

# ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ УРОВНЯ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТУРИСТОВ НА НАЗЕМНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Ю.А. Гордеев

Смоленская государственная академия физической культуры, спорта и туризма, Смоленск, Россия  
Для связи с автором: e-mail: j.a.gordeev@mail.ru

## Аннотация:

Статья посвящена актуальным вопросам, касающимся увеличения антропогенной нагрузки на биocenозы заповедных территорий. Предлагается оригинальная методика контроля за экологическим состоянием экосистем ООПТ с использованием в качестве индикаторов антропогенной нагрузки отдельных физических характеристик почвенного покрова, что позволит эффективнее контролировать степень антропогенного воздействия туристов на почву и биogeocenозы в целом. Исследования и анализ полученных результатов осуществлялись в рамках системного подхода, подразумевающего существование тесной взаимосвязи между свойствами почв, растительностью и степенью устойчивости ландшафтов. На этой основе были разработаны модели устойчивости экосистем в условиях роста уровня антропогенного воздействия, связанного с расширением экотуризма.

**Ключевые слова:** экосистема, антропогенное воздействие, экотуризм.

## FORECASTING MODELS AND SIGNIFICANT ESTIMATES LEVEL OF HUMAN IMPACT ON TERRESTRIAL ECOSYSTEMS TOURISTS OF PROTECTED AREAS

Y.A. Gordeyev

Smolensk State Academy Physical Culture, Sports and Tourism, Smolensk, Russia

## Abstract:

The article is devoted to topical issues relating to the increase of anthropogenic load on the biocenoses of protected areas. An original method of monitoring the ecological state of ecosystems of protected areas using, as indicators of anthropogenic load of individual physical characteristics of the soil, will allow to effectively control the degree of human impact on soil and tourists biogeocenoses as a whole. Research and analysis of the results carried out in the framework of a systematic approach, which implies the existence of a close relationship between soil characteristics, vegetation and landscapes degree of stability. On this basis, and analysis of the energy model of ecosystem stability have been developed in a growing level of human impact associated primarily with the expansion of eco-tourism.

**Keywords:** Ecosystem, anthropogenic impact, eco-tourism.

## ВВЕДЕНИЕ

Увеличение антропогенной нагрузки на биосферу сопровождается технический прогресс и развитие человечества. Осознание острой необходимости сохранения устойчивости природных экосистем стало теоретической аксиомой человечества. Практическая реализация глобальных и региональных экологических проблем осуществляется намного сложнее.

Одно из важнейших направлений по сохранению и поддержанию устойчивого функционирования экосистем различного уровня и биосферы в целом – это сохранение биоло-

гического разнообразия. Эта задача является приоритетной для особо охраняемых природных территорий (ООПТ).

При реализации программ эффективного использования территорий ООПТ для рекреационных целей и туризма важно более полно и эффективно осуществлять контроль за уровнем антропогенного воздействия на охраняемые экосистемы. Отслеживать динамику видового состава растений и животных на огромной территории довольно проблематично. Использование для этих целей мониторинговых площадок – надежный способ,

однако он требует значительных затрат труда высококвалифицированных специалистов.

В качестве способа контроля за экологическим состоянием наземных экосистем ООПТ мы предлагаем использовать отдельные физические характеристики почвенного покрова. Действительно, почвенный покров является конечным приемником большинства воздействий. До последнего времени практически не уделялось внимания возможности определять уровень антропогенной нагрузки на наземные биогеоценозы по изменению отдельных физических свойств почвы. Такой подход является новым для оценки степени воздействия на природные и мало измененные человеком экосистемы. Вместе с тем такие изменения менее динамичны, цикличность их изменения в зависимости от природных процессов изучена достаточно хорошо, но вместе с тем физические характеристики почв более длительный период сохраняют информацию о различных техногенных нагрузках.

Малоизученным является и вопрос о биоиндикации как способе контроля за изменениями основных физических свойств почв. Безусловно, этот подход представляет большой интерес, так как позволяет путем наблюдений за растительностью в местах интенсивного антропогенного воздействия судить о нежелательных нагрузках. Это не исключает инструментальных подходов к определению отдельных физических свойств почвы.

