

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И ГЕОМОРФОЛОГИЯ

УДК 504.064:502.4

Д.Н. Андреев

**МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ АНТРОПОГЕННОЙ
ТРАНСФОРМАЦИИ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

Методика комплексной диагностики антропогенной трансформации особо охраняемых природных территорий направлена на выявление обратимых функциональных изменений экосистем. Она является основой для измерения физиологических, геохимических и ландшафтно-индикационных параметров природной среды. Методика апробирована на ООПТ «Черняевский лес» и «Осинская лесная дача».

Ключевые слова: антропогенная трансформация; экологическая геохимия; флуоресценция хлорофилла; ландшафтная индикация; особо охраняемые природные территории (ООПТ).

В настоящее время деградация лесных экосистем под влиянием различного рода антропогенных факторов является актуальной проблемой, которая особенно обостряется на урбанизированных территориях, где природная среда испытывает комплексное повышенное воздействие. В результате значительной и всевозрастающей антропогенной нагрузки леса утрачивают способность выполнять экологические функции.

Для предотвращения деградации природной среды создаются особо охраняемые природные территории (ООПТ), которые становятся очагами восстановления прошлого естественного баланса или сдерживают ход неблагоприятных изменений. За состоянием ООПТ необходима организация систематических наблюдений [22].

На сегодняшний день существует множество методов индикации антропогенной трансформации природной среды, однако большинство из них не могут выявить нарушения в экосистеме на ранней стадии изменения ее экологического состояния [10]. Особенно важна информация о влиянии концентраций химических элементов в экосистеме на биологические объекты.

Диагностика трансформации экосистем может выполняться методом сравнения сходных экосистем, находящихся под влиянием различной антропогенной нагрузки [12]. В диагностических исследованиях используется определенный перечень индикаторов, характеризующий состояние компонентов экосистем. Среди них наиболее широкое распространение получили биологическая, геохимическая и ландшафтная индикации. Однако в большинстве работ используется только один подход.

Таким образом, необходимость комплексной методики обусловлена отсутствием оценок ранних стадий трансформации ООПТ в Пермском крае, выполненных с использованием биологического, геохимического и ландшафтно-индикационного подходов.

Среди лесообразующих видов одним из широко распространенных индикаторов является сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) [5], которая отличается высокой чувствительностью к повышенным концентрациям токсических веществ в окружающей среде.

Анализ особо охраняемых природных территорий Пермского края показал, что на 133 из 263 ООПТ регионального значения основная лесообразующая порода – сосна обыкновенная [2]. Для разработки и апробации методики были организованы исследования идентичных по происхождению сосновых лесов на двух ООПТ. В качестве территории с высокой антропогенной нагрузкой выбран охраняемый природный ландшафт местного значения «Черняевский лес» (площадь – 685,97 га). Он представляет собой лесной массив, который находится практически в центре г. Перми, в окружении жилых районов. В качестве фоновой территории принят охраняемый ландшафт регионального значения «Осинская лесная дача» (площадь – 12168 га), расположенный почти в 100 км к юго-западу от г. Перми.

© Андреев Д.Н., 2012

Андреев Дмитрий Николаевич, аспирант кафедры биогеоценологии и охраны природы Пермского государственного национального исследовательского университета; 614990 Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15; egis@psu.ru

По итогам исследования составлена методика комплексной диагностики антропогенной трансформации экосистем, которая выполняется в определенной последовательности.

В рамках **первого (предварительного) этапа** работ на выбранных территориях выполняется пространственный анализ состава и структуры экосистем, выделяются идентичные лесные участки для сравнительного анализа. Для исследуемых территорий подбираются данные дистанционного зондирования (ДДЗ) разного времени и разрешения, картографические и лесотаксационные материалы. Далее на космические снимки привязываются планы лесонасаждений, которые впоследствии векторизуются. К пространственным данным добавляется атрибутивная информация из таксационных описаний. По результатам предварительного этапа работы составляется план полевых исследований.

На **полевом этапе** работ измеряются геоботанические, лесотаксационные, физиологические параметры растительности, проводится отбор геохимических проб почвы и хвои, оценивается степень деградации экосистем.

Геоботанические описания растительности на пробных площадках выполняются по традиционным общепринятым методам [16; 17; 18]. При описании древесного и кустарникового ярусов учитываются видовой состав, сомкнутость крон, средняя высота и возраст; при описании травяно-кустарничкового – видовой состав, общее проективное покрытие (в процентах) и средняя высота; мохово-лишайникового – общее проективное покрытие.

