

ФГБОУ ВО НОВОСИБИРСКИЙ ГАУ

Агрономический факультет

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Методические рекомендации для выполнения практических занятий

Новосибирск 2015

Кафедра агроэкологии и микробиологии

Составитель Н.А. Малахова

Агроэкологическое моделирование: метод. рекомендации / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Агроном. ин-т; сост. Н.А. Малахова. - Новосибирск, 2015. - 20 с.

Методические рекомендации по агроэкологическому моделированию для студентов Агрономического факультета, обучающихся по направлению 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение.

Утверждены и рекомендованы к изданию учебно-методическим советом агрономического факультета (протокол от 14.10.2015 г. № 9).

Оглавление

Введение	3
Практическая работа №1. Система	4
Практическая работа №2. Способы описания систем.....	6
Практическая работа №3. Сложность систем.....	9
Практическая работа № 4. Управление в системе и системой.....	11
Практическая работа № 5. Математическая модель.....	13

Введение

Методические рекомендации предназначены для студентов Агрономического института, обучающихся по направлению 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение, изучающих дисциплину «Агроэкологическое моделирование» согласно федеральному государственному образовательному стандарту.

Отсутствие учебно-методических пособий для студентов биологических специальностей по изучаемой дисциплине, несомненно, обуславливает актуальность работ на эту тему.

В методических рекомендациях предлагаются варианты выполнения практических заданий по исследованию систем и анализу математических моделей, а также возможного их графического построения.

Практическая работа № 1. СИСТЕМА

Система - это совокупность элементов со связями между ними или множество элементов, иерархически подчинённых друг другу, находящихся в отношениях и связях между собой, и образующих определённую целостность, единство.

Любая система, исходя из ведения критериев композиции, характеризуется рядом свойств:

- *структурность* - инвариативная во времени фиксация связей между элементами системы, формализуемая, например, математическим понятием «графа»;
- *динамичность* - изменение систем во времени;
- *целостность* - способность осуществлять обмен между элементами системы посредством веществ, энергии и информации в рамках устанавливаемых границ;
- *открытость* - свойство проникновения одних структурных элементов в другие, и объединение нечто общего (целого);
- *эмерджентность* (неожиданное появление) - способность иметь такие характеристики, которые присущи целой системе, но либо отсутствуют у её составляющих элементов, либо имеются и у элементов, и у системы в целом, но не выводимы из значения их для элементов.

Пример 1. Описать входные, выходные данные, возможные состояния ЭКОСИСТЕМЫ (цель - обмен веществом, энергией и информацией как внутри, так и извне).

Примерами параметров системы могут быть: входные - уровень организации живых организмов, уровень проведения обменных процессов; выходные - уровень связывания вещества, энергии и информации; внутренние - уровень осуществления процесса фотосинтеза растениями, дыхания животными и микроорганизмами.

Пример 2. Указать подсистемы системы, приведенной в предыдущем примере.

Примерами подсистем ЭКОСИСТЕМЫ могут быть такие системы: фитоценоз (цель - процесс фотосинтеза растениями), зооценоз и микробоценоз (цель - процессы дыхания животными и микроорганизмами).

Пример 3. Классифицировать приведенные выше системы и подсистемы.

Системы ЭКОСИСТЕМА, Фитоценоз, Зооценоз и Микробоценоз можно отнести:

- по взаимоотношениям со средой - к открытым;
- по происхождению - к естественным;
- по описанию - к смешанным;
- по управлению - к комбинированным;
- по функционированию - типа непараметрических систем.

Задачи для самостоятельного решения

1. Указать пропущенные атрибуты системы и охарактеризовать их:

№ п/п	Вход	Выход	Цель	Система
1				Биосфера
2				Человек как социальная система
3				INTERNET

2. Указать подсистемы систем, приведенных в предыдущем примере.

