

М АТЕМАТИЧЕСКИЕ
МОДЕЛИ
В ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИИ

**А. А. Волчек,
Н. В. Шведовский,
А. В. Образцов**

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для слушателей
системы повышения квалификации и переподготовки кадров
образования по специальности*

“Охрана окружающей среды и рационального использования природных ресурсов”

Минск
Издательский центр БГУ
2002

УДК 502.7: 519.95(075.8)

ББК 20.18

В68

Рецензенты:

кафедра информатики и вычислительной техники Белорусского государственного технологического университета; заведующий кафедрой доктор технических наук, профессор *П. П. Урбанович*; доктор технических наук, профессор *В. Л. Колесников*; профессор кафедры экологии Белорусской государственной политехнической академии, доктор технических наук, профессор *В. П. Бубнов*

Волчек А. А. и др.

В68 Математические модели в природопользовании. Учеб. пособие. / А. А. Волчек, П. В. Шведовский, Л. В. Образцов. — Мн.: Издательский центр БГУ, 2002. — 282 с.: ил., табл.

ISBN 985-476-010-3.

В книге освещаются теоретические и прикладные вопросы использования математических моделей географического (природного) прогнозирования при решении задач из области природопользования. Пособие предназначено для слушателей высших учебных заведений по специальности «Охрана окружающей среды и рационального использования природных ресурсов» по повышению квалификации и переподготовки кадров. Представляет интерес для практических работников в области водохозяйственного строительства, экологов, биологов. Может служить пособием для преподавателей вузов, аспирантов и студентов специальностей: «Водоснабжение», «Водоотведение», «Очистка природных и сточных вод», других природопользовательских и географических профилей.

УДК 502.7: 519.95(075.8)
ББК 20.18

ISBN 985-476-010-3

© Коллектив авторов, 2002

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
Введение	7
1. Общие сведения о математическом моделировании ...	14
1.1. Принципы моделирования	14
1.2. Процесс построения математической модели	19
1.3. Процедура построения и реализации модели на ЭВМ	21
1.4. Точность моделирования	24
1.5. Общие сведения о классах моделей в природопользовании	30
1.6. Особенности моделирования методом степенных комплексов	32
1.7. Подобное моделирование	36
1.8. Особенности моделирования с помощью критериев подобия	39
1.9. Особенности моделирования методами анализа размерностей	45
1.10. Особенности имитационного моделирования	47
2. Моделирование глобальных биосферных процессов ..	56
2.1. Моделирование процессов, протекающих с участием человека	56
2.2. Модель глобального круговорота воды	58
2.3. Модели наземных экосистем	64
2.4. Демографические модели	75
3. Моделирование водного режима природных ландшафтов и сельхозугодий	83
3.1. Воднобалансовые модели	83
3.2. Моделирование почвенно-фильтрационных процессов	99
3.3. Моделирование процесса испарения почвенной влаги	109
3.4. Численное моделирование влагообмена между деятельным слоем почвы и атмосферой	122
3.5. Моделирование процессов солепереноса почвенной влагой	129
4. Моделирование почвенных процессов	134
4.1. Изменение механических свойств почвогрунтов ...	134
4.2. Эрозионно-разрушительные процессы	146
4.3. Модель теплового режима обогреваемых почв	153

5. Моделирование фильтрационных процессов	157
5.1. Определения и схематизация гидрогеологических условий	157
5.2. Гидравлическая теория фильтрации	159
5.3. Обобщенная модель нестационарной плано-радиальной фильтрации	169
6. Математическое моделирование гидрологических процессов	184
6.1. Моделирование речных потоков	184
6.2. Теория «мелкой воды»	199
6.3. Гидродинамика речного потока	211
6.4. Моделирование динамики уровня озерно-водоёмных систем	222
6.5. Моделирование стока и идентификации гидрологических систем	224
7. Математическое моделирование оптимизации и прогнозирования отраслевого развития, освоение и использование территорий	238
7.1. Общие принципы моделирования загрязнения окружающей среды	238
7.2. Особенности разработки региональных моделей освоения территорий и оптимального природопользования	242
7.3. Особенности разработки базисных моделей состояния наземной экосистемы и мониторинга	261
7.4. Особенности разработки моделей в системе комплексного мониторинга	269
Заключение	278
Литература	279
Авторский указатель	281