Лесотаксационные параметры измеряются в соответствии с общепринятыми методами [4], Лесоустроительной инструкции [19] и Санитарным правилам в лесах РФ [24]. В частности, необходимо определить высоту, диаметр, возраст древесных пород, санитарное состояние.

Оценка степени деградации экосистем на пробной площадке выполняется согласно методике «Экологическая оценка состояния особо охраняемых природных территорий регионального значения» [6]. Данная методика на протяжении многих лет применяется для оценки состояния ООПТ Пермского края [7].

Степень деградации ООПТ определяется как среднее значение суммы средневзвешенных оценок степеней деградации природных компонентов базовых экосистем (почвы, растительности, животного мира) и средневзвешенной степени деградации базовой экосистемы (табл. 1).

Таблица 1

Степень деградации экосистем

<i>Степень деградации экосистем</i>	<i>Характеристика степени деградации экосистем</i>
0 -<1	Недеградированные. Фоновое, естественное состояние, воздействия отсутствуют
1 -<2	Очень слабодеградированные. Изменения экосистем и воздействия незначительные
2 -<3	Слабодеградированные. Экосистемы явно изменены и подвергались воздействиям
3 -<4	Среднедеградированные. Экосистемы явно подвергались существенным изменениям и воздействиям
4 -<5	Сильнодеградированные. Экосистемы радикально изменены
5	Очень сильнодеградированные. Экосистемы существенно нарушены. Естественное восстановление крайне затруднено

При полевом обследовании состояния почвенного покрова в качестве основных критериев оценки принимаются следующие: площадь обнаженного гумусового горизонта (А); мощность абиотического наноса; площадь обнаженной почвообразующей породы (С) или подстилающей породы (D); уменьшение мощности почвенного профиля (А+В).

При полевом обследовании состояния растительности в качестве основных критериев оценки принимаются следующие: учет обилия и соотношения в сообществах аборигенных и синантропных видов, определяющих степень деградации сообществ; жизненное состояние (жизненность) видов в локальных популяциях; степень синантропизации фитоценозов; санитарное состояние древостоя. В качестве дополнительных принимаются: нарушенность растительного покрова; повреждения древостоя; динамика численности редких и исчезающих видов растений.

При экологической оценке состояния экосистемы в качестве основных критериев оценки принимаются следующие: фаза трансформации (деградации); степень деградации компонентов (почвы, растительность, животный мир).

Физиологическое состояние растительности оценивается по замедленной флуоресценции хлорофилла ассимиляционных органов хвойных пород. Явление замедленной флуоресценции состоит в том, что после светового возбуждения в фотосинтезирующих клетках наблюдается слабое, длительно затухающее свечение, испускаемое хлорофиллом [23]. Это свечение возникает уже после прекращения быстрой флуоресценции за счет энергии, выделяемой в ходе темновых реакций первичных фотопродуктов фотосинтеза в реакционных центрах [11].

Измерения проводятся согласно «Методике регистрации замедленной флуоресценции хлорофилла при биоиндикации загрязнения воздушной среды на хвойных» [11]. Методические рекомендации основываются на регистрации относительного показателя замедленной флуоресценции (ОПЗФ) хвои сосны обыкновенной с применением флуориметра «Фотон 10». Принцип регистрации показателя заключается в том, что измерение свечения каждого образца проводится для двух заранее установленных световых и временных режимов, условно обозначенных как «режим высокого света» и «режим низкого света». Помимо этого, прибор регистрирует и показатель быстрой (переменной) флуоресценции.

Геохимическое опробование почв и хвои выполняется в соответствии с общепринятыми методиками и нормативными документами [1; 9; 14; 21].

Почвенные пробы отбирались методом «конверта», путем смешивания точечных проб составлялась объединенная проба. Глубина опробования – 0-20 см (исключая лесную подстилку), масса объединенной пробы должна составлять не менее 1 кг. Отбор можно осуществлять с применением бура Эдельмана. Образцы хвои отбираются с подростка сосны на высоте 1,3 м южной экспозиции с последующим смешиванием пробы. С отобранных веток удаляется хвоя однолетнего возраста.

На **третьем (камеральном) этапе** работ выполняются подготовка геохимических проб для анализов, статистическая обработка данных, построение схем структуры и динамики экосистем, расчет вегетационного индекса NDVI, определение показателей флуоресценции хлорофилла, в том числе суточной динамики.

Почвенные пробы высушиваются, затем из них отбираются представительные навески для анализа. Навески просеиваются через сито (1,0 мм) и протираются в агатовой ступке. Биогеохимическая проба (хвоя) просушивается, а затем озоляется в лабораторных условиях.

