

## АНАЛИЗ МЕТОДИК ДИАГНОСТИКИ УСТОЙЧИВОСТИ ЭКОСИСТЕМ В ЦЕЛЯХ ПРОГНОЗА РАЗВИТИЯ ЛАНДШАФТОВ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Н. В. Попова, В. Б. Михно

*Воронежский государственный университет, Россия*

*Поступила в редакцию 2 марта 2012 г.*

**Аннотация:** В статье проанализированы основные методики диагностики устойчивости экосистем, основанные на показателях о биомассе живого вещества, параметрах напочвенного органического горизонта и интегральном районировании. Сделан вывод о необходимости разработки единого методического комплекса для определения степени устойчивости экосистем в целях прогноза.

**Ключевые слова:** напочвенный органический горизонт, диагностика экосистем, прогнозирование развития ландшафтов, наземный вариант ландшафтной сферы.

**Abstract:** The article analyzes the main methods of diagnosing the sustainability of ecosystems, based on the indices of the biomass of living matter, the parameters of ground layer of organic horizon and integral zoning. The author concludes that there is a need to develop a unified methodology for determining the complex degree of stability of ecosystems to forecast.

**Key words:** ground layer of organic horizon, the diagnosis of ecosystems, forecasting of the landscapes development, ground-based version of the landscape areas.

Экологическое состояние наземного варианта ландшафтной сферы, обусловленное взаимодействием природных и антропогенных условий, в большинстве регионов земного шара сложно назвать оптимальным [8]. В данном случае не представляет исключения и территория России.

К числу естественных факторов, оказывающих неблагоприятное воздействие на экосистемы России, принадлежат проявления негативных эндогенных и экзогенных процессов, ослабляющих ресурсно-восстановительные функции природно-территориальных комплексов, снижающих их продуктивность и устойчивость, а порой и приводящих к деградации ландшафтов. Примером могут служить криогенные, эрозионные, гидроморфные, карстовые, суффозионные, оползневые и другие образования, существенно снижающие ландшафтно-экологический потенциал и осложняющие природопользование.

Проявление негативного антропогенного воздействия на экологическую обстановку страны по своей интенсивности и масштабности часто не уступает естественным факторам. Особую роль в этом играют те виды деятельности человека, которые по скорости антропогенных нарушений при-

родно-территориальных комплексов превосходят темпы их самовосстановления. Обычно все экологически неблагоприятные территории требуют особых приемов оптимизации ландшафтов [10].

Сложившаяся достаточно напряженная экологическая обстановка в ряде регионов России указывает на необходимость разработки и реализации мероприятий, способных оптимизировать негативные ландшафтно-экологические ситуации. Решение этих задач требует разносторонней информации о состоянии, устойчивости и развитии ландшафтных комплексов [10]. В этой связи особое значение приобретает диагностика экосистем и прогнозирование на ее основе развития ландшафтов.

Актуальность прогнозирования развития ландшафтов очевидна. Свидетельство тому – возрастающее число научных работ, посвященных данной проблеме. Вопросы географического прогнозирования рассматриваются в трудах многих отечественных ученых [2, 3, 4, 5, 7, 9 и др.]. Однако методические приемы прогнозирования развития ландшафтов еще слабо разработаны. Это не позволяет осуществлять ландшафтные прогнозы высокой достоверности, потребность в которых испытывают научные и практические организации страны, занимающиеся вопросами приро-

допользования и оптимизации ландшафтно-экологической обстановки.

Увеличение достоверности прогнозирования развития ландшафтов требует совершенствование методики комплексного физико-географического прогноза и, прежде всего, привлечения дополнительных показателей, фиксирующих состояние и устойчивость ПТК. В ряде случаев это может быть достигнуто при помощи диагностики устойчивости коренных экосистем, характерных для основных типов ландшафта.

Для диагностики экосистем и прогнозирования развития ландшафтов, используются различные методики [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 13, 14], которым свойственны определенные черты сходства и различия.

Сходство методик в том, что авторы исследований проводят обычно балльную оценку устойчивости, основное различие – в качестве индикаторов диагностики экосистем используются неодинаковые показатели: данные о биомассе живого вещества (А. А. Тишков), экологической напряженности (Б. И. Кочуров), параметрах почвенного органогенного горизонта (Н. В. Попова).

