500 м от каждой точки исследования, что соответствует примерно уровню урочищ. Для получения представления о размерах характерного пространства, к состоянию которого чувствительна каждая конкретная описанная фация, сопоставлены величины НКП по классам рельефа в двух масштабах — для радиуса 500 и 1000 м. Иначе говоря, сравнилась отзывчивость мобильных компонентов к факторам, действующим на уровне примерно мезоформ рельефа (ниже для краткости — мезофакторы) и групп мезоформ (макрофакторы). Если НКП снижается при сужении принимаемого в расчет пространства, то мезофакторы для фации имеют более важное значение, чем макрофакторы, и наоборот.

Размеры характерного пространства мобильных компонентов оказались неодинаковыми. Для почв мезофакторы почти всегда увеличивают неопределенность по сравнению с макрофакторами. Набор и мощность почвенных горизонтов отражают их многовековую эволюцию, поэтому узкомасштабные быстрые процессы не успевают сказаться на строении профиля, в то время как широкомасштабные длительные, определяющие общую обстановку миграции для группы урочищ, более четко дифференцируют строение почв.

Так, для кустарничково-мохово-травяного яруса соотношение мезо- и макрофакторов зависит от позиции в рельефе. При положении в пределах эрозионной формы видовой состав отзывчив к ее морфометрическим характеристикам и безразличен к строению прилегающих водораздельных поверхностей. Однако на водораздельной поверхности характеристики ближайшего окружения в радиусе

500 м для понимания факторов дифференциации почвенного покрова малоинформативны. Степень дренированности территории в радиусе 1000 м, напротив, сильно влияет на состав яруса, т. е. становится принципиально важным, сколько в этом пространстве эрозионных форм, каковы их морфометрические характеристики и амплитуда высот.

Вклад мезофакторов в НКП по отношению к макрофакторам, т. е. группам мезоформ рельефа, оценивался по квадратичным регрессионным уравнениям. Это дает представление о трансляции информации из одного масштаба в другой. Если НКП по отношению к макрофакторам хорошо коррелирует с неопределенностью мезофакторов, то мезофактор скорее всего является лишь локальным проявлением макрофактора. Строение почвы, например, отличается от ожидаемого при данном классе мезоформ рельефа (имеет высокую НКП), потому что находится в пределах территории, где почвы вообще слабо согласуются с условиями данной группы мезоформ. Это типично для междуречья с довоенной распашкой угодий вдоль дорог (ныне лесных).

Хорошо согласуются НКП почв по отношению к рельефу на мезо- и макроуровнях для местности, где ПТК наиболее близки к естественному состоянию. Если же меры НКП в двух масштабах независимы, то процессы, порождающие неравновесность межкомпонентных отношений, генетически различны. Наиболее хорошо согласуются разномасштабные факторы формирования почв, хуже всего — НКП кустарничково-мохово-травяного яруса. Древесно-кустарниковый ярус занимает промежуточное положение по степени согласованности разномасштабных факторов.

Таким образом, мобильные компоненты ландшафта в разной степени детерминированы характеристиками рельефа и отложений, более жестко — свойства кустарничково-мохово-травяного яруса, менее — древесно-кустарникового и почв. Выявлены некоторые факторы, ответственные за неравновесность отношений между мобильными компонентами и литогенной основой и проявляющиеся на разных иерархических уровнях ландшафтной организации: элювиально-иллювиальное перераспределение вещества в почвах, стадия восстановительной сукцессии, разгрузка щелочных грунтовых вод. Необходимо отметить, что на начальных стадиях восстановительных сукцессий происходит дивергенция ПТК по свойствам растительного покрова, на заключительных — конвергенция при сохраняющихся литогенных контрастах. Мобильные компоненты ландшафта имеют разное характерное пространство: строение почвенного профиля отражает свойства пространства более широкого охвата, чем строение фитоценоза. Для склоновых дренированных сильно расчлененных позиций характерное пространство межкомпонентных отношений сужено до уровня урочища, в то время как на плоских междуречьях вертикальная структура отражает состояние территории уровня группы урочищ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (01-05-64822).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mladenoff D. J., White M. A., Pastor J., Crow T. R. Comparing spatial pattern in unaltered old-growth and disturbed forest landscapes // *Ecological Applications*. — 1993. — Vol. 3, № 2.
2. Pan D., Dornon G., Bouchard A. Spatial pattern of coniferous and deciduous forest patches in an Eastern North America agricultural landscape: the influence of land use and physical attributes // *Landscape Ecol.* — 2001. — Vol. 16.
3. Ojala E., Louckari S. The merging of human activity and natural change: temporal and spatial scales of ecological change in the Kokemäenjoki river delta, SW Finland // *Landscape and Urban Planning*. — 2002. — Vol. 61.
4. Saunders D. A., Briggs S. V. Nature grows in straight lines — or does she? What are the consequences of the mismatch between human-imposed linear boundaries and ecosystem boundaries? An Australian example // *Landscape and Urban Planning*. — 2002. — Vol. 61.
5. Tang S. M., Franklin J. F., Montgomery D. R. Forest harvest patterns and landscape disturbance processes // *Landscape Ecol.* — 1997. — Vol. 12, № 6.
6. Keane R. E., Parsons R. A., Hessburg P. F. Estimating historical range and variation of landscape patch dynamics: limitations of the simulation approach // *Ecological Modelling*. — 2002. — Vol. 151.
7. Мамай И. И. Динамика ландшафтов. Методика изучения. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992.
8. Емельянова Л. Г., Хорошев А. В., Гаврилова И. П. и др. Устьянская учебно-научная станция географического факультета МГУ // Учебно-научные географические станции вузов России / Под ред. Г. И. Рычагова, С. И. Антонова. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001.
9. Хорошев А. В. Пространственная структура ландшафта как функция блокового строения территории // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География*. — 2003. — № 1.
10. Хорошев А. В. Влияние гидрографической сети на ландшафтную структуру севера Русской равнины // *География и природ. ресурсы*. — 2003. — № 2.
11. Солнцев В. Н. Структурное ландшафтоведение: основы концепции. Некоторые аргументы. — М., 1997.
12. Исаченко Г. А. Дискретность и континуальность в теории ландшафтоведения // Структура, функционирование, эволюция природных и антропогенных ландшафтов. — М.; СПб, 1997.