*В каждой науке столько истины,
сколько в ней математики*

И. Кант

ПРЕДИСЛОВИЕ

Прогнозирование изменений как природной среды в целом, так и среды проживания и социально-экономических условий жизни населения является одной из самых актуальнейших задач современности. Сегодня характерны изменения скорости протекания многих природных процессов, что и привело к нарушению биологического, энергетического, геохимического, генетического, ресурсо-сырьевого и многих других видов природного равновесия. А это обуславливает неопределенность состояния природной среды, и соответственно, стратегию и тактику взаимодействия природы, населения и производства.

Решение этих проблем требует подготовки высококвалифицированных специалистов, знакомых с основами и принципами рационального природопользования и сопутствующими им экологическими проблемами, не только в общем плане, но и знающих пути их оптимального решения.

По этим вопросам написаны сотни статей, книг и их поток увеличивается с каждым годом. Особенно активно работают в этой области научные школы академиков В. И. Вернадского, В. В. Кафорова, А. А. Капицы и Римский клуб (Д. Л. Медоуз, Й. Раидерс, Н. Ф. Реймерс, Т. Д. Вермеенко). Их труды «Пределы роста», «За пределами роста», «Споры о будущем», «Эволюция атмосферы», «Математическая биология» и др., в которых с помощью довольно простых дифференциальных уравнений делается вывод о скором исчерпании природных ресурсов в использовании человечества по причине запредельного загрязнения окружающей среды, заставили все государства по-новому взглянуть на эти проблемы, решение которых во многом определяется квалификацией кадров.

Цель данного пособия – сформировать профессиональную направленность и способствовать развитию у студентов навыков поста-

новки и решения хотя бы основных прикладных задач в области природопользования с помощью математического моделирования.

При этом особое внимание уделено аналитическим и имитационно-физическим моделям, которые наиболее эффективны для решения задач специалистами строительной и водохозяйственной областей, переподготовку которых осуществляют технические вузы.

Моделям, строящимся по эвристическому принципу, в пособии уделено очень мало внимания, так как они требуют специальной математической подготовки. Что касается моделей, построенных на статистической основе, то с методикой их построения и использования рекомендуется ознакомиться в ранее изданном нами учебном пособии «Статистические методы в природопользовании» (В. Е. Валуев, А. А. Волчек, П. С. Пойта, П. В. Шведовский, 1999).

Данное пособие будет так же интересным и полезным для специалистов, изучающих экологический менеджмент и математическое моделирование.

Авторы выражают глубокую признательность докторам технических наук, профессорам В. П. Бубнову, В. Л. Колесникову, П. П. Урбановичу за рецензирование рукописи и ценные замечания и советы.

С благодарностью будут приняты и все другие замечания, которые позволят сделать более совершенным данное учебное пособие.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с концептуальным постулатом Вернадского – «ни один живой вид не может существовать в среде, состоящей из своих отбросов», – т. е. создание искусственной среды обитания невозможно, рациональное природопользование требует знания функционирования всей биосферы.

Общая блочная схема модели биосферы представлена в следующем виде (рис. 0.1).

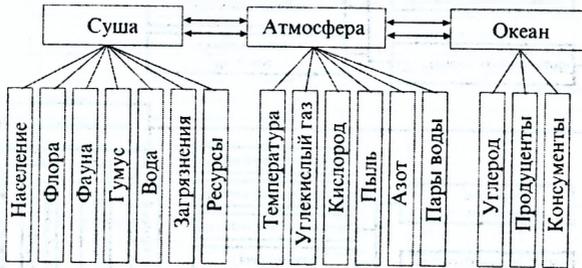


Рис. 0.1. Блочная схема модели биосферы

При этом критерии состояния устойчивости отдельных геосистем и объектов могут быть описаны следующей системой (рис. 0.2) с общей структурой «дерева последствий», представленной на рис. 0.3. Имеющиеся теоретические предпосылки и опыт прогнозирования конкретных природных объектов позволяют представить генетическую структуру формирования состояния компонент и составных геотехсистем биосферы и природной среды в следующем виде (рис. 0.4). Матрицы зональных факторов, свойств и процессов, определяющих режим состояния и функционирования объектов, систем и среды в целом включают в себя: *П* – почвы; *Кл* – климат; *Г* – геологию; *Рг* – рельеф; *Т* – время; *Р* – радиационный баланс; *Ео* – испаряемость; *Р* – атмосферные осадки; *ФФ* – флору и фауну; *Со* – структуру и организацию (локальные, региональные и глобальные).