После пробоподготовки образцы направляются в специализированную лабораторию для определения содержания в них микроэлементов. В каждой пробе атомно-абсорбционным методом достаточно определить содержание Pb, Zn, Cu, Mn, Ba, Sn, Zr, Ag в почве и Ni, Cr, V, Ti, Cu и Ga в хвое сосны обыкновенной.

При индикации антропогенной трансформации экосистем необходимо определение следующих геохимических параметров: средние (местные фоновые) содержания микроэлементов в исследуемых экосистемах; кларки концентраций микроэлементов; коэффициенты концентраций относительно фоновых значений; техногенные геохимические аномалии; суммарный показатель химического загрязнения; коэффициенты биологического поглощения; показатели абсолютного (ПАН) и относительного (ПОН) накопления.

Статистическая обработка полученных данных осуществляется в специализированных программных продуктах (Microsoft Excel, Statistica и др.). В каждой выборке для элементов, процент обнаружения которых превышает 75 %, определяется закон распределения, доверительный интервал, величины фонового и аномальных содержаний, а также выборочная дисперсия и среднее квадратическое отклонение, являющиеся мерой рассеяния содержаний элементов вокруг средней величины содержаний.

Коэффициент концентрации химического вещества (K_c) определяется отношением фактического содержания определяемого вещества в почве (C_i) в мг/кг почвы к региональному фоновому ($C_{\phi i}$) [13]:

$$K_c = \frac{C_i}{C_{\phi i}} .$$

Суммарный показатель загрязнения (Z_c) равен сумме коэффициентов концентраций химических элементов-загрязнителей и выражен формулой:

$$Z_c = \sum (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n - 1),$$

где n - число определяемых суммируемых вещества;

K_{ci} - коэффициент концентрации i -го компонента загрязнения.

Для установления величины ПАН в почвах на площади 1 км² определяется разница между фоновыми содержаниями в почвах до начала рассматриваемых процессов и после их окончания: $C_{\phi 1} - C_{\phi 2}$ [1].

Определение средней плотности почв позволило после расчетов считать, что увеличение (уменьшение) концентрации химических элементов в почвах на величину, равную $1 \cdot 10^{-3} \%$, в пределах верхнего 30-сантиметрового слоя соответствует увеличению (уменьшению) его массы на 6 т на площади, равной 1 км².

Величина ПОН рассчитывается следующим образом:

$$\text{ПОН} = \text{ПАН} / C_{\text{фон}}.$$

Коэффициент биологического поглощения (A_x) вычисляется по формуле [20]:

$$A_x = I_x / n_x,$$

где I_x – содержание элемента в золе хвои сосны, n_x – в почве.

При оценке интенсивности биогенной миграции считается, что при $A_x > 1$ элементы накапливаются в растениях, а при $A_x < 1$ элементы только лишь захватываются растениями.

Ландшафтно-индикационный анализ ДДЗ выполняется с применением программных продуктов ENVI 4.7 и ArcGIS 9.3. Дешифрирование космических снимков целесообразно проводить методом классификации с обучением способом спектрального угла (Spectral Angle Mapper Classification). Для более точного выделения классов рассчитывается нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI).

Анализ различий между разновременными изображениями выполняется с помощью инструмента «расчет карты различий» (Compute Difference Map) для полутоновых изображений, а также путем сравнения классифицированных снимков.

Методом расчета карты различий выделяется 5 классов [3], характеризующих изменения: значительное увеличение яркости (+ 50-100%), увеличение яркости (+ 10-50%), незначительные изменения (до 10%), уменьшение яркости (- 10-50%), значительное уменьшение яркости (- 50-100%). Параметр яркости конкретного пиксела космического снимка зависит от отражающей способности поверхности Земли. Так, наименьшие значения яркости характерны для водных объектов, хвойных лесов, а наибольшие – для зданий, асфальтированных дорог, обнаженных грунтов и т.д.

По результатам ландшафтно-индикационного анализа составляются схемы структуры и динамики экосистем.

Нормализованный относительный индекс растительности NDVI вычисляется по формуле [15]:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED}),$$

где NIR – интенсивность излучения, отраженного от объекта и регистрируемого аппаратурой ДЗ в ближней инфракрасной области спектра, а RED – в красной области спектра. Выбор именно такой комбинации спектральных каналов связан с эмпирическим фактом достаточно высокой стабильности в этих спектральных интервалах отражательных характеристик различных типов сосудистых растений.