3. Заполнить места, отмеченные знаком вопроса

а)	Если входные посылки, цель, условие задачи или решение плохо описываемы, формализуемы, то такие задачи называются?
б)	Если структура проблем (модели, алгоритма, решения) плохо описываемы или определяемы, то такая проблема называется?
в)	Сложные системы бывают сложности структурной (т.е. ?), или динамической (т.е. ?), или вычислительной (т.е. ?).

4. Классифицировать приведенные системы в задаче 1 (с пояснением) и указать, какие из них большие, а какие сложные системы и почему.

Классификации:

- по взаимоотношениям со средой;
- по происхождению;
- по описанию;
- по управлению;
- по функционированию.

5. Какие связи существуют между подсистемами в задаче 1? Опишите их внешнюю и внутреннюю среду, структуру.

6. Привести синонимы и антонимы следующих понятий:

а)	целостность, структурированность, системность, системный анализ
б)	междисциплинарность, междисциплинарная проблема

Библиографический список

1. Джефферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии. – М., 1981.
2. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ /Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. - М., 1985.

Практическая работа № 2. СПОСОБЫ ОПИСАНИЯ СИСТЕМ

Описание (спецификация) системы - это описание всех её элементов (подсистем), их взаимосвязей, цели, функции при некоторых ресурсах, то есть всех допустимых состояний.

Любая система имеет внутренние состояния, внутренний механизм преобразования входных сигналов, данных в выходные (*внутреннее описание*) и внешние проявления (*внешнее описание*). Внутреннее описание даёт информацию о поведении системы, о соответствии (несоответствии) внутренней структуры системы целям, подсистемам (элементам) и ресурсам в системе, внешнее описание - о взаимоотношениях с другими системами, с целями и ресурсами других систем.

Морфологическое описание системы - описание строения или структуры системы: описание совокупности A элементов этой системы и необходимого для достижения цели набора отношений R между ними.

Морфологическое описание задается формулой:

$$S = \langle A, B, R, V, Q \rangle,$$

где A - множество элементов и их свойств;

B - множество отношений с окружающей средой;

R - множество связей в A ;

V - структура системы, тип этой структуры;

Q - описание, представление системы на каком-либо языке.

Из морфологического описания системы получают *функциональное описание системы* (то есть описание законов функционирования, эволюции системы).

Пример. Морфологическое описание экосистемы может включать структуру обитающих в ней хищников и жертв, их трофическую структуру или структуру пищи, их свойства, связи. Трофическая структура типа «хищники и жертвы» образует две непересекающиеся совокупности X и Y со свойствами $S(X)$ и $S(Y)$. Возьмем в качестве языка морфологического описания русский язык с элементами алгебры. Тогда можно предложить следующее упрощённое модельное морфологическое описание такой системы:

$$S = \langle A, B, R, V, Q \rangle,$$

где $A = \{\text{человек, тигр, коршун, щука, баран, газель, пшеница, кабан, клевер, полевая мышь (полёвка), змея, жёлудь, карась}\}$,

$X = \{\text{человек, тигр, коршун, щука, кабан, змея, баран}\}$,

$Y = \{\text{газель, пшеница, клевер, полёвка, жёлудь, карась}\}$,

$S(X) = \{\text{пресмыкающееся, двуногое, четырёхногое, плавающее, летающее}\}$,

$S(Y) = \{\text{живое существо, зерно, трава, орех}\}$,

$B = \{\text{обитатель суши, обитатель воды, растительность}\}$,

$R = \{\text{хищник, жертва}\}$.

Трофическую структуру системы можно описать таблицей.

Трофическая структура взаимоотношений хищников и жертв

$Y \setminus X$	Человек	Тигр	Коршун	Щука	Змея	Кабан	Баран
Газель	1	1	0	0	0	0	0
Пшеница	1	0	0	0	0	1	0
Клевер	0	0	0	0	0	0	1
Полевка	0	0	1	0	1	0	0
Желудь	0	0	0	0	0	1	0
Карась	1	0	0	1	0	0	0

Информационное описание системы с помощью графа представлено на рис. 1.