Данная генетическая структура и определяет концептуальную схему прогнозных исследований современных эколого-социальных проблем, возникающих или формирующихся при незнании законов оптимального природопользования (рис. 0.5).

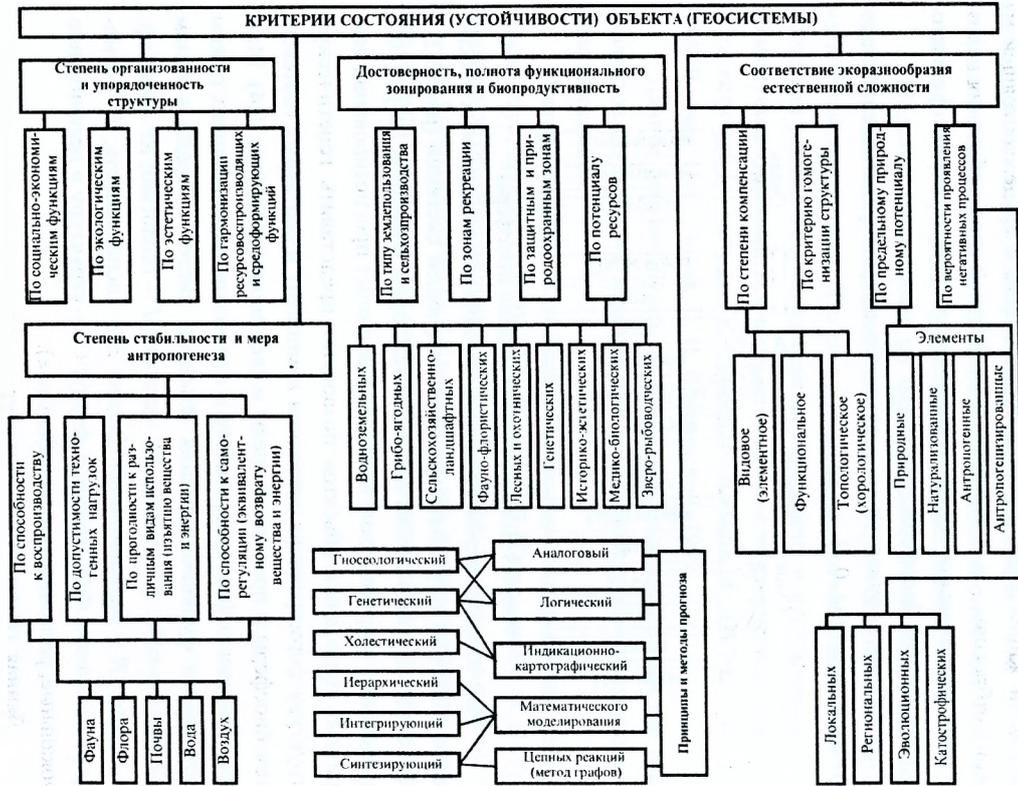


Рис. 0.2. Система основных критериев состояния устойчивости и методы прогноза развития геосистемы (объекта)

