

С. А. КОНДРАТЬЕВ
М. В. ШМАКОВА

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
МАССОПЕРЕНОСА
В СИСТЕМЕ





Российская Академия Наук

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ОЗЕРОВЕДЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНОЗ РАН



С. А. Кондратьев, М. В. Шмакова

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАССОПЕРЕНОСА В СИСТЕМЕ ВОДОСБОР – ВОДОТОК – ВОДОЕМ



Нестор-История
Санкт-Петербург
2019

УДК 556.55:504.4

ББК 26.226.6

К64



Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-15-0000219, не подлежит продаже

Рекомендовано к опубликованию решением Ученого совета ИНОЗ РАН от 11 мая 2018 г.

Научный консультант и рецензент — *Сергей Дмитриевич Голосов*, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ИНОЗ РАН

Кондратьев С. А., Шмакова М. В.

К64 Математическое моделирование массопереноса в системе водосбор — водоток — водоем. — СПб. : Нестор-История, 2019. — 248 с.

ISBN 978-5-4469-1577-4

На сегодняшний день в Институте озероведения РАН разработана и успешно используется моделирующая система, ориентированная на количественную оценку процессов, происходящих в системе водосбор — водоток — водоем, а также на прогнозирование последствий воздействия на систему антропогенных и климатических факторов в условиях дефицита данных натурных наблюдений. Компонентами системы являются детерминированные модель формирования стока на водосборе, модель выноса с водосбора растворенных примесей, формирующих внешнюю нагрузку на водоем, модель стока наносов, модель массопереноса в русле реки, модель течений и переноса примесей в водоеме, а также стохастическая модель погоды. Объектами применения разработанной моделирующей системы являются водосборы Финского залива Балтийского моря и водоемы его бассейна, к числу которых относятся крупнейшие европейские озера: Ладожское, Онежское, Чудско-Псковское, Ильмень, а также ряд более мелких водоемов и их водосборов. В Волжском регионе созданные модели использованы для решения практических задач восстановления озера Неро и оценки диффузной нагрузки на Куйбышевское водохранилище на реке Волге. Дальнейшее развитие моделирующей системы связано с расширением ее компонентов, совершенствованием системы наземного и дистанционного мониторинга, а также с восстановлением системы подготовки квалифицированных российских специалистов в различных направлениях наук о Земле.

Kondratyev S. A., Shmakova M. V.

К64 Mathematical modeling of mass transfer in the system: catchment area — watercourse — water body. — St. Petersburg : Nestor-Historia, 2019. — 248 p.

ISBN 978-5-4469-1577-4

To date, the modeling system for assessment of the processes in catchments, watercourses and water bodies, as well as the prediction of the consequences of the impact of anthropogenic and climatic factors on studied objects in the absence of field observations has developed and successfully uses in the Institute of Limnology. The components of the system are a stochastic weather model, and deterministic models for runoff in the catchment area, removing dissolved impurities from the catchment that form an external load on the reservoir, sediment runoff, mass transfer in the river bed, currents and impurity transport in the reservoir. The Gulf of Finland of the Baltic Sea catchment and the water bodies located in this area, includes the largest European lakes Ladoga, Onega, Chudsko-Pskovskoye, Ilmen, as well as a number of smaller reservoirs and their catchments were the objects of application of the developed modeling system. In the Volga region, the created models were used to solve the practical tasks of Lake Nero restoration and assessing the non-point load on the Kuibyshev Reservoir on the Volga River. Further development of the modeling system is associated with the increasing of amount of components, the improvement of the system of ground-base and remote monitoring, as well as restoration of the training system for qualified Russian specialists in various areas of Earth sciences.

ISBN 978-5-4469-1577-4



9 785446 915774

© С. А. Кондратьев, М. В. Шмакова, 2019

© Издательство «Нестор-История», 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
<i>Глава 1.</i> Общие принципы построения модели массопереноса в системе водосбор — водоток — водоем	8
<i>Глава 2.</i> Детерминированные компоненты моделирующей системы	22
2.1. Модель формирования стока с водосбора	22
2.2. Модель выноса растворенных примесей с водосбора	35
2.3. Модель стока наносов	79
2.4. Модель массопереноса в открытом русле	93
2.5. Модель массопереноса в акватории мелководного водоема	103
<i>Глава 3.</i> Стохастическая модель погоды	120
<i>Глава 4.</i> Детерминированно-стохастическое моделирование	135
4.1. Сток с водосбора Ладожского озера и р. Невы	135
4.2. Сток и вынос биогенных веществ с водосбора Онежского озера	140
4.3. Сток и вынос биогенных веществ с водосбора Чудско-Псковского озера	152
4.4. Сток и вынос биогенных веществ с водосбора Финского залива, а также водосборов малых водоемов его бассейна	165
4.5. Сток и вынос биогенных веществ с водосборов притоков Куйбышевского водохранилища	182
4.6. Стохастическая модель годового твердого стока	194
4.7. Переформирование дна водохранилища Сестрорецкий Разлив	201
4.8. Стыковка моделей в рамках ДС моделирующей системы	206
Заключение	212
Литература	222