Нет сомнения в том, что использование физических свойств почвы для контроля за уровнем антропогенной нагрузки позволит работникам национальных парков и других особо охраняемых территорий эффективнее контролировать степень антропогенного воздействия туристов на почву и, следовательно, на биогеоценозы в целом, а также осуществлять полноценное функционирование экосистем заповедников.

**Цель исследования:** разработать прогностические модели и основные принципы оценки уровня антропогенного воздействия туристов на наземные экосистемы ООПТ.

**Задачи исследования:**

1. Проанализировать состояние вопроса по проблеме исследования.

2. Разработать прогностические модели и основные принципы оценки уровня антропогенного воздействия на наземные экосистемы ООПТ, основанные на контроле степени антропогенного воздействия туристов на почву с учетом ее основных параметров.

**Методы исследования.**

Для решения поставленных задач исследования был использован комплекс методов: обобщение научно-методической литературы, анализ, синтез, наблюдение, эксперимент.

**Новизна исследования.**

Впервые предлагается оригинальная методика контроля за экологическим состоянием экосистем ООПТ с использованием в качестве индикаторов антропогенной нагрузки отдельных физических характеристик почвенного покрова, который является конечным приемником большинства внешних воздействий.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Динамику физических свойств почвы и обусловленных ими других факторов трансформаций биогеоценозов изучали в Национальном парке «Смоленское Поозерье» в рамках геосистемного подхода, когда названная территория может считаться уникальным природно-территориальным комплексом (ПТК) или геосистемой. В наших исследованиях основное внимание было уделено изучению важнейших физических свойств почвы: плотности твердой фазы, плотности, порозности и некоторых водно-физических характеристик.

Важно отметить, что исследования и анализ полученных результатов осуществлялись в рамках системного подхода, подразумевающего существование тесной взаимосвязи между свойствами почв, растительностью и степенью устойчивости ландшафтов. На этой основе и с учетом результатов анализа энергетических связей нами были разработаны модели устойчивости экосистем в условиях роста уровня антропогенного воздействия, связанного прежде всего с расширением экотуризма.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При моделировании явлений и процессов, в котором делается попытка предсказать пове-

дение сложных многокомпонентных систем, таких как конкретный биоценоз, при том или ином воздействии часто возникает желание использовать как можно больше параметров, прямо и косвенно влияющих на реакцию биоценоза на то или иное воздействие.

Ясно, что и антропогенное воздействие туристов на биоценозы многофакторно и многомерно. Часть такого воздействия в настоящее время достаточно сложно оценить, так как уровень антропогенной нагрузки на природные биоценозы часто зависит и от взглядов конкретного субъекта на природу, экономической ситуации в конкретном регионе, наконец – от общей культуры человека.

Понятно, что такой многомерный подход вряд ли может найти быстрое и однозначное решение. Поэтому при оценке прогноза антропогенного воздействия на природные биоценозы (такие встречаются на особо охраняемых территориях) исходили из того, что эмоционально-психологическая составляющая субъекта воздействия не учитывалась.

Когда мы имеем дело со сложным природным явлением, его нужно последовательно изучить и определенным образом представить. Для этого необходимо осуществить несколько этапов.

**Первый этап – определение цели моделирования.** Необходимо конкретизировать, что же мы хотим узнать, используя математическую модель. Для нашего случая – найти достаточно надежный способ определения критической нагрузки на природные биоценозы особо охраняемых природных территорий.

**Второй этап – концептуализация.** На этом этапе необходимо привлечь известные данные, для того чтобы составить теоретическую модель. При решении данного вопроса было установлено, что наиболее приемлемым показателем, отражающим уровень воздействия на наземные биоценозы НП, может использоваться плотность почвы, так как она отражает важнейшие педосферные свойства почвы, а именно: гранулометрический состав и содержание гумуса, сумму поглощенных оснований, твердость и др.

