РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И ИЗМЕНЕНИЙ ЭКОЛОГО-СОЦИО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВОДОЕМ-ВОДОСБОР

чл.-корр. РАН Филатов Н.Н.

ИВПС КарНЦ РАН, Петрозаводск

ИО РАН, Санкт-Петербург

Восьмой объединенный Всероссийский метеорологический и гидрологический съезд

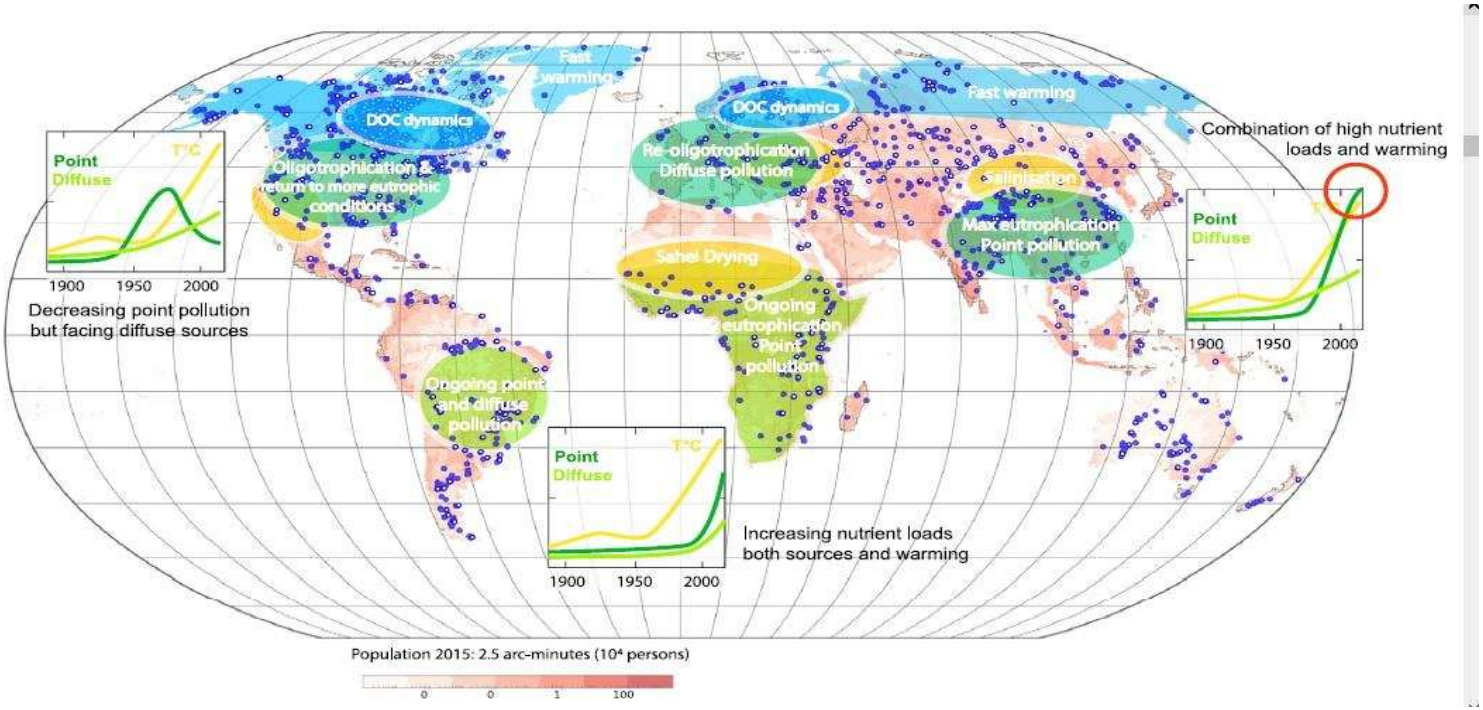
Санкт-Петербург 29-31 октября 2024 года

Соавторы работы

В. Н. Баклагин - Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
А.В. Исаев - СПб Институт океанологии РАН,
Галахина Н.Е. - Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
Зобков М.Б. - Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
Калинкина Н.М. - Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН
С.А. Кондратьев – ИНОЗ РАН, ФИЦ СПб РАН,
Расулова А.М. – ИНОЗ РАН, ФИЦ СПб РАН,
Дружинин П.В. – ИЭ КарНЦ РАН,
Морошкина А.В. – ИЭ КарНЦ РАН,
Меншуткин В.В.- ИПРЭ РАН,
Савчук О.П. - Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН.

О СОВРЕМЕННОМ СОСТОЯНИИ БОЛЬШИХ ОЗЕР МИРА

В аналитическом обзоре (*Jenny et al, 2020*) отмечается, что продолжается деградация озер мира. Точечное и диффузное биогенное загрязнения, эвтрофирование, климатические изменения не смотря на беспрецендентные меры по охране и восстановлению озер за последние 30 лет



Отмечается, что одной из важных причин является не разработанность систем управления ресурсами.

Jenny J.-Ph., AnnevilleO., Arnaud F. et al. Scientists' warning to humanity: Rapid degradation of the world's large lakes // J. Great Lakes Res. 2020. Vol. 46, iss. 4. P. 686–702. doi: 10.1016/j.jglr.2020.05.006)

ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОЗЕР:

Эвтрофирование и загрязнение, закисление, ухудшение качества вод, сокращение эндемичных видов, потеря биоразнообразия, вторичное загрязнение, вселенцы, медицинские препараты, микропастик, нано взвеси, потепление климата, не разработанность систем поддержки принятия решений, управление ресурсами озер.

КЛЮЧЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ КРУПНЫХ ОЗЕР РОССИИ

Байкал - Эвтрофикация и *загрязнение* прибрежной зоны, рост водорослей *Spirogyra,* из-за не эффективной работы КОСов, не решенные проблемы регулирования уровня воды для разных пользователей из-за отсутствие системы поддержки принятия управленческих решений и.

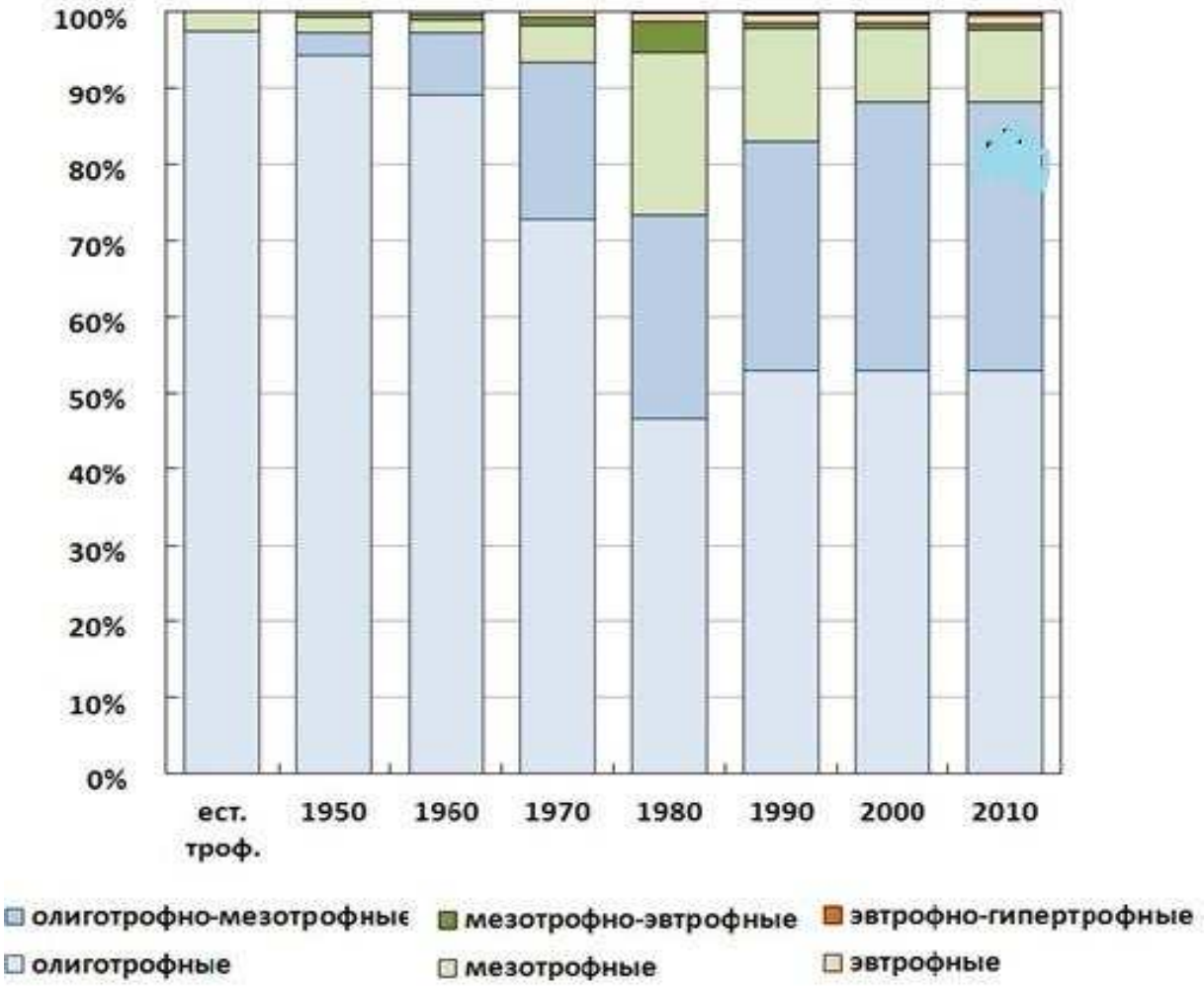
Ладожское и Онежское – Медленное восстановление экосистем озер при резком уменьшении антропогенного влияния после 1991 г. и при заметном потеплении климата. Возросла роль потепления климата , аквакультуры, вселенцев, микрополастика.

Каспий - Не решены проблемы прогнозирования уровня воды, что вызывает трудности долгосрочного планирования экономической деятельности. С 1996 г. по наст. время резкое падение уровня Каспия. Не решенные проблемы формирования общей БД странами.

Озерные регионы России. В России около 3 млн. озер

Filatov N.. T. Gronskaya Lakes of Russia / N. Filatov // Encyclopedia of Lakes and Reservoirs. Eds. Lars Bengtsson, Reginald W. Herschy and Rhodes W. Fairbridge. Springer Dordrecht. Heidelberg, New York, London, 2012. p.429-432.

Динамика изменения трофического статуса крупнейших пресноводных озер Российской Федерации 1940-2020 гг.



Авт. ИНОЗ РАН

АКТУАЛЬНА ПРОБЛЕМА ИЗУЧЕНИЯ СОСТОЯНИЯ И ИЗМЕНЕНИЙ СИСТЕМЫ «Онего- Ладога, -Нева-Неская Губа»

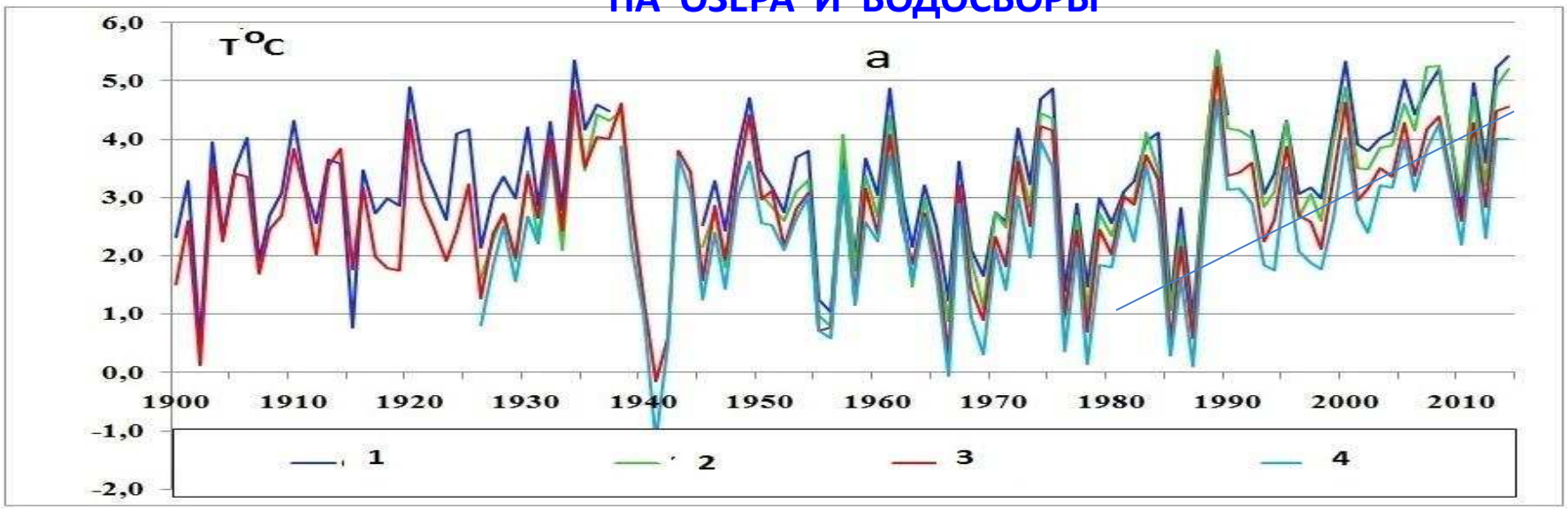
Gmelinoides fasciatus

Каналы, системы/ коридоры вторжения (расширение радиуса действия)
преднамеренная интродукция / зарыбление
непреднамеренное введение

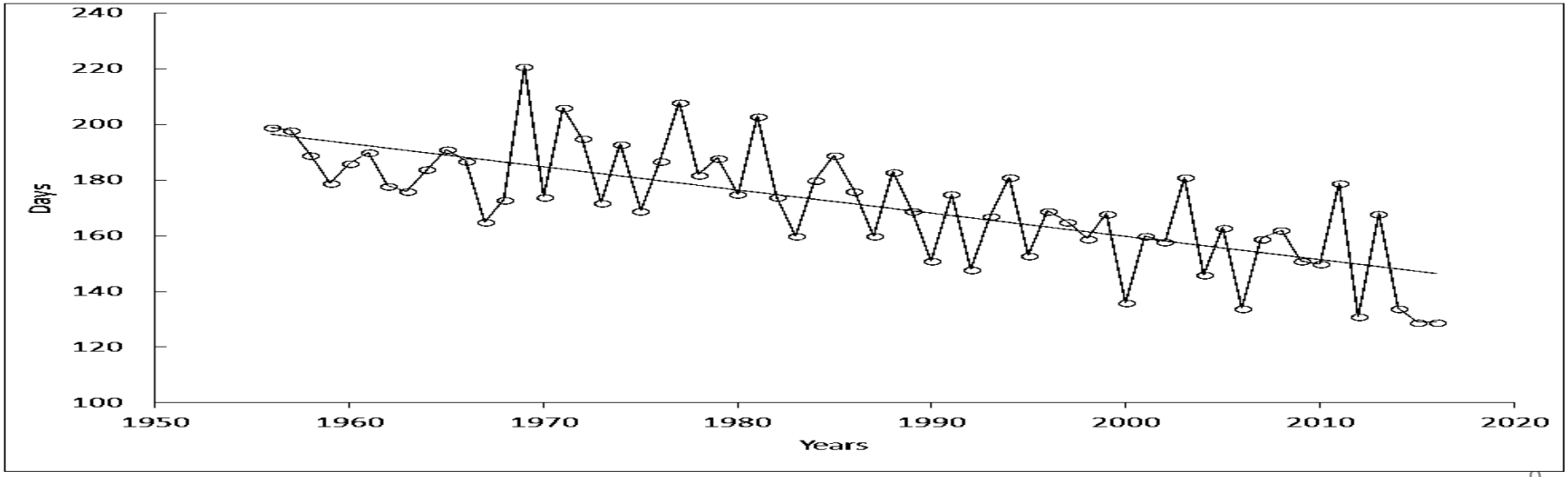
90 лет назад миллионы особей *Gmelinoides fasciatus* были искусственно интродуцированы в верхнюю Волгу (их перевозили самолетами). Цель внедрения – улучшение кормовой базы рыб.

