

Министерство образования и науки Российской Федерации
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет заочного обучения

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по дисциплине

«СИСТЕМНАЯ ЭКОЛОГИЯ»

Специальность 320300 – геоэкология

*Подлежит возврату
на факультет заочного обучения*



Санкт-Петербург
2010

Одобрена Ученым советом факультета экологии
и физики природной среды РГГМУ

УДК (577.4+577.1)001.57

Методические указания по дисциплине «Системная экология» для
высших учебных заведений. – СПб.: РГГМУ, 2010. – 39 с.

Составитель: В.В. Дмитриев, д-р геогр. наук, проф.

Ответственный редактор: В.А. Шелутко, д-р геогр. наук, проф.
РГГМУ

Рецензент: В.Н. Мовчан, д-р биол. наук, проф., заведующий ка-
федрой геоэкологии и природопользования СПбГУ,

В методических указаниях даются пояснения к изучению ос-
новных разделов курса «Системная экология», приведены вопросы
для самопроверки и контрольная работа. Контрольная работа вы-
полняется по основным разделам курса с использованием персо-
нального компьютера. Приводится конспективное изложение ма-
териала по четырем основным лекциям курса «Системная эколо-
гия» (для ОЗО).

Методические указания предназначены для студентов эколо-
гов, геоэкологов, природопользователей гидрометеорологических
и географических факультетов университетов.

© Дмитриев В.В., 2010

Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2010

БИБЛИОТЕКА

195184, СПб, Малоевтинский пр., 98

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс «Системная экология» является одним из завершающих предметов в системе подготовки студентов экологов и геоэкологов гидрометеорологического профиля и имеет целью дать слушателям комплекс знаний и навыков по совокупности принципов, концепций, методов системного анализа применительно к экологии и геоэкологии. Системная экология как формализованный целостный подход стала самостоятельным разделом общей экологии в результате развития системологии, современных формальных математических методов, информатики, обработки данных на ПК и т.д., а также формального упрощения сложных систем. В курсе освещаются проблемы, связанные со становлением, развитием и внедрением в экологию математических методов, а также методов формального упрощения сложных экологических систем и геосистем на основе моделей. Рассматриваются: свойства сложных систем, основные принципы системологии, баланс масс и баланс скоростей в моделях экосистем; история создания и возможности моделей: роста популяций и биопродуктивности, питания гетеротрофов и отношений в системе «хищник-жертва», бактериальной продукции и биохимического окисления органических веществ, биогеохимических циклов биогенных элементов, функционирования водных экосистем, глобального развития и др.

Программа составлена с учетом того, что студенты изучили предусмотренные учебным планом предметы, в которых освещаются проблемы мониторинга, обработки и анализа данных гидрометеорологических наблюдений, оценки качества и токсического загрязнения среды, охраны природы, моделирования отдельных процессов механического переноса компонентов в водных объектах, и готовы приступить к изучению моделей функционирования сложных систем в природе и обществе.

Те вопросы, которые изложены в курсе, не рассматривались ранее в других курсах или же даются здесь в форме, позволяющей углубить их изучение. Это, прежде всего: методологические основы построения точечных, блочных и непрерывных моделей экосистем, геосистем, социосистем; подходы к моделированию удельных скоростей обменных процессов в экосистемах; оценка внутригодового цикла функционирования водных экосистем; тактика и

стратегия получения адаптивных ответов развития экосистем на основе моделирования; выявление критических состояний и пределов антропогенного воздействия на экосистемы, и др.

Изучив курс, студенты должны знать:

- основные понятия и принципы системологии и их связь с законами экологии, основные стадии системного анализа в изучении природных систем;

- методы и этапы построения экологических моделей, задачи, которые необходимо решить при построении экологической модели;

- вид основных моделей: роста популяций и биопродуктивности, первичного продуцирования органического вещества в водной экосистеме и факторов его определяющих; питания гетеротрофов, отношений в системе «хищник-жертва»; трат на обмен живых организмов; бактериальной продукции и биохимического окисления органических веществ; биогеохимических циклов биогенных элементов, функционирования водных экосистем, глобального развития. Рассматриваются преимущества и недостатки моделей, рассмотренных в курсе;

- критерии и этапы исследования адекватности экологических моделей и методы получения на их основе индексов и интегральных показателей, характеризующих состояние и качество природных, природно-антропогенных, социо-эколого-экономических систем.

Студенты должны уметь:

- обосновать необходимость применения и практического использования методов экологического моделирования в практике решения географо-экологических задач;

- выполнять расчеты интенсивностей и скоростей процессов массообмена на основе рассмотренных моделей с использованием ПК;

- проводить анализ результатов моделирования и получать обобщенные индексы, характеризующие состояние экосистем и воздействия на них на основе результатов моделирования.

Основные разделы курса студенты изучают самостоятельно по темам с использованием основной и дополнительной литературы, рекомендованной в указаниях. В конце каждого раздела приводятся основные вопросы для самопроверки, которые могут быть

включены в перечень экзаменационных тестовых заданий и вопросов. Наиболее сложные и мало освещенные в литературе разделы курса и отдельные вопросы будут изложены на лекциях в период экзаменационно-лабораторной сессии. Для подготовки к занятиям приводятся конспекты лекций, вопросы и списки литературы по лекциям.

В период подготовки к сессии студенты выполняют контрольную работу, в состав которой входят задания по основным разделам курса. Ход выполнения контрольной работы разбирается на установочной лекции или на занятии в период экзаменационно-лабораторной сессии. В заданиях приведено конспективное теоретическое изложение материала, расчетные параметры и константы. Исполнитель оформляет расчетную часть, графическое представление на основе ПК полученных данных, кратко анализирует полученные результаты. Контрольная работа, имеет эколого-гидрометеорологическую направленность и должна способствовать усвоению основных разделов курса, приобретению навыков практического и прикладного использования экологических моделей.

При выполнении контрольной работы необходимо соблюдать следующие требования:

1. В теоретической и методической частях излагаются цель, задачи и содержание исследования, возможные подходы к решению поставленной задачи, приводятся основные расчетные формулы с указанием их номера в круглых скобках. При оформлении контрольной работы студентами не рекомендуется полное дословное цитирование содержательной части задания, а также повторение приведенных в них в качестве примера расчетов (результатов).

2. При выполнении расчетной части работы необходимо придерживаться этапов содержания работы, данных в указаниях. Ссылка на формулы, приведенные в тексте работы, обязательна. Результаты работы должны быть представлены в распечатанном на принтере виде и проанализированы.

3. Графические материалы, полученные с помощью ПК, должны содержать оси координат и обозначения к ним с указанием размерности, номер рисунка и подрисуночную подпись. Таблицы должны иметь название и номер. Название графиков и таблиц должны содержать названия параметров, авторство (источник) ис-

ходной информации. В тексте анализа контрольной работы необходимо делать ссылки на таблицы и рисунки.

4. В заключение работы приводятся основные выводы и перечень использованной литературы.

5. Не допускается коллективное представление контрольной работы несколькими студентами и копирование (дублирование) работы из одного файла.

Студенты самостоятельно выполняют работы в сроки, предусмотренные учебным планом, и допускаются к экзаменационно-лабораторной сессии (и зачету) только при наличии зачтенной контрольной работы. Сдача зачета без выполнения контрольного задания не допускается.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. *Абакумов В.А.* Гидробиологический контроль пресноводных экосистем. - М.: Гидрометиздат, 1983, 318 с.
2. *Айзатуллин Т.А., Шамардина И.П.* Математическое моделирование экосистем континентальных водотоков и водоемов // Общая экология. Биоценология. Гидробиология. М., 1980. Т.5. (Итоги науки и техники ВИНТИ АН СССР), с.154-228.
3. *Гальцова В.В., Дмитриев В.В.* Практикум по водной экологии и мониторингу состояния водных экосистем. Изд. Наука – СПб., 2007. - 364 с.
4. *Дедю И.И.* Экологический энциклопедический словарь. Кишинев, 1990.
5. *Дмитриев В.В.* Диагностика и моделирование водных экосистем., СПб., СПбГУ, 1995, 215 с.
6. *Дмитриев В.В.* Методические указания к практикуму по моделированию круговорота вещества в водных экосистемах. Часть I., СПб, СПбГУ, 2002, с.16-19.
7. *Дмитриев В.В., Жиров А.И., Ласточкин А.Н.* Прикладная экология. Учебник для студентов высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2008, 608 с.
8. *Дмитриев В.В., Третьяков В.Ю., Пряхина Г.В., Федорова И.В.* Методические указания к практикуму по моделированию круговорота вещества в водных экосистемах. Часть II. (Методические указания). Учебно-методическое издание. СПб, Изд. СПбГУ, 2007, 47 с.
9. *Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т.* Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. Учебное пособие. СПб., 2004, 294 с.
10. *Дородницын А.А.* Математика и описательные науки // Число и мысль, 1982, вып.5., М., «Знание», с.6-15.
11. Математическое моделирование в экологии. Под ред. А.М.Молчанова, М., «Наука», 1978; 179 с.