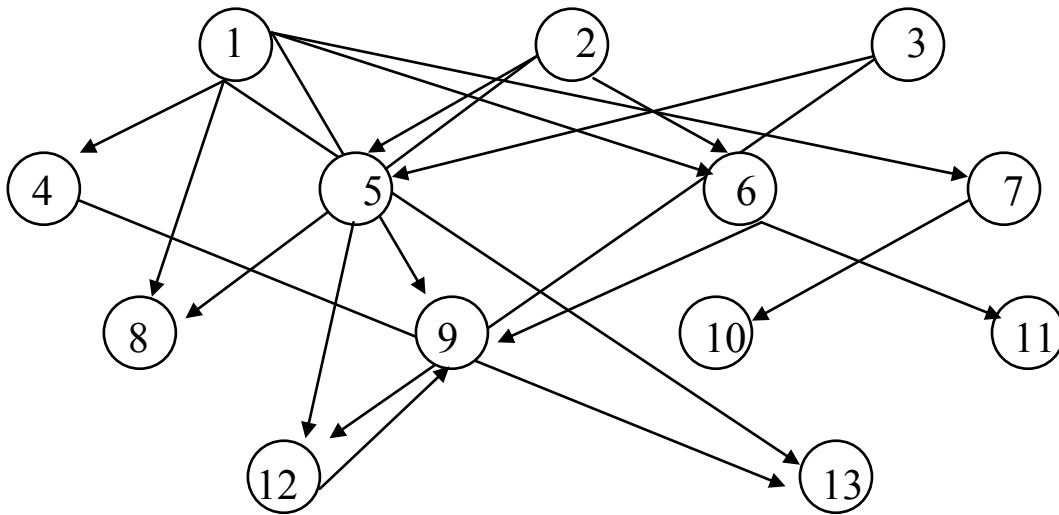


Рис. 1 . Граф информационного описания: 1 - человек, 2 - тигр, 3 - коршун, 4 - лиса, 5 - змея, 6 - кабан, 7 - баран, 8 - газель, 9 - пшеница, 10 - клевер, 11 - жёлудь, 12 – полевка, 13 - карась

Если использовать результаты популяционной динамики (раздела математики, изучающего динамику, эволюцию популяций), то можно, используя приведённое морфологическое описание системы, записать адекватное *функциональное описание системы*. В частности, динамику взаимоотношений в этой системе можно записать в виде уравнений Лотка - Вольтерра:

$$x_i'(t) = x_i(t) \left(a_i - \sum_{j=1}^7 b_{ij} x_j(t) \right), \quad x_i(0) = x_{i0}, \quad i = 1, 2, \dots, 6$$

где $x_i(t)$ -численность (плотность) i -й популяции;

b_{ij} - коэффициент поедания i -го вида жертв j -м видом хищников (прожорливости);

a_i - коэффициент рождаемости i -го вида.

Задачи для самостоятельного решения

1. Привести морфологическое описание одной - двух систем (на примере экосистемы ОЗЕРО и ЛЕС). Привести графовое или другое описание, представление, указать оценку глубины связей.

Библиографический список

1. Джефферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии. - М., 1981.
2. Пэнтл Р. Методы системного анализа окружающей среды. - М., 1979.

Практическая работа № 3. СЛОЖНОСТЬ СИСТЕМ

Система называется *сложной*, если в ней не хватает ресурсов (главным образом - информационных) для эффективного описания (состояний, законов функционирования) и управления системой - определения, описания управляющих параметров или для принятия решений в таких системах (в таких системах всегда должна быть подсистема принятия решения).

Пример 1. Сложными системами являются, например, клетка биологического образования, рассматриваемая на метаболическом уровне; мозг человека, если его рассматривать с точки зрения выполняемых человеком интеллектуальных действий; человеческое общество - на политико - религиозно - культурном уровне; язык - во многих аспектах.

