

***ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ КАЗАХСТАНА:  
ОЦЕНКА, ПРОГНОЗ, УПРАВЛЕНИЕ***

**ТОМ IX**

**ВНУТРЕННИЕ И ОКРАИННЫЕ ВОДОЕМЫ КАЗАХСТАНА  
(АРАЛ, БАЛКАШ, КАСПИЙ)**



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

ҒЫЛЫМ КОМИТЕТІ

«ПАРАСАТ» ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМИ-ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ХОЛДИНГІ» АҚ

ГЕОГРАФИЯ ИНСТИТУТЫ

# ҚАЗАҚСТАННЫҢ СУ РЕСУРСТАРЫ: БАҒАЛАУ, БОЛЖАУ, БАСҚАРУ

*Ғылыми-редакциялық кеңес:*

т.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА акад. Б. Т. Жұмағұлов,  
т.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА акад. Н. С. Бектұрғанов, А. О. Орман,  
ф.-м.ғ.к. Е. М. Байәділов, т.ғ.д., проф. М. Ж. Бүрлібаев, т.ғ.д. Т. А. Баймолдаев,  
г.ғ.д., проф. Ж. Д. Достай, э.ғ.д., проф. Т. И. Есполов, т.ғ.д., проф. С. Р. Ибатуллин,  
г.ғ.д., проф. А. Р. Медеу, г.ғ.д., проф. И. М. Мальковский, г.ғ.д. Л. С. Төлеубаева

*Бас редактор*

г.ғ.д., проф. А. Р. Медеу

*Бас редактордың орынбасарлары:*

а.-ш.ғ.д., доц. Н. Н. Балғабаев  
г.ғ.д., проф. Ж. Д. Достай  
г.ғ.д., проф. И. М. Мальковский

*Жауапты хатшы*

г.ғ.д. Л. С. Төлеубаева

*Редакциялық алқа:*

ф.-м.ғ.д., проф. У. С. Әбдібеков, т.ғ.к. А. И. Әлиев, г.ғ.д., проф. Н. Ә. Әмірғалиев,  
г.ғ.д., проф. Ф. Ж. Акиянова, т.ғ.д., доц. Р. К. Бекбаев, г.ғ.д., проф. Р. И. Гальперин,  
г.ғ.д., проф. С. Қ. Дәулетқалиев, а.-ш.ғ.д., проф. А. А. Жұмабеков, т.ғ.д., проф. Ә. К. Зәуірбек,  
т.ғ.к. А. А. Калашников, т.ғ.к. Ә. К. Кеншимов, т.ғ.д., проф. Н. Г. Макаренко, Л. А. Малый,  
э.ғ.к. Р. Г. Мирсаитов, г.-м.ғ.д. С. Т. Мустафаев, ф.-м.ғ.к. Е. Т. Оразов, г.ғ.д., проф. С. М. Романова,  
г.ғ.д., проф. В. Г. Сальников, т.ғ.к. Е. Н. Сатенбаев, г.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА акад. И. В. Северский,  
г.-м.ғ.д. В. А. Смоляр, т.ғ.д., проф. С. Е. Соколов, т.ғ.д. А. А. Цхай, т.ғ.к. С. П. Шиварёва

