

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КРАСНОЯРСКИЙ
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СО РАН –
ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФИЦ КНЦ СО РАН
(ИВМ СО РАН)

УДК 004.4:004.9

Рег. № НИОКТР АААА-А18-118011890026-9

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФИЦ КНЦ СО РАН,
д. ф.-м. н

«30» января 2019 г. Н.В. Волков

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

“МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ
ОБРАБОТКИ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ
МОНИТОРИНГА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И
СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ”
(промежуточный за 2018 год)

Направление фундаментальных исследований

IV.38. Проблемы создания глобальных и интегрированных информационно-
телекоммуникационных систем и сетей, развитие технологий и стандартов GRID

(номер темы 0356-2017-0004)

Протокол Ученого совета ФИЦ КНЦ СО РАН
№ 02/2019 от «30» января 2019 г.

Руководитель НИР
Главный научный сотрудник,
д-р физ.-мат. наук, профессор

Н.Я. Шапарев

Красноярск 2018

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы г.н.с., д.ф.-м.н.		Н.Я. Шапарев
	(подпись, дата)	
Исполнители: в.н.с., д.ф.-м.н.		А.Д. Апонасенко
	(подпись, дата)	
в.н.с., д.б.н.		В.В. Заворуев
	(подпись, дата)	
с.н.с., к.б.н.		А.В. Андрианова
	(подпись, дата)	
с.н.с., к.ф.-м.н.		П.В. Белолипецкий
	(подпись, дата)	
с.н.с., к.б.н.		Г.В. Макарская
	(подпись, дата)	
с.н.с., к.ф.-м.н.		О.Э. Якубайлик
	(подпись, дата)	
н.с., к.т.н.		А.А. Кадочников
	(подпись, дата)	
н.с., к.ф.-м.н.		П.В. Постникова
	(подпись, дата)	
н.с., к.т.н.		А.В. Токарев
	(подпись, дата)	
м.н.с.		Ю.А. Пономарева
	(подпись, дата)	
Нормоконтроль		А.В. Вяткин
	(подпись, дата)	

РЕФЕРАТ

Отчёт 39 с., 16 рис., 2 прил.

ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ДАННЫЕ, ГЕОПОРТАЛ, КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ ВЕБ-ГИС, ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ВЕБ-СИСТЕМА, СИСТЕМА МОНИТОРИНГА, ВЕБ-КАРТОГРАФИЯ, ВЕБ-СЕРВИС, ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ МЕТАДАННЫЕ, АРХИВ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ, ЗООБЕНТОС, ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, АМФИПОДЫ, ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА, ТЕМПЕРАТУРА МИРОВОГО ОКЕАНА.

Исследования и разработки по настоящему проекту направлены на создание информационно-технологического обеспечения задач мониторинга социально-экологических процессов и природной среды на основе прикладного программного обеспечения в модульной сервис-ориентированной архитектуре. Приоритетом являются новые вычислительные технологии, методики и программное обеспечение для геоинформационных веб-систем и геопространственных веб-сервисов.

Выполнение поставленных задач было основано на современных методах и средствах математического моделирования и разработки программных систем, инструментарии и вычислительных технологиях. Системообразующими элементами стали сервис-ориентированная архитектура, технологии геоинформационных веб-систем и геопространственных веб-сервисов.

Результатом выполнения работ стало создание технологического и программного обеспечения, физико-математических и геоинформационных моделей природных явлений и процессов.

Полученные результаты могут составить основу прикладных геоинформационных веб-систем (геопорталов) с развитыми информационно-аналитическими возможностями и картографическим интерфейсом.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. Разработка математического и программного обеспечения, вычислительных технологий, алгоритмов и моделей обработки, интерпретации и представления геопространственных данных на основе методов геоинформационного анализа и математического моделирования.	7
2. Формирование информационно-вычислительного обеспечения для распределенных проблемно-ориентированных геоинформационных веб-систем (геопорталов) мониторинга социально-экономических процессов и состояния природной среды на основе сервис-ориентированной архитектуры	17
3. Экспериментальное и вычислительное моделирование взаимосвязей между основными трофическими звеньями водных экосистем и их зависимости от абиотических факторов среды	28
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	34
ПРИЛОЖЕНИЕ А	37
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	39

ВВЕДЕНИЕ

В представленном промежуточном отчете содержатся результаты научных исследований и разработок, выполненных в 2018 году. Основное внимание уделяется созданию программно-технологического обеспечения для задач распределенной обработки геопространственных данных в системах мониторинга социально-экономических процессов и состояния природной среды. Цель проводимых исследований – развитие методов математического и геоинформационного моделирования, информационно-вычислительных технологий и программного обеспечения по указанной тематике.

Актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена стремительным ростом объемов геопространственной информации в настоящее время. Данные дистанционного зондирования становятся все более доступными (увеличивается количество спутников и приемных комплексов, началось широкое использование беспилотных летательных аппаратов), массовое распространение мобильных устройств обеспечивает оперативный ввод геопозиционированных данных различного тематического содержания, а современные веб-технологии позволяют различным организациям и отдельным пользователям публиковать геоданные в Интернете с минимальными трудозатратами. Современные тенденции в разработке программного обеспечения для рассматриваемого класса задач связаны с формированием систем на основе модульного подхода, основанного на использовании распределенных компонентов в сервис-ориентированной архитектуре (COA), «облачных» сервисов. Различные создаваемые компоненты геопространственных приложений могут быть ориентированы на разные функциональные подзадачи – от сложной обработки снимков на высокопроизводительном кластере до простой картографической веб-визуализации на планшете iPad.

Веб-сервисы являются системообразующим элементом COA, основой современных веб-приложений. Конструктивными элементами веб-сервисов являются: язык расширяемой разметки XML, протокол доступа SOAP, язык определения сервисов WSDL, стандарт UDDI, и другие элементы. Несмотря на относительную зрелость технологий веб-сервисов, многие вопросы до сих пор остаются открытыми – отказоустойчивость, безопасность, масштабируемость, и проч. Решение этих вопросов и посвящены исследования по представленному проекту.

Разработка информационных технологий неразрывно связана с практическими задачами экологического мониторинга – от оценки состояния загрязнения воздушной среды промышленного города до гидробиологических характеристик водоемов Красноярского края. В составе коллектива исполнителей проекта имеются специалисты с более чем 15-летним опытом проведения гидрологических, гидробиологических и ихтиологических исследований на разнотипных водных объектах Красноярского края и соседних регионов. Гидробиологами решались разнообразные задачи оценки состояния водных биологических ресурсов и качества воды. В ходе проведения многолетнего мониторинга водных экосистем на территории Красноярского края были выявлены особенности трансформации биологических сообществ Енисея после зарегулирования Красноярской ГЭС, количественно оценены кормовые ресурсы многих рыбохозяйственных водных объектов, а также разработана и апробирована системы оценки экологического состояния водотоков.

Представленный этап научно-исследовательских работ – логическое продолжение ранее начатых исследований. Полученные результаты связаны с решением актуальных задач оценки природной среды, физико-математического моделирования протекающих процессов и явлений, разработкой соответствующего программно-технологического обеспечения.

Полученные результаты могут составить основу прикладных геоинформационных веб-систем (геопорталов) с развитыми информационно-аналитическими возможностями и картографическим интерфейсом. Эти системы имеют перспективы применения в органах исполнительной власти и на производстве как основа обеспечения для поддержки принятия управленческих решений. Информационно-аналитическое обеспечение необходимо для решения актуальных управленческих задач, в частности, в сфере управления водными ресурсами, экологического мониторинга, моделирования природных и природно-техногенных явлений в бассейне р. Енисей.

Разработка математического и программного обеспечения, вычислительных технологий, алгоритмов и моделей обработки, интерпретации и представления геопространственных данных на основе методов геоинформационного анализа и математического моделирования.

Информационно-вычислительные сервисы для геопространственных данных системы экологического мониторинга

Исследования, выполнявшиеся в течение отчетного периода, были посвящены проектированию и разработке методов и вычислительных технологий, математического и программного обеспечения для систем экологического мониторинга, с использованием данных наземных наблюдений и дистанционного зондирования Земли.

Была выполнена разработка концепции, архитектуры и программного прототипа сервис-ориентированной системы информационно-аналитического обеспечения для задачи оценки, прогнозирования состояния окружающей природной среды, связанной с загрязнением атмосферы промышленного города (Рис. 1).



Рисунок 1 – Структурно-функциональная схема программного обеспечения распределенной системы мониторинга загрязнения атмосферы.