Разнообразие методических подходов сильно затрудняет проведение исследований, связанных с определением устойчивости экосистем и прогнозированием развития ландшафтов. В этой связи существует проблема избрания наиболее совершенных приемов определения устойчивости экосистем, установления сопоставимости и возможной интеграции результатов исследований. С этой целью авторами статьи предпринята попытка провести анализ данных по устойчивости коренных экосистем России на основе наиболее известных методик, разработанных В. Г. Виноградовым и А. А. Тишковым с сотрудниками, Б. И. Кочуровым с сотрудниками, Н. В. Поповой.

Устойчивость – один из важнейших параметров любых систем, в том числе и экологических. Она определяет способность системы сохранять себя при изменениях среды. Различают несколько видов устойчивости: стабильность, упругость, пластичность, резистентность [11, 12, 13, 14].

В контексте этих представлений сотрудниками Института географии РАН предложены теоретические основы качественной и полуквантитативной оценки устойчивости сложных систем, которые изложены в Web-атласе «Россия как система» [1, 15]. В общем виде в указанной работе показано, что жизнеспособность систем определяется тремя группами ее параметров – объемом (массой вещества системы), продуктивностью (скоростью

самовоспроизводства вещества системы) и структурной гармоничностью. Применительно к экологическим системам количественное измерение первых двух групп параметров хорошо отработано классической биогеографией. Методы расчета структурной гармоничности экосистем (третья компонента) разработаны и изложены в «Атласе биологического разнообразия Европейской России и сопредельных территорий» [15].

Уровень потенциальной устойчивости коренных экосистем России, то есть уровень устойчивости экосистем до их трансформации человеком, соответствует определенным типам ландшафта регионального уровня [1].

Максимум устойчивости коренных экосистем приходится на лесостепь Европейской России, Предуралья и среднюю тайгу Сибири, к северу и к югу устойчивость систем снижается. Минимум устойчивости экосистем в России наблюдается в арктических пустынях и пустынях Прикаспия.

Все это позволяет заключить, что в пределах России европейская лесостепь оптимальная зона жизни. В Сибири происходит отступление максимальной устойчивости к северу, что связано с общей экологической молодостью здешней лесостепи. Если в европейской лесостепи основной лесобразующей породой является дуб – порода климакса – завершающей стадии экологической сукцессии, то в Сибири его сменяет береза – пионерная порода, первая селящаяся на нелесных участках [1, 15].

Высокий потенциал устойчивости коренных экосистем определяет способность природной среды возвращаться к исходному состоянию в случаях как естественных (например, климатических), так и антропогенных воздействий. В этом качестве именно устойчивость экосистем задает ширину «коридора возможностей» для хозяйственного развития человеческой цивилизации, все формы которой способны изменять природу. Даже потеряв значительную часть своей площади, коренные экосистемы устойчивых типов ландшафта продолжают обеспечивать неизменность режима природных циклов, продуцирования биомассы, процессов деградации. Эта особенность связана со своеобразной ролью почвенных органогенных горизонтов – резервуаров «памяти» экосистемы – сохраняющих многие начальные качества экосистем даже после антропогенной трансформации территории.

Н. В. Поповой [13] приведен показатель (балл устойчивости), отражающий современный уровень устойчивости основных типов ПТК наземного

варианта ландшафтной сферы. Показатель суммирует воздействие природных факторов (величина наземного опада, теплообеспеченность, условия увлажнения и аэрации, рН среды) на напочвенный органогенный горизонт, а также характеризует количественные параметры напочвенных органогенных горизонтов, как активных элементов малого биологического круговорота (подстилочноподный коэффициент, скорости высвобождения химических веществ, коэффициент годичной деструкции, соотношение накопления первичной продукции к общей живой фитомассе ( $V_{\text{перв}}/V_{\text{об}}, K_{\text{гд}}$ ) (таблица).

Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что в регионах с наиболее благоприятными (комфортными) условиями жизни человека и хозяйственной деятельности практически исчерпаны возможности развития за счет естественных биотических ресурсов природной среды. Это не может не вызывать серьезных опасений, т.к. социум находится в зоне максимального снижения устойчивости экосистем. Снижение ландшафтно-экологической устойчивости освоенных территорий повышает его уязвимость к антропогенной трансформации, что крайне опасно для сохранения здоровья населения.

Материалы потенциальной устойчивости коренных экосистем и материалы типов функционирования экосистем по параметрам напочвенных органогенных горизонтов сопоставлены и они сравнимы. Для территории Российской Федерации характерны минимальная устойчивость в зоне арктических пустынь и пустынь умеренного пояса, максимальная – в зоне лесостепей. Это дает основания утверждать, что использованные показатели устойчивости позволяют проводить диагностику экосистем, а шкала числовых показателей – индикацию экологического состояния ландшафтной сферы.

Б. И. Кочуров с сотрудниками [6] для характеристики устойчивости экосистем России использует термин «экологическая ситуация», под которой понимает пространственно-временное сочетание различных, в том числе позитивных и негативных с точки зрения проживания и состояния человека условий и факторов, создающих определенную экологическую обстановку на территории разной степени благополучия или неблагополучия. При этом по критерию уровня остроты выделяются следующие экологические ситуации: удовлетворительная, конфликтная, напряженная, критическая, кризисная, катастрофическая.

Под выявлением экологических ситуаций подразумевается: установление перечня (набора) экологических проблем; пространственная локализация экологических проблем; определение комбинация (сочетания) экологических проблем и отнесение выявленного ареала к той или иной степени остроты экологической ситуации. Таким образом, процесс выявления и картографирования экологических проблем и ситуаций взаимосвязан и неделим.

На основе соблюдения принципов системности, антропоцентричности и проблемности группой сотрудников Института географии РАН было проведено районирование России по степени экологической напряженности, что представляет собой интегральное районирование систем взаимодействия общества и природы. При осуществлении районирования особое внимание было уделено учету современной хозяйственной обстановки. Установление экологической напряженности проводилось на основе выявления степени изменения окружающей природной среды. Б. И. Кочуров с сотрудниками [6] предложил картографическую модель экологической напряженности, которая отражает остроту экологической ситуации на территории России. Так, часть регионов России характеризуется очень высокой экологической напряженностью и соответствует VII рангу (по классификации Б. И. Кочурова).

Данные карты экологической напряженности коррелируют с данными, полученными нами по результатам анализа показателей напочвенных органогенных горизонтов. Так, в результате анализа параметров малого биологического круговорота в наземном варианте ландшафтной сферы установлено, что наименьший балл (-1) характерен для экосистем пустынь и полупустынь (запасы напочвенной подстилки 0,3 т/га). Это обусловлено условиями тепло- и влагообеспеченности, интенсивностью высвобождения химических элементов, особенностями разложения растительных остатков (мацерация). По карте Б. И. Кочурова с сотрудниками [6] для зоны пустынь отмечена критическая ситуация, что соответствует высокой экологической напряженности.

К 2 типу функционирования отнесены области высоких широт (арктические тундры с запасами подстилки 3,3 т/га), для которых характерен суженный биологический круговорот химических элементов. Это является следствием как ограниченной продуктивности, а, следовательно, поступления в опад, так и в целом невысокой зольности

Таблица

Диагностическая шкала типов функционирования экосистем по параметрам малого биологического круговорота