АЛМАТЫ  
2011

## ҚАЗАҚСТАННЫҢ СУ РЕСУРСТАРЫ: БАҒАЛАУ, БОЛЖАУ, БАСҚАРУ

- Т. I. Қазақстанның су ресурстары: бағалау, болжау, басқару (тұжырымдама)
- Т. II. Қазақстанның табиғат сулары: ресурстары, режимі, сапасы және болжамы (жиынтық том)
- Т. III. Қазақстанда экономика салаларындағы су пайдалану: бағалау және болжау (жиынтық том)
- Т. IV. Қазақстан Республикасының су қауіпсіздігі: мәселелері мен шешімдері (жиынтық том)
- Т. V. Қазақстан климаты – су ресурстарын қалыптастырушы негіз (1 кітап)
- Т. VI. Қазақстанның қар-мұз ресурстары (1 кітап)
- Т. VII. Қазақстан өзендерінің су ресурстары (4 кітап):
1. *Батыс, Солтүстік, Орталық және Шығыс Қазақстанның жаңғырмалы жер беті су ресурстары*
  2. *Оңтүстігі мен оңтүстік-шығысының жаңғырмалы жер беті су ресурстары*
  3. *Қазақстан жер беті суларының сапасы және халықаралық су бөлу мәселелері*
  4. *Су ресурстарын басқарудың мемлекеттік механизмдерін жетілдіру*
- Т. VIII. Қазақстанның жерасты су ресурстары (1 кітап)
- Т. IX. Қазақстанның ішкі және шеткі суқоймалары (Арал, Балқаш, Каспий) (3 кітап):
1. *Балқаш көлінің, Каспий және Арал теңіздерінің гидрологиялық режимінің қазіргі және болжамдық динамикасын бағалау*
  2. *Солтүстік Каспийдің ластануының динамикасын және солтүстік Арал теңізінің тұздылығының өзгеруін математикалық модельдеу*
  3. *Каспий теңізі деңгейінің динамикасы: уақытша қатарлардан құралған үлгілер*
- Т. X. Қазақстанның суармалы егіншілігі: жағдайы және келешегі (1 кітап)
- Т. XI. Қазақстан ирригациясы: басқару және су үнемдеу (2 кітап):
1. *Суармалы егіншілікте су ресурстарын басқару және тиімді пайдалану бойынша шаралар кешені*
  2. *Суару жүйелерін кешенді реконструкциялау барысында суармалы жерлердегі өнімнің артуы мен су үнемдеу технологиялары*
- Т. XII. Қазақстан жайылымдарын суландырудың технологиясы мен техникалық құралдары (1 кітап)
- Т. XIII. Қазақстандағы коммуналдық-тұрмыстық және өндірістік сумен қамту (3 кітап):
1. *Су ресурстарының өнеркәсіптік және коммуналдық-тұрмыстық сумен жабдықтауда пайдаланылуын бағалау және болжау*
  2. *Қазақстан өндіріс кәсіпорындарында айналмалы және тұйықталған сумен қамтамасыз ету жүйелері: бағалау, жетілдіру, болжау*
  3. *Өнеркәсіп салаларындағы сумен қамтамасыз ету жүйесінің дамуын бағалау және болжам жасау*
- Т. XIV. Қазақстанның балық шаруашылығы: жағдайы және келешегі (1 кітап)
- Т. XV. Қазақстан гидроэнергетикасы: жағдайы және келешегі (1 кітап)
- Т. XVI. Қазақстан гидротехникалық имараттарының қауіпсіздігі: мониторинг және бағалау (1 кітап)
- Т. XVII. Қазақстан су ресурстарын реттеу және үлестіру (1 кітап)
- Т. XVIII. Қазақстан су ресурстарын аумақтық қайта үлестіру: мүмкіндігі және қажеттілігі (2 кітап):
1. *Алапаралық және трансшекаралық өзен ағындысын тасымалдау: жағдайы мен келешегі*
  2. *Магистралдық сұартқыштар және алыс қашықтыққа су тасымалдаудың проблемалары*
- Т. XIX. Қазақстанның жерасты сулары: қамтамасыздығы және пайдаланылуы (1 кітап)
- Т. XX. Су тұтынудағы дауларды шешуде ойындар теориясын пайдалану (1 кітап)
- Т. XXI. Қазақстан Республикасы су қамтамасыздығы: жағдайы және келешегі (1 кітап)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

КОМИТЕТ НАУКИ

АО «НАЦИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ХОЛДИНГ “ПАРАСАТ”»

**ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ**

# **ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ КАЗАХСТАНА: ОЦЕНКА, ПРОГНОЗ, УПРАВЛЕНИЕ**

*Научно-редакционный совет:*

д.т.н., проф., акад. НАН РК Б. Т. Жумагулов,  
д.т.н., проф., акад. НАН РК Н. С. Бектурганов, А. О. Орман,  
к.ф.-м.н. Е. М. Баядилов, д.т.н., проф. М. Ж. Бурлибаев, д.т.н. Т. А. Баймолдаев,  
д.г.н., проф. Ж. Д. Достай, д.э.н., проф. Т. И. Есполов, д.т.н., проф. С. Р. Ибатуллин,  
д.г.н., проф. А. Р. Медеу, д.г.н., проф. И. М. Мальковский, д.г.н. Л. С. Толеубаева

*Главный редактор*

д.г.н., проф. А. Р. Медеу

*Заместители главного редактора:*

д.с.-х.н., доц. Н. Н. Балгабаев  
д.г.н., проф. Ж. Д. Достай  
д.г.н., проф. И. М. Мальковский