Разработанная система основана на использовании специализированных станций мониторинга загрязнения атмосферы, информация с которых принимается в реальном режиме времени через специально спроектированные и реализованные веб-сервисы. Программное обеспечение обеспечивает решение таких задач как настройка режимов работы всех подключенных станций мониторинга – параметров регистрируемых ими показателей, характеристик потока принимаемых данных, включение/выключение записи в базу данных, интервалов проводимых измерений, регистрации и анализа нештатных событий, прочих характеристик. Информация в базу данных мониторинга поступает на основе специально разработанного REST DATA API (сервис-ориентированный

программный интерфейс). Все функции из данного API вызываются через метод POST. Тело запроса должно содержать сериализованный объект определённой структуры:

```
{"Result": {}, "IsError": false, "ErrorMessage": null, "ErrorMessageDetails": null}.
```

Здесь: Result – типизированная структура, определяемая вызываемым методом;

IsError – Наличие ошибки при вызове функции;

ErrorMessage – Сообщение об ошибке;

ErrorMessageDetails – Развернутый стек исключения.

REST DATA API содержит следующие основные функции:

- GetStations – Получить список и метаданные всех доступных станций мониторинга (наименование, координаты, статус, время работы с момента включения, и т.д.)
- GetData – Запрос с набором входных параметров к результатам измерений.

В результате выполнения запроса сервис возвращает запрашиваемые данные о результатах измерений станции мониторинга в XML и/или JSON-формате. Эта информация на регулярной основе поступает в базу данных мониторинга, может использоваться для оперативного представления данных веб-приложением, в том числе – в картографическом веб-интерфейсе. На основе разработанных сервисов была реализована прототип веб-интерфейса системы экологического мониторинга (Рис. 2).

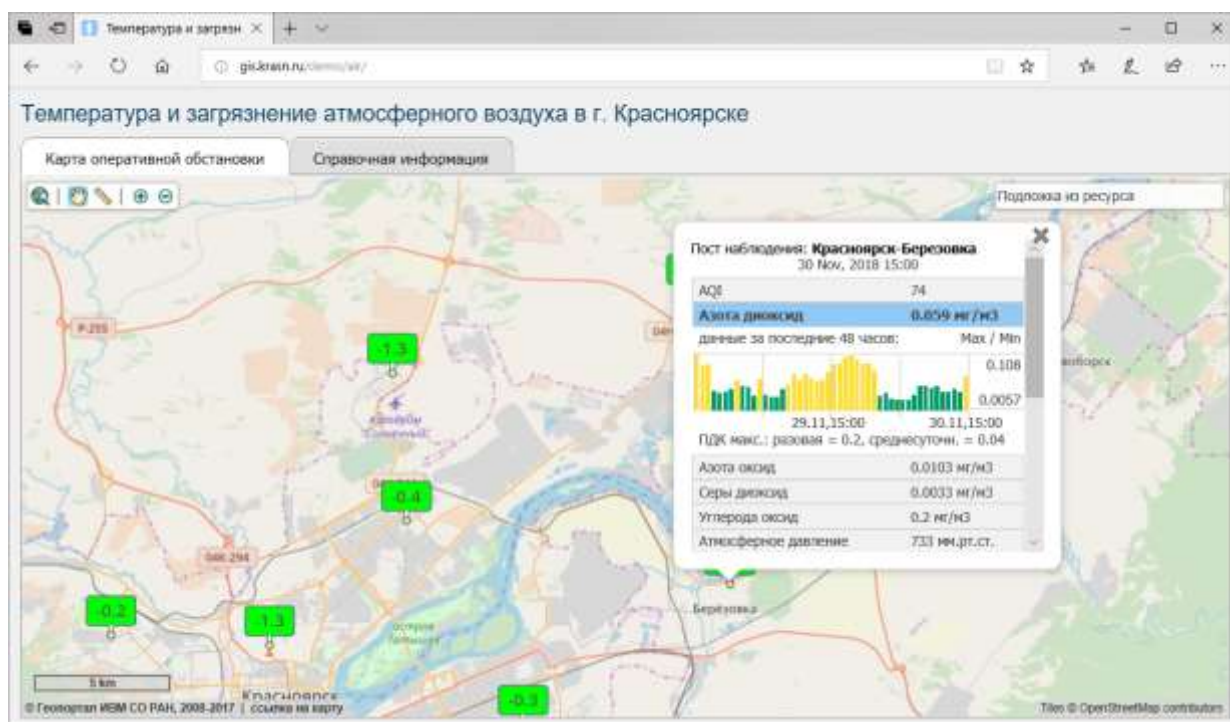


Рисунок 2. – Прототип сервис-ориентированного веб-приложения экологического мониторинга.