Калинкина и др., 2018

ПРОБЛЕМА: ГЛОБАЛЬНОЕ И РЕГИОНАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА И ВЛИЯНИЕ НА ОЗЕРА И ВОДОСБОРЫ

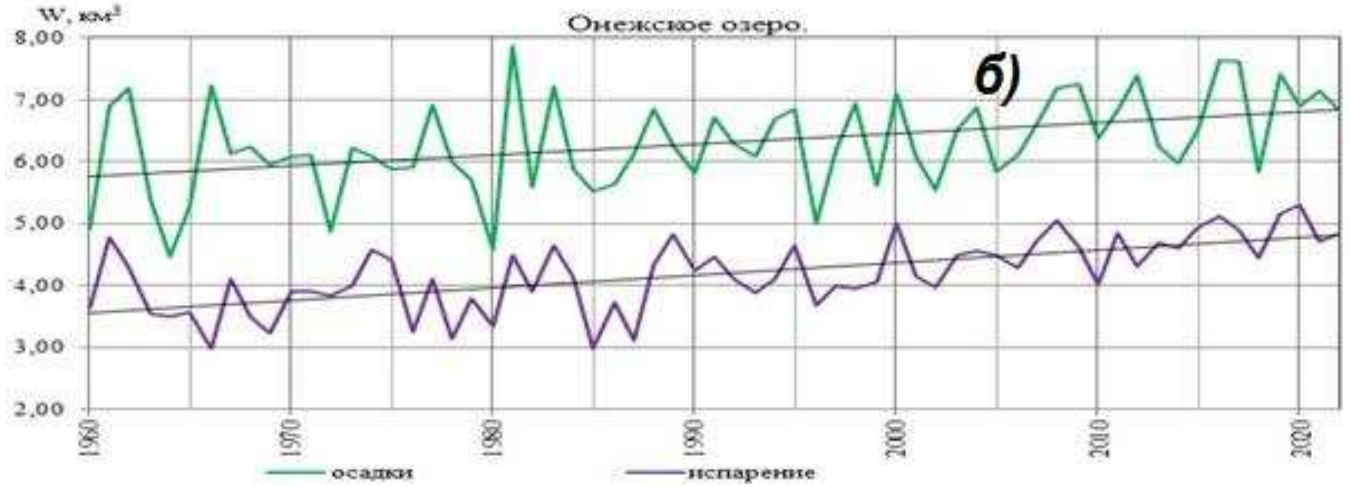


Среднегодовая температура воздуха на водосборе Ладожского озера на метеостанциях (мс): Сортавала (1), Олонец (2) и Онежского озера МС: Петрозаводск (3), Пудож (4). С 1900 по 2022 г.



ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПЕРИОДА С ЛЕДЯНЫМ ПОКРОВОМ (В ДНЯХ) НА ОНЕГО

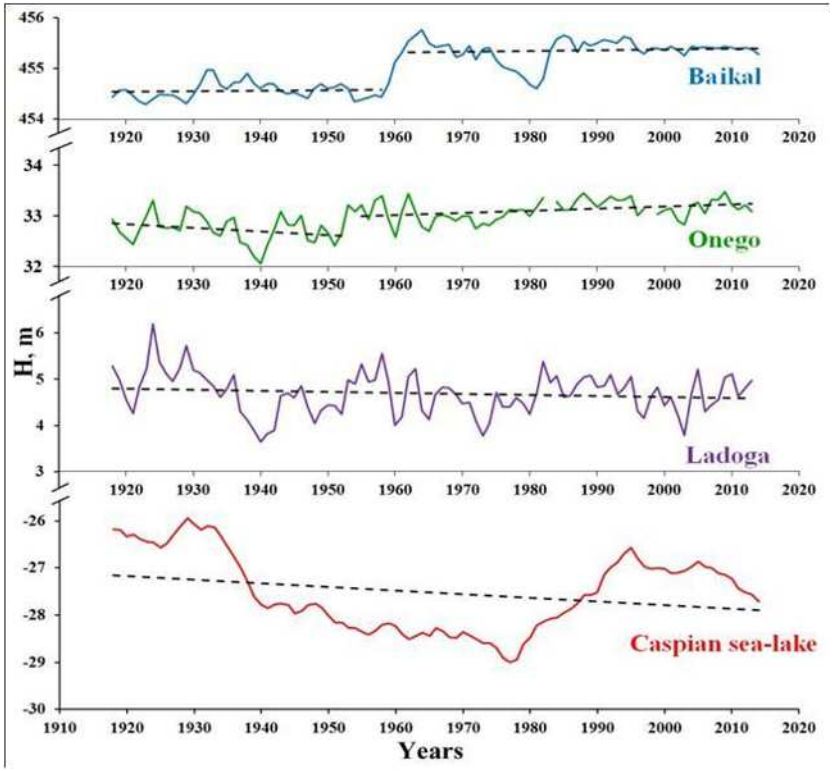
Дана оценка изменений климата и элементов водного баланса Онежского озера за длительный период



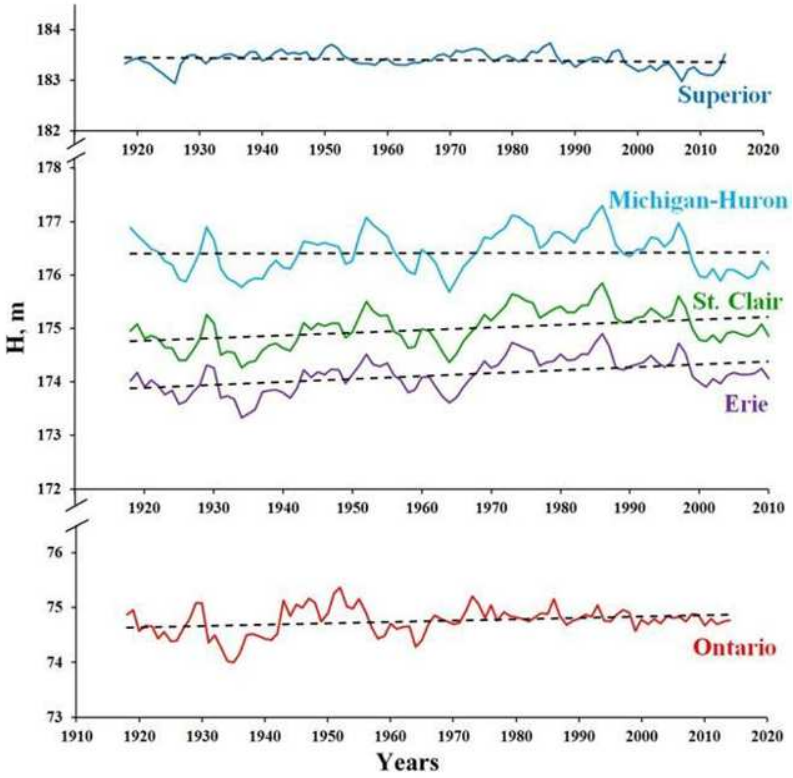
Анализ временных рядов уровня и элементов водного баланса не выявил глобальный сигнал во внутривековых изменениях

Не наблюдается заметной синхронности в колебаниях уровня воды Великие озера Америки и Евразии, что не позволяет использовать удаленные связи для прогноза.

Великие озера Евразии

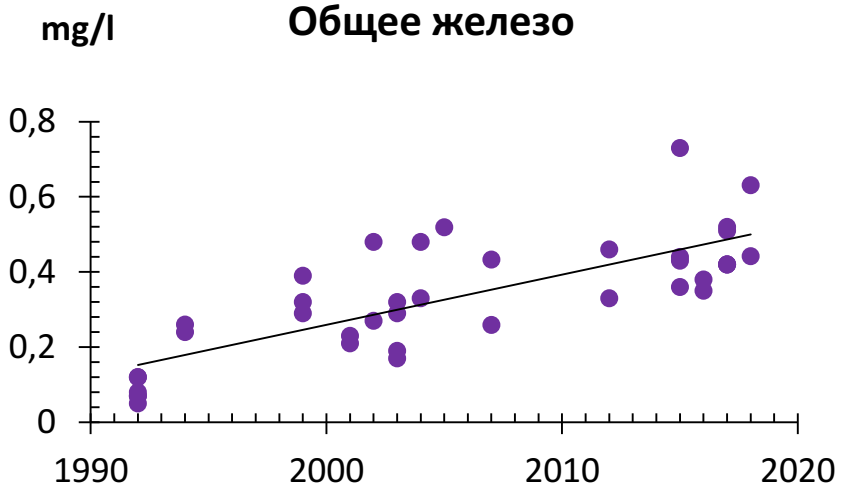


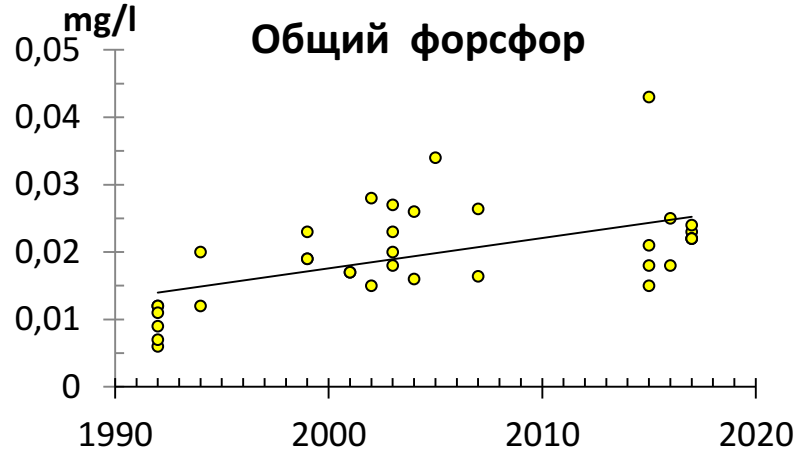
Великие американские озера

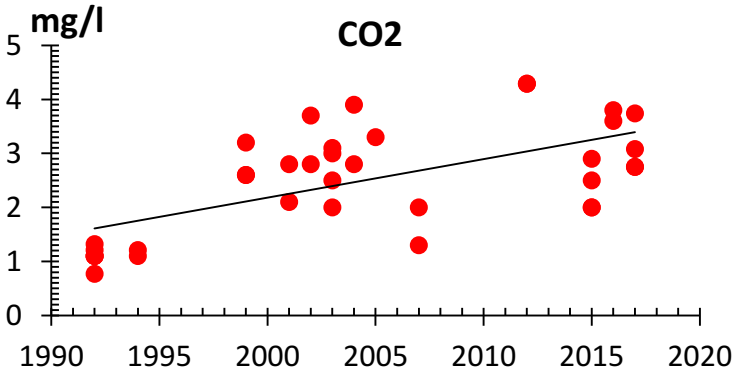


Filatov N. N. The modern state and perspective investigations of hydrophysical processes and ecosystems of inland waters (a review). 2019, 12, 1, 3-14. doi: 10.7868/S2073667319010015

ПРОБЛЕМА БРАУНИФИКАЦИИ (ПОКОРИЧНЕВЕНИЯ) ВОД





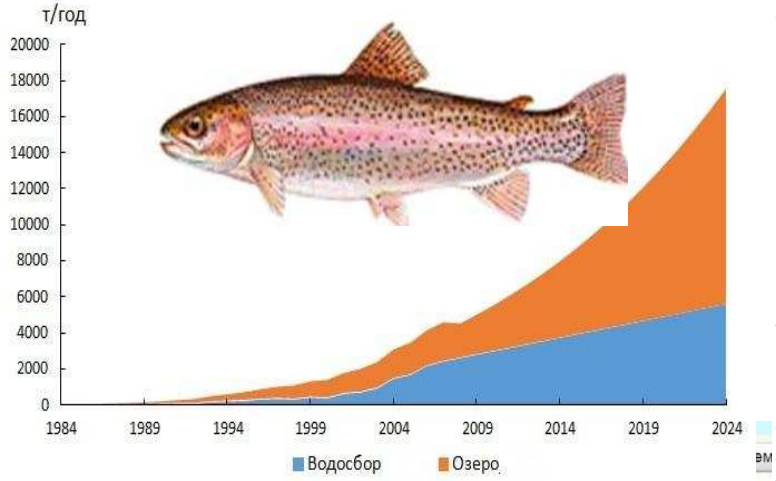


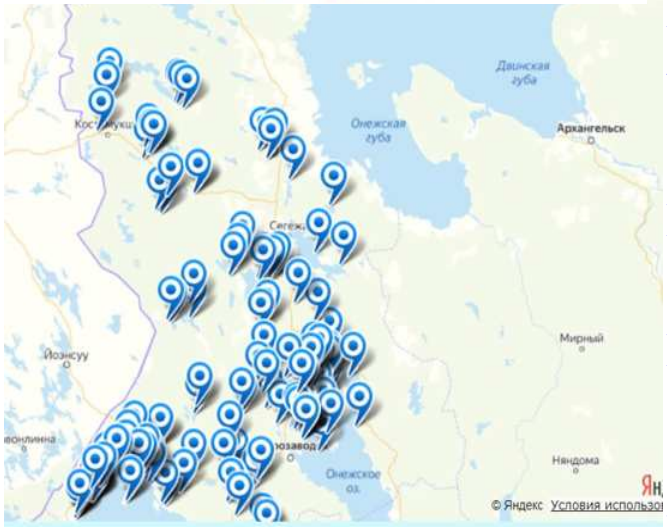
Многолетняя динамика химического состава: железа, фосфора и углекислого газа в эпилимнионе Петрозаводской губы Онежского озера в весенний период/основная проблема – браунификация вод

Kalinkina N.M., Tekanova E.V., Sabylina A.V., Ryzhakov A.V.. Changes in the hydrochemical regime of Onego Lake since the early 1990s. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya [Proceedings of the RAS. Geographical Series]. 2019. N 1. PP. 62–72. DOI: 10.31857/S2587-55662019162-72

Pasche N., Sobek S., Schubert C. J., Müller B., Hofmann H., Lozovik P. A. Carbon cycling and carbon dioxide dynamics during ice-cover period in great Lake Onego, Russia // 33rd SIL Congress. July 31, 2016 – August 5, 2016. Torino, Italy. Book of Abstracts. PP. 86-87.