Сложность системы зависит от принятого уровня описания или изучения системы - макроскопического или микроскопического. Сложность системы может быть внешней и внутренней. *Внутренняя сложность* определяется сложностью множества внутренних состояний, потенциально оцениваемых по проявлениям системы, сложностью управления в системе. *Внешняя сложность* определяется сложностью взаимоотношений с окружающей средой, сложностью управления системой потенциально оцениваемых по обратным связям системы и среды.

Понятие сложности детализируется и конкретизируется в различных предметных областях по-разному. Для конкретизации этого понятия необходимо учитывать предысторию, внутреннюю структуру (сложность) системы и управления, приводящие систему к устойчивому состоянию.

Впрочем, все внутренние связи на практике достаточно трудно не только описать, но и обнаружить.

Устойчивость систем - способность системы сохранять свое движение по заданной программе (из точек состояний) и своё функционирование, и она должна базироваться на самоподдержке, саморегулировании достаточно долго.

Пример 2. В экологических системах сложность системы может часто пониматься как эволюционируемость, сложность эволюции системы, в частности, мера сложности - как мера, функция изменений, происходящих в системе в результате контакта с окружающей средой, и эта мера может определяться сложностью взаимодействия между системой (организмом, организацией) и средой, её управляемости. Эволюционную сложность эволюционирующей системы можно определить как разность между внутренней сложностью и внешней (сложности полного управления системой). Решения в таких системах должны приниматься (для устойчивости систем) таким образом, чтобы эволюционная сложность равнялась нулю, то есть чтобы совпадали внутренняя и внешняя сложности.

Библиографический список

1. Джефферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии. - М., 1981.
2. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. - М., 1981.
3. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ /Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. - М., 1985.

Задача для самостоятельного решения

Привести пример одной - двух систем, пояснить причины и тип её сложности, взаимосвязь сложностей различного типа. Указать меры (приемы, процедуры) оценки сложности.

Практическая работа № 4. УПРАВЛЕНИЕ В СИСТЕМЕ И СИСТЕМОЙ

Управление в системе - внутренняя функция системы, осуществляемая в системе независимо от того, каким образом, какими элементами системы она должна выполняться.

Управление системой - выполнение внешних функций управления, обеспечивающих необходимые условия функционирования системы.

Управление системой (в системе) используется для различных целей:

- увеличения скорости передачи сообщений;
- увеличения объема передаваемых сообщений;
- уменьшения времени обработки сообщений;
- увеличения степени сжатия сообщений;
- увеличения (модификации) связей системы;
- увеличения информации (информированности).

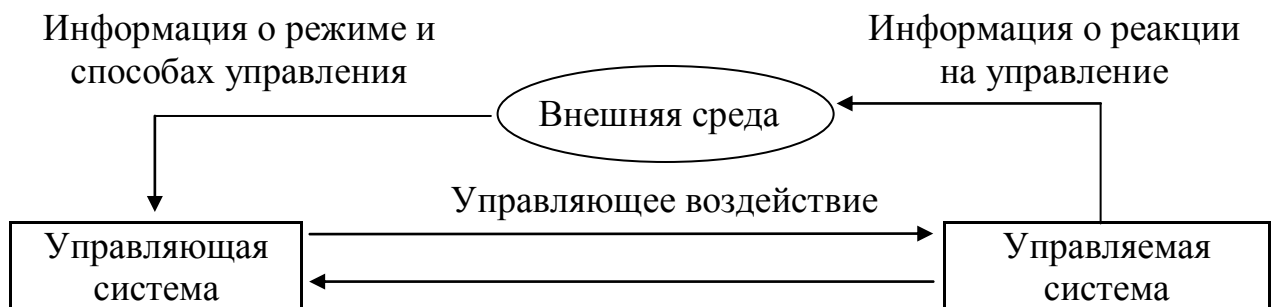


Рис. 2. Информация о состояниях выхода и внутренних текущих состояниях системы

Если число возможных состояний системы S равно N , то общее количество разнообразия системы равно $V(N) = \log_2 N$.