*Ответственный секретарь*

д.г.н. Л. С. Толеубаева

*Редакционная коллегия:*

д.ф.-м.н., проф. У. С. Абдибеков, д.г.н., проф. Ф. Ж. Акиянова, к.т.н. А. И. Алиев,  
д.г.н., проф. Н. А. Амиргалиев, д.т.н., доц. Р. К. Бекбаев, д.г.н., проф. Р. И. Гальперин,  
д.г.н., проф. С. К. Давлетгалиев, д.с.-х.н., проф. А. А. Джумабеков, д.т.н., проф. А. К. Заурбек,  
к.т.н. А. А. Калашников, к.т.н. А. К. Кеншимов, д.т.н., проф. Н. Г. Макаренко, Л. А. Мальй,  
к.э.н. Р. Г. Мирсайтов, д.г.-м.н. С. Т. Мустафаев, к.ф.- м.н. Е. Т. Оразов, д.г.н., проф. С. М. Романова,  
д.г.н., проф. В. Г. Сальников, к.т.н. Е. Н. Сатенбаев, д.г.н., проф., акад. НАН РК И. В. Северский,  
д.г.-м.н. В. А. Смоляр, д.т.н., проф. С. Е. Соколов, д.т.н. А. А. Цхай, к.т.н. С. П. Шиварёва

АЛМАТЫ  
2011

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ КАЗАХСТАНА: ОЦЕНКА, ПРОГНОЗ, УПРАВЛЕНИЕ

- Т. I. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление (концепция)
- Т. II. Природные воды Казахстана: ресурсы, режим, качество и прогноз (сводный том)
- Т. III. Водопотребление отраслей экономики Казахстана: оценка и прогноз (сводный том)
- Т. IV. Водная безопасность Республики Казахстан: проблемы и решения (сводный том)
- Т. V. Климат Казахстана – основа формирования водных ресурсов (1 книга)
- Т. VI. Снежно-ледовые ресурсы Казахстана (1 книга)
- Т. VII. Ресурсы речного стока Казахстана (4 книги):
1. *Возобновляемые ресурсы поверхностных вод Западного, Северного, Центрального и Восточного Казахстана*
  2. *Возобновляемые ресурсы поверхностных вод юга и юго-востока Казахстана*
  3. *Качество поверхностных вод Казахстана и вопросы международного вододелиния*
  4. *Совершенствование государственных механизмов управления водными ресурсами*
- Т. VIII. Ресурсы подземных вод Казахстана (1 книга)
- Т. IX. Внутренние и окраинные водоемы Казахстана (Арал, Балкаш, Каспий) (3 книги):
1. *Оценка современной и прогнозной динамики гидрологического режима озера Балкаш, Каспийского и Аральского морей*
  2. *Математическое моделирование динамики загрязнения Северного Каспия и изменения солености Северного Аральского моря*
  3. *Динамика уровня Каспийского моря: модели из временных рядов*
- Т. X. Орошаемое земледелие Казахстана: состояние и перспективы (1 книга)
- Т. XI. Ирригация Казахстана: управление и водосбережение (2 книги):
1. *Комплекс мер по управлению и рациональному использованию водных ресурсов в орошаемом земледелии*
  2. *Технологии водосбережения и роста продуктивности орошаемых земель при комплексной реконструкции ирригационных систем*
- Т. XII. Технологии и технические средства обводнения пастбищ Казахстана (1 книга)
- Т. XIII. Коммунально-бытовое и промышленное водоснабжение Казахстана (3 книги):
1. *Оценка и прогноз использования водных ресурсов в коммунально-бытовом и промышленном водоснабжении*
  2. *Оборотные и замкнутые системы водоснабжения промышленных предприятий Казахстана: оценка, совершенствование, прогноз*
  3. *Оценка и прогноз развития систем водоснабжения в отраслях промышленности*
- Т. XIV. Рыбное хозяйство Казахстана: состояние и перспективы (1 книга)
- Т. XV. Гидроэнергетика Казахстана: состояние и перспективы (1 книга)
- Т. XVI. Безопасность гидротехнических сооружений Казахстана: мониторинг и оценка (1 книга)
- Т. XVII. Регулирование и распределение водных ресурсов Казахстана (1 книга)
- Т. XVIII. Территориальное перераспределение водных ресурсов Казахстана: возможность и целесообразность (2 книги):
1. *Межбассейновые и трансграничные переброски речного стока: состояние и перспективы*
  2. *Магистральные водоводы и проблемы транспортировки воды на большие расстояния*
- Т. XIX. Подземные воды Казахстана: обеспеченность и использование (1 книга)
- Т. XX. Теория игр при разрешении конфликтов в водопользовании (1 книга)
- Т. XXI. Водообеспеченность Республики Казахстан: состояние и перспективы (1 книга)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

