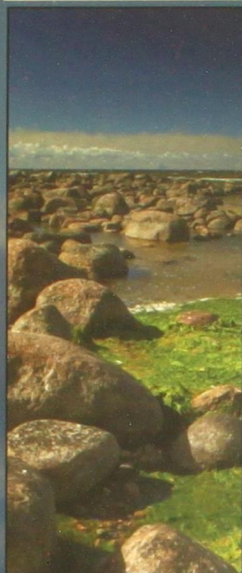


21-6545

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ



**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И  
ПРОБЛЕМЫ АНТРОПОГЕННОЙ  
ТРАНСФОРМАЦИИ  
ЭКОСИСТЕМЫ  
ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА  
В УСЛОВИЯХ  
ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ  
КЛИМАТА**

21-06545





*Российская Академия Наук*

Институт озерадения Российской академии наук –  
обособленное структурное подразделение ФГБУН «Санкт-Петербургский  
Федеральный исследовательский центр Российской академии наук»  
(ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН)



## **Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата**

Под редакцией д. ф.-м. н. С. А. Кондратьева,  
д. г. н. Ш. Р. Позднякова, академика РАН, проф. В. А. Румянцева

Технический редактор – к. ф.-м. н. А. М. Расулова

Москва  
2021

УДК 504.064.2

ББК 20.18

С56

**Авторский коллектив:**

**Институт озераведения СПб ФИЦ РАН:** В. М. Анохин, М. А. Барбашова, С. Д. Голосов, В. В. Гузиватый, А. В. Гузева, М. А. Гусева, М. О. Дудаков, Д. С. Дудакова, И. С. Зверев, Е. В. Иванова, Н. В. Игнатьева, А. В. Измайлова, Л. Л. Капустина, С. Г. Каретников, С. А. Кондратьев, Н. Ю. Корнеенкова, К. Д. Коробченкова, Д. Д. Кузнецов, Е. А. Курашов, А. Е. Лапенков, А. В. Лудикова, А. К. Ляховская, Г. Г. Митрукова, М. А. Науменко, О. А. Павлова, Т. Н. Петрова, Ш. Р. Поздняков, Е. В. Протопопова, А. М. Расулова, А. В. Ревунова, В. А. Румянцев, А. Г. Русанов, В. Н. Рыбакин, Т. В. Сапелко, А. В. Терехов, Д. А. Тихонова, И. В. Токарев, М. С. Трифонова, В. И. Уличев, Е. А. Шипунова, М. В. Шмакова; **Центр экологической безопасности СПб ФИЦ РАН:** Е. Ю. Воякина, В. В. Кулибаба; **Институт водных проблем Севера ФИЦ КарНЦ РАН:** А. Ф. Балаганский, Н. Н. Филатов; **Институт леса ФИЦ КарНЦ РАН:** Ю. В. Карпечко; **Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН:** А. В. Исаев; **Институт проблем региональной экономики РАН:** В. В. Меншуткин; **Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФНАЦ ВИМ:** В. Ю. Брюханов, Э. В. Васильев, Н. С. Обломкова; **СПб Филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ») им. Л. С. Берга:** Н. М. Аршаница, В. А. Гребенников, М. Р. Гребцов, С. Б. Екимова, Ю. А. Зуев, Е. В. Колосовская, Ю. В. Крылова, А. Г. Леонов, Г. Ф. Ляшенко, А. М. Пономаренко, А. Ю. Романов, Е. С. Светашова, М. А. Синякова, Е. М. Фисак, А. С. Шурухин, Е. Я. Явид; **Институт наук о земле СПбГУ:** О. П. Савчук; **Российский государственный гидрометеорологический университет:** А. В. Бабин, Н. В. Зуева, А. Б. Степанова, А. Н. Чернышев; **ФГБВУ «Центррегионводхоз»:** А. Ю. Куличенко; **СПбГУ ветеринарной медицины:** А. А. Стекольников; **СПб МБОО «Биологи за охрану природы»:** И. С. Труханова.

Монография одобрена Советом по наукам о Земле ОНЗ РАН  
Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Рекомендована к опубликованию решением Ученого совета ИНОЗ РАН  
от 26.03.2020 г.