Пусть управляемая система обладает разнообразием $V(N_1)$, а управляющая - $V(N_2)$. Цель управляющей системы - уменьшить значение $V(N_1)$ за счет изменения $V(N_2)$. В свою очередь, изменение $V(N_1)$, как правило, влечет изменение и $V(N_2)$, а именно, управляющая система может эффективно

выполнять присущие ей функции управления лишь при условии, если верно неравенство $V(N_2) \geq V(N_1)$.

Это неравенство выражает *принцип (Эшби) необходимого разнообразия* управляемой системы: управляющая подсистема системы должна иметь более высокий уровень организации (или большее разнообразие, больший выбор), чем управляемая подсистема, т.е. многообразие может быть управляемо (разрушено) лишь многообразием.

Основные функции и задачи управления системой:

1. *Организация системы* - выделение подсистем, описание их взаимодействий и структуры системы.
2. *Прогнозирование поведения системы.*
3. *Планирование ресурсов и элементов, структуры системы*, необходимых (достаточных - в случае оптимального планирования) для достижения цели системы.
4. *Учет и контроль ресурсов*, приводящих к тем или иным желаемым состояниям системы.

Библиографический список

1. Джеферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии. - М., 1981.
2. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ /Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. - М., 1985.

Задачи для самостоятельного решения

1. Привести пример управляемой и неуправляемой системы. Указать основные управляемые и неуправляемые параметры системы. Указать основные функции и задачи управления.
2. Привести пример, показывающий необходимость принципа Эшби.

Практическая работа № 5. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Модель - объект или описание объекта, системы для замещения (при определенных условиях, предложениях, гипотезах) одной системы (то есть оригинала) другой для изучения оригинала или воспроизведения его каких-либо свойств. Модель - результат отображения одной структуры на другую.

Модели, если отвлечься от областей, сфер их применения, бывают трех типов: познавательные, прагматические и инструментальные.

- *Познавательная модель* - форма организации и представления знаний, средство соединения новых и старых знаний.

- *Прагматическая модель* - средство организации практических действий, рабочего представления целей системы для ее управления. Реальность в них подгоняется под некоторую прагматическую модель. Это, как правило, прикладные модели.

- *Инструментальная модель* - является средством построения, исследования и/или использования прагматических и/или познавательных моделей.

По уровню, "глубине" моделирования модели бывают *эмпирические* - на основе эмпирических фактов, зависимостей, *теоретические* - на основе математических описаний и *смешанные, полуэмпирические* - использующие эмпирические зависимости и математические описания.

Свойства любой модели таковы:

- *конечность*: модель отображает оригинал лишь в конечном числе его отношений и, кроме того, ресурсы моделирования конечны;
- *упрощенность*: модель отображает только существенные стороны объекта;
- *приблизительность*: действительность отображается моделью грубо или приблизительно;
- *адекватность*: модель успешно описывает моделируемую систему;

- *информативность*: модель должна содержать достаточную информацию о системе - в рамках гипотез, принятых при построении модели.

Жизненный цикл моделируемой системы:

1. Сбор информации об объекте, выдвижение гипотез, предмодельный анализ.
2. Проектирование структуры и состава моделей (подмоделей).
3. Построение спецификаций модели, разработка и отладка отдельных подмоделей, сборка модели в целом, идентификация (если это нужно) параметров моделей.
4. Исследование модели - выбор метода исследования и разработка алгоритма (программы) моделирования.
5. Исследование адекватности, устойчивости, чувствительности модели.
6. Оценка средств моделирования (затраченных ресурсов).
7. Интерпретация, анализ результатов моделирования и установление некоторых причинно - следственных связей в исследуемой системе.
8. Генерация отчетов и проектных решений.
9. Уточнение, модификация модели, если это необходимо, и возврат к исследуемой системе с новыми знаниями, полученными с помощью моделирования.