Важный фактор воздействия на озерные системы – форелевые хозяйства.
В Карелии выращивается более 70 % российской форели!
А территория составляет всего 1 % РФ.





По данным за 2020 г., в Карелии функционирует более 70 форелевых хозяйств; производится ок. 30 000 тонн продукции в год. По данным ИБ КарНЦ РАН в некоторых озерах с товарным выращиванием радужной форели выявлены структурные перестройки альгофлоры, зоопланктона, бентоса и ихтиофауны (Стерлигова и др., 2018).

Планы выращивания к 2025 -2030 г. на водоемах Карелии до 60 тысяч тонн форели в год, что значительно превосходит предельные

(https://gov.karelia.ru/power/executive/msx/).

Важно дать научную оценку допустимого развития аквакультуры.

Возможные пути решения проблемы влияния форелевых хозяйств на озера - перенос на Белое море как в Скандинавских странах, Канаде и др.

https://gov.karelia.ru/power/executive/msx/).

НЕКТОРЫЕ АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ, КОТОРЫЕ ТРЕБУЕТСЯ РЕШИТЬ ДЛЯ ОЗЕР РОССИИ

- Проблема эвтрофикации озер (Байкал, Ладога, Онего и др.).

- Необходимо рассматривать современное озероведение как науку о сложных эколого-социо-экономических системах озеро-водосбор

- Оценить ассимиляционный потенциал (по Эрроу), допустимую антропогенную нагрузка на озера. Определить "стоимость " озерных ресурсов в национальном богатстве России.

- Определить вклад потепления климата и антропогенных факторов в изменение озерных экосистем.

- Оценить роль вселенцев и влияние аквахозяйств на озерные экосистемы.

- Создать интегрированные системы управления водопользованием крупных озер.

Задачи, поставленные Президентом РФ В.В. Путиным на заседании Совета Безопасности РФ от 20.11. 2013 г. и в Указе Президента РФ от 7 мая 2018 года «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

- «.. ***необходимо обеспечить решение задач по сохранению уникальных водных объектов, в том числе по сохранению озера Байкал, а также выполнить ряд мероприятий по берегам и прибрежной акватории озер Байкал, Телецкое, Ладожское, Онежское и рек Волга, Дон, Обь, Енисей, Амур, Урал, Печора.»***

Цели и задачи:

- **Разработать ИАС как основной инструмент для широкого круга диагностических и прогностических задач, решения прикладных задач, изучения долгосрочной крупномасштабной эволюции экосистем при различных сценариях изменения климата и социально -экономического развития.**
- **Создать необходимую информационную основу.**
- **Выполнить анализ имеющегося комплекса данных о состоянии и изменениях озера и водосбора.**
- **Провести необходимые натурные эксперименты для калибрации, верификации моделей.**
- **Разработать, применить комплекс моделей для озера и водосбора Онежского озера, включая расчеты стока и поступления биогенных элементов в современный период (Кондратьев, и др., 2024).**
- **Разработать 3-D высокоразрешающую эко-гидродинамическую модель экосистемы Онежского, на основе которой описываются биогеохимические циклы азота и фосфора, позволяющей проводить модельные оценки современного состояния и прогнозировать будущее состояние Онежского озера для необходимых оценок принятия решений (Филатов и др. 2024; Исаев , 2024).**

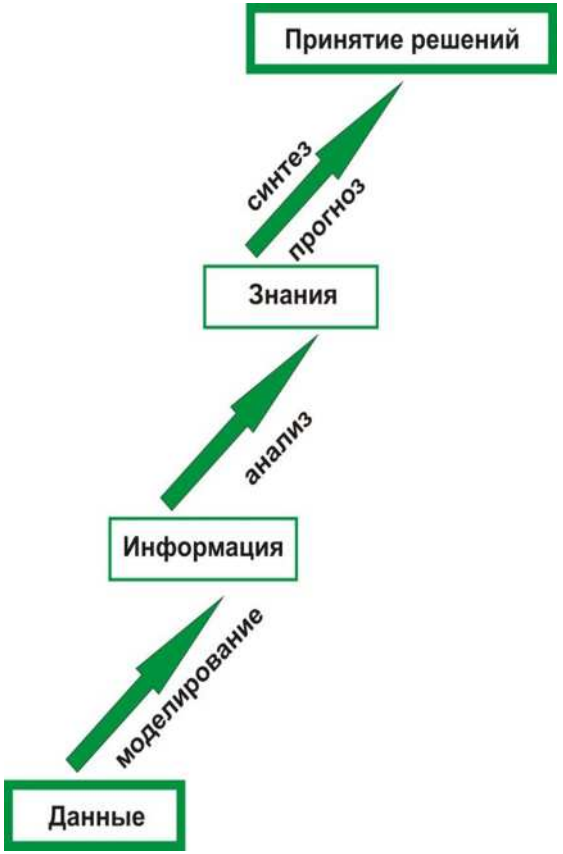
ОТ ДАННЫХ ДО РЕКОМЕНЛАЦИЙ ПО ПРИНЯТИЮ РЕШЕНИЙ

Экосистемы озер не является полностью наблюдаемой системой, поэтому только по данным наблюдений не возможно разработать прогноз изменений экосистем под влиянием комплекса факторов.

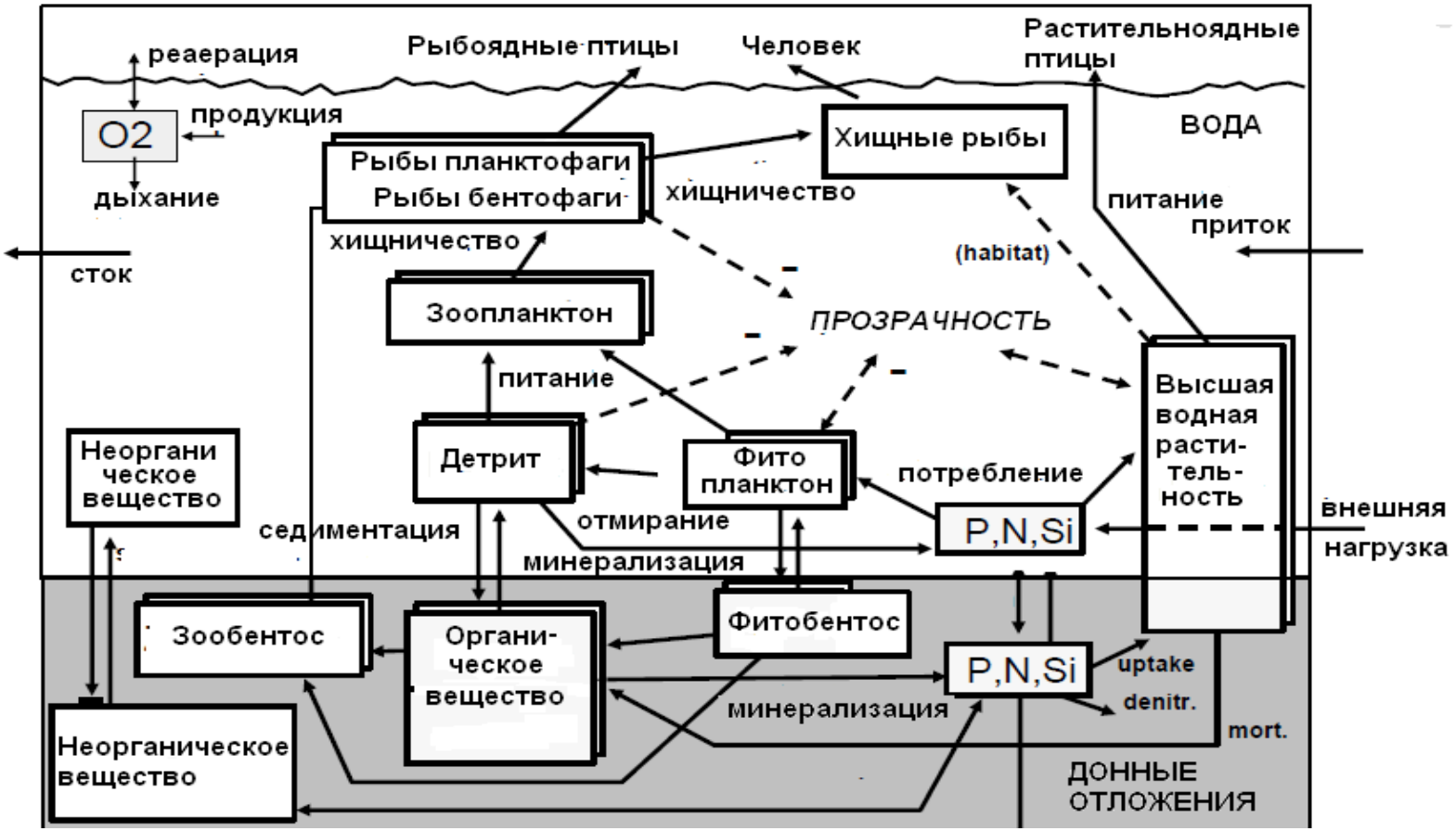
Требуется разработка моделей озеро–водосбор, которых в России не достаточно (см. созданные: Руховец, Меншуткин и др., 2014; Савчук, Исаев, 2022;2024), Кондратьев, Шмакова, 2019,) которые опирались бы на качественные данные.

Создаваемые модели экосистем опираются на законы сохранения вещества и энергии в водной экосистеме.

Модели - это основа научного обеспечения управления качеством водных ресурсов, на основе нормативов допустимых сбросов и допустимого воздействия (Болгов, 2015; Меншуткин, Руховец, 2014).



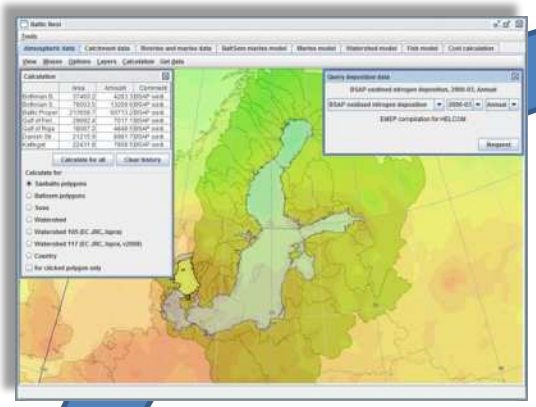
СЛОЖНАЯ СТРУКТУРА ЭКОСИСТЕМ ОЗЕР ПОТРЕБОВАЛА НЕОБХОДИМОСТЬ ВНЕДРЕНИИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА с ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И ПОЛЕВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ДЛЯ ТОГО, ЧТОБЫ СОЗДАТЬ СИСТЕМУ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

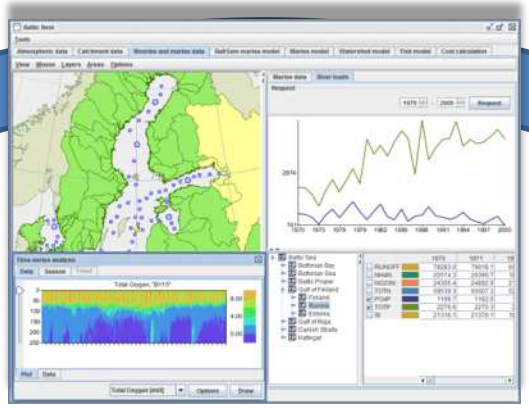


Пример блок-схемы модели экосистемы крупного озера
В.В. Меншуткин и др. 2014.

