

УДК 504.057:911.2

## **ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ КОНЦЕПЦИИ МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ ГЕОСИСТЕМ РЕГИОНА**

**А.Г. Емельянов, О.А. Тихомиров, Л.В. Муравьева**

Тверской государственной университет, Тверь

В статье рассматриваются актуальные вопросы функционирования природно-антропогенных геосистем, которые следует учитывать при разработке концепции их мониторинга. Приводятся примеры апробации ряда потенциальных положений концепции на примере некоторых природных и антропогенных объектов Тверской области.

**Ключевые слова:** *природно-антропогенные геосистемы, мониторинг, экологическое состояние, оценка.*

**Введение.** Важность мониторинга экологического состояния природно-антропогенных систем не вызывает сомнений. В данной работе под мониторингом понимается система регулярных наблюдений и контроля за экологическим состоянием компонентов, территориальных и аквальных комплексов окружающей среды с целью их оценки, прогноза и управления этим состоянием. С позиций ландшафтоведения и геоэкологии окружающую среду целесообразно рассматривать не только как совокупность природных и измененных геосред, но и одновременно как совокупность природных и природно-антропогенных геосистем (ландшафтов, экосистем). Более того, геосистемы являясь неотъемлемой составной частью окружающей среды, представляют собой наиболее распространенные ареалы жизнедеятельности населения. Поэтому они должны выступать в качестве важнейших объектов слежения и контроля за экологическим состоянием и антропогенной трансформацией.

Решение поставленной проблемы требует выделения и рассмотрения важнейших базовых понятий. Среди выделяются: природные и природно-антропогенные геосистемы, их экологическое состояние, показатели (признаки) экологического состояния, экологическая (геоэкологическая) ситуация, оценка экологических состояний и ситуаций, пространственно-временные операционные единицы мониторинга.

Хотя понятие «природно-антропогенные геосистемы (ландшафты)» уже более 20 лет используется в научной литературе, общепринятое представление о нем пока отсутствует, т.к. не установлены достаточно четкие критерии, разграничивающие природные и антропогенные комплексы. Возможны следующие критерии при разработке такого представления: (1) если антропогенная

(техногенная) нагрузка не нарушает структуру географических компонентов и их изменения не выходят за пределы установленных естественных колебаний, ландшафты можно рассматривать как природные или условно природные; (2) в случае, если изменяется структура одного или нескольких вторичных компонентов (биоты, почв, местного влагооборота) естественные геосистемы трансформируются в обратимые природно-антропогенные ландшафты; (3) наконец, если антропогенные (техногенные) нагрузки нарушают первичные компоненты природы (обычно геологический фундамент и мезорельеф), часто образуются необратимые сильно измененные и полностью нарушенные, а нередко и новые, ландшафты. Таким образом, в состав природно-антропогенных геосистем входят или могут входить следующие подсистемы (главные структурные составляющие): (а) природная среда, слабо нарушенная человеком; (б) природа, существенно измененная хозяйственной деятельностью человека (вплоть до выпадения ее отдельных элементов и компонентов); (в) антропогенно-техногенная составляющая; (г) население и социальная среда.

Природно-антропогенные геосистемы выполняют определенные социально-экономические функции, но в ряде случаев могут терять способность к их выполнению в результате антропогенной деградации. К группе природно-антропогенных ландшафтов следует отнести управляемые комплексы – природно-технические геосистемы, а также так называемые культурные ландшафты (в интерпретации А.Г. Исаченко).

**Обсуждение проблемы.** Взаимодействие различных антропогенных и природных факторов привело к формированию разных типов природно-антропогенных геосистем, что вызвало необходимость их систематизации. Создано несколько классификаций этих геосистем; ниже приводится оригинальная систематизация (табл. 1), построенная по сочетанию двух признаков: факторов воздействия (видов природопользования) и степени антропогенного изменения (косвенно – по степени проявления природно-антропогенных и антропогенных процессов) (Емельянов, 2006). Следует отметить, что некоторые типы сильно измененных и почти полностью нарушенных ландшафтов могут быть необратимыми или их «обратимость» может продолжаться длительный период – более 100-150 лет.