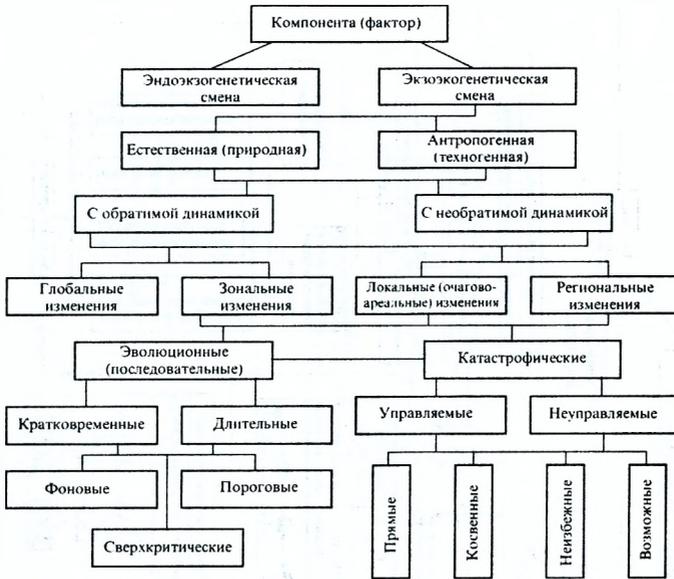


Рис. 0.3. Общая структура «дерева последствий»

Как видно из схемы, для современного специалиста необходимы знания по моделированию как на эвристическом (интуитивном), так и аналитическом и статистическом принципах. Эвристические принципы позволяют создать интуитивные прогнозные модели, формирующиеся на основе целевой установки по имеющейся информации, опыту, знаниям и интуиции. Интуитивные модели могут быть трех классов – индивидуальные оценки, коллективные оценки и комбинированные экспертные модели. К индивидуальным относятся модели типа интервью, психоэвристической генерации идей, коллективные – модели типа «мозговой атаки», сессий выработки коллективного мнения, коллективной экспертной оценки, а к комбинированным относятся итеративные опросы.

Аналитические модели строятся на основе структуризации целей развития, имитационного моделирования и морфологического анализа, а большинство статистических базируются на статистических данных и их ретроспекции.