12. Модели природных систем. Под ред. В.И.Гурмана, И.П.Дружинина, Новосибирск, «Наука», 1978, 222 с.
13. Одум Ю. Основы экологии М., 1975.
14. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. М., 1990.
15. Розенберг Г.С. Модели в фитоценологии., М., «Наука», 1984, 265 с.
16. Сергеев Ю.Н. Моделирование экологических систем /Основы геоэкологии. Изд. СПбГУ, 1994, с.297-349.
17. Сергеев Ю.Н., Сулин Лю. Модели водных экосистем. СПб, Изд. «ГеоГраф», 2005, 320 с.
18. Снакин В.В., Мельченко В.Е., Бутовский Р.О. и др. Оценка состояния и устойчивости геосистем. М. ВНИИ природа, 1992.
19. Страшкраба М., Гнаук А. Пресноводные экосистемы. Математическое моделирование / Пер. с англ. В.А. Пучкина; под ред. В.И. Беляева. М., 1989.
20. Управление риском: риск, устойчивое развитие, синергетика. Под ред. И.М. Макарова. М., Наука. 2000. 431 с.
21. Хованов Н.В. Анализ и синтез показателей при информационном дефиците. СПб., 1996.
22. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: в 2 кн., М.: Наука, 2005, кн.1.- 281 с., кн.2 – 337 с.

Дополнительная

23. Анохин Ю.А., Горстко А.Б., Дамешек Л.Ю. Математические модели и методы управления крупномасштабным водным объектом / Под ред. Г.Н.Константинова. Новосибирск, 1987.
24. Арефьев Н.В., Дмитриев В.В., Осипов Г.К., Осипов А.Г. Эколого-экономическое обоснование сбалансированных форм регионального развития в системе “общество-природа” (цели, задачи, решения). Часть II. СПб, Изд-во СПбГПУ, 2003. Раздел монографии: «Эколого-географическая оценка природно-аграрного потенциала территории на основе квалиметрического анализа» с.242-288
25. Бигон М., Харпер Дж., Таузенд К. Экология. Особи, популяции и сообщества. В двух томах. М., «Мир», 1989.
26. Громов Б.В., Павленко Г.В. Экология бактерий. Л., 1989.
27. Дадаян В.С. Орбиты планетарной экономики. М., 1989, 192 с.
28. Дмитриев В.В. Что такое экологическая оценка и как построить интегральный показатель состояния природной или антропогенно-трансформированной экосистемы / Вопросы прикладной экологии. Сборник научных трудов РГТМУ, СПб, РГТМУ, 2002, с.23-30.
29. Дмитриев В.В. Программа дисциплины «Системная экология» для высших учебных заведений. (программа дисциплины для высших учебных заведений). Издательство РГТМУ, СПб, 2002, 11 с.
30. Дмитриев В.В. Методические указания по дисциплине “Системная экология” Специальность 320300 – Геоэкология. Курс V (методические указания по дисциплине). Издательство РГТМУ, СПб, 2001, 27 с.
31. Дмитриев В.В. Баланс естественной и общественной географий и является ли этнос геосистемой / Географические и геоэкологические аспекты развития

- природы и общества. Сборник научных статей по материалам отчетных научно-практических конференций 2006-2007 гг. Под ред. Каледина Н.В., Дмитриева В.В., Алиева Т.А., СПб, Наука, 2008, с. 34-51.
32. *Дмитриев В.В.* Прикладная экология в системе высшего географического и экологического образования / Вопросы прикладной экологии. Сборник научных трудов РГТМУ, СПб, РГТМУ, 2002, с.90-96.
 33. *Мазур И.И., Молдаванов О.И., Шишов В.Н.* Инженерная экология. Общий курс в двух томах, М., 1996.
 34. *Менишуткин В.В.* Имитационное моделирование водных экологических систем., СПб., 1993, 158 с.
 35. Многокритериальные географо-экологические оценки состояния и устойчивости природных и урбанизированных систем. Под ред. В.В. Дмитриева и Н.В. Хованова. Деп. ВИНТИ 01.09.2000, № деп.2342В00, 275 с.
 36. Моделирование процессов переноса и трансформации вещества в море. Под общей редакцией Ю.Н.Сергеева. Л., Изд. ЛГУ, 1979, 291 с.
 37. Самоочищение водоемов и биологическая очистка сточных вод / Общая экология. Биоценология. Гидробиология. Том 4., М., 1977, 220 с.
 38. *Сергеев Ю.Н., Кулеш В.П., Дмитриев В.В., Третьяков В.Ю.* и др. Экосистема озера Ильмень и его поймы. Изд. СПбГУ, 1995, 215с.
 39. *Федоров М.П., Романов М.Ф.* Математические основы экологии. СПб, 1999, 155 с.
 40. Экология предприятия. Под редакцией: Миронов С.М. (отв. редактор), Волкова И.И., Дмитриев В.В., Донченко В.К., Засядь-Волк В.В., Каледин Н.В., Маркова Ю.Л., Меланевская Л.А., Мишуков Д.М., Издат. дом МЦФЭР, 2007, 800 с.

Введение

Прежде чем приступить к изучению курса «Системная экология» необходимо уяснить, что каждая наука имеет свой специфический объект исследования, цель и метод (методы) исследования. На вводной лекции разбираются объект исследования, цель и метод (методы) исследования географии, экологии, геоэкологии, природопользования и др. Указать специфику объектов, цели, задач и методов системной экологии. Предложить возможные определения системной экологии как раздела экологии, обобщающего совокупность принципов и концепций системного анализа применительно к экологии. Дать определение системного анализа как перевода известных физических, химических, биологических представлений об окружающих человека сложных системах в природе и обществе в ряд математических зависимостей и операций над ними. Обсуждаются ключевые понятия: модель, экологическая модель, моделирование, имитационная модель, портретная модель.

Необходимо обосновать актуальность, новизну, инновационность и практическую значимость данного научного направления, исходя из основных стадий системного анализа, применительно к исследованию сложных природных систем. Определяются понятия: оценка, оценка состояния системы, диагностика природного объекта, состояние природной системы и его оценка, состояние геосистемы, режим, эколого-географическая оценка, вектор состояния системы. Приводятся примеры описания состояния водной экосистемы (построения вектора системы) на основе простых (аддитивных) и сложных (неаддитивных, эмерджентных) системных параметров.

Литература

Конспект лекции №1; [4] – с.285, [5] – с.21-24, [15] – с.11, [29], [32].

Вопросы для самопроверки:

1. Определение системной экологии. Объект, цель и методы исследования экологии, специфика системной экологии.
2. Соотношение системной экологии и смежных наук.

Сложные системы и их основные свойства

В начале курса основное внимание уделяется основным дефицитам: элемент сложной системы, структура, система, субъект-

объектные отношения в природных, природно-антропогенных, социо-эколого-экономических системах. Рассматриваются простые и сложные системы, системообразующие связи, признаки систем по А.С. Саркисяну. Анализируется описательный и точный периоды в развитии наук по акад. А.А. Дородницину, стадии (этапы) развития новых направлений в науке. Рассматривается связь теории сложных систем (системологии) и системной экологии.

Исследуются характерные свойства системных связей. Вводятся понятия скорости и удельной скорости (интенсивности) процессов обмена веществом в экосистемах, учет нелинейности в оценке скоростей процессов обмена.

Подробно рассматриваются основные стадии системного анализа применительно к исследованиям сложных систем в природе и обществе. Рассматриваются основные черты сложных систем (большое число взаимосвязанных качеств – сложность структуры; нелинейность связей; сложность поведения – выбор решения, стратегической цели; простые и сложные системные параметры). Проводится обобщение неаддитивных (эмерджентных) признаков сложных систем. Рассматриваются: устойчивость, надежность, продолжительность жизни, живучесть, целостность, повторяемость, неидентичность, упорядоченность, эмерджентность и возможности их количественной оценки.

Литература

Конспект лекции № 1, [5] – с.24–29, [10] – с.6–15, [15] – с.12–16, [4] – с.185, [29], [14] – с.475.

Вопросы для самопроверки:

1. Описательный и точный периоды развития науки по акад. А.А. Дородницину.
3. Системный анализ. Системный подход. Основные стадии системного анализа применительно к исследованию сложных природных систем.
4. Основные черты сложных систем.
5. Неаддитивные (эмерджентные) свойства сложных систем (устойчивость, продолжительность жизни, живучесть и др.).
6. Скорость и удельная скорость (интенсивность) обменного процесса.
7. Экологическая модель и ее отличие от других моделей.

Компоненты экосистем и геосистем и внутрисистемные связи

Дается определение понятий: компонент природный, экологический, средообразующий; рассматриваются: биотические и абио-

тические компоненты водных экосистем. Обсуждается иерархия экосистем и геосистем, ранги экосистем и геосистем, границы экосистем и экотоны, понятие сукцессии, концепция климакса. Особо подчеркивается роль скрытых от наблюдения внутрисистемных связей в функционировании природной системы. Дается понятие «странного аттрактора» с точки зрения скрытых от непосредственного наблюдения структур и периодичностей в природных экосистемах.

Обсуждается история взглядов на соотношение детерминированного и случайного в моделях мира и эволюции. Ньютоново-Картезианская модель мира и «демон Лапласа». Вероятностная модель. Новое учение об эволюции и синергетика. Универсальная модель (схема) эволюционного процесса. Роль случайности в эволюции.

Компоненты экосистем и геосистем. Требования к выбору компонентов в экологических моделях. Основные компоненты, процессы и возможности их моделирования. Постоянство химсостава компонентов биоценоза и детрита в моделях.

Литература

Конспект лекции № 2, [5] – с.21–22, 24–27, [14] – с.194–197, [16], [31]

Вопросы для самопроверки:

1. Иерархия экосистем и геосистем.
2. Внутрисистемные связи и возможности их исследования.
3. Ньютоново-Картезианская модель мира и «демон Лапласа».
4. Роль случайности в эволюции. Почему эволюция необратима.
5. Биотические и абиотические компоненты наземных и водных экосистем.