Мониторинг, очевидно, должен охватывать все категории природно-антропогенных геосистем, которые выполняют важные социально-экономические функции. Однако, наибольший практический интерес вызывают две группы комплексов – природные или условно неизменные ландшафты (они служат объектом фонового мониторинга) и длительно обратимые или необратимые природно-антропогенные геосистемы (в зависимости от конкретных

региональных условий их социально-экономические функции могут различаться). Особенно актуален мониторинг для тех ландшафтов, которые испытывают высокие техногенные нагрузки, что часто ухудшает условия жизнедеятельности населения.

Методика мониторинга природных (или условно природных) ландшафтов относительно хорошо отработана. В 60-80 годах XX столетия на стационарах ряда институтов АН СССР и некоторых университетов страны проводились стационарные исследования состояний природных комплексов с целью определения процессов их естественного функционирования. Они, однако, не включали изучение состояний природно-антропогенных геосистем. В настоящее время осуществляется программа наблюдений за состоянием природной среды в биосферных заповедниках России. Опыт этих работ может быть использован при организации современного фонового мониторинга естественных (условно природных) ландшафтов. Среди природных комплексов, расположенных в сфере влияния хозяйственных объектов, целесообразно выделить так называемые «критические» биогеоценозы, т.е. геосистемы, наименее устойчивые к загрязнению окружающей среды (как правило, аккумулятивные и аккумулятивно-трансэлювиальные геохимические ландшафты), а также коренные и условно коренные лесные комплексы. В их составе присутствуют растения-индикаторы, весьма чувствительные к химическому и другим видам загрязнения. Поэтому в процессе наблюдений этим растениям следует уделить особое внимание. Необходимой составной частью фонового мониторинга должна быть оценка экологического состояния ландшафтов.

Природно-антропогенные геосистемы еще 30-40 лет назад рассматривались как важные объекты ландшафтоведения, однако их исследования велись с разными целями, носили непродолжительный характер, были разорваны во времени и пространстве, проводились по различным методикам и программам. В результате большие по объему, ценные, но разноплановые по содержанию материалы часто оказывались непригодными для сравнения, экологической оценки и прогноза (даже в условиях одного региона), т.е. они не отвечали задачам мониторинга. Лишь в конце 80-х – начале 90-х гг. был поставлен вопрос о регулярном слежении за состоянием некоторых типов преобразованных (прежде всего мелиорированных) геосистем. В настоящее время в условиях нарастающего техногенного стресса на природу объективно возникла необходимость формирования нового направления ландшафтно-экологических исследований – мониторинга экологического состояния разных по социально-экономическим функциям природно-антропогенных ландшафтов (геосистем), поскольку человек одновременно и в совокупности испытывает воздействие (часто негативное) всех или почти всех

трансформированных компонентов природы в рамках определенных границ, а не двух-трех отдельных измененных сред.

Т а б л и ц а 1

Категории природно-антропогенных геосистем  
по факторам и степени изменения  
(по Емельянову, 2006)

Степень изменения геосистем	Факторы и глубина антропогенного воздействия			
	Охрана ландшафтов, уход за ландшафтом, ограниченная рекреация, лимитированная охота и т.п.	Интенсивная рекреация, выпас скота, регулярный сенокос, вырубка леса, пожары, пахота, земельные мелиорации, химическое воздействие на почвы и растительность и т.п.	Водные мелиорации, интенсивное сельское заселение территорий, смыв и дефляция почв, вторичное засоление и заболачивание и т.п.	Затопление территорий, урбанизация, строительные работы, добыча полезных ископаемых, рекультивация территорий и т.п.
Условно неизмененные (природные)	Заповедные, природоохранные, ограниченно рекреационные, лесные слабо используемые			
Существенно измененные		Интенсивно рекреационные, лесохозяйственные, комплексы ЛЭП, лугово-пастбищные, пахотные		
Сильно измененные			Гидромелиоративные, крупные сельские селитебные, садово-дачные, вторично засоленные и заболоченные, сильно эродированные антропогенные пустоши	
Почти полностью нарушенные				Водохранилища, городские, горно-промышленные, промышленные, дорожные, рекультивированные, культурные ландшафты (по А.Г. Исаченко)