Рецензент – д. т. н., проф. Н. А. Нестеров

Настоящая монография является обобщением выполненных за последнее десятилетие исследований Института озераведения РАН и других организаций в области изучения Ладожского озера – крупнейшего пресноводного водоема Европы. Решен ряд важных фундаментальных и прикладных задач по оценке антропогенной трансформации экосистемы Ладожского оз. в условиях изменяющегося климата, существенно расширяющих име-

ющиеся представления о функционировании и развитии самого озера и его водосборной территории. Палеолимнологические исследования позволили проследить историю озера с позднеледникового периода и на протяжении всего голоцена. Выявлены изменения термического режима Ладоги, связанные с климатическими изменениями. Дана оценка воздействия водосбора на состояние озерной экосистемы. Создана новая геоморфологическая карта, на которой отражены особенности строения дна озера. Гидрологические, гидрохимические, гидробиологические и токсикологические исследования позволили оценить современное состояние озера и его притоков. Выявлены зоны экологического риска на акватории и водосборной территории, требующие регулярного мониторинга для предотвращения возникновения катастрофических ситуаций, связанных с возможным неконтролируемым негативным воздействием этих зон на весь водоем. На акватории озера и его притоках проведены исследования по оценке загрязнения микропластиком. Достигнуты значительные успехи в создании и практическом применении моделей термогидродинамических процессов и экосистемы Ладожского оз. Сформулированы принципы и основные направления совершенствования мониторинга Ладожского оз.

Результаты исследований могут представлять интерес для широкой научной общественности, занимающейся вопросами изучения, охраны и рационального использования водных объектов.

This monograph is a synthesis of the studies carried out over the past decade by the Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences and other organizations in the field of studying Lake Ladoga, which is the largest freshwater body in Europe. A number of important fundamental and applied problems have been solved to assess the anthropogenic transformation of the ecosystem of Lake Ladoga in a changing climate. It helps to expand understanding of the functioning and development of the lake itself and its catchment area. Paleolimnological studies allow to trace the history of the lake from the Late Ice Age and throughout the Holocene. Changes in the thermal regime of Ladoga due to climatic changes have been revealed. The impact of the catchment area on the lake ecosystem has been assessed. A new geomorphological map reflecting the structural features of the lake bottom has been created. Hydrological, hydrochemical, hydrobiological and toxicological studies allowed to assess the current state of the lake and its tributaries. Ecological risk zones in the water and catchment areas have been identified. They require regular monitoring to prevent catastrophic situations associated with the possible uncontrolled negative impact of these zones on the entire water body. Studies to assess microplastic pollution in the water area of the lake and its tributaries have been carried out. There is a significant progress in development and practical application of models of thermohydrodynamic processes and models of Lake Ladoga ecosystem. The principles and main directions for improving monitoring of Lake Ladoga have been formulated.

The research results could be interesting for the general scientific community dealing with study, protection and rational use of water bodies.

# Оглавление

<b>Введение</b> .....	<b>9</b>
<b>Глава 1. Ладожское озеро – геостратегический водный объект, определяющий жизнедеятельность северо-западных территорий России (С.А. Кондратьев, А.П. Алхименко, Л.А. Кудерский)</b> .....	<b>12</b>
<b>Глава 2. Физико-географическое описание Ладожского озера и его водосбора</b> .....	<b>22</b>
2.1 Общая характеристика водосбора (А.В. Измайлова, М.А. Науменко) .....	22
2.2 Геология и рельеф (А.В. Измайлова).....	25
2.3 Климат Ладожского водосбора (А.В. Измайлова) .....	26
2.4 Ландшафтная характеристика Ладожского водосбора (А.В. Измайлова).....	28
2.5 Гидрографическая сеть Ладожского водосбора (А.В. Измайлова).....	31
2.6 Малые озера в пределах Ладожского бассейна (А.В. Измайлова, Н.Ю. Корнеевкова).....	34
2.7 Пространственно-временная динамика водной поверхности бассейна Ладожского озера (А.М. Расулова) .....	39
2.8 Котловина Ладожского озера и характер берегов (М.А. Науменко).....	47
2.9 Современная освоенность водосбора и его влияние на экосистему озера (А.В. Измайлова).....	49
<b>Глава 3. Природное и антропогенное воздействие на Ладожское озеро и его водосбор в позднеледниковый и голоценовый периоды</b> .....	<b>54</b>
3.1 История и методика палеолимнологических исследований (Т.В. Сапелко, А.В. Лудикова, Д.Д. Кузнецов, Н.В. Игнатьева, М.А. Гусева, А.В. Терехов, Н.Ю. Корнеевкова).....	54
3.2 Отражение климатических и антропогенных изменений позднеледниковья и голоцена в колонках донных отложений Ладожского озера (Т.В. Сапелко, А.В. Лудикова, Д.Д. Кузнецов, Н.В. Игнатьева, М.А. Гусева, А.В. Терехов) .....	59
3.3 Периодизация органического осадконакопления в Ладожском озере .....	81
3.4 Использование субфоссильных диатомовых комплексов в оценке экологического состояния Ладожского озера (А.В. Лудикова).....	84
3.5 Начало антропогенного воздействия и древняя история сельскохозяйственной деятельности на водосборе Ладожского озера (Т.В. Сапелко).....	90
3.6 Особенности заболачивания побережья Ладожского озера в голоцене (Н.Ю. Корнеевкова).....	93
3.7 Реконструкция Ладожской трансгрессии (А.В. Терехов) .....	97
<b>Глава 4. Факторы воздействия водосбора</b> .....	<b>102</b>
4.1 Сток с водосбора в условиях меняющегося климата (С.А. Кондратьев, М.В. Шмакова, К.Д. Коробченкова).....	103
4.2 Сток наносов и мутность воды основных притоков Ладожского озера (М.В. Шмакова) .....	108
4.3 Сельскохозяйственная деятельность на водосборе и сформированная биогенная нагрузка (В.Ю. Брюханов, Н.С. Обломкова, Э.В. Васильев) .....	113