Тип функционирования (устойчивость)	Запасы подстилки, т/га	Подстилично-оподолочный коэффициент	ПОКАЗАТЕЛИ МАЛОГО БИОЛОГИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА										
			Кол-во химич. элементов в подстилке, кг/га	Кол-во химич. элементов в опаде, кг/га	Интенсивность высвобождения химических элементов	$C_{гк} / C_{фк}$	ЛВВ, дни	Общая живая фитомасса, т/га	Первичная продукция (при-рост), ц/га	Отношение первичной продукции к общей живой фитомассе	Общая живая наземная фитомасса, т/га	Годовая продукция зеленой части, ц/га	Лесост. зеленой части, ц/га
1	< 0,3		235	894	0,3	0,7	120...180	15,75	5,25	0,31	16,7	3,36	0,2
2	3,3	< 1	250	38	6,5	1,0		17,1	1,75	0,1	10	2,8	0,28
	1,3		38	60	0,6	0,8-1,2	60-180	132,5	14	0,11	83	32,3	0,3
3	1,6	< 1				0,6-0,8	90-120						
	15		1750	300	5,8	0,3-0,5	365	335	12	0,03	38	14,4	0,38
4		4-7				0,5	0-60						
						0,3-0,5	30-90						
5	33	10-17	1800	135	13	0,2-0,7	70-110	21,5	7	0,33	10,4	4,1	0,4
	85	92	4200	108	38,8	0,25-0,5	180-210	170	6,5	0,04	120,2	51,3	0,43
6	1,9	< 0,1	200	720	0,3	0,9-1,7	125-145	390	28,5	0,07	460	216,2	0,47
	10		600	800	0,75			415	20	0,05	318	149,3	0,47
7	12	1,5-3,5	200	650	0,3	2	150-175	22,5	10,5	0,47	33,4	21	0,63
	141						28	3,5	0,13	144,5	104,7	0,72	

растений тундры. Поэтому показатели, которые характеризуют продуктивность растительных сообществ основных экосистем, могут служить для оценки типа функционирования биогеоценоза. Для этого вида экосистем присуща относительно высокая и очень высокая экологическая напряженность (критическая ситуация).

Низкий балл стабильности функционирования (3 балла), который характерен для подстилки арала саванн и редколесий, на территории Российской Федерации не представлен.

Четвертый тип функционирования (4 балла) присущ для сообществ широколиственных лесов (ареал с запасами подстилки 15 т/га), что по терминологии Б. И. Кочурова [6] соответствует низким показателям экологической напряженности (напряженная ситуация).

Уровень стабильности, оцененный 5 баллами, характерен для лесотундровых сообществ (ареал с запасами подстилки 85 т/га) и хвойных и смешанных лесов умеренного пояса (тайги) с запасами подстилки 33 т/га. Для данного вида экосистем свойственна относительно низкая степень напряженности (конфликтная ситуация).

Тип функционирования, оцененный 6 баллами, отмечен для зон тропических и субтропических лесов (Приморье, Уссурийская тайга), для которых характерны высокая скорость накопления и разложения органического вещества. По Б. И. Кочурову эти ландшафты отличаются относительно низкой экологической напряженностью (удовлетворительная ситуация).

Максимальная степень устойчивости – 7 баллов – отмечается для экосистем с компенсированным характером биологического круговорота и высокой интенсивностью биологического круговорота, т.е. для травяных степных сообществ (запасы подстилки 12 т/га). По Б. И. Кочурову для лесостепей отмечен очень низкий уровень экологической напряженности (удовлетворительная ситуация).

Таким образом, данные, полученные по материалам А. А. Тишкова, Б. И. Кочурова, Н. В. Поповой дополняют и обогащают друг друга, позволяя определять устойчивость экосистем, используя как количественные параметры (масса вещества системы, продуктивность, структурная гармоничность [1, 15], показатели малого биологического круговорота [11, 12, 13, 14]), так и параметры интегрального районирования систем взаимодействия общества и природы [6].

В заключение следует отметить, что ландшафтная сфера образует сложную парадинамическую