Для **спецификации модели** необходимо вы-

делить свойства, которые мы будем определять в итоге расчетов, так называемые переменные состояния модели, а также какими свойствами мы будем описывать внешние связи почвы, – внешние переменные модели. В нашем случае переменной состояния будет плотность (d), а внешние связи будем выражать в виде степени антропогенной нагрузки на почву (АН). При этом обязательно нужно учитывать уровень увлажнения в период антропогенной нагрузки (рисунки 1 и 2).

При идентификации структуры модели необходимо представить все связи и отношения между переменными (как внешними условиями, так и переменными состояния самой почвы). При составлении системной схемы модели учитывали предложения одного из основоположников этого метода в естествознании Форрестера, согласно которым использовали принятые обозначения в моделировании. Он предложил составлять системные потоковые диаграммы, а Ляпунов и Титлянова обосновали определенный «графический язык» для изображения потоковых диаграмм. На таких системных потоковых диаграммах прямоугольник – это символ переменной состояния, вентиль – регулятор потоков, окружность – вспомогательные переменные, сплошные линии – потоки веществ, а пунктирные – потоки информации.

Устойчивость любой экосистемы в настоящее время нельзя рассматривать изолированно от устойчивости биосферы в целом, так как в начале XXI века все больше проявляется действие глобальных процессов, которые влияют и на трансформацию энергии в экосистемах, и на их биологическое разнообразие.

Большинство природных и мало измененных человеком экосистем способны длительное время сохранять свой гомеостаз, т.е. функционировать как саморегулируемая, самоорганизующаяся система, способная к саморазвитию. Устойчивость любой экосистемы складывается из устойчивости биоценоза (УБ) и интегральной устойчивости почв (Упи). Нельзя не учитывать и действие туриста (человека), которая чаще всего приводит к снижению устойчивости экосистем:

$$Уэ = f(УБ, Упи) \pm f(АН) \quad (1)$$

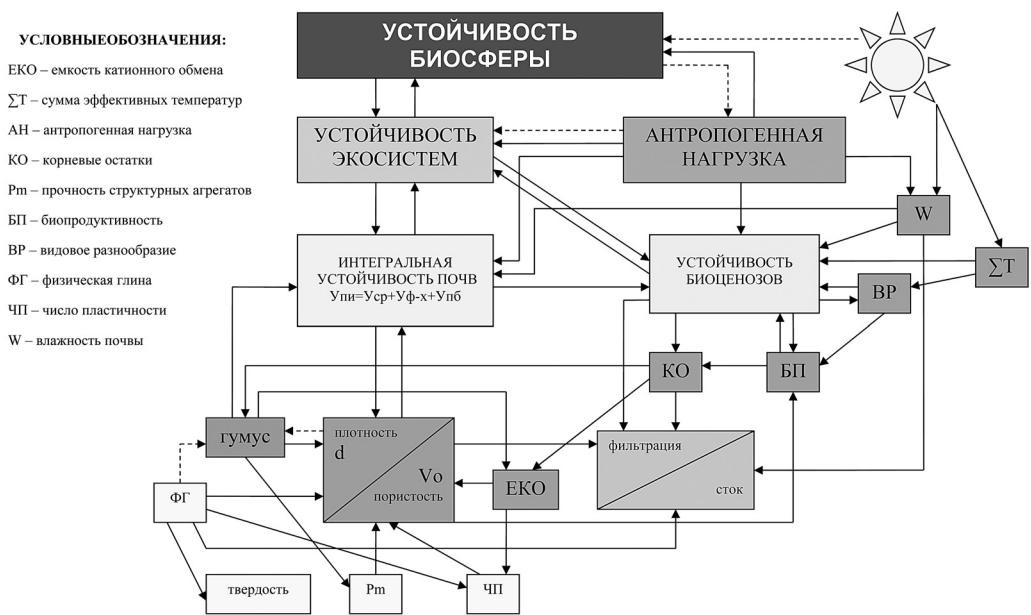


Рисунок 1 – Модель устойчивого функционирования экосистем

Устойчивость биоценоза определяется прежде всего биопродуктивностью (БП), т.е. аккумулированной в виде органического вещества солнечной энергией (ФАР), которая зависит от состава и структуры фитоценоза, обеспеченности продуцентов питательными веществами, водой (W), теплом ( $\Sigma T$ ):