Очевидно, что назрела необходимость разработки концепции мониторинга природно-антропогенных ландшафтов. В связи с этим особое значение приобретает определение (обоснование) подходов и методов решения задачи такого характера. Учитывая особенность объекта исследования, в качестве подходов целесообразно выделить традиционный сравнительно-географический и относительно новый ландшафтно-экологический, а на основе их комплекс методов, включающий геохимический, гидрохимический, индикационный,

ландшафтно-экологическое профилирование, аэрокосмический, геоэкологическое картографирование, математико-статистический и др. Необходимость использования ландшафтно-экологического подхода связана с тем, что антропогенные (техногенные) нагрузки на ландшафты и их последствия во многих случаях существенно изменяют условия жизнедеятельности населения. Сущность этого подхода состоит в изучении трансформированных ландшафтов как объектов среды жизнедеятельности людей и использовании методов, позволяющих достаточно полно установить и оценить их экологическое состояние. Поэтому большое значение приобретают такие базовые понятия, как экологическое состояние природно-антропогенных геосистем, признаки (показатели) этого состояния, экологическая ситуация в границах геосистем, оценка экологических состояний и ситуаций, операционные единицы мониторинга.

Использование ландшафтно-экологического подхода позволяет, во-первых, сформулировать ряд принципов мониторинга природно-антропогенных ландшафтов (комплексность исследований, необходимость экологической ориентации наблюдений, учет конкретных физико-географических и социально-экономических условий территории, целесообразность проведения одновременных наблюдений по одной и той же программе на измененной человеком территории и участках с ненарушенной природой и др.). Во-вторых, можно по-новому рассмотреть понятие «экологическое состояние природно-антропогенных геосистем». Его целесообразно определить как совокупность важнейших ландшафтно-экологических показателей геосистем (в том числе характеристик последствий антропогенных изменений, важных для жизнедеятельности человека) в определенный более или менее длительный промежуток времени (раз в год или один раз в 2-5 лет). По нашему мнению в состав признаков экологического состояния геосистем должны включаться физико-географические (ландшафтные), экологические (геоэкологические), санитарно-гигиенические, медико-демографические показатели. К первой группе можно отнести характеристики мезорельефа, увлажнения, почв, продуктивности фитоценоза и др. Во вторую группу целесообразно включить критерии, характеризующие изменение условий среды, – прежде всего показатели проявления деградиционных природно-антропогенных (степень дегумификации, снижение плодородия фитоценозов, эвтрофирования водоемов и др.) и антропогенных (степень истощения ресурсов, загрязнения среды и др.) процессов. В третью группу включаются величины кратности предельно допустимых концентраций веществ в воздухе, водах, почвах, продуктах питания. Четвертую группу составляют показатели здоровья населения, детской смертности, данные о заболеваемости людей болезнями так называемого техногенного происхождения. Естественно, что для разных

по социально-экономическим функциям природно-антропогенных ландшафтов состав и набор признаков не может быть одним и тем же, хотя желательно, чтобы их общее количество было приблизительно одинаковым (оптимально, из 20 показателей).