ҒЫЛЫМ КОМИТЕТІ

«”ПАРАСАТ” ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМИ-ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ХОЛДИНГІ» АҚ

**ГЕОГРАФИЯ ИНСТИТУТЫ**

**ІХ ТОМ**

**ҚАЗАҚСТАННЫҢ ІШКІ ЖӘНЕ ШЕТКІ СУҚОЙМАЛАРЫ  
(АРАЛ, БАЛҚАШ, КАСПИЙ)**

**2 КІТАП**

**СОЛТҮСТІК КАСПИЙДІҢ ЛАСТАНУЫНЫҢ  
ДИНАМИКАСЫН ЖӘНЕ СОЛТҮСТІК АРАЛ ТЕҢІЗІНІҢ  
ТҰЗДЫЛЫҒЫНЫҢ ӨЗГЕРУІН МАТЕМАТИКАЛЫҚ  
МОДЕЛЬДЕУ**

У. С. Абдибеков,  
Д. Б. Жакебаев,  
А. К. Хикметов

Алматы  
2011

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

КОМИТЕТ НАУКИ

АО «НАЦИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ХОЛДИНГ “ПАРАСАТ”»

**ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ**

**ТОМ IX**

**ВНУТРЕННИЕ И ОКРАИННЫЕ ВОДОЕМЫ КАЗАХСТАНА  
(АРАЛ, БАЛКАШ, КАСПИЙ)**

**КНИГА 2**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ  
ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ  
СОЛЕННОСТИ СЕВЕРНОГО АРАЛЬСКОГО МОРЯ**

У. С. Абдибеков,  
Д. Б. Жакебаев,  
А. К. Хикметов

Алматы  
2011

ӘОЖ 517.958:532.5; 532.17.4  
ББК 26.22  
А 14

Қазақстан Республикасының  
тәуелсіздігінің  
20 жылдығына арналған

**Қазақстан Республикасының су ресурстары: бағалау, болжау, басқару:** 21 томда. – Алматы, 2011.

ISBN 978-601-7150-27-3

IX. Т.: Қазақстанның ішкі және шеткі суқоймалары (Арал, Балқаш, Каспий): 2 кітап:  
Абдибеков У. С. Солтүстік Каспийдің ластануының динамикасын және солтүстік Арал теңізінің тұздылығының өзгеруін математикалық модельдеу / Абдибеков У. С., Жакебаев Д. Б., Хикметов А. К. – .126..б.

ISBN 978-601-7150-38-9

Бұл жұмыста Солтүстік Каспийдің ластану динамикасын математикалық модельдеу, Каспий теңізі мен оның солтүстік бөлігінің жағалау зонасының ластануының масштабын сандық бағалау және Солтүстік Арал теңізінің тұздылығының өзгеруін модельдеу қарастырылады. Есептеу гидродинамикасының әдістері толығымен сипатталған: Рейнольдс бойынша Навье-Стокс теңдеуі негізіндегі турбуленттілікті статистикалық модельдеу және тікелей сандық модельдеу. Теңіз және оның айналасындағы ластану көздерінің өзара әсерін модельдеуге, антропогенді әсер етудің әрі қарай дамуын болжауға мүмкіндік беретін математикалық модельдер келтірілген.

Монография географтарға, метеорологтарға, табиғат құбылыстарын математикалық модельдеу әдістерін зерттеумен айналысатын мамандарға, экологтарға, университеттердің математика және география факультеттерінің студенттеріне қызығушылық тудырады.

Пікір берушілер:

ХИА және ҚР ҰИА академигі, физика-математика ғылымдарының докторы,  
профессор Н. Т. Данаев,  
физика-математика ғылымдарының докторы, профессор С. Т. Мухамбетжанов

ISBN 978-601-7150-38-9 (IX. Т.; 2 кітап)  
ISBN 978-601-7150-27-3

© География институты, 2011  
© Абдибеков У. С., Жакебаев Д. Б., Хикметов А. К., 2011



УДК 517.958:532.5; 532.17.4  
ББК 26.22  
А 14

*Посвящается 20-летию  
независимости  
Республики Казахстан*

**Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление:** В 21-м томе. – Алматы, 2011.

ISBN 978-601-7150-27-3

Т. IX: Внутренние и окраинные водоемы Казахстана (Арал, Балкаш, Каспий): кн. 2: Абдибеков У. С. Математическое моделирование динамики загрязнения Северного Каспия и изменения солености Северного Аральского моря / Абдибеков У. С., Жакебаев Д. Б., Хикметов А. К. – .126.с.

