УДК 911.2+581.5+504.54

Фитоиндикационно-геоэкологический анализ динамики геосистем: теоретические и методические основы

А.П. Гусев

Учреждение образования «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины»

Предлагаемая работа посвящена актуальной проблеме современной экологии – изучению динамики биосферы и слагающих ее экосистем. Существующие системы природопользования и экологической оценки антропогенного воздействия на региональном и локальном уровнях мало учитывают динамический характер природной среды, что является следствием слабой изученности долговременной динамики как природных, так и антропогенных геосистем (т.е. их изменений с характерным временем – 10^1–10^3 лет). Геоэкологическая оценка в подавляющем большинстве случаев направлена на фиксацию существующего состояния географической среды и не разработана в динамическом аспекте; отсутствуют работы по геоэкологическому анализу и оценке долговременной динамики геосистем. Целью работы является разработка методологических и методических основ фитоиндикации динамики природных и антропогенных геосистем.

Адрес для корреспонденции: 246019, г. Гомель, ул. Советская, 104, УО «ГГУ им. Ф. Скорины», e-mail: gusev@gsu.by – Гусев А.П.

Репозиторий ВГУ

Теоретические основы фитоиндикационно-геоэкологического анализа. На основе применения геоэкологического подхода [1] и многолетних исследований на территории юго-востока Беларуси нами разработан фитоиндикационно-геоэкологический анализ динамики геосистем.

Фитоиндикационно-геоэкологический анализ (ФГА) – методологическая концепция геоэкологических исследований динамики геосистем с использованием фитоиндикационных критериев. Суть ФГА – изучение пространственно-временных изменений геоэкологического состояния геосистем (геоэкологических ситуаций), отражающихся в комплексе показателей растительного покрова. Объектом ФГА выступают природные и природно-антропогенные геосистемы локального уровня; субъектом – человек, его хозяйственная деятельность и экологические потребности. Предмет ФГА – динамика геосистем и связанные с ней изменения их геоэкологических характеристик (средо- и ресурсовоспроизводящих свойств, продуктивности, биоразнообразия, экологического равновесия), диагностируемые по фитоиндикаторам.

Теоретико-методологической основой ФГА служит совокупность системного (геосистемного), ландшафтно-географического, экологического, геоботанического (эколого-фитоценотического и эколого-флористического), геоэкологического подходов, а также труды В.Б. Сочавы, А.Г. Исаченко, В.С. Преображенского, Б.И. Кочурова, А.А. Тишкова, Б.М. Миркина, Н.Ф. Реймерса, А.Н. Витченко, М.Д. Гродзинского, П.Г. Шищенко, В.М. Пащенко. ФГА базируется на принципах: системности, иерархичности, генетичности, динамичности, антропоцентризма, территориальности, дополнительности (комплементарности).

Фитоиндикационные методы дополняют геоэкологический анализ, решая определенный, достаточно обширный круг задач, а именно позволяют:

1) оценить уровень и пространственный охват антропогенного воздействия на геосистемы, фиксируя негативные природно-антропогенные процессы и явления, такие, как подтопление, водная эрозия, дефляция [2], химическое загрязнение [3], рекреационная и пирогенная дигрессия [4];

2) определить тип и интенсивность прошлых воздействий (на лесных территориях), которые могут влиять на современную геоэкологическую ситуацию;

3) оценить способность геосистем к самовосстановлению [5];

4) оценить нарушение экологического равновесия (риск нарушения экологического равновесия);

5) учесть тенденции природной долговременной динамики, связанной с саморегуляцией и саморазвитием геосистем;

6) определить сукцессионный статус геосистемы, т.е. ее положение в динамических (эволюционно-динамических) рядах саморегуляции и саморазвития;

7) оценить напряженность геоэкологической ситуации и современные тенденции антропогенной динамики геосистем.

Фитоиндикационно-геоэкологический анализ имеет существенные отличия от других работ в области фитоиндикации: 1) рассмотрение фитоиндикаторов как элементов природных и природно-антропогенных геосистем; 2) комплексирование методов фитоиндикации («универсальных» фитоиндикаторов не существует, сложность объектов индикации требует применения различных фитоиндикационных методов и методик); 3) отбор методов фитоиндикации ведется исходя из жесткого требования удовлетворять следующим критериям: быстрота (метод должен позволять в ограниченный отрезок времени получать максимум информации о состоянии геосистемы), простота (т.е. низкая трудоемкость и высокая экономичность), достаточно высокая точность (относительно затраченных сил и средств), пригодность для анализа геосистем различной размерности и генезиса, сопоставимость результатов, по крайней мере, в пределах изучаемой территории (региона); 4) фитоиндикационные

Репозиторий ВГУ

методы направлены на решение геоэкологических задач, т.е. фитоиндикация подчинена геоэкологическому анализу и оценке, выступает их инструментом.