Другой сложный и пока недостаточно решенный в ландшафтоведении и геоэкологии вопрос – поиск и использование показателей (характеристик) экологического состояния ландшафтов. По содержанию предлагается выделить три группы таких показателей: покомпонентные (или поэлементные), интегральные и суммарные. Первые из них сравнительно просты по определению, но громоздки для сравнения (по каждому типу комплексов) и неудобны для составления интегральных характеристик. В качестве интегральных характеристик состояния и антропогенного изменения геосистем могут выступать интенсивность обмена вещества и энергии (отношение массы ежегодной биологической продукции геосистем к их общей биомассе, отношение запасов мертвого органического вещества в экосистемах к суммарному), способность ландшафтов к самоочищению в процессе их загрязнения, сравнение реальной структуры использования земель с оптимальным соотношением природных ландшафтов и угодий для данного региона и др. При оценке экологического состояния городских ландшафтов целесообразно привлекать также данные о состоянии здоровья населения. К сожалению, имеющиеся методы расчета интегральных показателей трудоемки или недостаточно отработаны, поэтому для оценки экологического состояния природно-антропогенных ландшафтов приходится использовать наиболее репрезентативные покомпонентные (или поэлементные) признаки или их сочетания. При наличии количественных показателей, включающих признаки, названных выше трех или четырех групп, возможно определение так называемой суммарной характеристики экологического состояния геосистем ( $X_s$ ) которая может рассматриваться как разность между суммой отношений исследуемого объекта и состоянием его «эталона» (подобного неизменного или слабоизмененного комплекса), условно принимаемого за 1,0. В этом случае величина  $X_s$  определяется по следующей формуле:

$$X_s = \left( \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{E_i} \right) \frac{1}{n} - 1,0,$$

где  $n$  – использованное число покомпонентных критериев;  $C_i$  – величина  $i$ -го показателя в условиях природно-антропогенного ландшафта;  $E_i$  – величина  $i$ -го показателя в условиях «эталонного» комплекса той же размерности.

Содержание мониторинга природно-антропогенных ландшафтов должно включать комплекс-цепочку исследований: наблюдения

(фиксацию данных состояния компонентов объекта в пределах определенных границ); контроль (сравнение полученных данных с эталонами или нормативами, исходным состоянием, региональным фоном среды); определение экологического состояния и его оценку в пределах выделенных границ); прогнозирование будущего состояния с заблаговременностью в несколько месяцев или лет); оценку прогнозируемого экологического состояния – компенсационные мероприятия (в случае негативных последствий) и рекомендации по управлению преобразованными природно-антропогенными геосистемами.

Общий алгоритм (технологическая схема) проведения мониторинга природно-антропогенных ландшафтов должен включать разработку теоретико-методических основ мониторинга природно-антропогенных ландшафтов: (1) классификацию геосистем исследуемого региона с позиций мониторинга; (2) картографирование и выбор ключевых участков и репрезентативных геосистем (3) определение антропогенной нагрузки; (4) выявление деградиционных природно-антропогенных и антропогенных процессов; (5) определение экологического состояния геосистем и его оценку; (6) картографирование экологического состояния геосистем и определение его эволюции, а также (7) проведение мониторинговых наблюдений по состоянию окружающей среды. Особое внимание следует уделить регулярному слежению за проявлением негативных природно-антропогенных и антропогенных процессов.

Организация мониторинга природно-антропогенных геосистем должна включать крупномасштабное (1:10000 – 1:25000) ландшафтное картографирование, инвентаризацию выбранных объектов слежения, определение видов и периодичности наблюдений, разработку методики их проведения применительно к конкретным техногенным источникам, физико-географическим и социально-экономическим условиям региона, исследование исходного экологического состояния ландшафтов, непосредственное осуществление мониторинга (параллельно как природных, так и нарушенных геосистем).

**Апробирование.** Ряд теоретико-методических положений, сформулированных выше, был апробирован в процессе ландшафтно-экологических исследований, которые проводились в бассейне Верхней Волги. Объектами исследований служили территориальные и аквальные природно-антропогенные объекты, типичные для этого региона: ландшафты в зоне влияния Калининской АЭС, комплексы выработанных торфяников, водохранилища и водоемы-охладители крупных предприятий, городские ландшафты г. Твери. Программа исследований предусматривала решение следующих задач: а) выбор конкретных объектов для мониторинговых исследований (как нарушенных комплексов, так и слабо измененных ландшафтов); б)

классификацию (систематизацию) геосистем для целей мониторинга (при наличии значительного разнообразия исследуемых объектов); в) подбор признаков для определения экологического состояния изучаемых геосистем; г) выявление негативных природно-антропогенных и антропогенных процессов в геосистемах с изучением методики их определения; д) совершенствование методики оценки экологического состояния природно-антропогенных ландшафтов; е) разработку легенд мониторинговых карт объектов исследования.