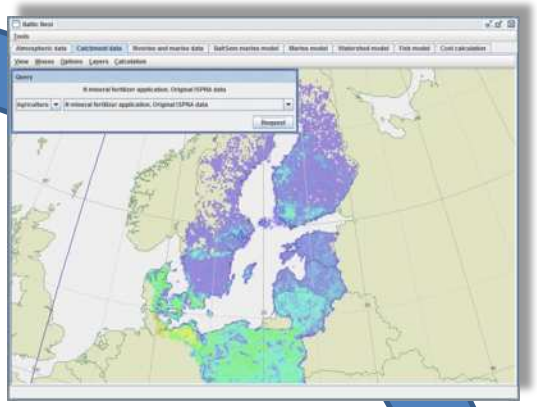
Riverine and marine data

Atmospheric emissions and loads

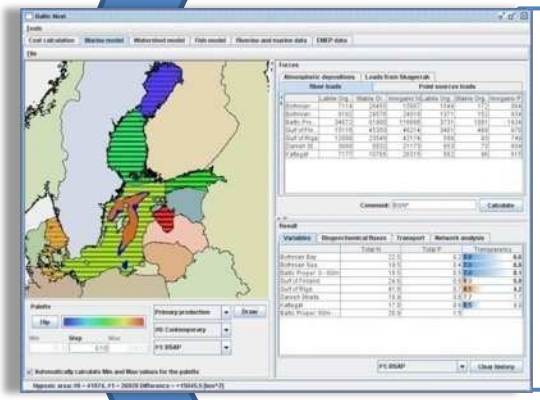




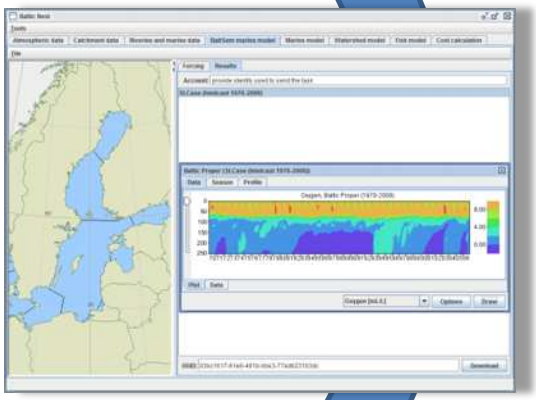
Catchment agriculture data



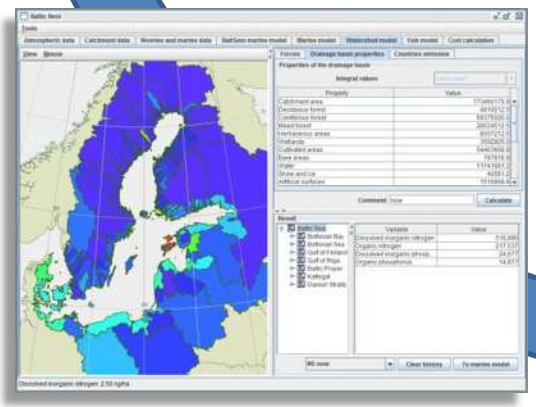
Marine model SANBALTS



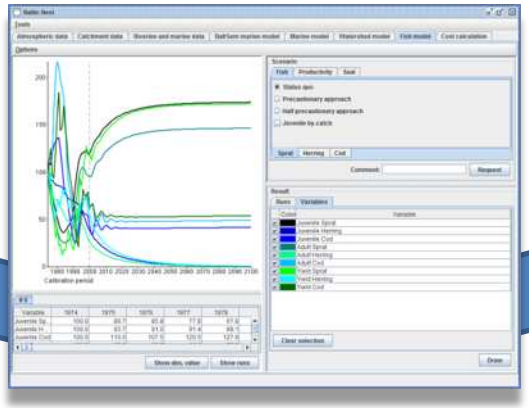
Baltic Nest (http://nest.su.se/nest)
Decision Support System linking through data and models the entire Baltic Sea Region from watershed to offshore ecosystems/
14 States situated around of the Baltic Sea apply this Ssystem



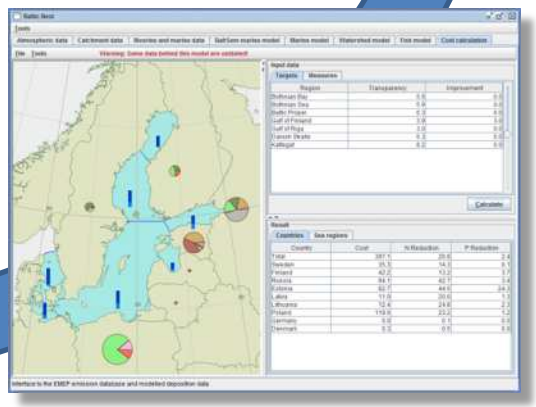
Marine model BALTSEM



Catchment model



Fishery management model



Cost minimization model

СТРУКТУРА СОЗДАВАЕМОЙ ИАС ДЛЯ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА И ВОДОСБОРА

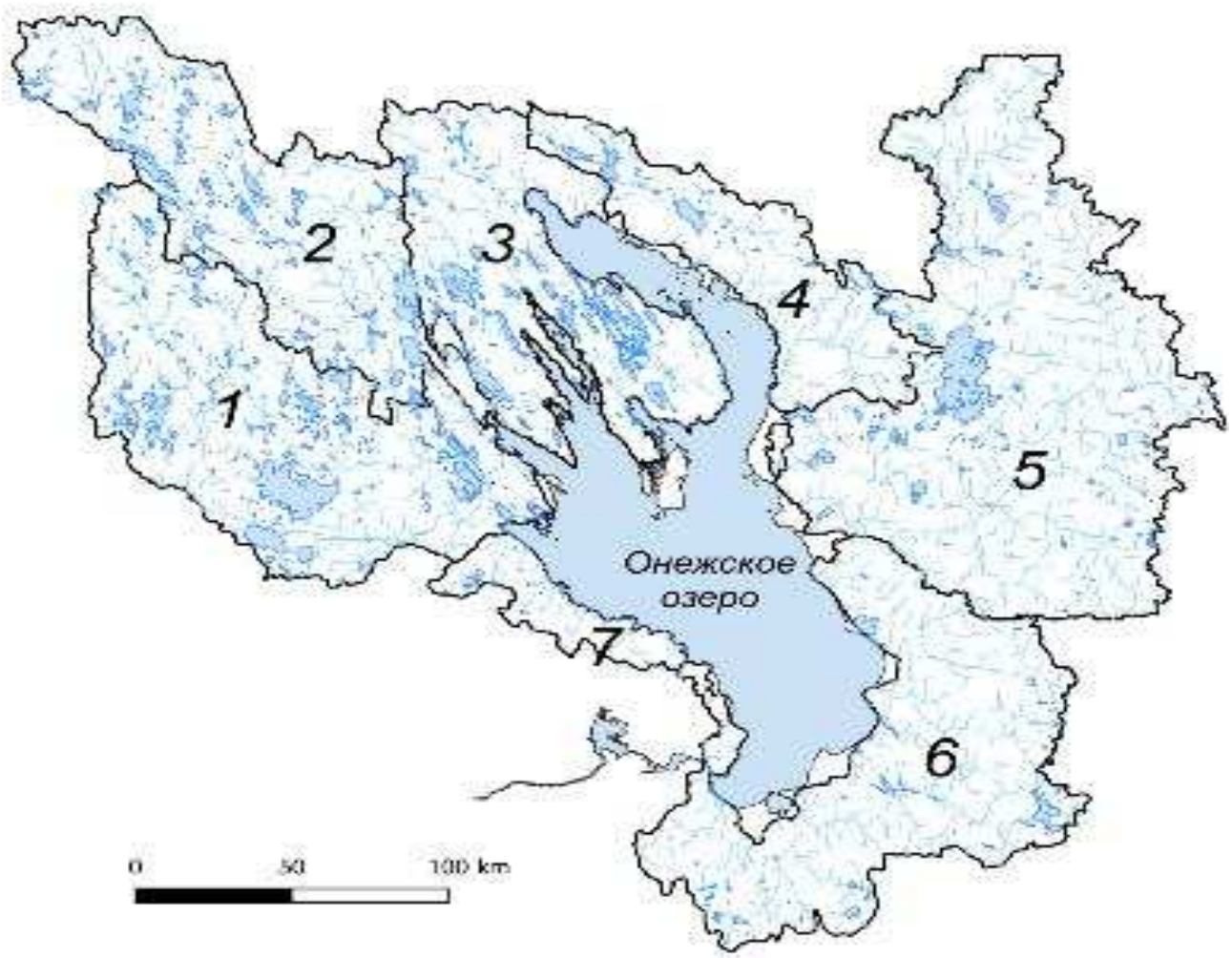
- **ИАС с элементами ГИС в виде интерактивного приложения. ИАС дает возможность выполнять вероятностный анализ данных, устанавливать закономерности их сезонной и межгодовой изменчивости.**

Исходя из требуемого функционала, разрабатываемая система одновременно сочетает в себе два класса информационных систем – транзакционный (детализированные данные) и аналитический (обобщенные данные). Кроме того, в ИАС реализована возможность обработки и визуализации геокодированной информации.

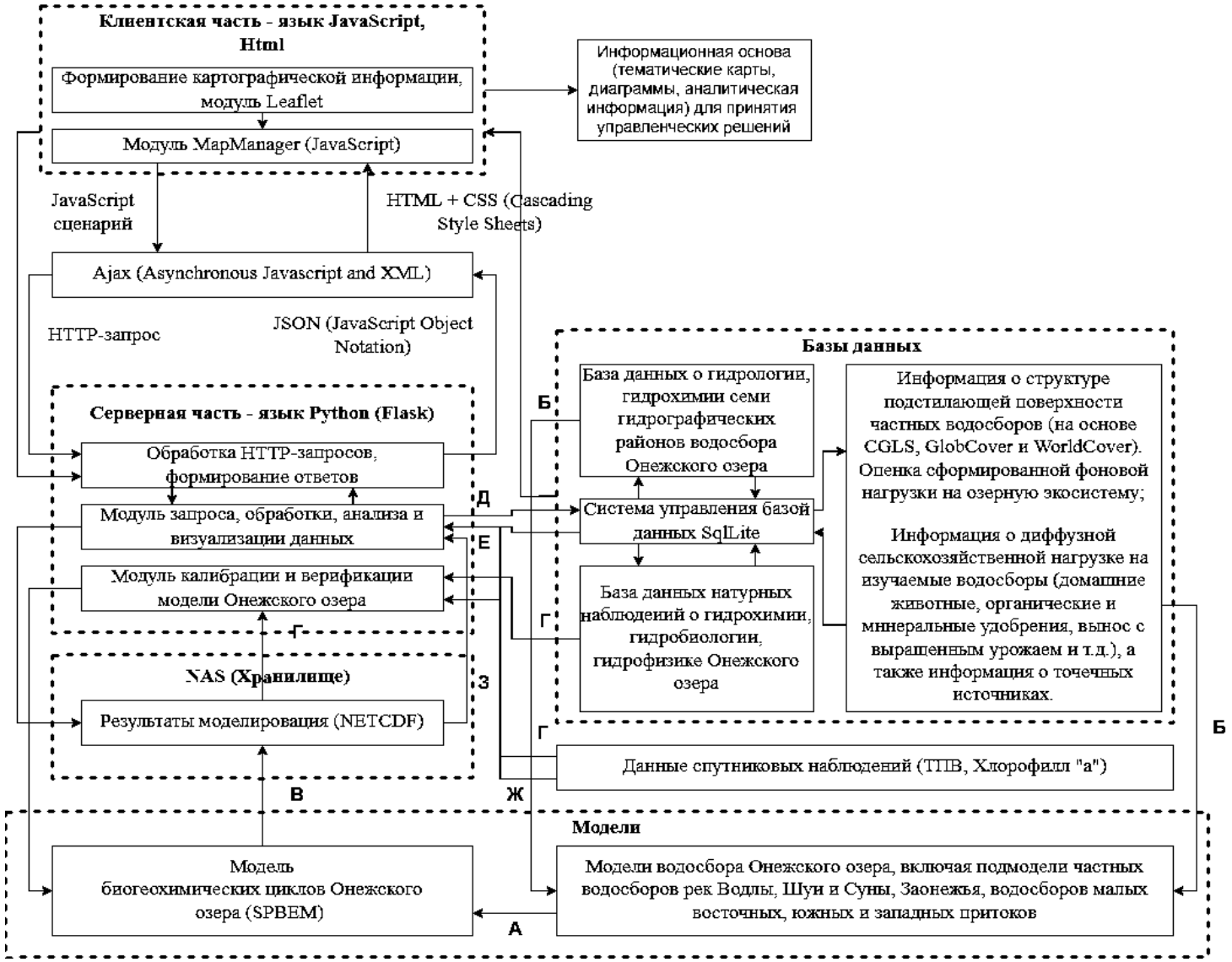
Программная основа ИАС реализована на платформе ADO.NET EDM с использованием подхода ModelFirst и расширенного функционала визуализации основных полей экосистемы, результатов моделирования на сетке 1000 м. (В.Н.Баклагин, 2023, 2024).

ИАС с элементами ГИС в виде интерактивного веб-приложения для ПК, рассчитанного на широкий круг пользователей. Прототип ИАС имеет расширенный функционал для сравнительного анализа расчетных и наблюденных данных, для формирования картографической и обобщающей информации на основе прогностических расчетов биогеохимических циклов на Онежском озере, который позволяет создавать информационную основу для формирования управленческих решений в сфере рационального управления водными ресурсами Онежского озера.

Гидрографическая структура бассейна Онежского озера: водосборы рек Шуи (1) и Суны (2), Заонежье (3), водосборы восточных притоков (4), реки Водлы (5), южных (6) и западных притоков (7)



Блок-схема программной реализации ИАС «Онежское озеро и водосбор»



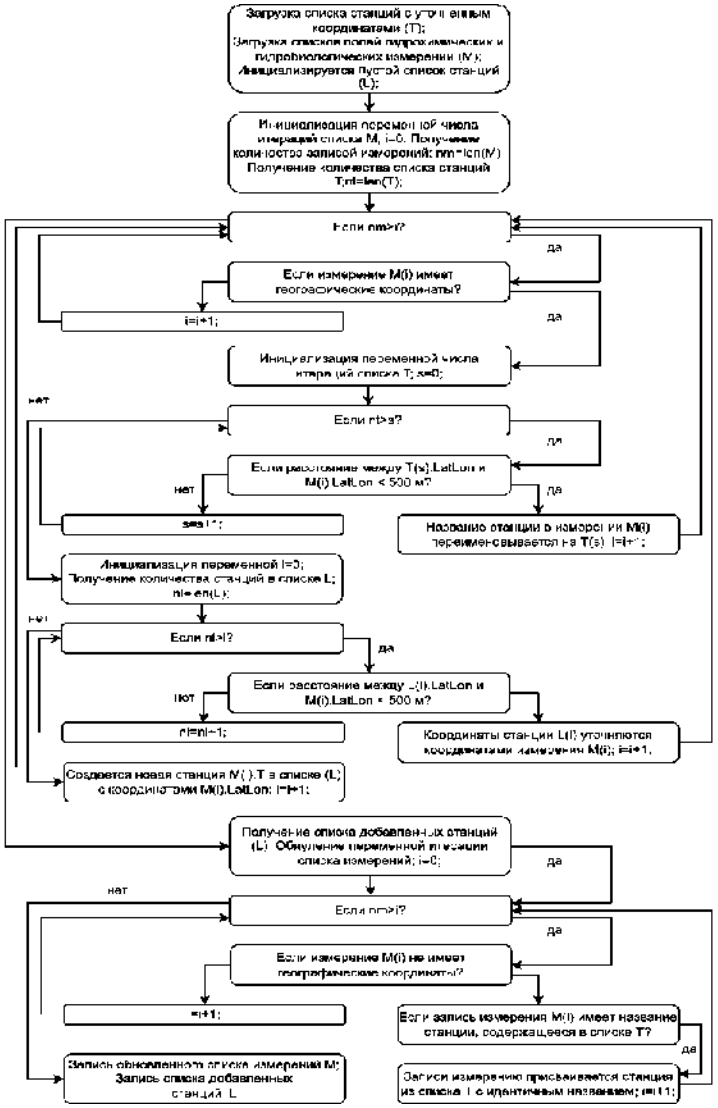
Для ИАС «Онежское озеро –водосбор» создана единая информационная база данных

- Разработаны требования, предъявляемые к единой базе данных гидрологических, гидробиологических и гидрохимических измерений: комплексность и систематичность наблюдений гидрофизических, гидрохимических, гидрологических, гидробиологических характеристик, а также сведений о донных отложениях.
- Сформирована единая сеть станций с их географической привязкой;
- Приведены данных к единому формату размерностей;
- Сформирован банк данных спутниковых наблюдений за ледовыми явлениями, ТПВ, хлорофиллом «а» .
- Разработана централизованная реляционная база данных с удаленным (сетевым) доступом, которая включает в себя сведения о многолетних наблюдениях химико-биологических, морфометрических и гидрологических характеристик, полученные в результате полевых и экспедиционных работ лабораториями гидробиологии, гидрофизики, гидрохимии ИВПС КарНЦ РАН на акватории Онежского озера за период 1964-2022 гг.
- Программная реализация СУБД базы данных и размещение ее на сервере ИВПС КарНЦ РАН.