Материал и методы. Для решения геоэкологических задач нами предложен и апробирован комплекс фитоиндикационных методов, основу которого составляют эколого-флористический и ценопопуляционный методы индикации. Эколого-флористический метод индикации представляет собой комбинированное использование: а) эколого-флористической классификации растительности Браун–Бланке [6] (сиинидикация, в которой в качестве индикаторов выступают синтаксоны – ассоциации, союзы, порядки, классы); б) экологических (фитоиндикационных) шкал [7]; в) методик изучения растительного континуума. В основе эколого-флористического метода индикации лежит исследование видового состава растительности (фитоценозов, пробных площадок, синтаксонов, ценоклинов и т.д.), который рассматривается как наиболее надежный и репрезентативный признак растительности, отображающий экологические условия и сукцессионный статус. Тем не менее, даже видовой состав растительности не является универсальным индикационным признаком, что обусловлено сложностью индицируемых объектов. Поэтому в качестве индикаторов нами использовались также онтогенетические спектры ключевых видов – деревьев (ценопопуляционный метод индикации), некоторые структурно-функциональные показатели растительного покрова – запас фитомассы, прирост, высота господствующего ярусов, общее проективное покрытие. Ценопопуляционный метод индикации основан на изучении онтогенетических (возрастных) спектров популяций ключевых видов (т.е. деревьев). При оценке загрязнения компонентов геосистем также использованы известные биоморфологические индикаторы (признаки повреждения растений – усыхание, некрозы, дефолиация и др.). Перечисленные фитоиндикационные методы дополняют друг друга; использование их в комплексе позволяет решать вышеуказанные задачи в рамках геоэкологического анализа.

ФГА территории реализован как алгоритм методических разработок, представляющих следующие этапы:

1. Изучение природно-ландшафтной дифференциации территории; привязка к существующим схемам природно-ландшафтного районирования и классификации (используются карты природных ландшафтов и ландшафтного районирования). Выяснение системы местоположений (на основе топографических карт масштаба 1:10000, 1:100000; полевых наблюдений).

2. Разработка модели сукцессионного комплекса как системы автогенных сукцессионных рядов, привязанных к типам местоположений. Выяснение основных характеристик сукцессионных процессов (на основе маршрутных наблюдений, исследований на постоянных пробных площадках). Уточнение фоновых скоростей протекания сукцессий в преобладающих местоположениях (фоновой длительности состояний геосистем, соответствующих сукцессионных статусов).

3. Изучение современного использования земель. Инвентаризация видов землепользования и определение ареалов их распространения (на основе топографических карт, космоснимков, полевых наблюдений).

4. Оценка антропогенной нагрузки (промышленной, сельскохозяйственной, транспортной и т.д.).

5. Оценка антропогенной трансформации геосистем территории. Выявление негативных природно-антропогенных процессов, определение их ареалов (по фитоиндикаторам, в качестве которых выступают растительные сообщества и их характеристики). Оценка загрязнения компонентов геосистем (по литературным и фондовым источникам, а также по биоморфологическим фитоиндикаторам). Выявление зон деградации растительного покрова, вызванной загрязнением.

Репозиторий ВГУ

6. Выяснение влияние антропогенной нагрузки и трансформации геосистем на сукцессионные процессы. Сравнение восстановительных сукцессий в геосистемах, имеющих различный уровень антропогенной трансформации.

7. Определение современного сукцессионного статуса геосистем территории (сукцессионный статус геосистемы скоррелирован с ее средообразующими и средозащитными свойствами, продуктивностью, биоразнообразием, динамическими качествами). Оценка сукцессионной зрелости (омоложенности) геосистем.

8. Оценка потенциала самовосстановления геосистем. Оценка риска нарушения экологического равновесия территории по соотношению площадей, занятых геосистемами с низким, пониженным и высоким (нормальным) потенциалом самовосстановления.

9. Оценка напряженности современной геоэкологической ситуации по соотношению процессов восстановления и деградации геосистем, с учетом загрязнения их компонентов. Анализ и оценка современных динамических тенденций.

Операционная территориальная единица при ФГА – геоэкологический участок, под которым понимается территория, относительно однородная по природно-антропогенным условиям, как правило, имеющая размер от первых км^2 до нескольких десятков км^2. Геоэкологический участок представляет собой мезоформу рельефа с однородной литогенной основой и характеризуется определенным набором антропогенных нагрузок и нарушений.