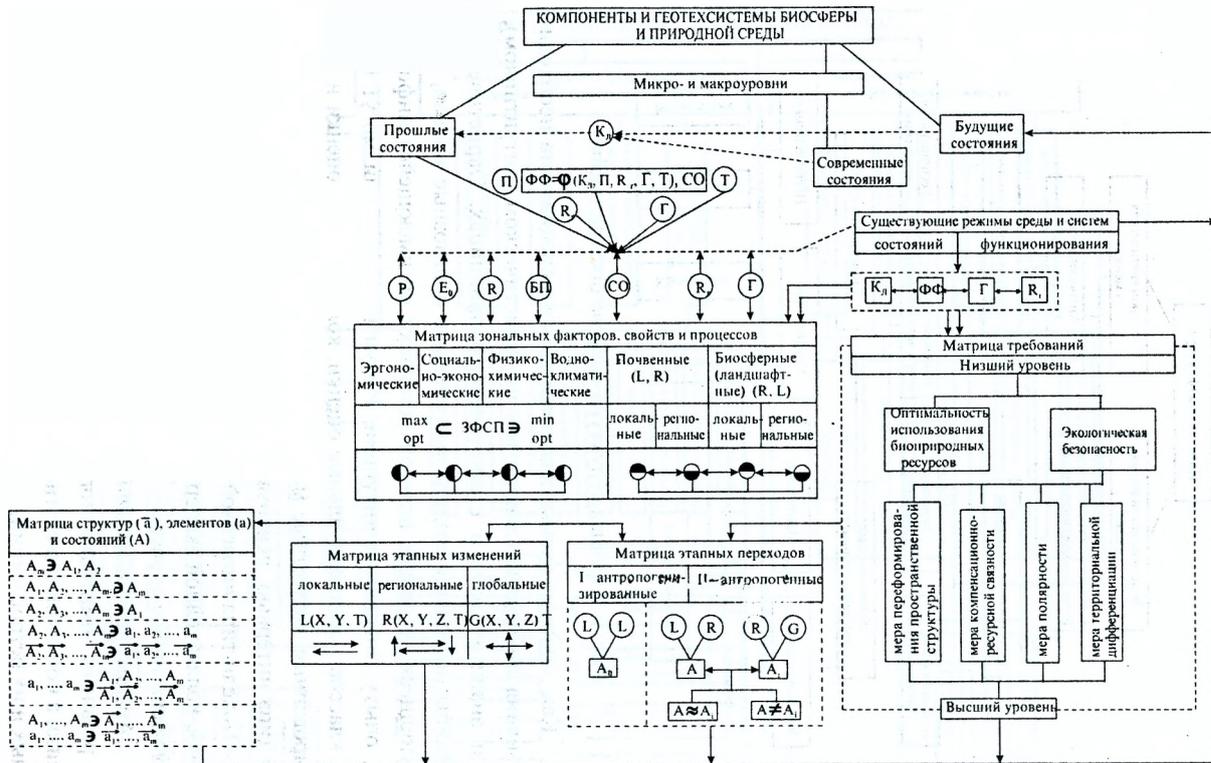


Рис. 0.4. Генетическая структура формирования компонент и составных геотехсистем биосферы и природной среды

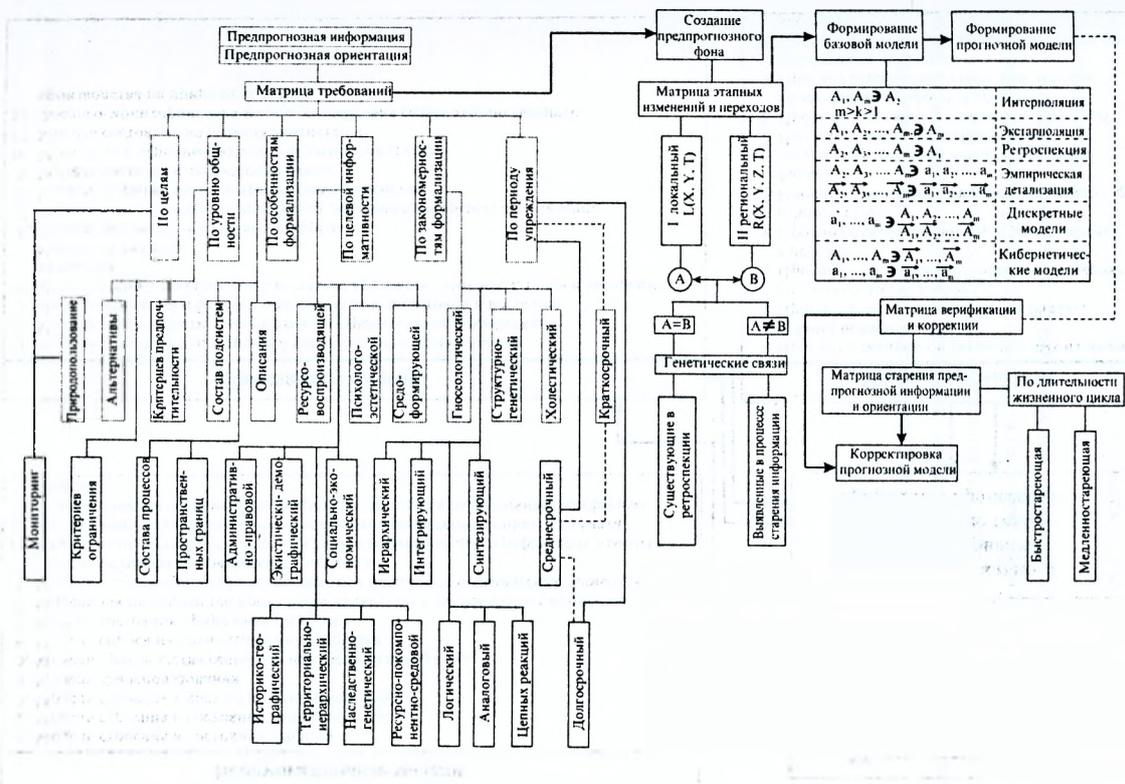


Рис. 0.5. Концептуальная схема прогнозных исследований современных эколого-социальных проблем



Рис. 0.6. Общая схема взаимосвязи моделей оптимального природопользования, состояния и эволюции природной среды

На рис. 0.6 приведена схема взаимосвязей моделей оптимального природопользования, состояния и эволюции природной среды, знания о которых, в той или иной мере, являются обязательными для современного специалиста.