Законы экологии и основные принципы системологии

Подробно рассматриваются основные принципы теории сложных систем (системологии): «интегративных уровней» – современный аналог принципа «бритвы Оккама», «контринтуитивного поведения сложных систем» Дж.Форрестера, «множественности моделей», «осуществимости» Б.С. Флейшмана, «несовместимости» (Самарский, 1979, Заде, 1974) и принципы системности (Ворошук, 1982). Рассматриваются основные законы экологии, фитоценологические принципы Жаккара, закон экологического разнообразия (биоценологические принципы Тинемана), закон необходимого

разнообразия (системологический). На примере закона внутреннего динамического равновесия (ВДР) и следствий из него характеризуется связь принципов системологии и законов экологии.

В.И.Вернадский и законы существования биосферы. Положения Вернадского о биосфере и пример их современной интерпретации. Законы Б.Коммонера. Фитоценоотические принципы Жаккара. Закон экологического разнообразия (биоценоотические принципы Тинемана). Закон необходимого разнообразия. Системный подход и проблема целостности.

Литература

Конспект лекции № 2, [6] – с.6 –11, [14], [15] – с.142 – 167, [31]

Вопросы для самопроверки:

1. Фитоценоотические принципы Жаккара.
2. Закон экологического разнообразия (биоценоотические принципы Тинемана) и его современная интерпретация.
3. Основные принципы системологии и законы экологии.
4. Принцип интегративных уровней (иерархической организации сложных систем) – современный аналог принципа «бритвы Оккама».
5. Принцип контринтуитивного поведения сложных систем Дж. Форрестера.
6. Принцип множественности моделей.
7. Принцип осуществимости (Б.С. Флейшмана).
8. Принцип несовместимости (Самарский, 1979, Заде, 1974).
9. Приведите пример использования на практике принципов системологии для построения моделей.

Математические модели в экологии

Исследуются этапы математизации экологии. Рассматриваются принципы классификации моделей (по характеру использования, по целевой нагрузке, по вещественной реализации). Приводится классификация моделей по соотношению вклада в их построение человека и ПК. Вводится понятие «имитационная модель» (по Н.Н.Моисееву и Г.С.Розенбергу). Отмечается, что имитационная модель используется для предсказания структуры и поведения сложных систем. Положительные и отрицательные стороны и цели имитационного моделирования. Прогноз функционирования и развития экосистем. Проблемы экологического прогнозирования. Критерии соответствия моделируемых и измеренных значений компонентов. Рассматриваются: содержание метода

имитационного (англ. *simulation*) моделирования. Подчеркивается, что модель экосистемы должна быть адекватна самой экосистеме, в связи с этим рассматриваются: адекватность моделей, три критерия адекватности, праксеологичность и «гармонизация» моделей, положительные и отрицательные стороны имитационного моделирования. Обобщаются выводы о проблемах, стоящих перед разработчиками имитационных моделей по Т.А. Айзатуллину и И.П. Шамардиной (1980); Ю.Н. Сергееву (1994) и др.

Принципы классификации моделей. Классификация моделей сложных систем по соотношению вклада в их построение разработчика модели (человека) и ПК. Этапы математического моделирования сложных систем (по В.В. Дмитриеву, 2000). Баланс массы и уравнения баланса скоростей массообмена. Графическая интерпретация баланса масс и баланса скоростей в экологических моделях. Виды графической интерпретации моделей и типичные ошибки визуализации.

Литература

Конспект лекции № 2, [2] – с.154–173, [5] – с.5–33, [6], [15] – с.22–32, [16], [17]

Вопросы для самопроверки:

1. Имитационная модель (по Н.Н.Моисееву и Г.С.Розенбергу). Проблемы, стоящие перед разработчиками имитационных моделей.
2. Адекватность экологических моделей. Критерии адекватности. Практиологичность моделей.
3. Принципы классификации моделей.
4. Нужна ли «гармонизация» моделей и как она соотносится с этапами адекватности моделей.

Основные проблемы, решаемые при создании имитационных экологических моделей

Изучаются: формулировка задач и выбор структуры моделей, выбор существенных переменных и их агрегирование, способ учета внешних воздействий, способы отражения пространственной структуры, способы моделирования транслокации и трансформации компонентов; выделение факторов, лимитирующих первичную продукцию; выбор способов описания метаболизма; проверка адекватности моделей (по Т.А. Айзатуллину и И.П. Шамардиной). Необходимо уяснить разницу в способах представления геопространства в моделях, различия между точечными, блочными, не-

прерывными моделями, выявить связи между ними (по В.В. Дмитриеву, 1995). Рассматривается пример точечной *CNPX*-модели, примеры блочных моделей.

Обобщается опыт исследователей по этапам математического моделирования сложных систем (по Г.С. Розенбергу, Б.С. Флейшману, Б.М. Миркину, 1984; В.В. Дмитриеву, 2000): формулирование целей, качественный анализ, синтез модели, верификация модели, исследование модели, экспериментирование с моделью. Иллюстрация отдельных этапов сопровождается показом диаграмм потоков вещества и энергии Линдемана-Одума, Форрестера, и диаграмм круговорота вещества В.В. Дмитриева.

Рассматривается обоснование выбора моделей. Стохастические и детерминированные модели. Введение стохастичности в детерминированные модели. Анализ чувствительности моделей при изменении модельных параметров. Приводятся примеры критериев соответствия моделируемых и измеренных значений компонентов.

Литература

Конспект лекции № 3, [2] – с.155 –173, [5] – с.29 – 34, [15] – с.41–133, [16] – с.297 – 349, [17].

Вопросы для самопроверки:

1. Диаграммы Линдемана-Одума потоков вещества и энергии в экосистемах. Диаграммы круговорота вещества в экосистемах.
2. Баланс масс и баланс скоростей массообмена.
3. Основные проблемы, решаемые при создании имитационных моделей.
4. Этапы математического моделирования сложных систем.
5. Представление геопространства в моделях. Точечные, блочные и непрерывные модели.

Концептуальные модели стратегии развития популяций и экосистем

Рассматривается опыт понятийного (концептуального) моделирования стратегии развития экосистем. Для этого необходимо познакомиться с концепцией *r*, *k*, *l* – систем (отбора) Мак-Артура и Уилсона (1967). Стратегия развития экосистем: концептуальная (вербальная) модель экологической сукцессии Ю. Одума и ее модификация для водных экосистем (геосистем). Параметры модели и их порядки для молодых и климаксных (финитных) стадий раз-

вития экосистем циклического, транзитного и каскадного типов. Для водных экосистем рассматриваются три класса трофности: ультра-олиго; олиго-мезотрофия; эв-гиперэвтрофия.

Литература

Контрольная работа, задание №1, [13] – с.324–345, [6], [8], [25].

Вопросы для самопроверки:

1. Концепция r , k , l -систем Мак-Артура и Уилсона.
2. Концептуальная модель экологической сукцессии Ю.Одума. Параметры модели и их оценки для экосистем суши.
3. Стратегия развития водных экосистем на основе модели Ю.Одума.

Модели роста популяций

На основе закона действующих масс рассматривается получения кинетических уравнений роста популяций в экологии. Рассматривается история моделей биопродуктивности и роста популяций. Модели Мальтуса (1798), Гомпертца (1825), Ферхюльста (1833,1838), Пирла (1928), обобщенная модель роста популяции. Вводятся понятия: «емкость среды» и «сопротивляемость среды» в уравнениях роста популяций.

Дается исторический обзор моделирования первичного биосинтеза, рассматриваются подходы Либиха, Блэкмана, Тейлора, Шелфорда, Митчерлиха – Бауле и их применение в моделях первичной продуктивности. Для водной среды конкретизируются модели планктонной продукции и роста гидробионтов Флеминга (1939), Райлея (1946), Кушинга (1959).

Рассматриваются современные аспекты этих идей в экологии толерантности: гипотеза «клеточной квоты», идея «триггерности». Уясняется смысл «Л-моделей» и «М-моделей» первичного биосинтеза применительно к исследованию водных экосистем и их составляющие: уравнения Эппли, Лаймена, Стила, Михаэлиса-Ментен-Моно для моделирования первичного биосинтеза фитопланктона.

Литература

Конспект лекции № 3; контрольная работа, задания 2, 3, 4, 6; [12], [15] – с.140–155, [12], [16] – с.297–349.

Вопросы для самопроверки

1. Модели роста популяций: модель Мальтуса (1798), модель Гомпертца (1825), модель Ферхюльста (1833,1838), модель Пирла (1928); обобщенная модель роста популяции.
2. Идеи Либиха, Шелфорда, Митчерлиха и их применение в моделях первичной продуктивности.
3. Концепция «клеточной квоты». Экология толерантности и концепция «триггерности».
4. Уравнения Эппли, Лаймена, Стила, Михаэлиса-Ментен-Моно для моделирования влияния факторов среды на первичный биосинтез фитопланктона.
5. «J» и «M» модели.
6. Модели планктонной продукции и роста гидробионтов: модель Флеминга (1939), модели Райлея (1946), модели Кушинга (1959).
7. Модельные оценки влияния биогенов (азота, фосфора, кремния) на лимитацию первичной продукции на годовом этапе функционирования водной экосистемы.
8. Моделирование первичного биосинтеза на примере фитопланктона.

Модели «хищник-жертва», модели конкурентного развития видов, модели питания гетеротрофов

Изучение моделей начинается с модели В. Вольтерра и А. Лотки, на основе которой выводятся: закон периодического цикла, закон «сохранения средних», закон «изменения средних». Уясните понятия: «усвояемость пищи», «коэффициент трофического взаимодействия» и их представление в моделях. Изучается модель возможности выживания конкурирующих видов (модель конкуренции В. Вольтерра и А. Лотки). Вводятся коэффициенты внутривидовой и межвидовой конкуренции, рассматриваются соотношения между ними и их использование для прогноза выживаемости видов.