Оценка напряженности геоэкологической ситуации. Негативные природно-антропогенные процессы являются результатом антропогенного воздействия на геосистемы и их компоненты; в подавляющем большинстве случаев они отражаются в характеристиках растительного покрова и могут быть представлены в виде рядов аллогенной сукцессии. Для оценки негативных природно-антропогенных процессов используются показатели: 1) коэффициент пораженности территории современными геологическими процессами: $ПТ_{сгп}=(S_{сгп}/S)*100\%$, где $S_{сгп}$ – площадь распространения современных экзогенных геологических процессов; S – общая площадь территории; 2) коэффициент пораженности территории дигрессиями растительности: $ПТ_{др}=(S_{др}/S)*100\%$, где $S_{др}$ – площадь территории, на которой отмечаются дигрессивная динамика растительности (антропогенных модификаций лесных геосистем, связанных с рекреацией, загрязнением атмосферы, пожарами, подтоплением, зон с деградацией травяной растительности); S – общая площадь территории; 3) $ПТ_{кз}$. – удельная площадь территории с катастрофическим уровнем загрязнения почв и вод (уровень загрязнения, при котором существование высшей растительности невозможно); этот показатель отражает как деградацию компонентов геосистемы, так и ее санитарно-гигиеническое состояние (качество геосистемы как среды обитания человека).

Важным показателем является коэффициент экологической стабильности ландшафта: $K_c=\Sigma s_i*k_i*g$, где s_i – удельная площадь вида землепользования; k_i – экологическая значимость этого вида землепользования (частный коэффициент стабильности); g – коэффициент геолого-геоморфологической устойчивости рельефа.

На основе этих показателей оценивается соотношение геосистем с неблагоприятной (дигрессивной) и благоприятной (восстановительной) динамикой. Данные по загрязнению компонентов геосистем используются для уточнения генезиса дигрессивных изменений растительности и последующей оценки геоэкологической ситуации. Наиболее показательны комплексные критерии загрязнения: ИЗА, ИЗВ, Zc; также могут использоваться: минерализация и pH поверхностных и грунтовых вод, содержание отдельных химических веществ в водах и снеге.

Репозиторий ВГУ

Предполагается, что геоэкологическая ситуация зависит от соотношения процессов деградации и восстановления геосистем. Напряженность геоэкологической ситуации возрастает при увеличении глубины и пространственного охвата деградационных процессов, снижении способности геосистем выполнять средо- и ресурсовоспроизводящие функции, сохранять экологическое равновесие, поддерживать биопродуктивность и биоразнообразие. Выделяется несколько степеней напряженности геоэкологической ситуации: очень низкая (нормальная ситуация) – проявления процессов деградации незначительны или отсутствуют; низкая (удовлетворительная ситуация) – процессы восстановления компенсируют процессы деградации; средняя (критическая ситуация) – процессы деградации и восстановления находятся в состоянии баланса, изменения геосистем преимущественно обратимы; сильная (кризисная) – процессы деградации преобладают, изменения необратимы, нарушается экологическое равновесие; очень сильная (катастрофическая) – процессы деградации резко доминируют, изменения необратимы, биопродуктивность и биоразнообразие минимальны.

Градации оценочных показателей, соответствующие той или иной степени напряженности современной геоэкологической ситуации, приводятся в таблице. Индекс напряженности ситуации рассчитывается для геоэкологического участка по формуле: $H=\Sigma H_i/n$, где H_i – напряженность по i-му показателю, балл; n – число используемых показателей. Напряженность геоэкологической ситуации модельного района (геосистемы более высокого ранга) оценивается на основе анализа составляющих его геоэкологических участков: $H_{гэс}= \Sigma S_k H_k$, где S_k – площадь k-го участка; H_k – напряженность геоэкологической ситуации k-го участка.

Таблица

Оценочные показатели напряженности геоэкологической ситуации

Показатель	Геоэкологическая ситуация				
	1	2	3	4	5
$ПТ_{сгп}$, %	<1	1–5	5–25	25–50	>50
$ПТ_{др}$, %	<1	1–5	5–25	25–50	>50
$ПТ_{кз}$, %	0	0–1	1–5	5–25	>25
Удельная площадь территорий с «нулевым» потенциалом самовосстановления, %	<1	1–5	5–25	25–50	>50
Коэффициент экологической стабильности	1,0–0,67	0,66–0,51	0,50–0,34	0,33–0,0	<0,0
Индекс загрязнения атмосферы (ИЗА)	<2,5	2,5–7,5	7,5–22,5	22,5–32,5	>32,5
Индекс загрязнения вод (ИЗВ)	<1	1–2,5	2,5–6	6–10	>10
Zc почв	<16	16–32	32–64	64–128	>128

Примечание. Напряженность геоэкологической ситуации: 1 – очень низкая (нормальная); 2 – низкая (удовлетворительная); 3 – средняя (критическая); 4 – сильная (кризисная); 5 – очень сильная (катастрофическая).