Соответственно, для каналов Landsat 5 формула приобретает следующий вид: $\text{NDVI} = (\text{канал 4} - \text{канал 3}) / (\text{канал 4} + \text{канал 3})$. Вычисленные подобным образом значения NDVI для каждого пикселя изображения варьируют в пределах от -1 до 1, причем покрытые растительностью участки имеют значения обычно больше нуля, а отрицательные значения индицируют такие лишенные растительности поверхности, как вода, снег, лед или облака. В пределах от 0 до 1 увеличение значения NDVI свидетельствует об увеличении фитомассы [8].

Результаты комплексных исследований сопоставляются между собой и анализируются как по территории в целом, так и по каждой пробной площадке. По каждому показателю определяются фоновое или нормативное значение. После чего значения показателей сравнивались по всем площадкам. Отклонение от нормы или фона определяется в соответствии с табл. 2.

Для исследуемых территорий должны создаваться геоинформационные системы или базы геоданных, которые обеспечивают полный комплекс операций с пространственной информацией.

Все исследования проводились в соответствии с четкой последовательностью (рис. 1), в соответствии с планом полевых и камеральных работ.

Таблица 2

Изменения состояния экосистем в соответствии с отклонением показателя

<i>Изменение состояния</i>	<i>Отклонение показателя, %</i>	<i>Пробная площадка</i>
Норма, фон	В пределах погрешности	Все показатели в норме
Незначительное изменение	до 25	От 2 показателей
Существенное изменение	25-50	От 2 показателей
Антропогенное воздействие	более 50	От 2 показателей

Комплексная диагностика антропогенной трансформации экосистем включает следующие основные показатели, для определения которых разработаны подробные методические указания:

1. Физиологические:

- флуоресценция хлорофилла хвои сосны обыкновенной.

2. Геохимические:

- содержание Pb, Zn, Cu, Mn, Ba и других микроэлементов в почве;

- содержание Ni, Cr, V, Ti, Cu и других микроэлементов в хвое сосны обыкновенной;

- биологическое поглощение V, Ti, Ni;

- суммарное загрязнение почв.

3. Ландшафтно-индикационные:

- деградиционно-восстановительная фаза (структура) экосистем;

- временная динамика биогеоценологического покрова;

- вегетационные особенности растительности, регистрируемые дистанционно.



Рис. 2. Последовательность комплексной диагностики трансформации экосистем

Разработанная и апробированная методика имеет важное научное и прикладное значение.

По результатам комплексной диагностики должны разрабатываться природоохранные мероприятия, которые позволят оптимизировать состояние ООПТ и уменьшить воздействие на них антропогенных факторов.

Проведение разработанных природоохранных мероприятий позволит предотвратить или уменьшить вредное воздействие на природную среду. Основой при принятии решений должны служить результаты экологического мониторинга, включающего выявление обратимых функциональных изменений экосистем.

Библиографический список

1. Алексеев В.А., Суворинов А.В., Власова Е.В. Металлы в окружающей среде. Лесные ландшафты Северо-Западного Кавказа: монография. М.: Университетская книга, 2008. 264 с.
2. Андреев Д.Н. Роль ООПТ в сохранении сосновых лесов // Наука, природа и общество: мат. конф. Миасс; Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2010. С. 232–236.
3. Андреев Д.Н. Использование данных дистанционного зондирования Земли при исследовании многолетней динамики лесных экосистем // Геология, география и глобальная энергия. Астрахань, 2012. №4 (47). С. 126–131.
4. Анучин Н.П. Лесная таксация: учебник для вузов. 5-е изд. М.: Лесная промышленность, 1982. 552 с.
5. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем: пер. с нем. / под ред. Р. Шуберта. М.: Мир, 1988. 350 с.
6. Бузмаков С.А. Методические указания «Экологическая оценка состояния особо охраняемых природных территорий регионального значения» // Географический вестник. Пермь, 2011. Вып.2. С. 49–59.
7. Бузмаков С.А., Зайцев А.А. Состояние региональных особо охраняемых природных территорий Пермского края // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Ижевск, 2011. С. 3–12.
8. География и мониторинг биоразнообразия / колл. авторов. М.: Изд-во Науч. и учеб.-методич. центра, 2002. 432 с.
9. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест [электронный ресурс]: МУ 2.1.7.730-99. Доступ из справочной системы «Техэксперт: экология» предоставленный ООО «Информпроект».
10. Григорьев Ю.С. Флуоресценция хлорофилла в биоиндикации загрязнения воздушной среды // Вестник Междунар. академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ). 2005. Т. 10. №4. С. 77–91.
11. Григорьев Ю.С., Андреев Д.Н. К вопросу о методике регистрации замедленной флуоресценции хлорофилла при биоиндикации загрязнения воздушной среды на хвойных // Естественные науки. Астрахань, 2012. № 2. С. 36–39.
12. Дончева А.В., Казакова Л.К., Калуцков В.Н. Ландшафтная индикация загрязнения природной среды. М.: Экология, 1992. 256 с.
13. Инженерно-экологические изыскания для строительства [Электронный ресурс]: СП 11-102-97. Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт: экология» предоставленный ООО «Информпроект».
14. Инструкция по геохимическим методам поиска рудных месторождений. М.: Недра, 1983. 191с.
15. Козодеров В.В., Кондранин Т.В. Методы оценки состояния почвенно-растительного покрова по данным оптических систем, систем дистанционного аэрокосмического зондирования: учебное пособие. М.: МФИТИ, 2008. 222с.
16. Корчагин А.А. Видовой (флористический) состав растительных сообществ и методы его изучения // Полевая геоботаника. 1964.Т.3. С. 39–62.
17. Краткое руководство для геоботанических исследований. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 192с.
18. Неишатаев Ю.Н. Методы анализа геоботанических материалов. Л.: Изд-во ЛГУ, 1987. 192с.
19. Об утверждении Лесоустроительной инструкции: приказ Минприроды РФ от 6 февраля 2008 г. № 31. [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
20. Озерский А.Ю. Основы геохимии окружающей среды: учебное пособие. Красноярск: ИПК СФУ, 2008. 316 с.