Формирование массивов входной информации для модели экосистемы Онежского озера (Баклагин В.Н., и др.)

Выполнено формирование массивов входной информации, на основе единой сети станций отбора проб, решена задача обработки неравномерно распределенных в пространстве натурных для калибарции, верификации модели экосистемы и для ИАС.

Впервые для крупнейших озер России на примере Онежского озера создана объединенная база данных гидрологических, химимко-биологических данных воды и донных отложений (Баклагин,2023).



Пример создания единой информационной основы по содержанию $P_{общ}$ в воде Онежского озера по данным ИВПС КарНЦ РАН и Росгидромета. 1995-2022 г

В 2023 г. собраны, обобщены и сравнивались данные для получения надежных сведений по поступлению биогенных веществ в озера для использования их при моделировании экосистемы озера с 1984-2022 гг.

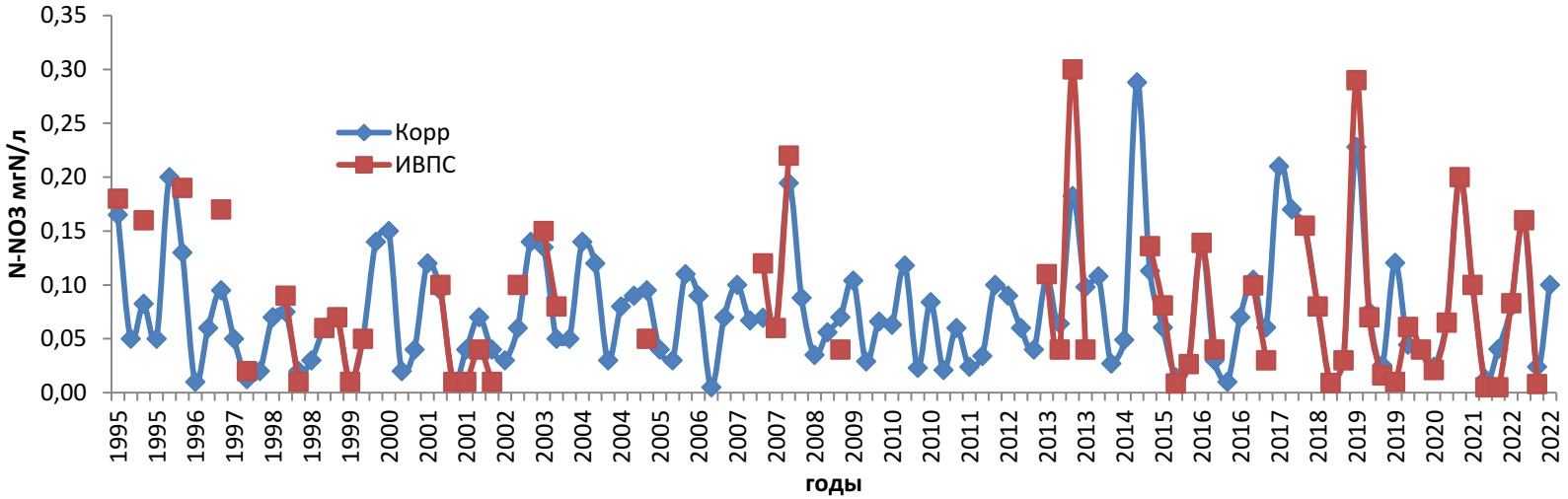
Проблемы:

- **Изменение нормативных документов методики определения $P_{общ}$ по РД менялись метрологические характеристики, что отразилось на данных предоставленных Росгидрометом.**
- **Разные пределы обнаружения $P_{общ}$ – 20-40 мкг/л в Росгидромете И в научных исследованиях ИВПС, где используют предел обнаружения $P_{общ}$ – 2 мкг/л.**
- **Измерения ИВПС КарНЦ РАН проводились, как правило, посезонно, иногда помесячно, Росгидрометом – ежеквартально (с зимы 1995 по осень 2022 гг.).**
- **Даты и место отбора проб воды, т.к. содержание $P_{общ}$ может варьировать в зависимости от времени прохождения гидрологических фаз.**

Нерешенная в масштабах России проблема БД по основным элементам экосистемы для озер, полученные разными ведомствами. Пример –биогенные элементы, первичная продукция планктона

Восстановленный ряд данных содержания $P_{общ}$ в р. Шуя (Онежское озеро) с использованием результатов измерений Росгидромета в сравнении с данными ИВПС КарНЦ РАН

Восстановленный ряд данных содержания NO_3^- в р. Шуя с использованием результатов измерений Росгидромета в сравнении с данными ИВПС КарНЦ РАН



Поставлена задача обосновать современную и возможную в будущем биогенную нагрузку от точечных и диффузных источников, атмосферы, донных отложений на Онежское озеро, с использование разработанных моделей дать прогностические оценки изменения экосистемы озера при разных климатических и социально-экономических сценариях (до 2050-2100 гг.).

Получено:

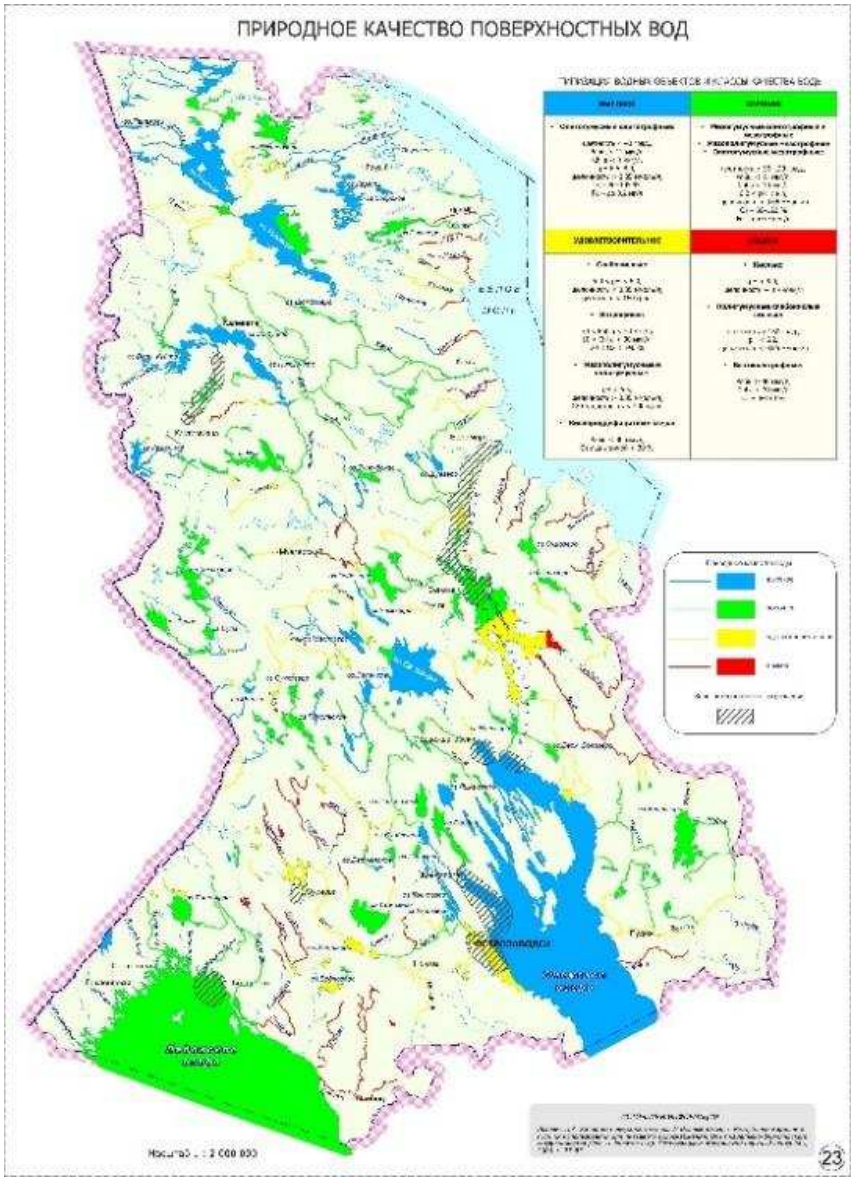
Дано обоснование возможной биогенной нагрузки на Онежское озеро и его водосбор к середине 21 века с учетом двух сценариев изменений климата – RCP 2.6 и RCP 8.5 и с учетом социально-экономической ситуации на водосборе Онежского озера не только с использованием известных сценариев SSP, а на основе оценки социально-экономического развития полученных на основе анализа официальных статистических данных и модельных оценок для 7 наиболее крупных регионов, входящих в водосбор озера. Для этого привлечены эксперты – экономисты ИЭ КарНЦ РАН , хорошо знающие особенности развития региона (П.В.Дружинин).

Изменения средней температуры воздуха на водосборе Онежского озера при разных сценарии RCP (Representative Concentration Pathways) по пятому оценочному докладу МГЭИК (CMIP5)

Сценарий	Концентрация парниковых газов в атмосфере к 2100 г., ‰	Пик выбросов парниковых газов, год	Параметры роста температур, °С			
			на 2046–2065 гг.		на 2081–2100 гг.	
			среднее значение	диапазон	среднее значение	диапазон
RCP2.6	0,421	2010-2020	1,0	0,4 – 1,6	1,0	0,3 – 1,7
RCP4.5	0,538	2040	1,4	0,9 – 2,0	1,8	1,1 – 2,6
RCP6.0	0,670	2080	1,3	0,8 – 1,8	2,2	1,4 – 3,1
RCP 8.5	0,936	После 2100	2,0	1,4 – 2,6	3,7	2,6 – 4,8

Социально-экономическое развитие региона ограничивается лимитом на такие выбросы, обеспечивающим невыход за установленную границу изменений климата.

Создается ИАС на примере Онежского озера и его водосбора. Районы Республики Карелия, входящие в водосбор .

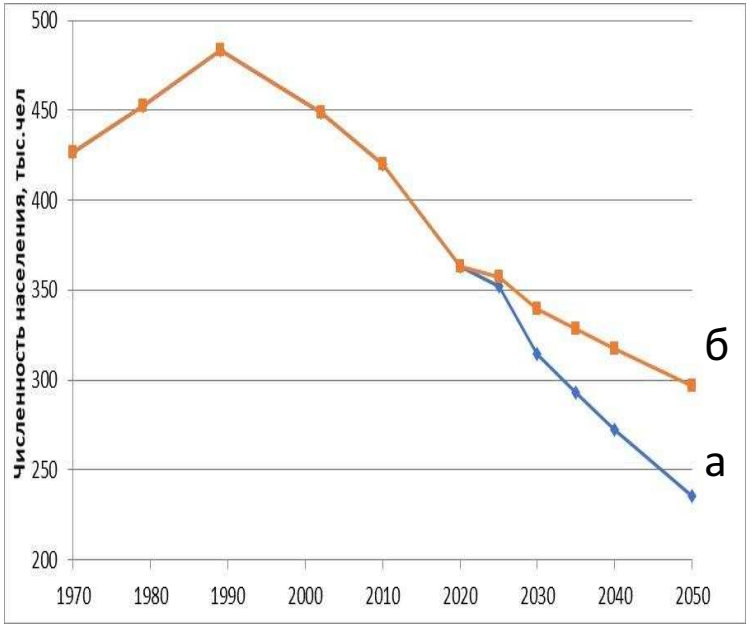


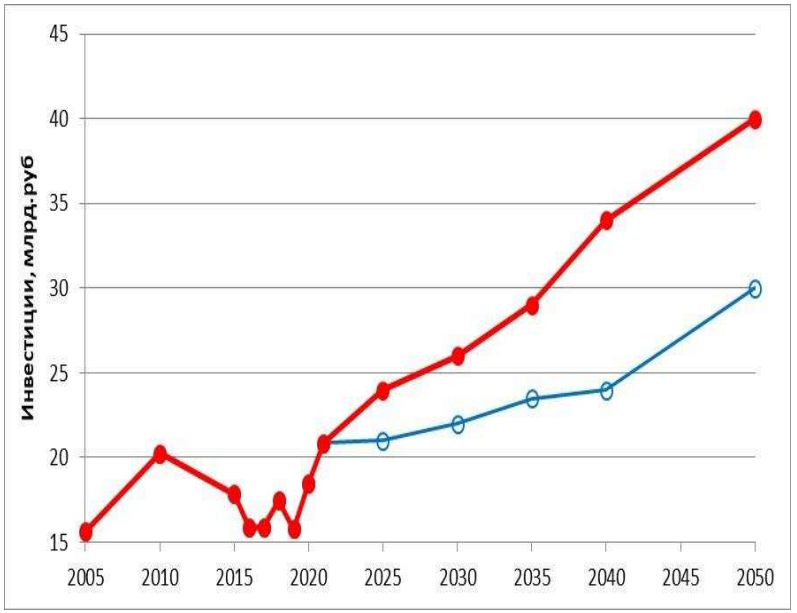
Оценена динамика основных показателей социально-экономического развития семи муниципальных образований водосбора Онежского озера до 2050 г. по инерционному прогнозу, (по отношению к 2020 г.)

