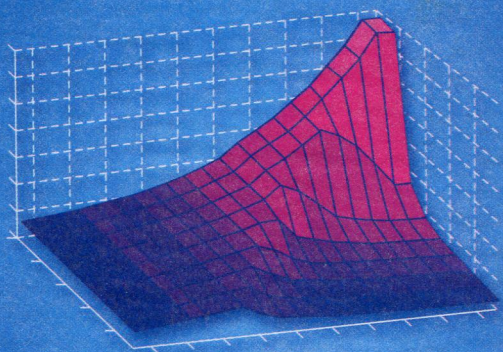


П.П. ПЕРМЯКОВ • А.П. АММОСОВ



**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
В КРИОЛИТОЗОНЕ**

УДК 551.345:536.421  
ББК 26.31  
П 26

**Пермяков П.П., Аммосов А.П.** Математическое моделирование техногенного загрязнения в криолитозоне. — Новосибирск: Наука, 2003. — 224 с.

ISBN 5-02-032046-3.

В монографии приведены методики параметрической идентификации теплофизических и массообменных характеристик загрязненных промерзающих-протаивающих дисперсных сред и численного решения прямых задач. Изложены результаты математического моделирования при загрязнении грунтов нефтепродуктами и радионуклидами аварийного подземного ядерного взрыва.

Книга рассчитана на специалистов в области вычислительного моделирования, мерзлотоведения, охраны окружающей среды.

Табл. 28. Ил. 44. Библиогр.: 343 назв.

**Permyakov P.P., Ammosov A.P.** Mathematical simulation of technogenic pollution in cryolithozone. — Novosibirsk: Nauka, 2003. — 224 p.

The monograph is devoted to mathematical simulation of heat, salt and moisture transfer in frozen rocks at technogenic pollution. The methods of parametric identification of thermophysical and mass exchange characteristics of contaminated freezing — thawing disperse media and numerical solution of direct problems are presented. The results of mathematical simulation at soil pollution by petroleum products and radionuclides of the emergency underground nuclear explosion are considered.

The book is intended for the specialists in computational simulation, permafrostology and environment protection.

Tabl. 28. Fig. 44. Ref. 343.

#### Рецензенты

доктор физико-математических наук *А.М. Тимофеев*  
доктор технических наук *Н.П. Старостин*

Утверждено к печати Ученым советом  
ф-технических проблем Севера СО РАН

Издание осуществлено при финансовой поддержке  
Сибирского отделения РАН

ТП-2004-1-№ 118

ISBN 5-02-032046-3

© П.П. Пермяков, А.П. Аммосов, 2003  
© Российская академия наук, 2003  
© Оформление. "Наука". Сибирская издательская фирма РАН, 2003

---

---

○

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> . . . . .	5
<b>СПИСОК ОСНОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ</b> . . . . .	8
<b>ГЛАВА 1</b>	
<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОМАССООБМЕНА В ПРОМЕРЗАЮЩИХ-ПРОТАИВАЮЩИХ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТАХ (Состояние вопроса)</b> . . . . .	11
1.1. Моделирование тепломассообменных процессов . . . . .	11
1.2. Два структурных подхода к интерпретации модели . . . . .	21
1.3. Внутренние параметры математической модели тепломассообмена . . . . .	26
1.3.1. Теплофизические свойства загрязненных мерзлых грунтов . . . . .	28
1.3.2. Массообменные характеристики промерзающих-протаивающих грунтов . . . . .	30
1.3.3. Гидрофизические параметры . . . . .	34
1.4. Численные методы решения коэффициентных обратных и прямых задач конвекции-диффузии . . . . .	40
<b>ГЛАВА 2</b>	
<b>ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК</b> . . . . .	52
2.1. Постановка задачи . . . . .	52
2.2. Алгоритмы для совместного определения теплофизических характеристик и параметров функции количества незамерзшей воды . . . . .	54
2.3. Согласование шагов дискретизации при численной реализации . . . . .	58
2.4. Результаты численного эксперимента . . . . .	60
2.4.1. Определение удельной теплоемкости и теплопроводности . . . . .	60
2.4.2. Идентификация параметров функции количества незамерзшей воды . . . . .	64
2.5. Теплофизические характеристики грунтов . . . . .	67
2.6. Совместное определение теплофизических и массообменных характеристик . . . . .	72

**ГЛАВА 3**

<b>ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ТЕПЛООБМЕНА</b> . . . . .	74
3.1. Граничная обратная задача . . . . .	74
3.2. Алгоритмы решения . . . . .	76
3.3. Примеры численных расчетов . . . . .	79
3.4. Восстановление граничных условий теплообмена . . . . .	81

**ГЛАВА 4**

<b>МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОМАССООБМЕНА</b>	85
4.1. Постановка задачи . . . . .	85
4.2. Решение одномерной задачи конвективной диффузии . . . . .	86
4.2.1. Метод направленных разностей (влажностьная формула)	86
4.2.2. Метод локальной линеаризации . . . . .	88
4.2.3. Метод с двусторонним ограничением решения . . . . .	89
4.2.4. Метод Кабаре . . . . .	92
4.3. Решение многомерной задачи . . . . .	98
4.4. Математическое моделирование теплосолевлажностных процессов . . . . .	108
4.4.1. Проверка адекватности математической модели . . . . .	108
4.4.2. Критерий для выбора математической модели . . . . .	118

**ГЛАВА 5**

<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОМАССООБМЕНА В ГРУНТАХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ</b> . . . . .	127
5.1. Зоны загрязнения и физико-химические свойства нефтепродуктов . . . . .	127
5.2. Численный эксперимент . . . . .	132
5.2.1. Теплофизические и массообменные свойства нефтегрунтов и сезонная динамика влаги в деятельном слое . . . . .	133
5.2.2. Прогноз водного и температурного режимов грунта оснований при различных мерзлотных условиях . . . . .	143
5.3. Численное моделирование фильтрации паводковой воды . . . . .	152
5.3.1. Постановка задачи и алгоритм решения . . . . .	152
5.3.2. Результаты численного расчета . . . . .	154
5.4. Мероприятия по устранению выноса нефтепродуктов в речную систему . . . . .	156
5.4.1. Определение водопритока к скважинам для выкачивания загрязненных грунтовых вод . . . . .	159
5.4.2. Создание ледогрунтовых противοфильтрационных завес . . . . .	161

**ГЛАВА 6**

<b>ПРОГНОЗ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В МЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ</b> . . . . .	163
6.1. Краткое физико-географическое описание территории аварийного подземного ядерного взрыва . . . . .	163

6.1.1. Природно-климатические условия местности . . . . .	164
6.1.2. Гидрогеологические условия . . . . .	165
6.1.3. Степень загрязненности радионуклидами . . . . .	166
6.2. Основные элементы радиоактивного загрязнения . . . . .	170
6.3. Математические модели переноса радиоактивного загрязнения	174
6.4. Сезонная динамика миграции радионуклидов в деятельном слое . . . . .	178
6.5. Прогноз динамики выноса радионуклидов в местности аварий- ного подземного ядерного взрыва . . . . .	181
6.6. Оценка эффективности заградительных мер . . . . .	186
6.6.1. Прогноз тепломассообменного режима основания курга- на-могильника . . . . .	187
6.6.2. Миграция радионуклидов при отсыпке местности раз- личными материалами . . . . .	194
6.6.3. Прогноз очистки поверхности и грунтовых вод от радио- нуклидов . . . . .	195
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ . . . . .</b>	<b>198</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК . . . . .</b>	<b>201</b>