ISBN 978-601-7150-38-9

Рассматриваются математическое моделирование динамики загрязнения Северного Каспия, численная оценка масштабов загрязнения моря и береговой зоны северной части Каспийского моря и моделирование изменения солености Северного Аральского моря. Подробно описываются методы вычислительной гидродинамики: статистическое моделирование турбулентности на основе усредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса и прямое численное моделирование. Приводятся математические модели, позволяющие моделировать взаимодействие моря и локальных очагов загрязнения, прогнозировать дальнейшее развитие антропогенного воздействия.

Монография представляет интерес для географов, метеорологов, специалистов, занимающихся изучением методов математического моделирования природных явлений, экологов, студентов математических и географических факультетов университетов.

*Рецензенты:*

академик МИА и НИА РК, доктор физико-математических наук, профессор Н. Т. Данаев,  
доктор физико-математических наук, профессор С. Т. Мухамбетжанов

ISBN 978-601-7150-38-9 (Т. IX; кн. 2)  
ISBN 978-601-7150-27-3

© Институт географии, 2011  
© Абдибеков У. С., Жакебаев Д. Б., Хикметов А. К., 2011

*«Қазақстанның орнықты дамуын қамтамасыз ету үшін ең алдымен су ресурстарына ұқыпты көңіл бөлуге жету керек. Суды үнемдеу біздің менталитетіміздің, өндірістік және тұрмыстық мәдениетіміздің элементі болуы керек...»*

*«Қазақстандықтарды сапалы ауызсумен қамтамасыз етудің мәселесі-халықтың денсаулығын жақсартудың өте маңызды міндеті, бұл біздің басымдық бағытымыз...»*

*Назарбаев Н. Ә.*

*(Қазақстан Республикасы Президентінің шетелдік инвесторлар Кеңесінің пленарлық отырысында сөйлеген сөзі, Астана, 2007 жылғы;*

*Қазақстан Республикасы Президентінің Қазақстан халқына жолдауы, 2011 жылғы)*

*«Для обеспечения устойчивого развития Казахстана нужно в первую очередь добиться бережного отношения к водным ресурсам. Экономия воды должна стать элементом нашего менталитета, производственной и бытовой культуры...»*

*«Вопросы обеспечения казахстанцев качественной питьевой водой – важнейшая задача улучшения здоровья народа, это является нашим приоритетом...»*

*Назарбаев Н. А.*

*(Выступление Президента Республики Казахстан на 18-м пленарном заседании Совета иностранных инвесторов, Астана, 2007 год;  
Послание Президента Республики Казахстан народу Казахстана, 2011 год)*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Монография посвящена проблеме создания адекватных математических моделей динамики загрязнения Северного Каспия и изменения солености Северного Аральского моря. В связи с предстоящим крупномасштабным освоением углеводородных ресурсов шельфа Каспия, разработкой новых месторождений, которые приведут к интенсивному росту нефтедобычи в регионе, в ближайшие десятилетия необходимо ужесточить требования к соблюдению экологической безопасности Каспийского моря. Кроме того, нужно исследовать вопросы безопасности и влияния функционирования морского нефтепровода на экологическую ситуацию в акватории. Эти исследования невозможны без проведения численных экспериментов по соответствующим математическим моделям.

Сложность математического моделирования морских течений заключается в том, что моделирование гидродинамики моря включает в себя следующие процессы: ветровое перемешивание водной массы в море, распространение примесей, поступающих с моря, влияние проточности моря на качественный состав воды. Объектом исследования является распределение загрязняющего вещества в зависимости от метеорологических факторов, в частности от направления и силы ветра. Изложенные динамические процессы описываются на основе уравнений Рейнольдса, переноса тепла и солености в приближении теории мелкой воды. Динамические процессы в прибрежной зоне исследуются при различных режимных параметрах, метеорологических и климатических условиях.

Изучаемая в монографии математическая модель учитывает все перечисленные факторы и особенности задачи. Алгоритм численного решения, реализованный в виде комплекса программ, позволяет проводить необходимые исследования в зависимости от течения, скорости ветра и концентрации загрязняющего вещества.

В главе 1 рассматриваются общие вопросы моделирования стратифицированных морских течений. Приводятся основные уравнения гидродинамики моря, структура стратифицированных морских течений, численный алгоритм и методы расчетов.