Конечно, многие из этих моделей описаны и реализованы на практике, однако сведения о них стали библиографической редкостью. При этом наука в области моделирования не стоит на месте, и сегодня появились новые подходы к решению данных проблем, которые ранее были малоизвестны или неизвестны вообще.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оптимизация природопользования предполагает синтез знаний и мониторинговой информации по конкретным направлениям решаемых проблем, прогнозную оценку состояния компонентов природной среды и аналитические проработки любых инженерно-хозяйственных решений с позиции сохранения равновесия (гомеостаза) и обеспечение экологической безопасности среды проживания как человека, так и других биологических сообществ и представителей.

Знания и опыт разработки математических моделей биосферы, геосистем, аэрозкосистем и отдельных ареалов в решении оптимизационных задач являются первостепенными и основоопределяющими.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аношко В. С., Трофимов А. М., Широков В. М.* Основы географического прогнозирования. Мн.: Высш. шк., 1985. 239 с.
2. *Антоцев С. Н., Епихов Г. П., Кашеваров А. А.* Системное математическое моделирование процессов водообмена. Новосибирск: Наука (СО), 1986.
3. *Араб-Оглы Э. А.* Демографические и экологические прогнозы. М.: Наука, 1980. 213 с.
4. *Батунер Л. М., Позин М. Е.* Математические методы в химической технике. Л.: Химия, 1971. 824 с.
5. *Беляев В. И.* Теория сложных систем. Киев, Наукова думка, 1978.
6. *Бондаренко Н. Ф.* Физические основы мелиорации почв. Л.: Колос, 1975. 258 с.
7. *Будыко М. И.* Глобальная экология. М.: Мысль, 1977.
8. *Вольтерра В.* Математическая теория борьбы за существование. М.: Высш. шк., 1977.
9. *Жуковская М. В., Мучник И. Б.* Факторный анализ в социально-экономических исследованиях. М.: Статистика, 1976. 216 с.
10. *Каждан А. Б., Гуськов О. И.* Математические методы в геологии. М.: Высш. шк., 1983. 251 с.
11. *Крапивин В. Ф., Свирижев Ю. М., Тарко А. М.* Математическое моделирование глобальных биосферных процессов. М.: Наука, 1982. 273 с.
12. *Красовский Г. И., Филаретов Г. Ф.* Планирование эксперимента. Мн.: Изд-во БГУ, 1982. 302 с.
13. *Крушевский А. В.* Справочник по экономико-математическим моделям и методам. Киев: Техника, 1982. 207 с.
14. *Лисичкин В. А.* Теория и практика прогностики. М.: Наука, 1972. 224 с.
15. Математические методы оценки агроклиматических ресурсов / В. А. Жуков, А. П. Полевой, А. Н. Витченко. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 207 с.
16. Мелиорация: Энцикл. Справочник / [Редкол.: И. П. Шамякин (гл. ред.) и др.; Под общ. ред. А. И. Мурашко]. – Мн.: Белорус. Сов. Энцикл., 1984. 567 с.
17. Основы научных исследований. Гидромелиорация / Т. С. Вознюк, С. М. Гончаров, С. В. Ковалев Киев: Вища шк., 1985. 192 с.
18. Осушение земель вертикальным дренажем / А. И. Мурашко, А. И. Митрахович, С. В. Довнар и др. Мн.: Ураджай, 1980. 248 с.