4.4 Влияние лесохозяйственных мероприятий на сток и вынос биогенных элементов с лесных водосборов Карелии (С.А. Кондратьев, М.В. Шмакова, Ю.В. Карпечко, А.В. Терехов) .....	125
<b>Глава 5. Особенности геолого-геоморфологического строения дна Ладожского озера, его берегов и подводных ландшафтов .....</b>	<b>136</b>
5.1 Донные ландшафты Ладожского озера (Д.С. Дудакова, В.М. Анохин, М.О. Дудаков) .....	136
5.2 Плотность частиц донных отложений Ладожского озера (Ш.Р. Поздняков, А.В. Ревунова) .....	146
5.3 Геоморфологические особенности дна и берегов Ладожского озера (В.М. Анохин, М.А. Науменко, Д.С. Дудакова, М.О. Дудаков, В.Н. Рыбакин) .....	151
5.4 Распространение вод притоков и подземных вод по данным изотопных индикаторов (В.А. Румянцев, В.Н. Рыбакин, И.В. Токарев, В.М. Анохин) .....	165
<b>Глава 6. Водный баланс и уровень Ладожского озера .....</b>	<b>177</b>
6.1 Оценка элементов водного баланса (Н.Н. Филатов, А.Ф. Балаганский) .....	177
6.2 Изменчивость уровня воды и его прогнозирование (Н.Н. Филатов, В.А. Румянцев) .....	181
<b>Глава 7. Термодинамические особенности Ладожского озера в связи с климатическими изменениями.....</b>	<b>194</b>
7.1 Реакция димиктических озер на климатические изменения (М.А. Науменко) .....	194
7.2 Многолетние тренды температуры воздуха (М.А. Науменко) .....	198
7.3 Радиационный баланс поверхности Ладожского озера (А.Е. Лапенков, М.А. Науменко) .....	204
7.4 Климатические соотношения между температурой воздуха и температурами воды различных лимнических районов Ладожского озера (М.А. Науменко, В.В. Гузиватый) .....	208
7.5 Особенности климатических соотношений температуры поверхности воды и приводного слоя воздуха в период существования весенней фронтальной зоны (М.А. Науменко) .....	211
7.6 Установление связей между характеристиками весенней термической зоны и внешними воздействиями (С.Г. Каретников, М.А. Науменко) .....	220
7.7 Климатические вариации ледового режима Ладожского озера (М.А. Науменко, С.Г. Каретников) .....	224
7.8 Течения на поверхности Ладожского озера на основе последовательных ИК-спутниковых съемок (В.В. Гузиватый, М.А. Науменко) .....	232
<b>Глава 8. Гидрохимический режим Ладожского озера и его притоков: многолетняя динамика и современное состояние .....</b>	<b>244</b>
8.1 Основной ионный состав воды и электропроводность (М.А. Гусева, Н.В. Игнатьева) .....	247
8.2 Кислород и водородный показатель (М.А. Гусева, Н.В. Игнатьева) .....	251
8.3 Органическое вещество (Т.Н. Петрова, Н.В. Игнатьева) .....	258
8.4 Биогенные элементы (Т.Н. Петрова, Н.В. Игнатьева) .....	270
8.5 Взвешенные вещества (Т.Н. Петрова, Н.В. Игнатьева) .....	287