Рассматривается специфика питания организмов в наземных и водных экосистемах. Затем следует перейти к моделям фильтрации воды зоопланктоном, расчету фильтрационной активности и времени осветления воды зоопланктоном в разные гидрологические сезоны, моделированию связи рациона с внешними факторами и концентрацией корма и обобщенной модели питания гетеротрофов на примере водной экосистемы (по В.В. Дмитриеву). Для этого вводятся и формализуются понятия: скорость потребления пищи, фильтрация, фильтрационная активность, время осветления воды, рацион, экологический рацион, отброшенная пища, усвоен-

ная (ассимилированная) и неусвоенная пища, отношение рациона к экологическому рациону, матрица трофического взаимодействия, суммарная пища, пороговая, поддерживающая и критическая концентрации корма.

Рассматривается истории создания моделей. Модели Райлея (1946). Детерминированная модель. Модели Кушинга (1959).. Модель В.В. Дмитриева фильтрационной активности и времени осветления воды зоопланктоном в разные гидрологические сезоны. Современные представления о питании зоопланктона. Скорость потребления пищи. Ассимиляция пищи зоопланктоном. Рацион и экологический рацион. Отброшенная пища. Выделение в среду неусвоенной пищи. Общая схема моделирования питания гетеротрофных организмов в водных экосистемах.

Литература

Конспект лекций № 3 и №4; контрольная работа, задание 5; [5], [9], [6], [8].

Вопросы для самопроверки

1. Модель «хищник-жертва» В.Вольтерра и А.Лотки. Закон периодического цикла. Закон «сохранения средних». Закон «изменения средних».
2. Модель конкурентного развития видов В.Вольтерра и А.Лотки. Возможности выживания конкурирующих видов.
3. Модели фильтрации воды зоопланктоном. Суммарная пища. Критические концентрации корма. Расчет фильтрационной активности и времени осветления воды зоопланктоном в разные гидрологические сезоны.
4. Коэффициент трофического взаимодействия и его представление в моделях. Матрица трофического взаимодействия. Питание гетеротрофов. Моделирование скорости потребления пищи зоопланктоном.
5. Оценка самоочищения водной экосистемы на основе моделирования фильтрационной активности и времени осветления воды зоопланктоном.

Моделирование трансформации органического вещества в экосистеме.

Прежде чем приступить к рассмотрению моделей бактериальной продукции и трансформации вещества, необходимо познакомиться с экологией бактерий и их ролью (и экологической нишей) в экосистемах. Последовательно рассматриваются модели Хумитакэ-Секи (1982), Стриттера-Фелпса (1925) и кинетические модели биохимического потребления кислорода (БПК). Затем можно перейти к модели «популяция-субстрат» (Багонцкий, Вавилин, 1976),



ввести понятие «экономического коэффициента» бактерий и рассмотреть модель Кенейла (1969) и моделирование биогеохимических циклов биогенных элементов в водной экосистеме на примере цикла азота по модели Мияки и Вада (1968). После этого рассматриваются скорости обменных процессов в водном бактериоценозе и моделирование удельных скоростей массообмена в бактериоценозе: рост, траты на обмен, естественное отмирание; внешний бактериальный гидролиз взвеси бактериями ассоциированными с детритом. Выводятся формулы для расчета бактериальной продукции. Рассматриваются: моделирование трансформации РОВ, зависимость удельных скоростей процессов разложения компонентов РОВ от температуры воды. Оценка состояния водной экосистемы по соотношению скоростей обменных процессов в модели водного бактериоценоза; построение модели бактериального продуцирования органического вещества в водоеме; современные представления о балансе скоростей массообмена в водном бактериоценозе.

Обсуждаются результаты моделирования годового цикла функционирования водных экосистем (примеры моделирования).

Литература

Конспект лекции № 4; контрольная работа, задание 5; [5] – с.156–165; 174–179, [26], [37], [38].

Вопросы для самопроверки

1. Моделирование трансформации органического вещества в природных водах.
2. Моделирование биогеохимического цикла азота в водной экосистеме. Модель Мияки и Вада.
3. Модель Стриттера-Фелпса (1925).
4. Модель «популяция-субстрат» (Багоцкий, Вавилин, 1976).
5. Понятие «экономического коэффициента» бактерий.
6. Модель Кенейла (1969).
7. Моделирование удельных скоростей массообмена в бактериоценозе. Внешний бактериальный гидролиз взвеси бактериями, ассоциированными с детритом.
8. Расчет бактериальной продукции. Моделирование трат на обмен бактерий.

Единые схемы баланса скоростей в моделях экосистем

Выводится связь между скоростями в системе «биоценоз-биотоп» на примере первичного продуцирования ОВ и трат на обмен у продуцентов, консументов и редуцентов в водной экосистеме. На данном этапе разбирается точечная обобщенная модель

транслокации и трансформации вещества в водной экосистеме. Рассматриваются возможности моделирования замкнутых и открытых по веществу экосистем.

Литература

Конспект лекции № 4; [2] – с.29–32; 190–195.

Вопросы для самопроверки

1. Связь между скоростями массообмена в системе «биоценоз-биотоп» на примере первичного продуцирования ОВ в водной экосистеме, питания гетеротрофов, бактериального продуцирования органического вещества в водной экосистеме.
2. «Алхимические» превращения в моделях, их происхождение и устранение.

Глобальные экологические модели

Глобальные проблемы современности. Римский клуб. Глобальные социально-эколого-экономические модели. Модели устойчивого развития. Модели Римского клуба. Мир-1 Мир-2. Параметры и уравнения модели «Мир-2» Дж. Форрестера. Результаты моделирования и их оценка. Модель «Мир-3». Отличие модели «Мир-3» от предшествующих моделей. Модель Месаровича-Пестеля (1974). Модель В. Леонтьева «Будущее мировой экономики» (1977). Лоуренс Клейн и система «ЛИНК» (1977). Модель Всемирного банка «СИМЛИНК». Модель ГОЛ. СОМЭ – Система Оценки Мировой Энергетики. Модели ВПК. Система для анализа глобальной безопасности и устойчивого развития акад. И.В. Матросова (1997). Мировая экономика и модели эколого-экономического развития отдельных государств. Концепции и модели устойчивого развития цивилизации. Модели устойчивого развития регионов. Парадигма и стратегия и устойчивого развития. «Уроки будущего», определенные «Глобальной экологической перспективой» («ГЕО-3», Йоханнесбург, 2002).

Литература

Конспект лекции № 4; [11] – с.139–182, [19].

Вопросы для самопроверки

1. Глобальные экологические модели. Модели Римского клуба.
2. Компоненты и уравнения модели «Мир-2» Дж. Форрестера. Специфика моделей Дж. Форрестера, М. Месаровича, Э. Пестеля. Основные выводы и результаты моделирования.
3. Устойчивое социо-эколого-экономическое развитие.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Задание № 1

Концептуальная модель стратегии развития природных экосистем

Ю. Одум (1975) при разработке концептуальной модели стратегии развития наземных экосистем рассмотрел тенденции, которые следует ожидать в их развитии, сгруппировав основные критерии оценивания в 6 групп (табл.1). Рассмотрим эти критерии для 2-х стадий (классов) развития экосистем (1 – молодые, развивающиеся и 2 – зрелые, климаксные стадии). Добавим к ним несколько критериев Н.Ф. Реймерса (1990).

Таблица 1

Концептуальная модель стратегии развития наземных экосистем (Ю.Одум, 1975; Реймерс, 1990)

Группы и названия признаков экосистемы	Развивающиеся стадии	Зрелые стадии
1. Энергетика сообщества		
1*. Отношение деструкции к валовой первичной продукции	$>1 <1$	$= 1$
2*. Отношение продукции к биомассе (валовой продукции к урожаю на корню)	Высокое	Низкое
3. Биомасса, поддерживаемая единицей потока энергии	Низкая	Высокая
4. Урожай (чистая продукция сообщества)	Высокий	Низкий
5*. Пищевые цепи	Линейные, преимущественно пастбищные	Ветвящиеся (пищевые сети), преимущественно детритные
2. Структура сообщества		
6. Общее органическое вещество	Мало	Много
7. Неорганические биогенные вещества	Экстрабиотические	Интрабиотические
8*. Видовое разнообразие	Мало	Велико
9. Биохимическое разнообразие	Мало	Велико
10*. Ярусность и пространственная гетерогенность	Слабо выражены	Хорошо выражены
3. Жизненный цикл		
11. Специализация по нишам	Широкая	Узкая
12*. Размеры организмов	Небольшие	Крупные

13*. Жизненные циклы	Короткие и простые	Длинные и сложные
4. Круговороты биогенных веществ		
14*. Круговороты минеральных веществ	Открытые	Замкнутые
15*. Скорость обмена биогенных веществ между организмами и средой	Высокая	Низкая
16*. Роль детрита в регенерации биогенов	Незначительная	Значительная
5. Давление отбора		
17*. Характер роста	R – отбор	K – отбор
18. Продукция	Количество	Качество
6. Всеобщий гомеостаз		
19. Внутренний симбиоз	Не развит	Развит
20. Сохранение биогенных веществ	С потерями	Полное
21*. Стабильность (устойчивость к внешним возмущениям)	Низкая	Высокая
22*. Энтропия	Высокая	Низкая
23*. Информация	Мало	Много
24. Доступность	Достаточно высокая	Сравнительно низкая
25. Живучесть	Достаточно низкая	Сукцессионно высокая
26. Замкнутость, обособленность	Низкая	Повышенная
27. Надежность	Низкая, непостоянная	Повышенная, более постоянная
28. Гомеостаз	Практически отсутствует	Высокий

Задание по работе. Используя приведенную концептуальную модель стратегии развития наземных экосистем и материал аудиторных занятий, предложить концептуальную модель стратегии развития водной экосистемы.