$$БП = f(ФАР, W, \Sigma T, У_{пи}) \quad (2)$$

Так как состав, вертикальная и горизонтальная структура фитоценоза во многом определяются уровнем плодородия и свойствами почвы, то можно считать, что они зависят от интегральной устойчивости почв ( $У_{пи}$ ), которая может подразделяться на устойчивость

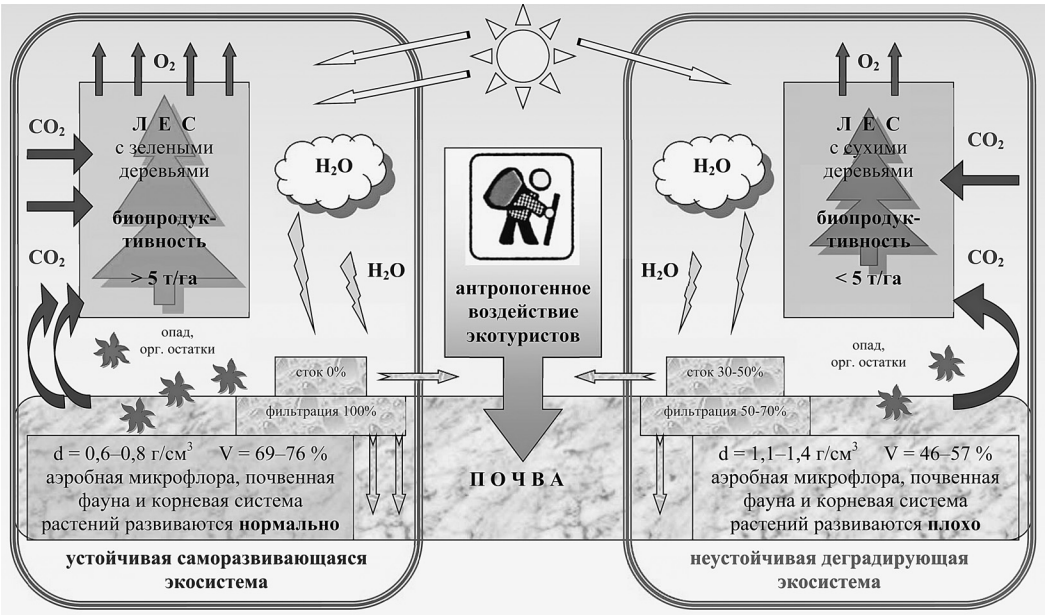


Рисунок 2 – Общая схема изменения устойчивости экосистем при антропогенном воздействии экотуристов

физических, физико-химических и биологических свойств почв:

$$U_{\text{пи}} = U_{\text{ф}} + U_{\text{х.-ф.}} + U_{\text{б}} \quad (3)$$

Каждый из названных видов устойчивости может характеризоваться десятками параметров, однако все они в конечном счете зависят от сравнительно небольшого числа показателей, а именно: содержания гумуса, плотности почв, гранулометрического состава и состава поглощенных катионов.

В естественных экосистемах обеспеченность продуцентов доступными элементами минерального питания в основном определяется содержанием гумуса, интенсивностью и направленностью деятельности сапротрофов, в первую очередь микрофлоры. Получены многочисленные данные, что эта составляющая интегральной устойчивости почв прямо связана с уровнем антропогенной нагрузки, т.е. с изменением плотности почв.