13. Хорошев А. В. Цветовые характеристики почв как показатель структуры и эволюции среднетаежного ландшафта // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. — 2001. — № 1.
14. Горбунова И. А., Гаврилова И. П. Особенности текстурно-подзолистых иллювиально-железистых почв Архангельской учебно-научной станции МГУ // Геохимия ландшафтов и география почв. — Смоленск: Ойкумена, 2002.

*Московский государственный
университет*

*Поступила в редакцию
9 июня 2003 г.*

УДК 631.4

А. С. КУРБАТОВА, В. Н. БАШКИН

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ КОМПЛЕКСНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В течение XX в. возрастающая антропогенная активность привела к ускоренному поступлению загрязняющих веществ в биосферу, что вызвало изменение ее биогеохимической структуры. Биогеохимическую структуру экосистем различных уровней можно рассматривать как наиболее чувствительный параметр загрязнения окружающей среды, гибко реагирующий на поступление поллютантов. Эта гибкость, или, другими словами, устойчивость биогеохимической структуры к антропогенным нагрузкам, подразумевает наличие определенного гомеостатического интервала, внутри которого возрастающее поступление поллютантов будет находиться в пределах природных отклонений различных звеньев биогеохимических пищевых цепей. Во многих природных биогеохимических субрегионах и провинциях поступление поллютантов уже привело к перестройке биогеохимического круговорота элементов и формированию технобиогеохимических и агрогеохимических провинций как структурных единиц биосферы. В наибольшей степени это относится к мегаполисам — Москве, Токио, Лондону, Нью-Йорку, Мехико и др.

В современных публикациях можно найти различные определения загрязнения окружающей среды. Большинство из них сводится к количественной оценке скорости поступления поллютантов и их накопления в разных средах биосферы — почвах, природных водах, воздухе, кормах и продуктах. Однако значительная пространственная и временная вариабельность геохимического фона не позволяет делать однозначные заключения при применении только таких количественных подходов [1]. Следует принимать во внимание биогеохимические циклы различных элементов в наземных и пресноводных экосистемах с параметризацией биогеохимических потоков на локальном, региональном и глобальном уровнях. Таким образом, с биогеохимической точки зрения загрязнение окружающей среды представляет собой обратимое и (или) необратимое изменение биогеохимической цикличности экосистем. Эти изменения сопровождаются появлением многих экологических проблем, связанных со здоровьем человека и состоянием экосистем.

Следовательно, комплексная оценка экологического воздействия на экосистемы и людей должна базироваться на биогеохимических принципах. При этом необходимо учитывать и геоэкологические факторы, такие как климатические и ландшафтные условия, степень выраженности антропогенного воздействия, изменение геологических и гидрогеологических условий территории. Соответственно цель статьи — рассмотрение современных международных подходов к оценке комплексного воздействия на состояние окружающей среды и здоровье человека.

Биогеохимическая цикличность — универсальное свойство биосферы, определяющее устойчивость любых экосистем, включая городские, к поступлению различных антропогенных поллютантов (кислотные соединения серы и азота, тяжелые металлы, стойкие органические соединения, агрохимикаты и др.). Концепция критических нагрузок (КН), основанная на биогеохимических принципах, предполагает определение уровня выпадения поллютантов с началом проявления их вредного воз-