Показатели	2020	2025	2030	2035	2040	2050	Изменение, %
Численность населения, тыс.чел	363,5	352,0	315,0	292,0	272,0	235,0	64,7%
Численность занятых, тыс.чел	94,6	88,1	79,3	71,4	64,3	52,1	55,1%
Инвестиции в основной капитал в ценах 2020 г., млрд. руб.	18,5	21,0	22,0	23,5	24,0	30,0	162,2%
Отгруженная продукция в ценах 2020 г., млрд. руб.	141,8	140	143	150	156	165	116%
Промышленное производство в ценах 2020 г., млрд. руб.	80,1	95	100	107	113	125	150,4%
Посевные площади, тыс. га	28,5	25,5	22,9	20,6	18,6	17	60%
Поголовье крупного рогатого скота	7163	7100	7000	6750	6600	6500	90,7%

Численность населения водосбора Онежского озера по двум сценариям развития до 2050 г. а) инерционный, б) ускоренного развития (а).

Инвестиции в основной капитал в регионы водосбора Онежского озера в ценах 2020 г., млрд. руб. по двум сценариям развития до 2050 г. а) инерционный, б) ускоренного развития





б

а

Динамика основных показателей социально-экономического развития семи муниципальных образований водосбора Онежского озера по сценарию ускоренного развития (по отношению к 2020 г.)

Показатели	2020	2025	2030	2035	2040	2050	Изменение, %
Численность населения, тыс.чел	363,5	357,0	340,0	330,0	320,0	300,0	82,5%
Численность занятых, чел	94,6	91,9	88,8	85,7	82,8	77,3	81,7%
Инвестиции в основной капитал в ценах 2020 г., млрд. руб.	18,5	24,0	26,0	29,0	34,0	40,0	216,2%
Отгруженная продукция в ценах 2020 г., млрд. руб.	141,8	145	155	163	195	220	155%
Промышленное производство в ценах 2020 г., млрд. руб.	80,1	98	107	119	125	135	168,5%
Посевные площади, тыс.га	28,5	26	25	24,5	23	21	73,7%
Поголовье крупного рогатого скота	7163	7200	7000	6750	6600	6500	90,7%

Оценено состояние и изменения экосистемы Онежского озера по гидрохимическим и гидробиологическим наблюдениям за последние 30 лет (Калинкина Н.М., Зобков М.Б., Галахина Н.Е. и др.)

Отмечается наметившаяся в последние 15 лет тенденция возрастания интенсивности первично-продукционного процесса в центральном районе Онежского озера связана с возрастанием температуры поверхности воды. Показано (Калинкина и др., 2021), что в последние годы потепление климата вызывает смещение основных гидрологических событий на более ранние сроки, что приводит к изменениям в структуре альгоценозов Онежского озера. Новые результаты анализа динамики первичной продукции в центральном районе Онежского озера в 1989-2021 гг. могут быть использованы для верификации биогеохимической модели водоема.
Изменения гидрологических условий, вызванных потеплением климата.
В течение 2017-2023 гг., в разные сезоны экспедиционных исследований Кондопожской губы, содержание хлорофилла "а" в районе расположения форелевых ферм в 3-4 раза превышало концентрацию этого пигмента в прилегающих районах озера. По содержанию хлорофилла "а" трофический статус губы оценивается как α-эвтрофный.
Суммарная антропогенная нагрузка по $P_{общ}$ на Кондопожскую губу превышает допустимую в 1,8 раза составляет 64,96 т Р/год при допустимой 37,0 т Р/год (Лозовик и др., 2017), т.е. наблюдается превышение последней в 1,8 раза.

Структура модели водосбора: стока с водосбора (LHLM) и для оценки вынос химических веществ с водосбора, суммарной биогенной нагрузки от точечных и рассредоточенных источников и прогноз изменения под влиянием возможных антропогенных и климатических изменений ILLM (Кондратьев и др., 2024)

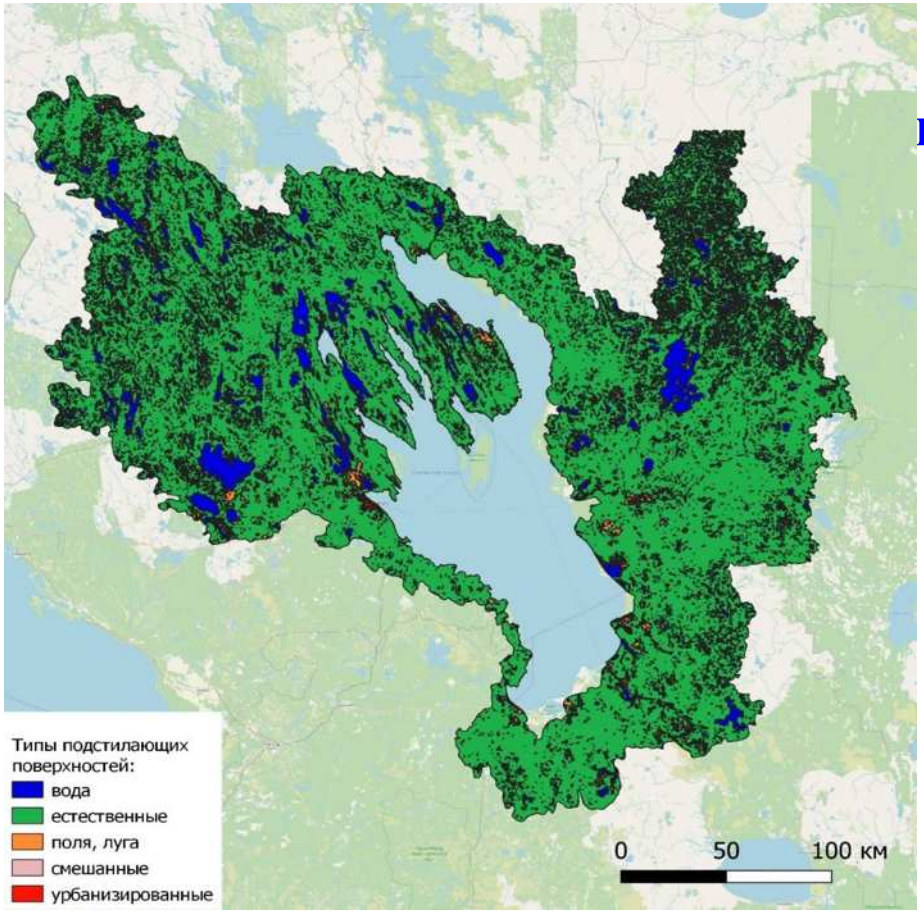
Кондратьев С.А., Шмакова М.В. Математическое моделирование массопереноса в системе водосбор-водоток -водоем / СПб.: Нестор-История, 2019. – 246 с.

Guidelines for the annual and periodical compilation and reporting of waterborne pollution inputs to the Baltic Sea /

Kondrat'evS. A. et al, 2024, **Assessment of Possible Changes in the Nutrient Load onto Lake Onego under the Effect of Anthropogenic and Climatic Factors**

ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОСТУПЛЕНИЯ СТОКА С ВОДОСБОРОВ ПОЛУЧЕНЫ ОБОБЩЕННЫЕ ТИПЫ ПОДСТИЛАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Использовалась глобальная коллекция данных о подстилающей поверхности Copernicus Global Land Service Collection 3 (CGLS) - построена на спутниковых снимках Proba-V и Sentinel-2.



Кондратьев и др., 2024

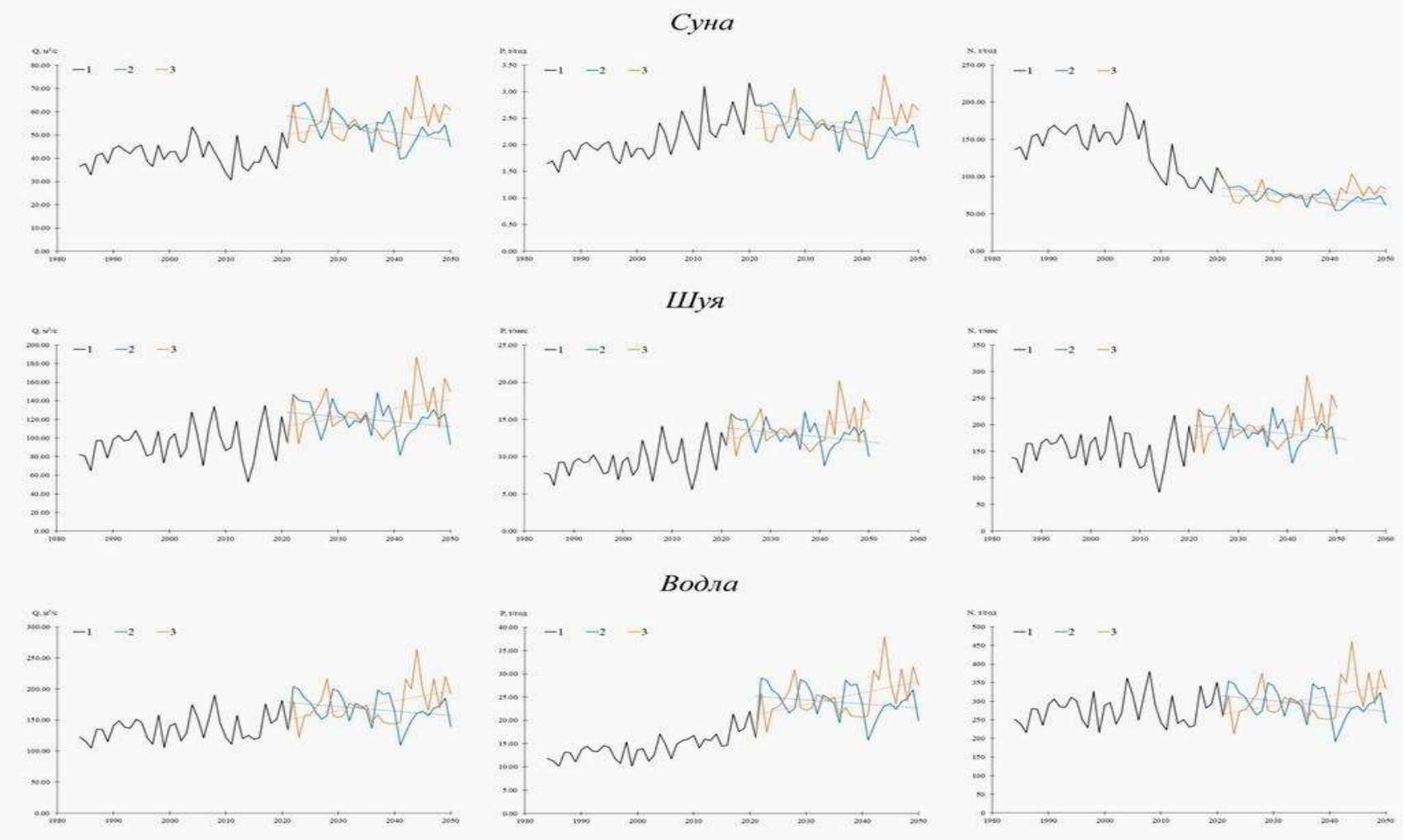
Изменение слоя стока (%) с изучаемых водосборов Онежского озера при условии реализации климатических сценариев RCP 2.6 и RCP 8.5 для периода 2086–2100 гг.

Объекты исследования	RCP 2.6	RCP 8.5
Р.Водла	-18	18
Р.Суна	-6.3	4.3
Р.Шуя	-7.3	16
Весь водосбор	-10.5	12.8

Рассчитанные изменения стока и соответствующие изменения выноса фосфора и азота (%) с изучаемых водосборов при условии реализации климатических сценариев RCP 2.6 и RCP 8.5 для периода 2022–2050 гг. [Kondratyev et al., 2024].

Реки	Расход воды		Вынос P		Вынос N	
	RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 8.5
р. Суна	-19.60	10.01	-10.49	2.25	-34.95	17.74
р. Шуя	-14.91	14.59	-15.10	14.55	-14.51	13.97
р. Водла	-15.58	20.25	-13.12	16.64	-17.70	22.46

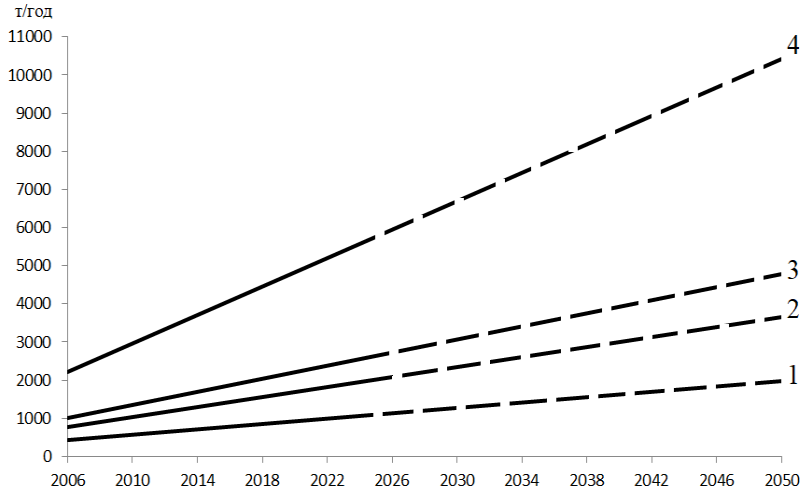
Диагноз (1984–2021 гг.) и прогноз до 2050 г. на моделях ILHM И ILLM: Расход воды в реках Суна, Шуя и Водла (1) и вынос форм фосфора и азота рассчитанные по сценариям RCP 2.6 (2) и RCP 8.5 (3). Обозначения по столбцам: Q ($м^3/с$) - расходы воды, P (т/год) - вынос фосфора, N (т/год) - вынос азота.



Kondratiev et al, 2024

Оценка возможного увеличения поступления азота и фосфора с водосбора в озеро к 2050 г. при сохранении темпов роста рыбоводства на водных объектах водосбора.

Результат: по сравнению с 2021 г. можно ожидать небольшой рост биогенной нагрузки на озеро по фосфору менее 4%. Однако, если темпы роста производства увеличатся, то биогенная нагрузка может возрасти до 30% по сравнению с современной.