При повышении антропогенного воздействия существенно нарушается микробиологическая активность почвы, что проявляется в снижении численности микроорганизмов, изменении функционирования отдельных групп, изменении состояния активности спорообразующих бактерий, качественного состава Е актиномицетов. Исследованиями установлено, что повышение плотности почв в елово-широколиственных лесах в 1,5-2 раза приводит к 7-20-кратному снижению численности аэробных гетеротрофных микроорганизмов, в результате чего значительно ухудшается питание растений за счет ослабления интенсивности деструкционной функции микроорганизмов. Не меньшую опасность представляет уменьшение общего количества микробной массы, так как в результате этого уменьшается количество биологически активных веществ и существенно снижается количество доступного растениям азота. Его "недобор" может достигать 75%. Ухудшается также нитрогеназная активность почвы.

На участках леса с повышенной антропогенной нагрузкой существенно изменяется качественный состав микроорганизмов, которые осуществляют процессы трансформации органических веществ с различной степенью деструкции. Так, на 30-40% снижается числен-

ность бацилл с более мощным ферментативным аппаратом (*Bac. mesentericus*, *Bac. subtilis*, *Bac. megatherium*, *Bac. Idosus*). При этом ослабляется их биохимическая активность. На 45-60% уменьшается доля актиномицетов – организмов, которые осуществляют глубокую трансформацию органических остатков. Это свидетельствует о замедлении процессов минерализации, что также ухудшает обеспеченность растений элементами питания.

При уплотнении почвы под лесом может существенно меняться гидрологический режим, так как в этом случае замедляется фильтрация и часть осадков сбрасывается в виде поверхностного стока, с которым не только смывается часть питательных веществ, но и изменяется гидрологический режим ландшафта в целом. Исследованиями установлены зависимости плотности и пористости почвы от других свойств почвы, таких как содержание в ней гумуса, физической глины и ила.

На плотность почвы существенное воздействие оказывает и сам биопенез, благодаря тому что поставляет значительное количество растительных остатков в виде опада и отмерших корней.

Плотность и пористость почв существенным образом влияют на деятельность почвенной микрофлоры. При увеличении плотности почвы уменьшается численность сапротрофной микрофлоры, развивающейся на мясопептонном агаре, свободных азотфиксаторов, значительной части бацилл, целлюлозоразлагающих бактерий.

Анализ множественной корреляционной зависимости физических свойств почвы от содержания гумуса и растительных остатков позволил установить ее сложный нелинейный характер при одновременном увеличении тесноты связи.

Наряду с методами прямого определения антропогенной нагрузки на природные экосистемы можно использовать косвенные показатели, которые ориентировочно позволяют определить степень антропогенного воздействия. В качестве показателя уровня нагрузки можно принимать максимальное количество стоянок экотуристов, находящихся одновременно на площади 3 км<sup>2</sup> в периоды с наиболь-

шей рекреационной активностью, т.е. с 01.05 по 10.09. Допустимой считается плотность до 2 стоянок. При большей нагрузке отмечается неблагоприятное изменение плотности почвы, особенно в водоохраной зоне озер и на наиболее привлекательных ландшафтах.

Следовательно, устойчивость экосистем ( $Уэ$ ) можно оценить по формуле:

$Уэ = f(УБ + Уни) \times f(1 / d_o + \Delta d) \times f(n_o \pm \Delta n \Delta t)$ , где (4)

$n_o$  – число видов в экосистеме при минимальной антропогенной нагрузке;

$\Delta n$  – изменение числа видов за период  $\Delta t$ ;

$d_o$  – оптимальная плотность почвы (0,6–0,9 г/см<sup>3</sup>)

В качестве критической плотности почвы, достоверно снижающей устойчивость лесных экосистем, следует считать 1,1–1,3 г/см<sup>3</sup>.

Устойчивость экосистем можно определять и по изменению плотности почвы, учитывая при этом пороговый характер этой величины, в случае достижения которого устойчивое функционирование данной экосистемы нарушается. При длительном воздействии наступает деградация экосистемы.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, увеличение антропогенной нагрузки на природные и антропогенно измененные экосистемы требует более продуманных методов контроля и учета такой нагрузки. Проведенные ранее научные изыскания показали, что надежным параметром, отражающим уровень антропогенной нагрузки на экосистемы является плотность почвы.