Глава 2 посвящена моделированию динамики загрязнения Северного Каспия. Приводятся математические модели для расчета, оценки ареала и определения траекторий миграций нефтяного пятна на поверхности по акватории Каспийского моря в зависимости от метеоусловий.

В главе 3 приводятся результаты численного моделирования изменения солености и загрязнения Малого Арала.

Монография не носит обзорного характера, ссылки даны лишь там, где обсуждение выходит за рамки либо оригинальных исследований, либо классических результатов.

Комплексное освоение водных ресурсов требует тщательного и продолжительного изучения режимов рек, природных условий, влияния водохозяйственных мероприятий и возможных изменений режимов рек на отдельные отрасли народного хозяйства и окружающую среду.

При изучении распространения в природных средах таких загрязнителей антропогенного происхождения, как химические отходы промышленных предприятий и сельского хозяйства, широко используются математические модели и численные эксперименты на ЭВМ.

Развитие промышленности во всех странах мира поставило перед человечеством острую проблему охраны окружающей среды с целью сохранения экологического равновесия. Локальные загрязнения в результате выбросов промышленных предприятий во многих городах мира давно превзошли предельно допустимые нормы. Гигантские работы, связанные с добычей угля, нефти, железной руды и других полезных ископаемых, привели к загрязнению окружающей среды. Исходным моментом является исследование влияния выбросов отходов промышленных предприятий на биологическую среду.

Теоретическую основу математических моделей составляют уравнения гидродинамики моря, уравнения переноса и трансформации концентрации. Необходимо отметить, что подобные модели существенно нелинейны и нестационарны. Преднамеренное и естественное воздействие человека на окружающую среду приводит к заданию дополнительных возмущений, влияющих на формирование исследуемых процессов. При математическом моделировании распространения примесей очень важными являются разработка и выбор соответствующего вычислительного алгоритма и аппроксимации уравнения переноса. При прогнозировании возможных изменений режима моря и их экологических систем под влиянием антропогенных воздействий в последнее время успешно используются методы математического моделирования. Однако до настоящего времени нет обобщающих работ, в которых достаточно подробно освещались бы как особенности динамических процессов в морях, так и в используемых для их описания математических моделях.

Наличие на поверхности жидкости пленки абсорбированного ею вещества может существенно изменить гидродинамические свойства свободной поверхности жидкости. Дело в том, что при изменении формы поверхности, сопровождающем движение жидкости, происходит растяжение или сжатие пленки, т.е. изменение поверхностной концентрации абсорбированного вещества. Эти изменения приводят к появлению

дополнительных сил, которые должны быть учтены в граничных условиях, имеющих место на свободной поверхности жидкости.

На основе новых полуэмпирических моделей для пульсационных составляющих и корреляций полей концентрации, температуры и динамического поля проведены моделирования антропогенного загрязнения Северного Каспийского моря и изменения солености Малого Арала.

Такие исследования и их результаты имеют высокую практическую ценность как в Казахстане, так и за его пределами. Наличие такой программы и ее результаты делают Республику Казахстан независимой в вопросе экологического мониторинга водных ресурсов.

Методы моделирования относятся к новому поколению численных методов, их развитие определяет успехи в моделировании проблем экологии на современном этапе. Такие исследования ведутся в лабораториях Института гидродинамики СО РАН, в лабораториях Дистанционного зондирования окружающей среды (DSI, San Diego University, проф. Е. Фрост) и визуализации аэрогидродинамических исследований (Department of Earth System Science, University of California, Irvine CA, проф. Ч. Зендер), с которыми у нас имеются тесные научные связи.

Научное издание

**ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ КАЗАХСТАНА:  
ОЦЕНКА, ПРОГНОЗ, УПРАВЛЕНИЕ**

**ТОМ IX**

**ВНУТРЕННИЕ И ОКРАИННЫЕ ВОДОЕМЫ КАЗАХСТАНА  
(АРАЛ, БАЛКАШ, КАСПИЙ)**

**Книга 2**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЕВЕРНОГО  
КАСПИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ СОЛЕННОСТИ СЕВЕРНОГО АРАЛЬСКОГО МОРЯ**

**У. С. Абдибеков, Д. Б. Жакебаев, А. К. Хикметов**

Рекомендовано к печати Ученым советом ТОО «Институт географии»

Редактор *Э.И. Кривобоков*  
Верстка на компьютере *Д.Н. Калкабековой*

Подписано в печать  
Формат 70x100<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Уч.-изд. л. 38,25.  
Бумага офсетная. Тираж 300

---

*Отпечатано в типографии «.....»*