Продукция рыбоводческих ферм водосбора р. Шуи (1), Заонежья (2), водосбора р. Суны (3) и всего водосбора озера (4) за период 2006 – 2023 гг., а также результаты линейной экстраполяции на период до 2050 г.

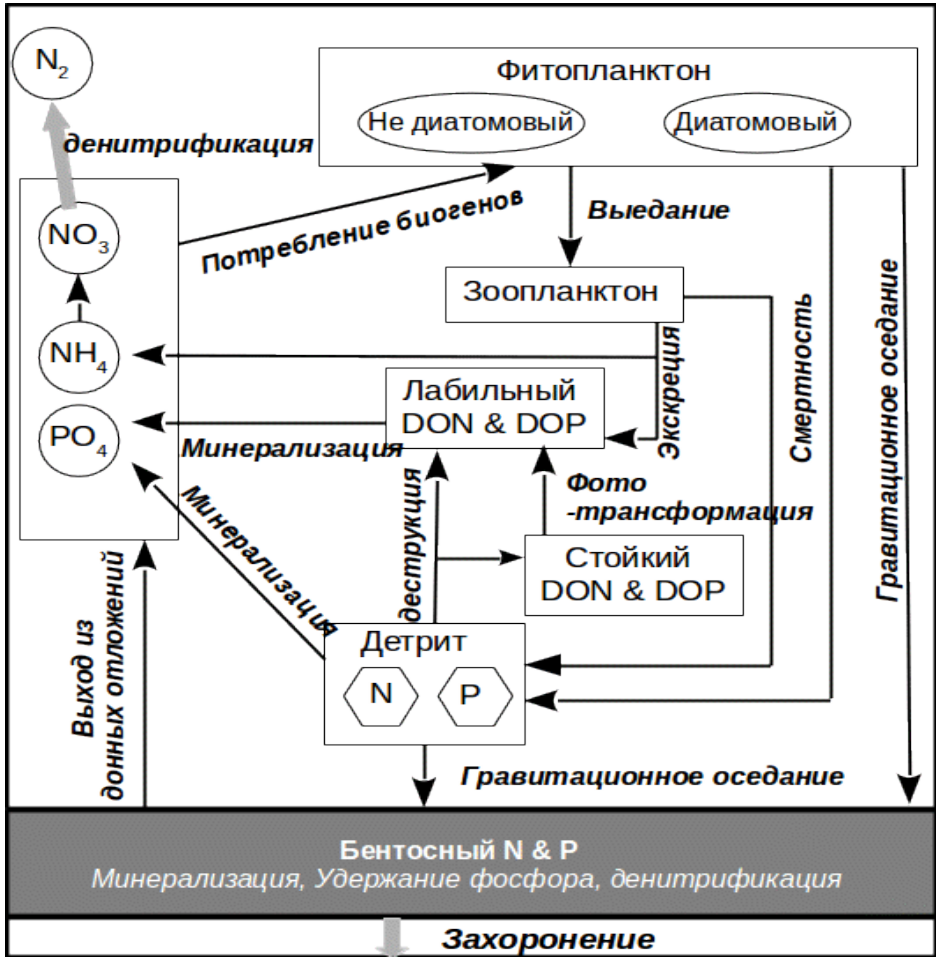
Увеличение биогенной нагрузки на Онежское озеро со стороны водосбора и отдельных подбассейнов к 2050 г. в предположении о сохранении темпов развития рыбопроизводства на водных объектах водосбора (по результатам моделирования)

Объект	Робщ			Nобщ		
	2021	2050	%	2021	2050	%
Водосбор р. Шуи	127.0	132.6	4.4	1910.0	2018.6	5.7
Водосбор р.Суны	32.5	36.0	10.7	1344.3	1398.9	4.1
Заонежье	33.1	36.8	11.2	1133.4	1253.9	10.6
Весь водосбор Онежского озера	572.2	594.8	3.9	10615.7	10777.5	1.5

Можно ожидать возрастание биогенной нагрузки на озеро на 3.9% по фосфору и на 1.9% по азоту по сравнению с 2021 г. Из числа подбассейнов наиболее значимое увеличение выноса биогенных элементов может быть характерно для Заонежья: 11.2% по фосфору и 10.6% по азоту.

Kondratyev et al., 2024

Разработана новая математическая 3-D модель SPLEM для воспроизведения изменений экосистемы при возможном потеплении климата и антропогенных воздействиях (Isaev, Savchuk, Filatov, 2022-2024).



НОВАЯ 3-D БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ: SPLEM состоит из биогеохимических и гидродинамических модулей.

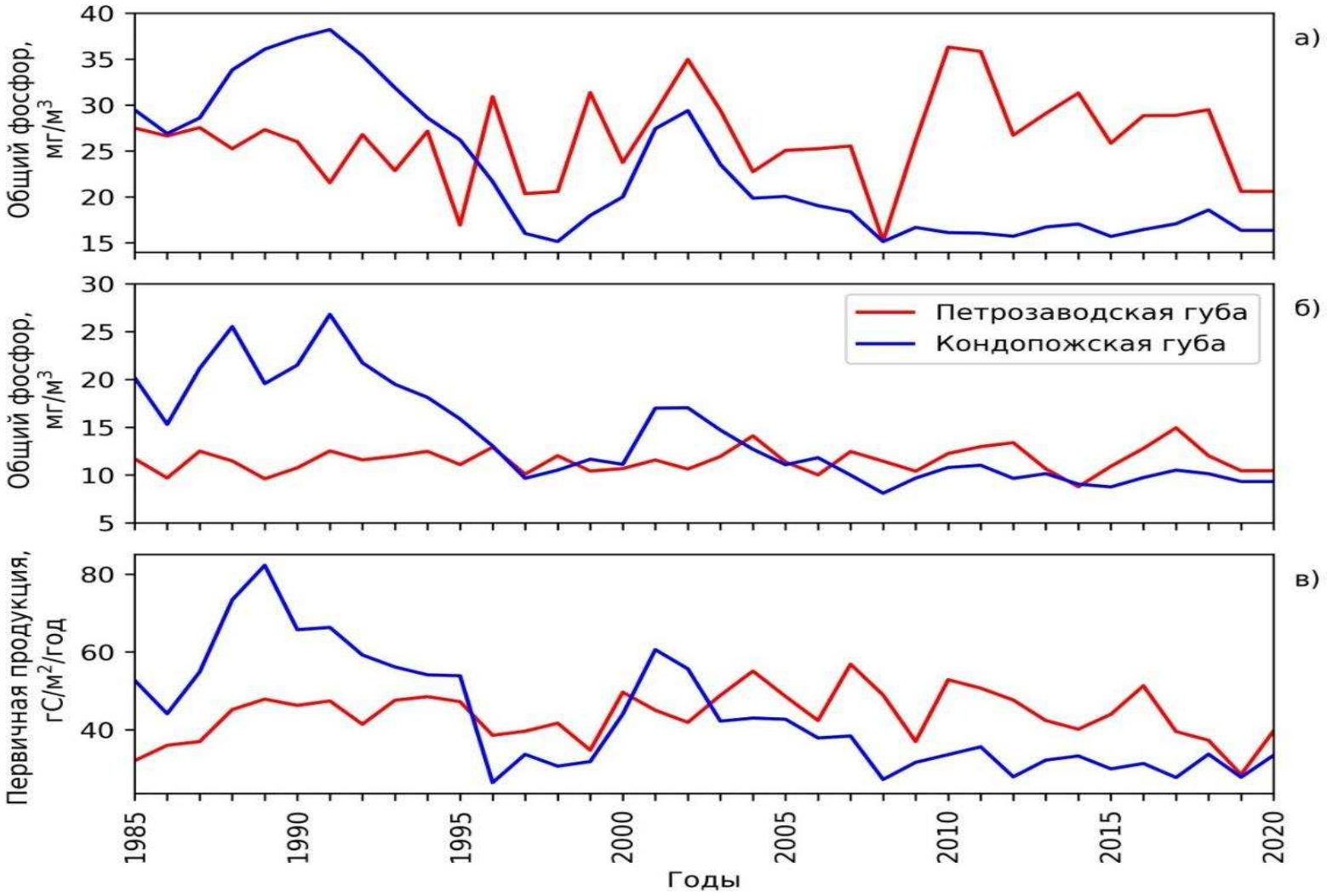
Гидродинамический модуль — модель MITgcm (Marshall et al., 1997).

Биогеохимический модуль был разработан исследовательской группой из Стокгольмского университета (Gustaffson, Savchuk et al, 2017). и Института океанологии, С.-Петербург и ИВПС КарНЦ РАН, Петрозаводск. (Savchuk O. et al. 2022).

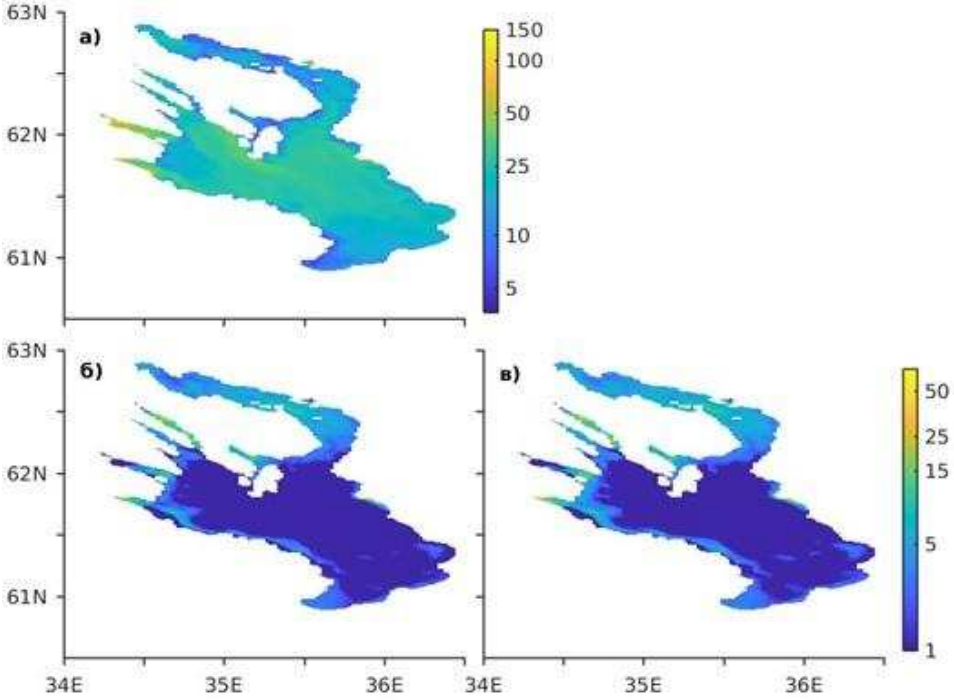
В отличие от предыдущих моделей (Руховец, Филатов, 2010), SPLEM модель описывает динамику питательных веществ как в водоеме, так и в донных отложениях.

Isaev A.V., Savchuk O.P., Filatov N.N. Three-Dimensional Hindcast of Nitrogen and Phosphorus Biogeochemical Dynamics in Lake Onego Ecosystem, 1985–2015. Part I: Long-Term Dynamics and Spatial Distribution. Fundamental and Applied Hydrophysics. 2022, 15, 2, 76–97. doi:10.48612/fpg/e1m2-63b5-rhvg

Межгодовая изменчивость концентрации средневзвешенного по объему общего фосфора в период максимального накопления (апрель) (а), за вегетативный период (май–октябрь) (б) и годовой первичной продукции (в) в Петрозаводской и Кондопожской губах Онежского озера



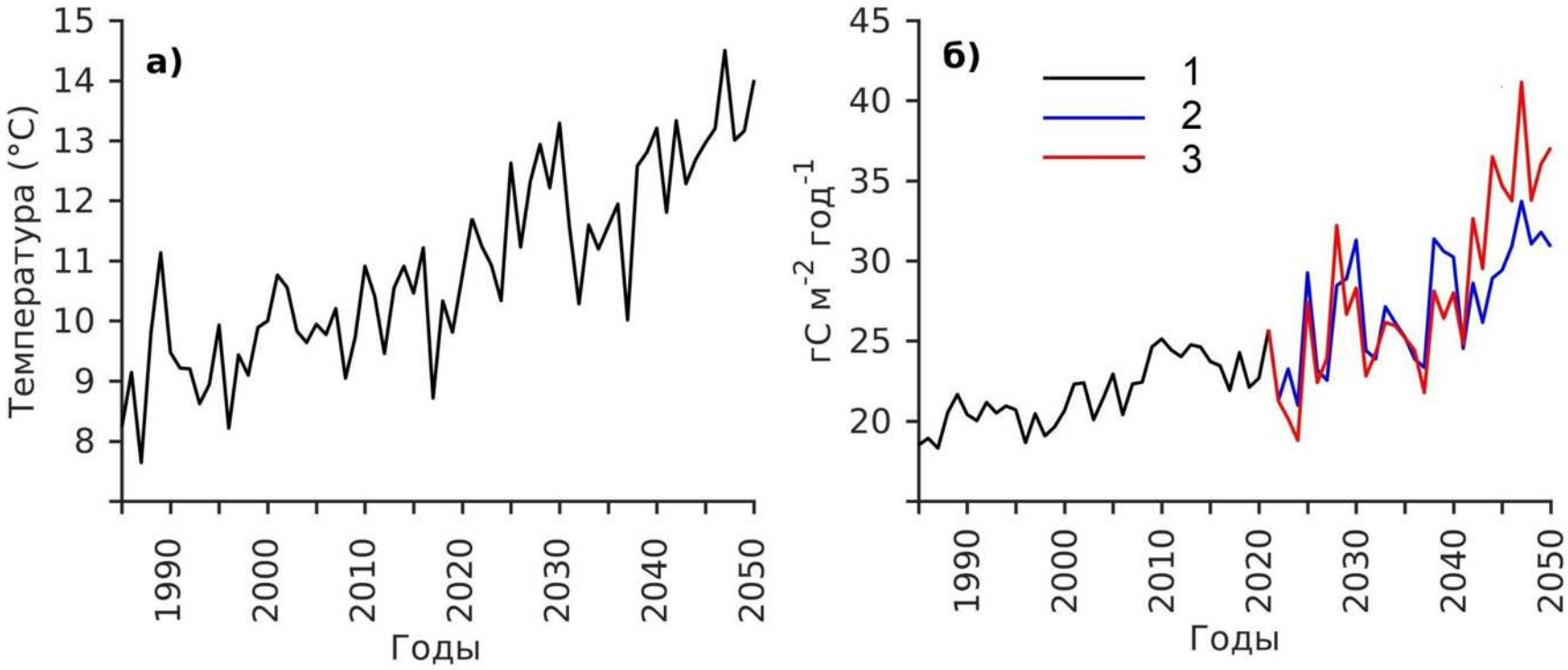
Результаты расчета на модели SPLEN пространственной изменчивости годовой первичной продукции (гС/м^2/год) в Онежском озере, осредненной за современный период (1991-2020 гг.) (а); Разница годовой первичной продукции, осредненной за прогностический период (2021-2050 гг.) и современный период. Для сценария RCP 2.6 (б) и сценария RCP 8.5 (в).