Установлены тесные корреляционные и регрессионные зависимости плотности почвы (и обусловленной ею порозности) с гранулометрическим составом почв, зависящим от минералогического состава почвообразующей породы, содержанием гумуса, определяющим уровень естественного плодородия и в значительной мере состав биогеоценоза, с массой корневых остатков и опада, поступающих в почву и прямо связанных с количе-

ством аккумулированной фитоценозом солнечной энергии.

От плотности почв зависит устойчивость функционирования природных ландшафтов: их водорегулирующая роль, направленность микробиологических процессов и дальнейший генезис почвенного покрова, от которого зависит сохранение биологического разнообразия природных и малоизмененных человеком лесных экосистем.

Плотность почвы в значительной мере определяет прочностные характеристики микроагрегатов и, следовательно, их способность сохраняться при антропогенном уплотняющем воздействии. Механизмы естественного разуплотнения в большей мере зависят от продукционной способности экосистемы, направлений и интенсивности деятельности почвенной биоты.

Установлены оптимальные параметры плотности почвы для различных лесных экосистем, сформированных на минеральных почвах (0,6–0,9 г/см<sup>3</sup>). Выявлены параметры плотности почвы, при которых может начинаться деградация природных лесных экосистем (1,1–1,35 г/см<sup>3</sup>). Установлены пределы уплотнения почвы на тропах в лесных экосистемах разного состава.

Выявлены растения-индикаторы, которые могут свидетельствовать об уровне критической антропогенной нагрузки. Это мятлик однолетний, подорожник большой, гречишка птичья и др. Об уровне антропогенной нагрузки лесных экосистем, сформированных преимущественно хвойными породами, можно судить по степени сохранения опада из отмершей хвои.

На основании полученных данных разработана прогностическая модель, отражающая уровень антропогенной нагрузки. Однако для ее проверки необходимо формирование баз данных об основных параметрах функционирования природных экосистем в различных почвенно-климатических условиях.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прудников, А. Д. Проведение исследований проблемы физики почв и разработка модели устойчивого функционирования природных экосистем

при развитии экотуризма на примере Смоленской области : научный отчет / А. Д. Прудников, А. М. Гордеев, Ю. А. Гордеев, Н. А. Платонова, В. Н. Тараканов, В. В. Боханов, А. С. Кочергин, А. Д. Лобанова. – Смо-

ленск : 2007. – 186 с.

2. Прудников, А. Д. Прогностические модели для оценки уровня антропогенного воздействия и их использование для устойчивого функционирования биогеоценозов особо охраняемых природных территорий / А. Д. Прудников, Ю. А. Гордеев // Сборник тезисов 3-го Международного экологического форума «Чистый город. Чистая река. Чистая планета». – Херсон : ХТПП, 2011. – С. 253-261.
3. Гордеев, Ю. А. Экология и экологическое образование : монография / Ю. А. Гордеев. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 480 с.

#### BIBLIOGRAPHY

1. Prudnikov, A. D. Research problems of soil physics and the development of a model of sustainable functioning of natural ecosystems with the development of ecotourism in the example of Smolensk area: Research Report / A. D. Prudnikov, A. M. Gordeev, Y. A. Gordeev, N. A. Platonov, V. N. Tarakanov, V. V. Bokhanov, A. S. Kochergin, A. D. Lobanov. – Smolensk, 2007. – 186 p.
2. Prudnikov, A. D. Prognostic model for assessing the level of human impact and their use for the stable functioning of ecosystems Protected Areas / A. D. Prudnikov, Y. A. Gordeev // Abstracts of the 3rd International Ecological Forum "Clean City. Clean River. Clean Planet." – Kherson : KCCI, 2011. – P. 253-261.
3. Gordeev, Y. A. Ecology and Environmental Education : monograph / Y. A. Gordeev. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 480 p.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Гордеев Юрий Анатольевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доктор биологических наук, профессор кафедры туризма и спортивного ориентирования Смоленской государственной академии физической культуры, спорта и туризма, e-mail: j.a.gordeev@mail.ru