По особенностям потенциально возможного протекания восстановительных сукцессий в пределах геоэкологического участка выделяются: 1) территории с дигрессивной динамикой; 2) территории, на которых восстановительная сукцессия задерживается на абиогенных и пионерных стадиях неопределенно длительное время (на десятки лет), вследствие экстремальных эдафических условий; 3) территории, на которых восстановительная сукцессия задерживается на бурьянных и луговых стадиях неопределенно длительное время вследствие неблагоприятных условий для естественного возобновления древесных видов; 4) территории, на которых восстановительная сукцес-

Репозиторий ВГУ

сия задерживается на стадии раннесукцессионного леса вследствие отсутствия источников семян позднесукцессионных видов или успешных инвазий адвентивных деревьев; 5) территории, на которых восстановительные сукцессии протекают в нормальном режиме, без существенных задержек на тех или иных стадиях. Оценка динамической тенденции основывается на анализе соотношения указанных категорий. Динамические тенденции оцениваются как благоприятные (напряженность геоэкологической ситуации снижается), относительно благоприятные (напряженность геоэкологической ситуации сохраняется на прежнем уровне), неблагоприятные (напряженность геоэкологической ситуации возрастает на одну градацию) и крайне неблагоприятные (напряженность геоэкологической ситуации возрастает на две и более градации).

Заключение. Таким образом, ФГА является развитием системы геоэкологического анализа (геоэкологической оценки), особенности которого проявляются в: а) сокращении затрат на проведение полевых и лабораторных исследований состояния отдельных компонентов геосистем; б) возможности изучения долговременной динамики геосистем; в) создании информационной базы для интерпретации результатов дистанционных исследований; г) использовании экологических критериев (связанных с биоразнообразием, устойчивостью, продуктивностью геосистем) для оценки напряженности геоэкологических ситуаций. ФГА также направлен на минимизацию применения экспертных оценок в геоэкологическом анализе и при геоэкологическом картографировании. В ходе ФГА формируется основа для прогнозирования динамики геосистем и теоретического обоснования экологических нормативов и путей оптимизации природопользования.

ЛИТЕРАТУРА

1. ***Гусев, А.П.*** Геоэкологический подход к изучению динамики геосистем методом фитоиндикации / А.П. Гусев // Экологическая безопасность и ресурсосбережение: матер. междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 17 декабря 2008 г. / редкол.: О.Г. Акушко (отв. ред.) [и др.]. – Гомель: БелГУТ, 2008. – С. 30–33.
2. ***Гусев, А.П.*** Фитоиндикаторы инженерно-геологических процессов на территории города / А.П. Гусев // Природные ресурсы. – 2006. – № 3. – С. 33–40.
3. ***Гусев, А.П.*** Индикаторы деградации лесных ландшафтов Белорусского Полесья в зоне влияния химического производства / А.П. Гусев // География и природные ресурсы. – 2005. – № 4. – С. 145–147.
4. ***Гусев, А.П.*** Рекреационная трансформация дубрав Белорусского Полесья и ее индикаторы / А.П. Гусев, А.С. Соколов // Сибирский экологический журнал. – 2007. – Т. 14, № 2. – С. 297–304.
5. ***Гусев, А.П.*** Сукцессии растительности и оценка способности техногенно-нарушенных геосистем к самовосстановлению / А.П. Гусев // Вестник БГУ. Серия 2. – 2008. – № 2. – С. 82–86.
6. ***Миркин, Б.М.*** Наука о растительности / Б.М. Миркин, Л.Г. Наумова. – Уфа: Гилем, 1998. – 412 с.
7. ***Булохов, А.Д.*** Экологическая оценка среды методами фитоиндикации: учеб. пособие / А.Д. Булохов. – Брянск: Изд-во БГПУ, 1996. – 104 с.

S U M M A R Y

The theory of phytoindication-geoecological analysis (PGA) of geosystems is considered. The essence of PGA (the studying of time-spatial changes of geoecological conditions of geoecosystems) is reflected in the complex of parameters of a vegetative cover. The subject of PGA (dynamics of geoecosystems and the changes of their geoecological characteristics) are connected with it. The technique of carrying out the PGA of the territory is considered.

Поступила в редакцию 23.12.2009

Репозиторий БГУ