



# ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ, МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОГО МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ



**ИНТЕГРАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ СО РАН**

**Вып. 48**

**SB RAS INTEGRATED PROJECTS**

**Issue 48**

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
SIBERIAN BRANCH  
MATROSOV INSTITUTE FOR SYSTEM DYNAMICS  
AND CONTROL THEORY

**FUNDAMENTALS, METHODS AND TECHNOLOGIES  
FOR DIGITAL MONITORING AND FORECASTING  
OF THE ENVIRONMENTAL SITUATION  
ON THE BAIKAL NATURAL TERRITORY**

Editors-in-Chief  
Academician of RAS *I.V. Bychkov*  
Corresponding member of RAS *D.P. Gladkochub*  
Doctor of Technical Sciences *G.M. Ruzhnikov*

NOVOSIBIRSK  
2022

С  
И Т  
И ПРОГ  
Б

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ИНСТИТУТ ДИНАМИКИ СИСТЕМ И ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ  
ИМЕНИ В.М. МАТРОСОВА

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ, МЕТОДЫ  
И ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОГО МОНИТОРИНГА  
И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ  
БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ**

Ответственные редакторы:  
академик РАН *И.В. Бычков*  
член-корреспондент РАН *Д.П. Гладкочуб*  
доктор техн. наук *Г.М. Ружников*

НОВОСИБИРСК  
2022

УДК 004.94+574  
ББК 32.973+28.08

Ф94

DOI 10.53954/9785604788943

*Редакционная коллегия серии:*

академик РАН В.М. Фомин (главный редактор), академик РАН Ю.И. Шокин,  
член-корреспондент РАН В.А. Ламин, член-корреспондент РАН В.Н. Опарин,  
член-корреспондент РАН В.В. Глушов, доктор экономических наук В.Ю. Малов,  
член-корреспондент РАН В.П. Федин

Серия основана в 2003 г.

Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории / отв. ред. И.В. Бычков, Д.П. Гладкочуб, Г.М. Ружников; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова. – Новосибирск: СО РАН, 2022. – 345 с. (Интеграционные проекты СО РАН; вып. 48).

ISBN 978-5-6047889-4-3 (вып. 48)

ISBN 978-5-7692-0669-6

Коллективная монография представляет опыт авторов по разработке и внедрению методов и технологий комплексного экологического мониторинга Байкальской природной территории на основе цифровых платформ, обеспечивающих сбор, хранение, обработку, анализ больших массивов разнородных пространственно-временных данных, а также комплекса математических и информационных моделей, сервисов и методов машинного обучения. Исследования проводились по шести направлениям: формирование цифровой платформы экологического мониторинга и прогнозирования, мониторинг экстремальных природных явлений и антропогенных выбросов в атмосфере, мониторинг гидрологических режимов водоемов, оценка экологических рисков состояния растительного покрова, мониторинг экстремальных геологических и эколого-геохимического процессов, медико-экологический и эпидемиологический мониторинг.

Монография предназначена для широкого круга читателей: специалистов в области информационных технологий, моделирования экологических систем, исследователям, связанным с изучением процессов в атмосфере, гидрологии, биологии, экологии, геохимии, геологии и медицины, а также студентам и аспирантам.

Утверждено к печати Ученым советом

Института динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН

*Рецензенты:*

академик РАН М.И. Кузьмин, академик РАН Ю.И. Шокин,  
академик РАН М.Ф. Савченков, академик РАН Е.А. Ваганов

Работа выполнена в рамках гранта № 075-15-2020-787 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития («Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории»)

ISBN 978-5-6047889-4-3 (вып. 48)

ISBN 978-5-7692-0669-6

© Сибирское отделение РАН, 2022

© ИДСТУ СО РАН, 2022

ВВЕДИ

Сохранение природного охранной территории Байкальского ландшафта в соответствии с решением 2024 года» и включено в перечень, несущий ответственность при этом в связи с чем является стивии с требованиями Минамата

В указе о «Стратегии развития России на 2024 года» и сохранении по сохранению гор и прибор

Постановлении Положения экологического сударственного окружающе

Подготовленная лексная система состоянием ок и антропогенный сбор данных тельную обработку состояни основе науч логического ческих и ин полных дан