21. Почвы. Отбор проб: ГОСТ 28168-89 [Электронный ресурс]. Доступ из справочной системы «Техэксперт: экология» предоставленный ООО «Информпроект».

22. Реймерс Н.Ф. Экология: теория, законы, правила, принципы и гипотезы. М.: Россия Молодая, 1994. 367 с.

23. Рубин А.Б. Биофизические методы в экологическом мониторинге // Соросовский образовательный журнал. 2000. №4. С. 7–13.

24. Санитарные правила в лесах Российской Федерации. М.: ВНИИЦ лесресурс, 1994. 25 с.

D.N. Andreev

TECHNIQUE OF COMPLEX DIAGNOSTICS OF ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF SPECIALLY PROTECTED AREAS

The technique of complex diagnostics of the anthropogenic transformation of specially protected areas is designed to identify reversible functional changes in ecosystems. It forms the basis of the measurement of physiological, geochemical and landscape-indicator environmental parameters. The technique is approved on Protected Areas «Chernyayevskiy les» and «Osinskaya lesnaya dacha».

Key words: anthropogenic transformation; environmental geochemistry; chlorophyll fluorescence; landscape indication; protected areas.

Dmitriy N. Andreev, Post-graduate Student, Department of Biogeocenology and Nature Protection, Perm State National Research University; 15 Bukireva, Perm Russia 614990; egis@psu.ru

УДК 71(075.8)

А.А. Мотошина, Л.Н. Вдовюк

ОЦЕНКА ЭСТЕТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛАНДШАФТОВ ТОБОЛЬСКОГО РАЙОНА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ В РЕКРЕАЦИОННЫХ ЦЕЛЯХ

В статье рассматриваются особенности ландшафтно-пейзажной структуры территории Тобольского района Тюменской области и дается оценка ее эстетических свойств. Предложено эстетико-рекреационное районирование территории Тобольского района.

Ключевые слова: эстетичность ландшафта; эстетическая география; эстетико-рекреационное районирование; аттрактивность.

Одним из перспективных направлений современной географии является изучение эстетических свойств ландшафтов. Под эстетичностью ландшафта, по определению Ю.П. Хрусталева, понимается «красота местности, ее привлекательность для человека, один из природных ресурсов, необходимых для сохранения психического здоровья и нормального отдыха людей» [5].

На основании таких исследований можно не только обоснованно аргументировать необходимость охраны различных объектов природы, выявлять территориальные единицы, обеспечивающие

© Мотошина А.А., Вдовюк Л.Н., 2012

Мотошина Анна Александровна, аспирант, ассистент кафедры физической географии и экологии ИМЕНИТ Тюменского государственного университета; 625003 Россия, г. Тюмень, ул. Семакова, 10; Motoshina.Anya@mail.ru

Вдовюк Лидия Николаевна, кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и экологии ИМЕНИТ Тюменского государственного университета; 625003 Россия, г. Тюмень, ул. Семакова, 10; Fizgeo@yandex.ru