В будущем для обоих сценариев наблюдается схожая картина изменчивости первичной продукции. Основные заметные изменения - в Кондопожской, Петрозаводской губах, в которых расположены рыбоводные хозяйства, где увеличение первичной продукции в будущем может достигать 50-55 гС/м^2/год , что превышает на 15-20 % современный уровень.

Схемы пространственной изменчивости первичной продукции представлены в логарифмической шкале.

Результаты расчета на модели SPLEN: а) межгодовой изменчивости ТПВ за май-сентябрь за 1991-2050 гг.; б) годовой первичной продукции фитопланктона за 1991-2020 гг. (1); за 2021-2050 гг. по сценарию RCP 2.6 (2) и за 2021-2050 гг. по сценарию RCP 8.5 (3);



При потеплении климата и увеличении биогенной нагрузки наблюдается повышение средней за 30-летние периоды (1991-2020 гг и 2021-2050гг) продуктивности озера с 21,7 гС/м$^{2/}$год в современный период, до 27.2 гС/м^2/год (сценарий RCP2.6) и до 40 гС/м^2/год (RCP 8.5) до 2050 г.

Isaev et al, 2024

Поставлены и решены следующие задач:

- Создана Информационно-аналитическая система (ИАС) для оценки состояния и прогнозирования динамики системы озеро-водосбор.
- ИАС включает три основных блока: 1) системы управления данными и базами данных об озере и водосборе, в том числе о социо-экономике; 2) данных, моделей формирования стока с водосбора ILHM выноса растворенных химических веществ с водосбора ILLM; 3) разработанной 3-D модели экосистемы озера SPLEM.
- Создана комплексная информационная основа о состоянии и изменениях экосистемы Онежского озера за последние 30 лет.
- Проведены необходимые экспериментальные исследования Онежского озера, в особенности для весеннего периода.
- Выполнена классификация водосбора по типу подстилающей поверхности на основе спутниковой информации. Рассчитан вклад различных источников биогенных веществ для основных лимнических районов озера за 1995-2022 гг.
- Проведены прогностические расчеты с использованием моделей
- поступления биогенных веществ в озеро от разных источников до 2050-2100 гг. для нескольких сценариев изменений климата RCP 2.6, RCP 8.5 и антропогенных факторов до 2050-2100 гг.

- **Выполнен диагноз состояния и возможных изменений экосистемы Онежского озера на 3-D модели SPLEM для нескольких сценариев изменений климата и антропогенной нагрузки от разных источников, в том числе при увеличении производства форели.**

- **Расчеты показали, что биогенная нагрузка для Ладожского должна быть снижена до уровня 1800 т Р/ год (а 1980 гг. до 7 тР/ год), а для Онежского озера фосфорная нагрузка должна быть менее 600-800 т Р/ год . Т.е. должна быть сравнима и даже меньше, чем до 1970 гг.**

- **Показаны возможные последствия изменения экосистем озера. При потеплении климата и увеличении биогенной нагрузки наблюдается повышение средней за 30-летние периоды (1991-2020 гг и 2021-2050гг) продуктивности озера с 21,7 гС/м$^{2/}$год в современный период, до 27.2 гС/м^2/год (сценарий RCP 2.6) и до 40 гС/м^2/год (RCP 8.5) до 2050 г.**
- **Разработанная система является основой для создания системы поддержки принятия решений как для Онежского озера, так и быть прототипом для Ладожского оз. и оз. Байкал.** https://onegogis.krc.karelia.ru/

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

№ 2024660234

Спец выпуск журнала

ISSN 2073-6673 (Print)
ISSN 2782-5221 (Online)

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН
ST. PETERSBURG RESEARCH CENTER OF RAS

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
и ПРИКЛАДНАЯ
ГИДРОФИЗИКА

Моделирование и экспериментальные исследования гидрофизических и биогеохимических процессов Балтийского моря и озер Северо-Запада РФ

FUNDAMENTAL
and APPLIED
HYDROPHYSICS

Modeling and experimental studies of hydrophysical and biogeochemical processes in the Baltic Sea and lakes of the North-West of the Russian Federation

https://hydrophysics.spbrc.ru

Том/Vol. 17
№/No. 2
2024

DOI:10.59887/2073-6673.2024.17(2)-1

© Translated from Russian: *N.V. Mironova*, 2024

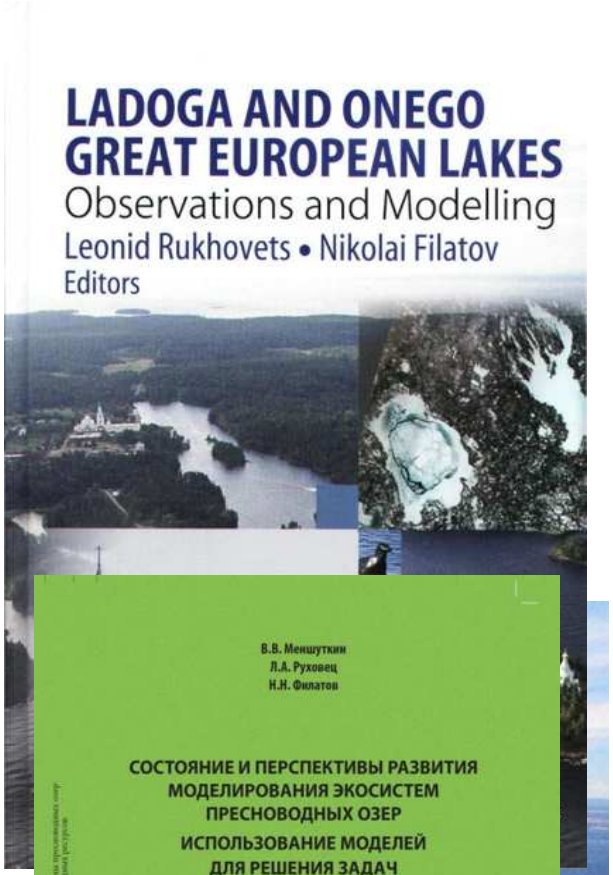
Dear colleagues,

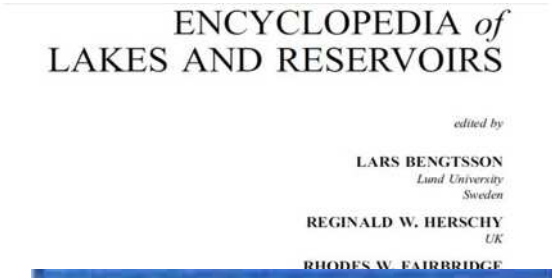
On August 15, 2023, Oleg Pavlovich Savchuk[1], an outstanding scientist, a pioneer in modeling biogeochemical cycles in the Baltic and White Seas, Lakes Ladoga and Onega, passed away. He began his scientific career at the Institute of Geography at the Faculty of Geography of Leningrad State University under the guidance of Yu.N. Sergeev, Doctor of Geography. First Oleg Pavlovich worked as a senior engineer, and in 1978 he became a junior researcher at the same institute. In 1977, he defended his candidate of science (PhD) thesis 'Mathematical modeling of nitrogen dynamics in the sea' at Leningrad State University. In 1980, he won a competition for the position of a senior researcher at the Leningrad Branch of the N.N. Zubov State Oceanographic Institute (SOI). In 1987, he was appointed head of the Laboratory of Baltic Sea Problems in this institute. In 1981–1999, O.P. Savchuk was the deputy scientific coordinator of the Russian national project 'The Baltic'. Within this project, he studied eutrophication, one of the key problems of the Baltic Sea. He participated in numerous international conferences on the Baltic Sea as a speaker and actively worked for the 'Baltic University' project at the Russian State Hydrometeorological University (RSHU). In the 2000s, when the international project 'The Baltic Floating University' was implemented by RSHU with support of the International Oceanographic Commission of UNESCO, Oleg Pavlovich enthusiastically lectured on the eutrophication of the Baltic Sea. As a high-skilled professional in the biogeochemistry of marine systems, in the early 1990s he was invited to Stockholm University, where he worked in the group of Professor Fredrik Wulff, first in the Department of System Ecology, and then at the Baltic Nest Institute (BNI) at Stockholm University to create a mathematical model of the Baltic Sea ecosystem. The model was developed within the Swedish MARE (Marine Research on Eutrophication) program and was advanced at the Baltic Nest Institute. These studies, later complemented by collaboration with Bo Gustafsson from the University of Gothenburg, led to the development of several long-term biogeochemical models of coupled nitrogen, phosphorus and silicon cycles in the Baltic Sea, which describe both physical and biochemical processes in the water, as well as pelagic and benthic zones interaction. Oleg Pavlovich participated in the development of several models: BALTSEM (the BAltic sea Long-Term large-Scale Eutrophication Model) under the leadership of professor F. Wulff; SPBEM (St. Petersburg Baltic Eutrophication Model) together with colleagues from P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences (RAS) and RSHU; and SPLEM (St. Petersburg Lake Ecosystem Model) together with colleagues from P.P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS and the Institute for North Water Problems of the Karelian Research Centre of RAS (KarRC RAS). These models have been successfully implemented in a number of projects and are now proposed for use in decision support systems for lakes, the Baltic and White Seas.

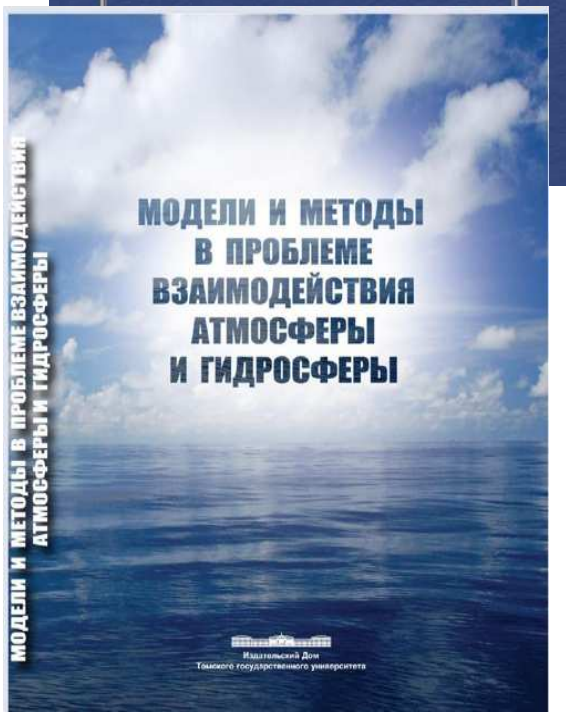
O.P. Savchuk never lost touch with his homeland, continuing to work at the Leningrad Branch of SOI (current name — the St. Petersburg Branch of FSBI 'SOI'), as well as at the Department of Oceanology of St. Petersburg State University, where he brilliantly delivered 'Mathematical modeling of marine ecosystems' and 'Hydrometeorological foundations of environmental protection' courses as a senior lecturer and then as an associate professor. MARE program of the Baltic Nest Institute, developed with the participation of O.P. Savchuk, was later included in the academic discipline 'Theory of Ecosystem Modeling' of the RSHU Faculty of Oceanology.

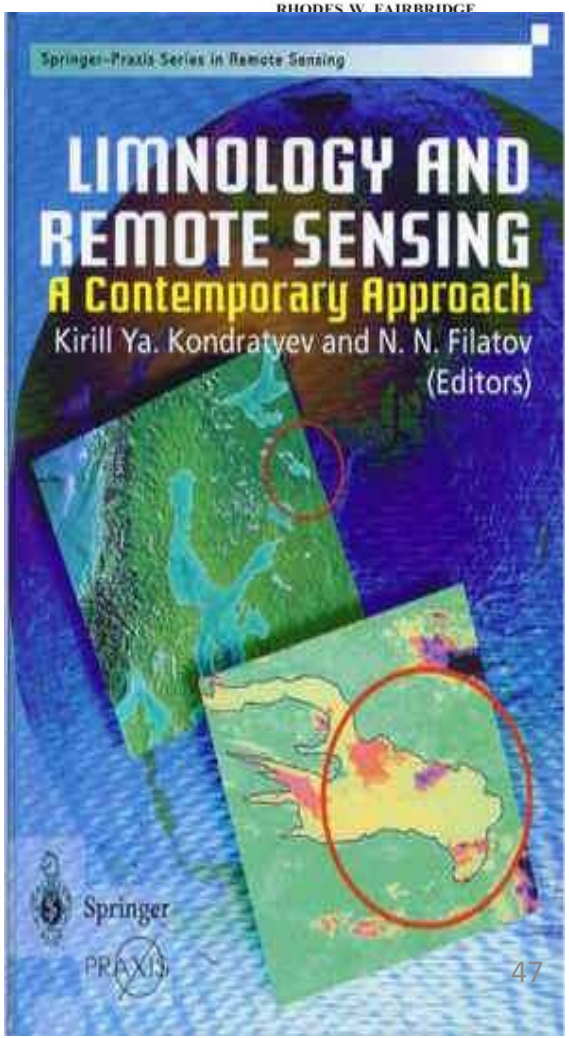
[1] On the photo: O.P. Savchuk. Source: Stockholm University. URL: https://www.su.se/english/profiles/oleg-1.192861 (date of access: 15.04.2024)

Некоторые Публикации









Приглашаем Вас на Конференцию!

Министерство образования и науки Российской Федерации
Отделение наук о Земле РАН
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН

III Международная конференция «Озера Евразии: проблемы и пути их решения»
г. Казань, 20-23 мая 2025 г.

Первое информационное письмо

Глубокоуважаемые коллеги!
Приглашаем Вас принять участие в III международной конференции
«Озера Евразии: проблемы и пути решения»

Спасибо за внимание !

С НИС «Эколог» выполняются исследования Ладоги, Онего, Выгозера, ББК, Белого и Балтийского морей.

Грант РНФ: 22-17-00193.