Указание. Для выполнения работы выбрать не менее 5 признаков, входящих в табл.1, в первую очередь – из числа отмеченных (*) и обосновать их характерное значение в водных экосистемах разной продуктивности, для трех классов трофности: «у/о – олиготр.», «олиго-мезотрофных» и «эвтр.-гиперэвтрофных» (можно в терминах «высокое»–«низкое»).

Таблица 2

Концептуальная модель стратегии развития водных экосистем

Названия признаков водной экосистемы	У/о – олиготрофных	Олиго-мезотрофных	Эвтрофных - гиперэвтрофных
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...

Всегда ли выводы, полученные Ю.Одумом для наземных экосистем, справедливы для водных экосистем? Укажите полученные Вами отличия. Каким образом будут изменяться выбранные Вами параметры при усилении антропогенного воздействия на водную экосистему?

Литература

1. Дедю И.И. Экологический энциклопедический словарь. Кишинев, 1990, 406 с.
2. Одум Ю. Основы экологии / Пер. с 3-го англ. изд. под ред. Н.П. Наумова. М., 1975, 740 с.
3. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. М., 1990, 638 с.

Задание № 2**Моделирование влияния температуры воды на рост планктонных водорослей**

Под **первичной продукцией** понимается биомасса или энергия, накопленная продуцентами за единицу времени на единицу пространства. Различают **валовую** и **чистую** («валовая» минус «траты на обмен») первичную продукцию. Под **деструкцией** понимается разложение и превращение органического вещества в неорганическое организмами-деструкторами.

Найдем валовую первичную продукцию ($P_{вал}$) на основе следующей модели (Дмитриев, 1995; 2000):

$$P_{вал} = (\mu_F + r_F)F,$$

где μ_F – интенсивность чистого первичного биосинтеза фитопланктона (удельная скорость роста), r_F – интенсивность трат на обмен фитопланктона, F – биомасса фитопланктона.

Расчет μ_F для моделей митчерлиховского типа (одновременный учет влияния всех факторов) выполним по формуле:

$$\mu_F = f(t) * f(I) * f(B) * f(3B), \quad (1)$$

где t – температура воды, I – в слое толщиной H ; $f(B)$ – функция влияния биогенов (азота, фосфора, кремния); $f(3B)$ – функция влияния загрязняющих веществ.

Целью работы является расчет только функции $\mu_F = f(t)$. Эта функция может быть названа максимальной удельной скоростью (интенсивностью) роста и рассчитана разными способами, в том числе по:

– уравнению Аррениуса: $f(t) = f_0 \exp(-E/RT)$; (2)

– степенной функции: $f(t) = f_0 \alpha^{at+b}$; (3)

– через температурный коэффициент

$$Q_{10} : f(t) = f_0 Q_{10}^{(t_2 - t_1)/10}; \quad (4)$$

– по формуле Дж. Голдмана и Э. Карпентера (для лимитированных условий питания):

$$f(t) = a \exp(-e/T), \quad (5)$$

где $a = 5,35 \cdot 10^9$, $e = 6472$, T – температура в град. К.

– по формуле Eppley (1972) для смеси фитопланктона в условиях непрерывного освещения:

$$f(t) = \exp(0,0633 * t - 0,428) \quad (6)$$

– по формуле Lehman e.a., 1975 для отдельных видов (таксонов) фитопланктона:

$$f_{Fi}(t) = (a_{Fi} \ln V_{Fi} + b_{Fi}) * \exp(-\alpha_{Fi}((t - t_{Fi}^{onm}) / (t_{Fi}^{min} - t_{Fi}^{onm}))^2) \text{ при } t < t_{Fi}^{onm} \quad (7)$$

$$f_{Fi}(t) = (a_{Fi} \ln V_{Fi} + b_{Fi}) * \exp(-\alpha_{Fi}((t - t_{Fi}^{onm}) / (t_{Fi}^{max} - t_{Fi}^{onm}))^2) \text{ при } t \geq t_{Fi}^{onm}$$

Задания по работе:

1. Рассчитать максимальную удельную скорость роста планктонных водорослей по (6) для агрегированного фитопланктона и по (7) для трех таксонов фитопланктона по следующим исходным данным (табл. 3):

Исходные данные для расчета

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$t^{\circ}C$	0,02	0,02	0,08	2,39	7,74	13,8	17,5	16,4	11,6	6,15	1,76	0,16

В расчетах принять:

1а – оптимальную температуру воды для диатомового фитопланктона $15^{\circ}C$; $t_{Fi}^{min} = 0,0^{\circ}C$; $t_{Fi}^{max} = 25,0^{\circ}C$; $\alpha_{Fi} = 2,3$; параметры $a_{Fi} = -0,298$; $V_{fi} = 1500 \text{ мкм}^3$; $b_{Fi} = 4,324$ заданы характерными для диатомового фитопланктона.

1в. Оптимальная температура воды для зеленых: $26^{\circ}C$; $t_{Fi}^{min} = 10,0$; $t_{Fi}^{max} = 35,0$; $\alpha_{Fi} = 2,3$; параметры $a_{Fi} = -0,523$; $V_{fi} = 10 \text{ мкм}^3$; $b_{Fi} = 5,373$ заданы характерными для зеленых.

2. Выполнить расчёты для вариантов. Представить результаты графически. Сравнить результаты, полученные по (6) и (7). Какие водоросли получают преимущество в развитии в летнее время года?

3. Сильно ли влияет температура воды на рост водорослей? Как изменятся результаты с увеличением (уменьшением) оптимальной температуры воды на $\pm 5^{\circ}C$ (для июля)?

4. В каких случаях Вы рекомендовали бы использовать при моделировании модель (6) и модель (7).

Литература

1. *Eppey R.W.* Temperature and phytoplankton growth in the sea // *Fish. Bull.* 1972. Vol.70, N4, p.1063–1085.
2. *Goldman J.C., Carpenter E.J.* A kinetic approach to the effect of temperature on algae growth // *Limnol. and Oceanogr.* 1974. Vol.19, N 5, p.756–766.
3. *Lehman T.T., Botkin D.B., Likens G.E.* The assumption and rationales of a computer model of phytoplankton dynamics // *Limnol. and Oceanogr.* 1975. Vol.20, N 3, p.343–364.
4. *Дмитриев В.В.* Диагностика и моделирование водных экосистем. СПб, Изд. СПбГУ, 1995, 215 с.
5. *Дмитриев В.В.* Влияние изменений температуры среды и светового режима на функционирование водной экосистемы // Расчетные гидрологические характеристики: Междувед. сб. науч. трудов Ленингр. гидромет ин-та / Под ред. А.М.Владимирова. Л., 1991. Вып.110, с.94–98.
6. *Сергеев Ю.Н., Колодочка А.А., Круммель Х.Д.* и др. Моделирование процессов переноса и трансформации вещества в море. Л., Изд-во ЛГУ, 1979, 296 с.
7. *Третьяков В.Ю., Дмитриев В.В.* Влияние различных экологических факторов на интенсивность первичного биосинтеза // *Вестн. Ленингр. ун-та. Сер. География*. 1987. N 27, Вып. 4. С.104–107.

Задание № 3

Моделирование влияния освещенности на рост первичных продуцентов в водной экосистеме

К основным факторам среды, определяющим скорость первичного биосинтеза планктонных водорослей, относятся: температура воды, величина поступающей на поверхность и в толщу воды солнечной радиации, наличие ледяного и снежного покрова, мутность воды, концентрация питательных соединений.

Величина показателя ослабления излучения в водной среде γ зависит от толщины элементарного объема жидкости (dz) в направлении распространения исходного пучка излучения:

$$\gamma = -(1/I_{(z)}) (dI_{(z)}/dz) \quad (1)$$

Решением этого уравнения является функция, связывающая освещенность $I_{(z)}$ на глубине z с освещенностью на поверхности воды $I_{(0)}$:

$$I_{(z)} = I_{(0)} e^{-\gamma z} \quad (2)$$

Формула (2) используется для определения среднеинтегральной (I) величины освещенности водного слоя толщиной H :

$$I = (I_0 k K_n (1 - \exp(-\gamma H))) / \gamma H \quad (3)$$

При двухслойной структуре водной толщи ($H = H_1 + H_2$), для определения среднеинтегральной освещенности верхнего (H_1) и нижнего (H_2) слоев применяются зависимости

$$I_1 = (I_0 k K_n (1 - \exp(-\gamma_1 H_1))) / \gamma_1 H_1 \quad (4)$$

$$I_2 = (I_0 k K_n (1 - \exp(-\gamma_2 H_2)) \exp(-\gamma_1 H_1)) / \gamma_2 H_2$$

Формула (1) используется также для определения освещенности на горизонте z_1 верхнего слоя толщиной H_1 и на горизонте z_2 нижнего слоя толщиной H_2 :

$$I_1 = I_0 k K_n \exp(-\gamma z_1);$$

$$I_2 = I_1 \exp((z_2 - z_1)(\gamma_1 + \gamma_2 / 2)) \quad (5)$$

Во всех этих формулах I_0 – поступающая на поверхность воды суммарная за сутки солнечная радиация (кал/см² сут или МДж/м² сут); k – коэффициент экстинкции; K_l – коэффициент, отражающий зависимость количества проникающего под лед света от толщины (и степени загрязнения) льда и снежного покрова; γ – коэффициент ослабления света суммарной взвесью (1/м); z, z_1, z_2 – горизонты наблюдений. *Экстинкция света* (от лат. extinction – гашение) – ослабление света при распространении в среде за счет процессов поглощения и рассеяния. Мерой экстинкции служит коэффициент экстинкции света $k = 4\pi n \chi \lambda$, где n – показатель преломления, λ – длина волны, χ – показатель экстинкции света, входящий в выражение закона Бугера-Ламберта-Бера, который определяет ослабление света с начальной интенсивностью I_0 при прохождении его через среду с показателем поглощения k и толщиной l : $I = I_0 \exp(-kl)$. Для растворов $k = \chi C$, где C – концентрация, χ – показатель поглощения раствора единичной концентрации.