их	164	5.5. Мониторинг экологических показателей функционирования энергетических объектов центральной экологической зоны Байкальской природной территории	227
ции	166	5.5.1. Структура информационно-аналитической системы	227
е	171	5.5.2. Мониторинг показателей возобновляемых природных энергоресурсов	231
	173	5.5.3. Система мониторинга данных с экспериментального стенда	236
	178	5.6. Спутниковый и наземный мониторинг атмосферы Байкальской природной территории	237
	179	5.6.1. Мониторинг прозрачности атмосферы	—
	181	5.6.2. Исследование интенсивности свечения атомарного кислорода и температуры атмосферы вблизи мезопаузы, полученных наземным и спутниковым инструментами, над Байкальской природной территорией	240
		5.7. Кластерный анализ для параметров грозовой активности Байкальского региона	243
		Выводы	247
		Список литературы	249
	186	<b>Глава 6.</b> Формирование концептуальных основ медико-экологического и эпидемиологического мониторинга (В.С. Рукавишников, Н.В. Ефимова, Л.М. Соседова, В.А. Вокина, Е.С. Андреева, М.А. Новиков, Г.А. Данчинова, М.А. Хаснатинов, Н.А. Ляпунова, И.С. Соловаров)	256
	186	6.1. Медико-экологический мониторинг в пожароопасный период: проблемы, алгоритм	257
	187	6.2. Оценка качества атмосферного воздуха и риска для здоровья населения Прибайкалья при массовых ландшафтных пожарах	261
юго	190	6.3. Разработка методических подходов к созданию биологических моделей интоксикации дымом природных пожаров для целей мониторинга функционального состояния организма	268
	197	6.4. Результаты интоксикации дымом природных пожаров у экспонированных животных	271
	201	6.4.1. Мониторинг видоспецифического поведения животных при остром и подостром воздействии дыма	—
ий	203	6.4.2. Моделирование отдаленных последствий воздействия дыма природных пожаров на организм экспериментальных животных	276
	204	6.5. Мониторинг природно-очаговых инфекций на БПТ с помощью ГИС и интернет-технологий	279
	206	Выводы	289
й	208	Список литературы	290
ры	212	<b>Глава 7.</b> Методы математического моделирования для цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки (А.В. Пененко, В.Ф. Рапута, В.А. Огородников, В.В. Пененко, М.С. Акентьева, Р.А. Амикишиева, А.В. Гочаков, Н.А. Каргаполова, А.А. Леженин, Э.А. Пьянова, В.С. Скорик)	294
над	216	7.1. Методы анализа информативности данных гетерогенных систем мониторинга качества атмосферы	294
вых	221		

7.1.1. Задача идентификации источников .....	295
7.1.2. Представление данных измерений на основе оператора чувствительности .....	297
7.1.3. Анализ системы мониторинга на основе операторов чувствительности .....	299
7.1.4. Сценарий обратного моделирования .....	301
7.1.5. Результаты сценарных расчетов .....	304
7.1.6. Обсуждение результатов расчетов .....	308
7.2. Численные стохастические модели метеорологических и гидрологических процессов .....	309
7.2.1. Моделирование совместных пространственно-временных полей метеорологических параметров на сети станций .....	310
7.2.2. Стохастическая модель пространственно-временного поля суточных осадков в водосборе р. Слюдянка совместного с временным рядом расхода реки .....	313
7.3. Модели и методы численного анализа данных наземного и спутникового мониторинга процессов загрязнения Байкальской природной территории .....	319
7.3.1. Модели оценивания полей длительного загрязнения в окрестностях стационарного источника .....	—
7.3.2. Реконструкция полей концентраций фторидов в зоне влияния выбросов Иркутского алюминиевого завода .....	321
7.3.3. Оценка характеристик подъема дымовых шлейфов от высотных труб Гусиноозерской ГРЭС .....	324
Выводы .....	329
Список литературы .....	330
Заключение .....	334

И ПР

П

Усл.

630

.....	295
ератора	.....
.....	297
оров	.....
.....	299
.....	301
.....	304
.....	308
их	.....
.....	309
ременных	.....
танций	.....
нного поля	.....
местного	.....
.....	313
ого	.....
байкальской	.....
.....	319
ения	.....
.....	-
зоне влияния	.....
.....	321
юв	.....
.....	324
.....	329
.....	330
.....	334

Научное издание

Тематический план выпуска изданий  
Сибирского отделения РАН на 2022 г.

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ, МЕТОДЫ  
И ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОГО МОНИТОРИНГА  
И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ  
БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ**

Интеграционные проекты СО РАН  
Вып. 48

Подготовлено к печати Сибирским отделением РАН

Редактор *Н.А. Лившиц*  
Корректор *Н.В. Счастлива*  
Художественный редактор *Н.Ф. Суранова*  
Оригинал-макет *Н.М. Райзвих*

---

Подписано в печать 29.08.2022. Формат 70×100 1/16  
Усл. печ. л. 27,8. Уч.-изд. л. 25,0. Тираж 300 экз. Заказ № 279.

---

Сибирское отделение РАН  
630090, Новосибирск, просп. академика Лаврентьева, 17  
Отпечатано в Сибирском отделении РАН  
630090, Новосибирск, Морской просп., 2  
Тел.: (383) 330-84-66  
E-mail: e.lyannaya@sb-ras.ru