систему планетарного уровня, состоящую из множества разнообразных ландшафтных комплексов, взаимосвязанных потоками вещества и энергии. Проявляющаяся в настоящее время регрессивная трансформация структурных элементов ландшафтной сферы, выражающаяся в сокращении био- и ландшафтного разнообразия, снижении устойчивости природно-территориальных комплексов, ослаблении функциональных связей ландшафтов, увеличении экологической напряженности свидетельствует об усилении негативного воздействия на ландшафтную сферу, последствия которого трудно предсказуемы. Поэтому разработка на интегральной основе методических комплексов для определения степени устойчивости экосистем, позволит проводить более точное прогнозирование развития ландшафтов для решения проблем рационального природопользования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов В. Г. Первичная продуктивность растительного покрова / В. Г. Виноградов, А. С. Мартынов, А. А. Тишков // Состояние биологических ресурсов и биоразнообразия России и ближнего зарубежья (1988-1993 гг.). Приложение к Государственному докладу о состоянии природной среды Российской Федерации в 1993 году. – М., 1994. – С. 9-10.
2. Дьяконов К. Н. Опыт прогноза воздействия Печорского водохранилища на леса прибрежной зоны / К. Н. Дьяконов // Влияние водохранилищ лесной зоны на прилегающие территории. – М. : Наука, 1970. – С. 145-158.
3. Емельянов А. Г. Теоретические основы комплексного физико-географического прогнозирования / А. Г. Емельянов. – Калинин : Калинин. гос. ун-т, 1988. – 84 с.
4. Звонкова Т. В. Принципы и методы регионального географического прогнозирования / Т. В. Звонкова // Вестн. МГУ. Сер. География. – 1972. – № 4. – С. 19-25.
5. Исаченко А. Г. Оптимизация природной среды / А. Г. Исаченко. – М. : Мысль, 1980. – 264 с.
6. Кочуров Б. И. Экодиагностика и сбалансированное развитие / Б. И. Кочуров. – Смоленск : Маджента, 2003. – 384 с.
7. Мильков Ф. Н. Ландшафтная география и вопросы практики / Ф. Н. Мильков. – М. : Мысль, 1966. – 256 с.
8. Мильков Ф. Н. Ландшафтная сфера Земли / Ф. Н. Мильков. – М. : Мысль, 1970. – 207 с.
9. Михно В. Б. Физико-географический прогноз при проектировании и сооружении водоемов на юге черноземного Центра / В. Б. Михно // Антропогенные ландшафты ЦЧО и прилегающих территорий : материалы регион. конф. – Воронеж, 1972. – С. 113-116.

10. Михно В. Б. Ландшафтно-экологические основы мелиорации / В. Б. Михно. – Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 2005. – 278 с.

11. Попова Н. В. Диагностика устойчивости экосистем с помощью системы числовых показателей / Н. В. Попова // Экономика природопользования. – 2006. – № 1. – С. 35-39.

12. Попова Н. В. Методика диагностики устойчивости экосистем суши по количественным и качественным параметрам органогенных горизонтов почв / Н. В. Попова // Проблемы окружающей среды и рационального природопользования. – 2005. – № 10. – С. 38-42.

13. Попова Н. В. Оценка малого биологического круговорота экосистем по параметрам напочвенного

органогенного горизонта для решения проблемы устойчивого развития / Н. В. Попова // Экономика природопользования. – 2010. – № 3. – С. 25-33.

14. Попова Н. В. Шкала оценки параметров малого биологического круговорота в экосистемах основных биогеографических зон мира / Н. В. Попова // Вестн. РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 3. – С. 35-41.

15. Сбалансированность (гармоничность) пространственной и биомассной структуры растительного покрова, видовых комплексов // Атлас биологического разнообразия лесов Европейской России и сопредельных территорий. – М. : ПАИМС, 1996.

Попова Наталья Валентиновна

кандидат географических наук, соискатель кафедры физической географии и оптимизации ландшафта факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, т. (4732) 66-56-54, E-mail: [ecgeograf@mail.ru](mailto:ecgeograf@mail.ru)

Михно Владимир Борисович

доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой физической географии и оптимизации ландшафта факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, т. (4732) 66-56-54, E-mail: [ecgeograf@mail.ru](mailto:ecgeograf@mail.ru)

Popova Natal'ya Valentinovna

PhD in Geography, doctoral candidate of the chair of physical geography and landscape optimization of the department of geography, geoecology and tourism, Voronezh State University tel. (4732) 66-56-54, E-mail: [ecgeograf@mail.ru](mailto:ecgeograf@mail.ru)

Mikhno Vladimir Borisovitch

Doctor of Geography, professor, head of the chair of physical geography and landscape optimization of the department of geography, geoecology and tourism, Voronezh State University, Voronezh, tel. (4732) 66-56-54, E-mail: [ecgeograf@mail.ru](mailto:ecgeograf@mail.ru)