Влияние освещенности на удельную скорость роста планктонных водорослей $f(I)$ в соответствии с функциями Райтера и Дж.Стила запишем в виде:

$$f(I) = I / I_{opt} * \exp(1 - I / I_{opt}) \quad (6)$$

где I – среднеинтегральная освещенность в слое или освещенность приходящая на горизонт; I_{opt} – оптимальная освещенность, задаваемая константой или с учетом характеристики области светового насыщения Дж. Толлинга (I_k) по формуле:

$$I_{opt} = I_k * e,$$

где e – основание натурального логарифма. Параметр I_k – видоспецифичен, изменяется зонально и по сезонам года.

Функция $f(I)$ изменяется в диапазоне от 0 до 1,0. Обратная ей функция $1/f(I)$ показывает, во сколько раз недостаток света уменьшает максимальную удельную скорость роста. Её нахождение для разных таксонов водорослей и является основной задачей работы.

Задания по работе:

Оценить и представить графически влияние освещенности на рост различных таксонов фитопланктона внутри года (функция

$1/f(I)$) для следующих вариантов. Освещенность I_0 , МДж/м²сут – задать по таблице 1. Для перевода МДж/м² в кал/см² используйте переводной коэффициент 1 МДж/м² = 23,866 кал/см².

1. $H = 5$ м; $k = 0,5$. Параметр I_k для различных таксономических единиц фитопланктона изменяется следующим образом (перевести в МДж/м²сут): $I_k = 0,069$ кал/см²мин (диатомовые); $I_k = 0,055$ кал/см²мин (синезеленые). Параметр k_n (для прозрачного льда) рассчитать по эмпирическому уравнению: $k_n = \alpha - \beta\Delta$, где $\alpha = 0,8$; $\beta = 0,014$; Δ – толщина льда на поверхности воды зимой в сантиметрах (принять для декабря-апреля $\Delta = 30$ см или задать толщину льда по месяцам самостоятельно с учетом нарастания и таяния льда). В случае отсутствия льда $k_n = 1,0$. Величину γ определить из эмпирической формулы: $\gamma = a(B_S + M) + b$, где $a = 0,141$; $b = 0,164$; B_S – суммарная взвесь (фитопланктон (F) + зоопланктон (Z) + бактерии (B) + детрит (D)); M – мутность воды (мг/л), задать по таблице 4.

Таблица 4

Суммарная за сутки освещенность I_0 ; содержание в воде фито-, зоо-, бактерио-планктона и детрита (мг сух.веса/л).

Ме- сяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
I_0	0,72	2,43	7,11	11,09	16,55	19,78	17,64	12,84	7,69	2,81	0,84	0,40
F	0,1	0,1	0,1	0,2	1,2	0,6	0,4	0,3	0,4	0,2	0,1	0,1
Z	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,05	0,05
B	0,01	0,01	0,01	0,02	0,4	0,8	0,2	0,1	0,1	0,1	0,01	0,01
D	0,5	0,5	0,5	0,6	1,5	1,4	0,8	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
M	2	2	2	7	7	7	7	7	15	20	10	2

2. Проанализируйте, какие из перечисленных факторов и когда в наибольшей степени определяют световой режим данной водной экосистемы, и какие таксоны фитопланктона и когда имеют преимущества в развитии внутри года.

Литература

1. Дмитриев В.В. Диагностика и моделирование водных экосистем. СПб., Изд. СПбГУ, 1995, 215с.
2. Климат Ленинграда. Под ред. Ц.А. Швер, Е.В. Алтыкиса, Л.С. Евтеевой, Л., ГМИ, 1982, 252 с.

3. Кондратьев К.Я., Филатов Н.Н., Зайцев Л.В. Оценка водообмена и зон загрязнения водосмов по данным космической съемки. ДАН СССР, 1989, 304, 4, с.829–832.
4. Раймонт Д. Планктон и продуктивность океана. 2-е изд. М., 1983, Т.1, 568 с.
5. Сергеев Ю.Н., Дмитриев В.В. Оценка современного состояния и перспектив эвтрофирования восточной части Финского залива на основе моделирования круговорота вещества в водной экосистеме / Вестник ЛГУ, 1990, сер.7, вып.1, №7, с.50–62.
6. Скриптунов Н.А., Ермак К.И., Иоселев Я.Х. и др. Гидрология устьевой области Невы, М., 1965, 383с.
7. Третьяков В.Ю., Дмитриев В.В. Влияние различных экологических факторов на интенсивность первичного биосинтеза // Вестн. Ленингр. ун-та. Сер. География и география. 1987. N 27, Вып. 4. С.104–107.
8. Hoeg S, Schellenberger G. Uber Anderungen der Licht texiction in einem eutrofen See und ihre Ursachen // Acta Hidrophysica, XIII, Heft 1, 1968, s.11–60.
9. Maeda O., Ichimura S. On the high density of a phytoplankton population found in a lake under ice // Intern. Rev. gesamt. Hydrobiol. 1973. Bd.58, H.5, p.78–90.
10. Steele T.H. Environmental control of photosynthesis in the sea // Limnol. and Oceanogr. 1962. Vol.7. N 2, p. 98–117.

Задание № 4

Моделирование лимитации биогенами продуцирования органического вещества фитопланктоном

Оценка лимитации биогенами первичной продукции проводится на основе гидрохимических наблюдений за содержанием аммонийного, нитритного, нитратного азота, минерального фосфора, кремния и железа. Удельная скорость (интенсивность) первичного продуцирования ОВ фитопланктоном μ_F является функцией температуры воды $f(t^0)$, освещенности $f(I)$, концентраций биогенных элементов, главным образом фосфора $f(P)$, азота $f(N)$, кремния $f(Si)$ а также зависит от других факторов, в том числе и от концентрации загрязняющих веществ.

Целью работы является оценка только $f(P)$, $f(N)$, $f(Si)$ по формулам Михаэлиса – Ментен – Моно:

$$\mu_F = f(P) = \mu_F^{max} * P / (K_P + P), \quad (1)$$

$$\mu_F = f(N) = \mu_F^{max} * N_s / (K_N + N_s), \quad (2)$$

$$\mu_F = f(Si) = \mu_F^{max} * Si / (K_{Si} + Si), \quad (3)$$

где μ_F^{max} — максимально возможная μ_F , зависящая от температуры воды и индивидуальных объемов клеток водорослей; P — концентрация в воде фосфатов; Ns — концентрация суммарного доступного фитопланктону азота, определяемая по формуле $Ns = H_4 + a(NO_2 + NO_3)$, $a = 1/(1 + (NH_4/NH_4_{крит.})^4)$; Si — концентрация в воде кремния; K_P , K_N , K_{Si} — константы "полунасыщения" по фосфору, азоту, кремнию, имеющие размерность концентрации и соответствующие такому ее значению, при котором μ_F равна половине от μ_F^{max} ; $NH_4_{крит.}$ — критическая концентрация аммонийного азота, при которой происходит переключение азотного питания фитопланктона с аммонийного на нитратное и нитритное, « a » — параметр, регулирующий гладкость переключения азотного питания.

В (1),(2),(3) отношения $P/(K_P+P)$, $Ns/(K_N+Ns)$, $Si/(K_{Si}+Si)$ меньше 1,0 и показывают, что $f(p)$, $f(N)$, $f(Si)$ составляют некоторую долю от μ_F^{max} . В результате работы необходимо ответить на вопрос, во сколько раз недостаток того или иного биогена уменьшает μ_F^{max} . Для этого рассчитываются параметры r_P , r_N , r_{Si} обратные отношениям $P/(K_P+P)$, $Ns/(K_N+Ns)$, $Si/(K_{Si}+Si)$: $r_P = (K_P+P)/P$, $r_N = (K_N+Ns)/Ns$, $r_{Si} = (K_{Si}+Si)/Si$.

Таким образом, r_P , r_N , r_{Si} показывают, во сколько раз недостаток в воде того или иного биогена уменьшает максимально возможную интенсивность продуцирования ОВ фитопланктоном. В результате выполнения работы проводятся расчеты параметров r_P , r_N , r_{Si} .

Для расчета величин r_P , r_N , r_{Si} задаются значения K_P , K_N , K_{Si} , $NH_4_{крит.}$, средние концентрации биогенов, после этого рассчитывается параметр "а". Если значения "а" очень мало, то концентрации NO_2 и NO_3 в расчет не берутся. В этом случае принимается, что $Ns = NH_4$ и вычисляется параметр r_N . Найденные значения сопоставляются между собой, и делается вывод о степени лимитации первичной продукции биогенами в отдельные сезоны (месяцы) года.