Приведём *пример математического моделирования* некоторой системы (полный жизненный цикл моделирования). Решение поставленной задачи разобьем на этапы в соответствии с этапами жизненного цикла моделирования, объединяя некоторые этапы для удобства и краткости изложения.

Этап 1. Содержательная постановка задачи.

Задача. Численность популяции увеличивается в N раз вне зависимости от находящихся в ее распоряжении пищевых ресурсов среды.

Этап 2. Формулировка гипотез, построение, исследование модели.

Гипотеза: скорость рождаемости особей прямо пропорциональна произведению некоторой константы на численность популяции, которое справедливо при условии того, что соотношение полов и численность оплодотворённых самок в популяции остаются неизменными и пропорциональными общей численности.

Уравнение динамики популяции:

$$\frac{dx}{dt} = \varepsilon x, \quad x(0) = x_0 \geq 0, \quad (1)$$

где $x(t)$ - численность популяции в момент времени t ;

x_0 - начальное значение численности популяции;

ε - мальтузианский параметр, определяющий разность между рождаемостью и смертностью особей в популяции.

Решение задачи свидетельствует об экспоненциальном росте численности при $\varepsilon > 0$

$$x(t) = x_0 e^{\varepsilon t}. \quad (2)$$

Если $\varepsilon < 0$, то численность популяции асимптотически стремится к нулю;

если $\varepsilon = 0$, то численность популяции остаётся неизменной и $x(t) = x_0$.

Графически это выглядит следующим образом (рис. 3)

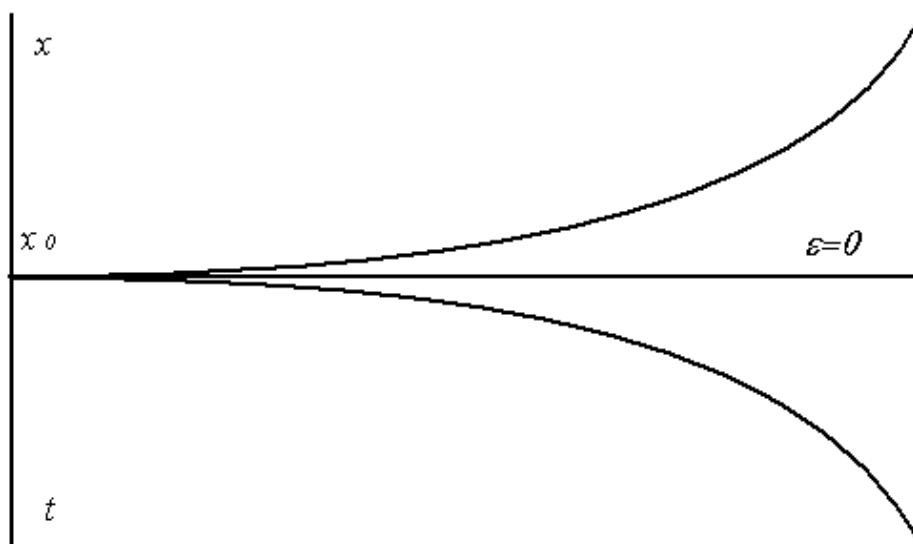


Рис. 3. Кривая зависимости численности популяции от времени

Этап 3. Построение алгоритма и программы моделирования.

Алгоритм моделирования:

1. Ввод входных данных для моделирования:

$c = x(0)$ – начальное значение численности популяции;

n - конечное время моделирования;

$m = \varepsilon$ - коэффициент естественного прироста численности популяции;

s - единица измерения времени.

2. Вычисление от $x(t)$ от $t=0$ до $t=n$ по дифференциальному уравнению.