<b>Глава 9. Гидробиологический режим Ладожского озера и его притоков под воздействием природных и антропогенных факторов .....</b>	<b>300</b>
9.1 Фитопланктон (Е.В. Протопопова) .....	300
9.2 Перифитон литоральной зоны (А.Г. Русанов) .....	310
9.3 Высшая водная растительность (А.Г. Русанов) .....	316
9.4 Бактериопланктон (Л.Л. Капустина, Г.Г. Митрукова) .....	323
9.5 Водные грибы (И.В. Иофина) .....	336
9.6 Зоопланктон (Н.В. Родионова, А.К. Ляховская) .....	342
9.7 Макрозообентос (М.А. Барбашова) .....	353
9.8 Мейзообентос (Д.С. Дудакова, Е.А. Курашов) .....	361
9.9 Развитие инвазионного процесса в условиях изменяющегося климата (Е.А. Курашов, М.А. Барбашова, Д.С. Дудакова, А.Г. Русанов, М.С. Трифонова, Н.В. Родионова, М.О. Дудаков, А.К. Ляховская) .....	374
9.10 Современное состояние рыбных запасов Ладожского озера и их использование (А.Г. Леонов, А.С. Шурухин) .....	394
<b>Глава 10. Современные специфические аспекты антропогенного воздействия на Ладожское озеро .....</b>	<b>421</b>
10.1 Загрязнение искусственными полимерами на примере частиц микропластика (Ш.Р. Поздняков, Е.В. Иванова, А.В. Гузева, Д.А. Тихонова, С.Г. Каретников, А.Е. Лапенков) .....	421
10.2 Закономерности формирования низкомолекулярного метаболома макрофитов (Е.А. Курашов, Ю.В. Крылова, А.Г. Русанов, Е.Я. Явид, В.В. Ходонович) .....	425
10.3 Токсикологическая характеристика среды обитания биологических ресурсов в Ладожском озере (Ю.В. Крылова, Е.С. Светашова, А.М. Пономаренко, С.Б. Екимова, Е.А. Курашов, М.А. Синякова, Г.Ф. Ляшенко, Е.В. Колосовская, Н.М. Аршаница, Е.М. Фисак, В.В. Ходонович, Е.Я. Явид, В.А. Гребенников, А.Ю. Романов) .....	432
10.4 Воспроизводство рыб и беспозвоночных в условиях загрязнения озера (Е.А. Курашов, Н.М. Аршаница, А.А. Стекольников, М.А. Барбашова, М.Р. Гребцов) .....	439
10.5 Тяжёлые металлы в промысловых видах рыб Ладожского озера (Е.С. Светашова, С.Б. Екимова, Ю.В. Крылова) .....	446
10.6 Состояние популяции ладожской кольчатой нерпы (В.И. Уличев, Д.С. Дудакова, М.О. Дудаков, И.С. Труханова) .....	451
<b>Глава 11. Водная система Валаамского архипелага .....</b>	<b>457</b>
11.1 Прибрежная зона Ладожского озера (А.Б. Степанова, Е.Ю. Воякина, Н.В. Зуева, А.В. Бабин, А.Е. Лапенков) .....	459
11.2 Внутренние озера, связанные с Ладогой (А.Б. Степанова, Е.Ю. Воякина, Н.В. Зуева, А.Ю. Куличенко, А.Н. Чернышев) .....	471
11.3 Малые лесные озера (А.Б. Степанова, Е.Ю. Воякина, Н.В. Зуева, А.Ю. Куличенко, А.В. Бабин) .....	477
<b>Глава 12. Математическое моделирование как инструмент оценки влияния хозяйственных и климатических факторов на озеро и прогноза их последствий .....</b>	<b>485</b>
12.1 Особенности моделирования экосистемы Ладожского озера на начальных этапах развития исследований (Н.Н. Филатов, В.В. Меншуткин) .....	485

12.2 Разработка новых моделей термогидродинамики и экосистемы Ладожского озера (Н.Н. Филатов) .....	491
12.3 Моделирование термогидродинамических процессов и экосистем Ладожского и Онежского озер на основе 3D-модели гидродинамики внутреннего моря – МГВМ (С.Д. Голосов, И.С. Зверев, Е.А. Шипунова) .....	493
12.4 Диагноз состояния экосистемы Ладожского озера и прогноз изменений при возможном изменении климата на основе математического моделирования биогеохимических потоков вещества (А.В. Исаев, О.П. Савчук, Н.Н. Филатов) .....	501
12.5 Применение математического аппарата клеточных автоматов при моделировании экосистемы Ладожского озера (В.В. Менишуткин) .....	503
<b>Глава 13. Основные современные проблемы Ладоги и методы их решения .....</b>	<b>514</b>
13.1 Зоны накопленного риска, сформированные на водосборе Ладожского озера в результате нерациональной сельскохозяйственной деятельности (А.Ю. Брюханов, Н.С. Обломкова) .....	514
13.2 Отходы потребления и производства как фактор антропогенного воздействия на водосбор Ладожского оз. (В.В. Кулибаба) .....	520
13.3 Загрязнение мелководного донного ландшафта твердыми бытовыми отходами (Д.С. Дудакова, В.М. Анохин, М.О. Дудаков) .....	529
13.4 Зоны экологического риска, выявленные на основе гидробиологических и гидрохимических показателей (С.А. Кондратьев) ..	533
<b>Глава 14. Современное состояние и совершенствование системы мониторинга Ладожского озера (В.А. Румянцев, Н.Н. Филатов, С.А. Кондратьев) .....</b>	<b>540</b>
<b>Заключение .....</b>	<b>559</b>
<b>Список использованных источников .....</b>	<b>573</b>