Задания по работе:

1. Оценить лимитацию биогенами первичной продукции в разных водных экосистемах по следующим исходным данным: значения параметров полунасыщения для биогенов: $K_P=20$ мкг/л,

$K_N=35$ мкг/л, $K_{Si}=50$ мкг/л; критическая концентрация аммонийного азота $NH_{4\text{крит.}}=17$ мкг/л.

1а. Район – восточная часть Финского залива (пролив Бьеркезунд). Концентрации биогенов (в мкг/л) в слое 0–5 м задаются по сезонам из наблюдений в восточной части Финского залива в 1972–73 гг.

Зима: $NH_4=50$; $NO_2=5,0$; $NO_3=170$; $P=28$; $Si=1400$.

Ранняя весна: $NH_4=40$; $NO_2=1,2$; $NO_3=160$; $P=27$; $Si=760$.

Поздняя весна – ранее лето: $NH_4=20$; $NO_2=0,5$; $NO_3=20$; $P=9,0$; $Si=280$.

Лето: $NH_4=10$; $NO_2=0,5$; $NO_3=10$; $P=10$; $Si=550$.

Осень: $NH_4=45$; $NO_2=3,5$; $NO_3=100$; $P=17$; $Si=900$.

1б. Район – озеро Ильмень. Концентрация биогенов (мг/л) задается из таблицы 2. Константу полунасыщения по железу принять равной $K_{Fe}=40$ мкг/л.

Таблица 5

Содержание биогенов (мг/л) в водах оз. Ильмень по [5].

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
NH_4	0,10	0,11	0,49	0,31	0,12	0,69	0,038	0,066	0,42	0,15	0,10	0,10
NO_2	0,011	0,013	0,001	0,001	0,001	0,013	0,020	0,005	0,010	0,015	0,30	0,011
NO_3	0,60	0,67	0,63	0,75	0,87	0,45	0,016	0,042	0,024	0,11	0,001	0,60
P	0,014	0,016	0,022	0,020	0,018	0,015	0,014	0,013	0,030	0,010	0,010	0,014
Fe	0,60	0,64	1,05	1,64	0,23	0,18	0,14	0,17	0,09	0,43	0,31	0,60
Si	3,00	3,07	2,99	2,21	1,43	0,84	0,24	0,24	0,58	0,91	1,73	3,00

2. Результаты работы представить графически (по ОХ – время, по ОУ – r_P , r_N , r_{Si} , r_{Fe} для вариантов) или таблично.

Литература

1. *Дмитриев В.В.* Диагностика и моделирование водных экосистем. СПб., Изд. СПбГУ, 1995, 215 с.
2. *Дмитриев В.В.* Методические указания к практикуму по моделированию круговорота вещества в водных экосистемах. Часть I. Учебно-методическое издание. СПб, Изд. СПбГУ, 2002, 38 с.
3. *Третьяков В.Ю., Бойцов А.В., Васильев В.Ю. и др.* Сезонная динамика содержания биогенных элементов и влияние различных факторов на интенсивность первичного биосинтеза в оз.Ильмень // Актуальные проблемы современной лимнологии. Л., 1988, с.43–47.
4. *Третьяков В.Ю., Дмитриев В.В.* Влияние различных экологических факторов на интенсивность первичного биосинтеза // Вестн. Ленингр. ун-та. Сер. География и география. 1987. N 27, Вып. 4, с.13–17.
5. *Экосистема озера Ильмень и его поймы.* Изд. СПбГУ, 1997, 275 с.

Задание № 5

Моделирование питания зоопланктона. Моделирование самоочищения водной экосистемы по фильтрационной активности и времени осветления воды зоопланктоном

Баланс скоростей массообмена для водного зооценоза, представленного агрегированными группами зоопланктона (Z) учитывает *скорость выедания и скорость ассимиляции пищи* организмами, на основе одновременного учета двух способов добывания пищи: фильтрации и хищничества (Дмитриев, 1995). Выберем в качестве основного способа питания фильтрацию.

В Водном кодексе Российской Федерации (2000) в статье 1 содержатся такие определения, как *загрязнение водных объектов, засорение, истощение* вод, и т.п., однако в перечне основных понятий отсутствует определение понятия *самоочищения вод (водоемов)*.

Следуя И.И.Дедю (1991) *самоочищение* есть совокупность естественных процессов обезвреживания примесей, поступивших в природную среду или организмы. Под *самоочищением среды* понимается процесс химической, физико-химической и биологической нейтрализации (обезвреживания) загрязнителей окружающей среды. Автор отмечает, что для многих стойких загрязнителей или ксенобиотиков самоочищение может быть равно нулю. Под *самоочищением водоемов* понимается свойство водоемов превращать органические и часть неорганических веществ в безвредные соединения. Механизмы процессов самоочищения водоемов подразделяются на *физические* (оседание суспензированных частиц, испарение и др.); *химические* (окисление веществ кислородом и перекисью водорода, гидролиз токсикантов, переход в гидранты, коагуляция и осаждение и др.); *биологические* (включение загрязняющих веществ в обменные процессы, разрушение и перевод загрязняющих веществ в не токсические формы соединений и др.). В самоочищении водоемов принимают участие практически все гидробионты, но главную роль играют бактерии и организмы-фильтраторы планктона и бентоса.

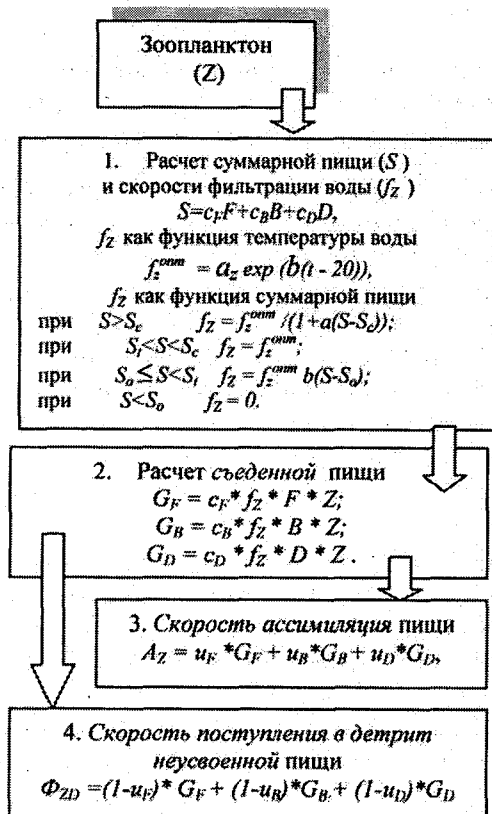


Рис. 1. Схема моделирования питания гетеротрофных организмов в модели водной экосистемы.

Рассмотрим одно из возможных представлений схемы питания зоопланктона в соответствии с рис. 1.

Введем значения констант в предложенные зависимости для их использования при расчетах. Функция фильтрации воды зоопланктоном: a_z и b – эмпирические параметры. Значение параметра b принять равным 0,1; параметр a_z – максимально возможная скорость фильтрации воды зоопланктоном в оптимальных условиях питания (отсутствие голодания, или засорения фильтрационного аппарата при избытке пищи) является функцией индивидуального веса организмов. Оптимальная температура t^{opt} , принимается

равной 20°C. Параметры функции фильтрации воды: для весны (апрель-май) $c_F=1$, $c_B=1$, $c_D=1$. Для других сезонов: $c_F=1$, $c_B=1$, $c_D=0,5$. Критические концентрации пищи принять: $S_o=0$, $S_f=1,0$, $S_c=20$ мг сыр.в./л; $a_z=0,25$ л/мг сыр.веса сут. Усвояемость пищи зоопланктоном: $u_F=0,6$; $u_B=0,8$; $u_D=0,4$.

Согласно выводам Н.С.Строганова (1982), некоторые исследователи ошибочно причисляют к процессам самоочищения водоемов разбавление сточных вод, при котором происходит лишь уменьшение концентрации ЗВ в воде.

Н.Ф. Реймерс (1990) под *самоочищением* понимает естественное разрушение загрязнителя в среде (воде, почве и др.) в результате природных физических, химических и биологических процессов. Под *самоочищением вод* понимается совокупность всех природных процессов в загрязненных водах, ведущих к восстановлению первоначальных свойств и состава воды.

Рассмотрим способ оценки самоочищения водной экосистемы по времени осветления воды зоопланктерами-фильтраторами. Для этого на первом этапе необходимо выполнить расчет скорости фильтрации воды зоопланктоном (f_z) в оптимальных условиях питания по формуле:

$$f_z^{opt} = a_z * \exp(b(t - t^{opt})) \quad (1)$$

В (1): t – температура воды, t^{opt} – оптимальная температура. Реальные условия питания часто отличаются от оптимальных, поэтому необходимо учитывать снижение скорости фильтрации воды зоопланктоном, связанное с голоданием (мало корма) или засорением фильтрационного аппарата (много корма). В связи с этим расчет скорости фильтрации как функции температуры воды и концентрации пищи проводится в несколько этапов. На втором этапе рассчитывается суммарная пища зоопланктона (S):

$$S = c_F F + c_B B + c_D D, \quad (2)$$

где S – суммарная пища, c_F, c_B, c_D – коэффициенты трофического взаимодействия зоопланктона с компонентами пищи; F, B, D – биомассы фито-, бактериопланктона и концентрация детрита в воде. На третьем этапе рассчитывается f_z как функция температуры воды и суммарной пищи по способу расчета (3):

При $S > S_c$ $f_z = f_z^{onm} / (1 + a(S - S_c))$;
 При $S_t < S < S_c$ $f_z = f_z^{onm}$;
 При $S_o \leq S < S_t$ $f_z = f_z^{onm} b(S - S_o)$;
 При $S < S_o$ $f_z = 0$.