3. Поиск стационарного состояния - такого момента времени t , при котором $0 < t \leq n$, начиная с которого все x_t, x_{t+1}, \dots, x_n постоянны или изменяются на малую допустимую величину $\Delta t > 0$.

4. Выдача результатов моделирования.

Этап 4. Модификация (развитие) модели:

а) построить гипотезы, модель и алгоритм моделирования;

б) сформулировать планы вычислительных, компьютерных экспериментов по модели;

в) реализовать алгоритм и планы экспериментов на ЭВМ.

Задачи для самостоятельного решения

I. Исходя из представленного описания провести полное описание моделей.

1. Из представленного описания типа модели выявить:

- постановку задачи;
- методы решения;
- гипотезы описания модели;
- необходимые вводимые в анализ модели данные;
- дифференциальные уравнения, вводимые для решения задачи /и модели;
- алгоритм и/или программу моделирования.

2. Проиллюстрировать варианты развития процессов в рассматриваемой системе путём наглядного представления в виде графиков в координатной или фазовой плоскостях.
3. Отметить недостатки данного типа математической модели (ограничение, неполноту, условность, вводимые режимы модели).

II. Из сформулированной задачи научного эксперимента дипломного проекта представить описание модели по плану:

- представить содержание и выявить тип исследуемой модели;
- выявить рабочую гипотезу/ы;
- ввести входные данные для моделирования;
- разработать алгоритм решения поставленных задач/и;
- на основе рассмотренных вариантов описания основных типов модели представить математическое описание модели через дифференциальное уравнение.

Примеры.

1. Математическое моделирование двухуровневой системы «хищник-жертва».
2. Моделирование загрязнения реки при сбросе сточных вод в одном месте.
3. Моделирование процессов влагопереноса в почве.
4. Моделирование развития растений в условиях стресса.
5. Математическое моделирование трансформации и миграции азота в почве.
6. Моделирование загрязнения воздуха.
7. Динамическая модель логистического роста популяции.
8. Математическая модель развития двух видов популяции, конкурирующих за один источник питания.
9. Математическая модель озёрной экосистемы.
10. Моделирование развития популяции в условиях неограниченных ресурсов питания.

11. Динамическая модель развития популяции, зависящая от плотности популяции.
12. Математическая модель межвидового взаимодействия между «хищником» и «жертвой».
13. Моделирование процесса снижения радиоактивного заражения местности.
14. Исследование модели загрязнения воздуха выхлопными газами. Источник загрязнения – автомобильная дорога.
15. Моделирование процесса уменьшения кислорода в водоёме при разложении сбросовых отходов.
16. Математическая модель логистического роста популяции в условиях ограничения ресурсов питания.
17. Моделирование процесса развития городской системы. Источник загрязнения – промышленное предприятие.
18. Математическое моделирование накопления гумуса в одном из типов почв (по выбору).
19. Моделирование процессов круговорота воды.
20. Математическое моделирование загрязнения земельных ресурсов тяжёлыми металлами. Источник загрязнения – автомобильная дорога.

Библиографический список

1. Агроэкология /под ред. В.А. Черникова. - М.: Колос, 2000.
2. Горелов А.А. Экология – наука - моделирование. – М., 1985.
3. Моисеев Н.Н. и др. Человек и биосфера. Опыт системного анализа и эксперименты с моделями. – М., 1985.
4. Недорезов Л.В. Лекции по математической экологии. – Новосибирск: Сибирский хронограф, 1997.
5. Смит Дж. Модели в экологии. – М.: Мир, 1976.
6. Полуэктов Р.А. Динамические модели агроэкосистем. – Л., 1991.

Малахова Наталья Анатольевна

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Методические рекомендации для выполнения практических занятий

Ответственный редактор д.б.н., профессор Н.Н. Наплекова

Печатается в авторской редакции

Отпечатано на агрономическом факультете
Новосибирского государственного аграрного университета
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, каб. 333. Тел. /факс
(383)267-36-10. E-mail: agro_dek@ngs.ru