19. *Полевой А. Н.* Методическое пособие по разработке динамико-статистических методов прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. – М.: Гидрометеоиздат, 1981. 39 с.
20. *Пясковский Р. В., Померанец К. С.* Наводнения. Математическая теория и предсказания. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 176 с.
21. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края / Под ред. В. С. Мезенцева. М.: Колос, 1974. 240 с.
22. *Ретин С. В., Шейн С. А.* Математические методы обработки статистической информации с помощью ЭВМ. – Мн.: Университетское, 1990. 128 с.
23. *Саккисян С. А.* Прогнозирование развития больших систем. М.: Статистика, 1975. 192 с.
24. *Сачок Г. И., Цуркова Т. Ф.* Математико-картографическое моделирование условий Белоруссии. Мн.: Наука и техника, 1984. 253 с.
25. *Свирипеев Ю. М.* Математическое моделирование биологических систем. М.: Наука, 1972.
26. *Сиротенко О. Д.* Математическое моделирование водно-теплого режима и продуктивности агроэкосистем. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. 167 с.
27. Статистические методы в природопользовании / В. Е. Валуев, А. А. Волчек, П. В. Шведовский. Брест: БПИ, 1999. 251 с.
28. *Степанов И. Н.* Почвенные прогнозы. М.: Наука, 1979. 83 с.
29. *Тейлор Дж.* Введение в теорию ошибок. Пер. с англ. М.: Мир, 1985. 272 с.
30. *Чернышев М. К., Гаджиев М. Ю.* Математическое моделирование иерархических систем. М.: Наука, 1983.
31. Эколого-социальные аспекты освоения водно-земельных ресурсов и технологий управления режимами гидромелиораций / П. В. Шведовский, В. Е. Валуев, А. А. Волчек и др. Мн.: Ураджай, 1998. 363 с.
32. *Яич Э.* Прогнозирование научно-технического прогресса. М.: Прогресс, 1974. 586 с.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Аверьянов 131 | Калинин 229 | Обухов 125 |
| Афанасик 263, 266 | Кант 5 | Ольдекоп 60, 266 |
| Бернулли 184 | Капица 5 | Огиевский 229 |
| Болтон 166, 169, 170,
171 | Карман 112, 150 | Прандль 112, 150 |
| Большцман 102, 117 | Кафоров 5 | Пойта 6 |
| Будыко 61 | Козени 109 | Раидерс 5 |
| Буссинеск 161, 162,
163, 166, 213 | Колмогоров 150 | Рейнольдс 148 |
| Валуев 6 | Костяков 103 | Реймерс 5 |
| Вермеенко 5 | Кутгер 217 | Ричардсон 113 |
| Вернадский 5, 7 | Лагерр 236, 237 | Робертсон 241 |
| Вольтерр 235 | Лагранж 190, 205 | Рябчиков 71, 262 |
| Волчек 6 | Лайхтман 150 | Саеки 66 |
| Гантилье 217 | Либих 68 | Сен-Венан 196, 213 |
| Гарднер 109 | Лисичкин 238 | Сергин 61 |
| Гончаров 148 | Лит 71 | Стефан 117 |
| Грин 207 | Литт 262 | Стокс 196 |
| Д'Аламбер 191 | Маннинг 217 | Тейлор 195 |
| Дарси 99, 100, 133,
134, 160, 161 | Маскет 174 | Тейс 163, 165, 166, 167,
169, 171 |
| Дроздов 70 | Маскингам 229, 236 | Торричелли 185 |
| Дюамель 230 | Медоуз 5 | Филипп 109 |
| Дюшои 100, 133 | Мезенцев 83 | Форрестер 56, 81, 257 |
| Закржевский 263, 266 | Милюков 229 | Фурье 158 |
| Зилитинкевич 150 | Молдау 69 | Шартье 66 |
| Ивлев 257 | Монин 125 | Шведовский 6, 259 |
| | Монси 66 | Шези 147, 198, 217 |
| | Навье-Стокс 196, 209 | Шрайбер 60 |
| | Ничипорович 145 | |
| | Нейман 168, 169, 171 | |
| | Ньютон 42, 117, 160,
190, 191 | |

Учебное издание

Волчек Александр Александрович
Шведовский Петр Владимирович
Образцов Леонид Владимирович

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИИ

В авторской редакции

Ответственный за выпуск *А. А. Волчек*

Корректор *Е. В. Семенчукова*

Подготовлено к изданию
специальным факультетом бизнеса и информационных технологий
Белорусского государственного университета.

Подписано в печать 24.07.2002. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 16,2. Уч.-изд. л. 17,5.
Тираж 200. Зак. 206.

Республиканское унитарное предприятие «Издательский центр
Белорусского государственного университета».
Лицензия ЛВ № 527 от 22.01.2002.
220030, Минск, ул. Красноармейская, 6.

Отпечатано с оригинала-макета заказчика.
Республиканское унитарное предприятие «Издательский центр
Белорусского государственного университета».
Лицензия ЛП № 461 от 14.08.2001.