Здесь: $a = 1/S_c$; $b = 1/[(S_t - S_o) * (2 - (S - S_o)/(S_t - S_o))]$ – расчетные параметры; S_o , S_t , S_c – критические (пороговые) концентрации пищи.

Смысл функции (3) состоит в возможности расчета скорости фильтрации воды зоопланктоном в зависимости от температуры и наличия в воде суммарной пищи S . Эти возможности и вид функций иллюстрируются на рис.2.

Затем рассчитывается произведение f_z на биомассу зоопланктона Z . Это произведение называется **фильтрационной активностью (ФА)** зоопланктона. **Время осветления** воды зоопланктоном (T) есть величина обратная $ФА$. В зависимости от трофности водоема оцениваемые параметры могут иметь разные значения (см. табл. 6).

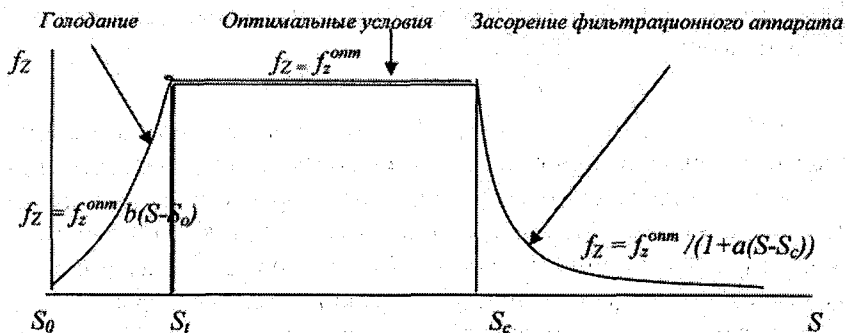


Рис. 2. Зависимость f_z от концентрации корма S в воде.

Например, в Волгоградском водохранилище за год двусторчатые моллюски изымают из воды до 44 млн.т взвешенных веществ. Из этого количества около 42 млн.т транспортируется на грунт в виде псевдофекалий и 2 млн. т усваивается в процессе питания. Псевдофекалии образуют отфильтрованный, непригодный в пищевом отношении материал, который гидробионты не заглатывают, а в склеенном виде выбрасывают из полости тела.

Таблица 6

Возможные пределы изменения скорости фильтрации воды зоопланктоном и биомасса зоопланктона в водоемах разной биологической продуктивности по данным различных авторов

Параметр/трофность	Олиготрофия	Мезотрофия	Эвтрофия
Скорость фильтрации (л/мг сыр.веса сут.)	0,60–0,25	0,25–0,15	0,15–0,025
Биомасса зоопланктона (мг сыр.веса/л)	0,2–1,0	1,0–2,0	2,0–6,0
Биомасса летнего Z	0,03–2,20	0,47–4,11	1,15–7,9
Биомасса зимнего Z	0,01–0,50	0,014–0,86	0,004–1,0
Отношение Z_n/Z_z	$3,8 \pm 0,4$	$13,1 \pm 2,9$	$112,0 \pm 23,2$

Задания по работе:

1. По данным табл.7 выполнить расчет составляющих баланса питания зоопланктона (G_F ; G_B ; G_D ; A_Z ; Φ_{ZD}) на годовом этапе функционирования водной экосистемы для мая – сентября. Построить графики изменения скоростей.

2. Выполнить расчет времени осветления воды (T) для условий табл.7. Температуру воды, содержание в воде фито-, зоо-, бактериопланктона и детрита (мг сух. веса /л) принять по таблице 7.

Таблица 7

Исходные данные для расчета

Ме- сяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
F	0,1	0,1	0,1	0,2	1,2	0,6	0,4	0,3	0,4	0,2	0,1	0,1
Z	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,05	0,05
B	0,01	0,01	0,01	0,02	0,4	0,8	0,2	0,1	0,1	0,1	0,01	0,01
D	0,5	0,5	0,5	0,6	1,5	1,4	0,8	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
$t^{\circ}C$	0,06	0,07	0,13	0,55	12,3	16,3	21,5	18,1	11,8	8,34	1,36	0,01

Указание. Перевести сухой вес в сырой, с учетом того, что сухой вес составляет 10% от сырого (для бактерий 20%).

3. Найдите экстремальные значения для времени осветления воды в течение года. Во сколько раз по Вашим расчетам осветление воды идет быстрее летом, чем зимой.

4. Как будет выглядеть суммарная пища S при введении в модель способности «отбрасывать пищу», как это делают хищники, но сохраняя фильтративный тип питания. **Указание.** Для этого

рекомендуется ввести коэффициент $o=C/(C+O)$, где C – рацион питания хищника, O – отбросы пищи хищником. Можно найти ответ на этот вопрос в лекции №4.

Литература

1. *Дмитриев В.В.* Диагностика и моделирование водных экосистем. СПб., Изд.СПбГУ, 1995, 215 с.
2. *Дмитриев В.В.* Оценка экологического состояния водных объектов суши/ Экология. Безопасность. Жизнь. Экологический опыт гражданских, общественных инициатив. Гатчина. 1999, с.200–217.
3. *Гальцова В.В., Дмитриев В.В.* Практикум по водной экологии и мониторингу состояния водных экосистем (учебное пособие). Изд. Наука – СПб., 2007. – 364 с.

Задание № 6

Модели конкуренции популяций

Рассмотрим модель конкуренции Лотки-Вольтерра, которая имеет вид:

$$\partial x_1 / \partial t = \varepsilon_1 x_1 (K_1 - x_1 - r_1 x_2) / K_1,$$

$$\partial x_2 / \partial t = \varepsilon_2 x_2 (K_2 - x_2 - r_2 x_1) / K_2, \quad (1)$$

где x_1 и x_2 – численности конкурирующих видов; ε_1 и ε_2 – скорости роста этих видов; r_1, r_2 – коэффициенты конкуренции; K_1 и K_2 – максимально возможное число особей соответствующих видов при неограниченном конкуренцией росте популяций в данных условиях (предельно допустимый объем популяций). Параметры ε_1 / K_1 , ε_2 / K_2 называют коэффициентами внутривидовой конкуренции, а $r_1 \varepsilon_1 / K_1$, $r_2 \varepsilon_2 / K_2$ – коэффициентами межвидовой конкуренции. Можно указать на четыре процесса, которые одновременно с разной «силой» тормозят потенциальные возможности размножения популяций, описываемых моделью (1):

– первый вид замедляет свой рост за счет собственного роста (увеличение x_1),

– второй вид замедляет свой рост за счет собственного роста (увеличение x_2),

– возрастание первого вида уменьшает возможности роста второго вида (за счет роста r_2x_1),

– возрастание второго вида уменьшает возможности роста первого вида (за счет роста r_1x_2).

Результат конкуренции качественно определяется по коэффициентам конкуренции и допустимым объемам K_1 и K_2 , так, что:

при $r_1 < K_1 / K_2$ и $r_2 > K_2 / K_1$ – выживает только первый вид;

при $r_1 > K_1 / K_2$ и $r_2 < K_2 / K_1$ – выживает только второй вид;

при $r_1 > K_1 / K_2$ и $r_2 > K_2 / K_1$ – выживает один из видов, у которого больше ε .

при $r_1 < K_1 / K_2$ и $r_2 < K_2 / K_1$ – выживают оба вида.

Из этих случаев наиболее интересным является последний.

По заданию № 6:

Два вида клевера: клевер земляничный (x_1) и клевер ползучий (x_2) конкурируют между собой за один ресурс (например, свет) в период вегетации в соответствии с моделью (2):

$$\partial x_1 / \partial t = 0,4x_1 - 0,07x_1^2 - 0,12x_1x_2,$$

$$\partial x_2 / \partial t = 0,6x_2 - 0,12x_2^2 - 0,22x_1x_2, \quad (2)$$

Ответить на вопрос, какой вид получит преимущество в развитии и почему.

Литература

1. Розенберг Г.С. Модели в фитоценологии., М., «Наука», 1984, с. 206–209.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Литература	6
Введение	9
Сложные системы и их основные свойства	9
Компоненты экосистем и внутрисистемные связи	10
Законы экологии и основные принципы системологии	11
Математические модели в экологии	12
Основные проблемы, решаемые при создании имитационных экологических моделей	13
Концептуальные модели стратегии развития популяций и экосистем.	14
Модели роста популяций	15
Модели «хищник-жертва», модели конкурентного развития видов, модели питания гетеротрофов	16
Моделирование трансформации органического вещества в экосистеме ...	17
Единые схемы баланса скоростей в моделях экосистем	18
Глобальные экологические модели	19
Контрольная работа	20

Учебное издание

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по дисциплине

«СИСТЕМНАЯ ЭКОЛОГИЯ»

Составитель В.В. Дмитриев

Редактор И.Г. Максимова

ЛР № 020309 от 30.12.96.

Подписано в печать 8.10.10. Формат 60×90 ¹/₁₆. Гарнитура Times New Roman.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 2,43. Тираж 200 экз. Заказ № 49/10.
РГТМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.
ЗАО «НПП «Система», 197045, Санкт-Петербург, Ушаковская наб., 17/1.

1911-12

1912-13

1913-14

1914-15

1915-16

1916-17

1917-18

1918-19

1919-20

1920-21