Исследования в зоне рекреационного влияния Калининской АЭС показали, что антропогенная нагрузка возрастает и соответственно экологическая обстановка может ухудшиться в 2-3 раза (Муравьева, 2006). В значительно большей степени негативное влияние деятельности человека проявляется на осушенных выработанных болотных геосистемах в результате осушения, добычи торфа, почти полного исчезновения исходного почвенно-растительного покрова, возникновения пожаров и других изменений практически полностью перестал функционировать прежний природный комплекс. Величина показателя  $X_s$  по сравнению с данными «эталона» возрастает в 7-9 раз. При оценке экологического состояния измененных аквальных комплексов (пойменно-террасовые пелагиальные урочища Ивановского вдхр.) учитывались такие показатели как гидродинамическая активность водоема, площадь эродированного дна, площадь зарастания акватории, содержание некоторых тяжелых металлов (Zn, Cu и др.) в воде и донных отложениях, биомасса водной растительности и др. Под влиянием затопления и других факторов экологическое состояние изученных аквальных экосистем резко изменилось (в основном ухудшилось). Величина показателя  $X_s$  по сравнению с аналогичной величиной «эталона» (руслового комплекса выше города Твери) увеличилась в 8-16 раз (Тихомиров и др., 2006).

**Заключение.** Необходимость построения шкалы оценки экологического состояния природно-антропогенных геосистем, наиболее характерных для конкретного региона, как нельзя актуальна. Для ее составления, однако, необходимо проведение экспериментальных исследований геосистем с учетом особенностей естественной дифференциации природной среды, степени и направления изменения человеком ландшафтов.

### **Список литературы**

Емельянов А.Г. 2006. Природно-антропогенные ландшафты и принципы их мониторинга // Ландшафтоведение: теория, методы, региональные исследования, практика: материалы XI Междунар. ландшафт. конф. М. С. 450-453.

Муравьева Л.В. 2006. Пути эволюции болотных ландшафтов после торфодобычи // Ландшафтоведение: теория, методы, региональные исследования, практика: материалы XI Междунар. ландшафт. конф. М. С. 418-421.

Тихомиров О.А., Тихомирова Л.К., Емельянов А.Г. 2006. Аквальные комплексы водохранилищ как геосистемы и мониторинг их экологического состояния // Вестн. ТвГУ. Сер. География и экология. Вып. 2. № 7 (24). С. 14-18.

## **APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF THE ENVIRONMENTAL MONITORING CONCEPT OF REGIONAL NATURAL AND ANTHROPOGENIC GEOSYSTEMS**

**A.G. Emeljanov, O.A. Tikhomirov, L.V. Muraviova**

Tver State University, Tver

Actual problems of natural-anthropogenic geosystems functioning, which should be taken into account while developing of the environmental monitoring concept, are discussed. Approbation results of some of the potential directions of monitoring in Tver region are provided.

**Keywords:** *natural-anthropogenic geosystem, monitoring, ecological conditions, evaluation.*

### *Об авторах:*

ЕМЕЛЬЯНОВ Александр Георгиевич – доктор географических наук, профессор кафедры физической географии и экологии, ФГБОУ ВПО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: fisgeo@tversu.ru.

ТИХОМИРОВ Олег Алексеевич – кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой физической географии и экологии, ФГБОУ ВПО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: Oleg.Tikhomirov@tversu.ru.

МУРАВЬЕВА Любовь Валерьевна – доцент кафедры физической географии и экологии, ФГБОУ ВПО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: Lyubov.Muraveva@tversu.ru.

Емельянов А.Г. Подходы к разработке концепции мониторинга экологического состояния природно-антропогенных систем региона / А.Г. Емельянов, О.А. Тихомиров, Л.В. Муравьева // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2014. № 3. С. 98-106.