Основные публикации по разделу:

Yakubailik O.E., Kadochnikov A.A., Tokarev A.V. WEB Geographic Information System and the Hardware and Software Ensuring Rapid Assessment of Air Pollution // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2018. – Vol. 54(3). – P. 243-249. DOI: 10.3103/S8756699018030056

Приборно-измерительное обеспечение для оценки загрязнения атмосферы мелкодисперсной пылью на базе БПЛА

Твердые частицы относятся к наиболее распространенным загрязняющим веществам, поступающим в атмосферный воздух городов в основном в результате выбросов предприятий теплоэнергетики и автотранспорта. Наиболее опасной для здоровья является мелкая фракция – частицы PM_{2.5} (частицы с диаметром менее 2,5 мкм) и PM₁₀.

Системы мониторинга состояния загрязнения атмосферного воздуха в настоящее время создаются и внедряются во многих городах мира как за рубежом, так и в России. Одним из последних трендов стало внедрение веб-ориентированных решений, основанных на распределённой сети относительно дешёвых датчиков. В ИВМ СО РАН также ведутся исследования и разработки программно-аппаратного обеспечения для мониторинга загрязнения атмосферы. Для города Красноярска, попавшего в список наиболее загрязнённых городов страны, является актуальным получение объективной информации о закономерностях распространения и рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере города.

Существующие решения направлены в основном на проведение мониторинга у поверхности земли со стационарным размещением датчиков или на транспортных средствах. Однако представляет интерес получение данных о распределении концентрации примесей в атмосфере на разных высотах, а также выполнение измерений в труднодоступных местах. Развитие технологий зондирования с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) позволит не только получить значительный объем качественных данных для исследований, но и позволит проводить валидацию данных на новом уровне.

Для решения поставленной задачи была выполнена разработка прототипа прибора для оценки загрязнения атмосферы мелкодисперсной пылью на базе популярной модели квадрокоптера DJI Phantom 3 (Рис. 3). Основные характеристики БПЛА: рама – 350 мм, вес – 1280г, скорость подъема – до 5м/с, горизонтальная скорость – до 15 м/с, высота

полета – до 6000 м, время полёта – до 23 мин. Квадрокоптер поддерживает как ручное управление полетом с радиопульта, так и интеллектуальные режимы полета по заданному маршруту.



Рисунок 3 – Внешний вид прибора для измерения характеристик атмосферы на базе квадрокоптера и его отдельных элементов.

Аппаратное обеспечение разработанного прибора построено на базе платы WeMos D1 Mini. Это платформа для разработки устройств на основе WiFi модуля Ai-thinker ESP-12E со встроенным микроконтроллером Espressif ESP8266 и микросхемой flash-памяти 4Мб. Для микроконтроллера была разработана внутренняя микропрограмма на языке Wiring в среде Arduino IDE.

В качестве измеряющего элемента для определения концентрации взвешенных частиц в воздухе выбран модуль PMS7003 – универсальный цифровой датчик компании Plantower. В основе работы датчика лежит измерение рассеивания лазерного излучения на взвешенных частицах. Текущие метеоусловия (атмосферное давление, температура и влажность) регистрируются с помощью цифрового датчика на основе чипа Bosch BME280. Для определения географических координат и высоты использован GPS модуль с керамической антенной U-blox NEO-6M. Текущий режим работы и показания датчиков выводятся на OLED дисплее. Сохранение данных выполняется в CSV формате на карту памяти microSD с заданным периодом. Для настройки прибора и выбора режимов работы используется веб-интерфейс, который доступен при подключении по сети Wi-Fi.

На этапе предварительного исследования устройство собиралось и отлаживалось на макетной плате, в дальнейшем прототип был собран в компактном корпусе с креплением к подвесу квадрокоптера и питанием от его основного аккумулятора. Размер устройства (без модуля крепления): 76х76х30мм, вес: 115г.

Таким образом, на основе доступных комплектующих собран прототип прибора для измерения уровня загрязнения атмосферы мелкодисперсной пылью PM1, PM2.5, PM10, а также давления, влажности и температуры. Размещение его на БПЛА позволяет выполнять измерения на разных высотах и в труднодоступных местах. Замеры выполняются с заданным периодом, при этом сохраняется привязка данных к географическим координатам, высоте и времени. Устройство находится в опытной эксплуатации, выполнено несколько успешных тестовых полетов.

Основные публикации по разделу:

Токарев А.В. Приборно-измерительное обеспечение для оценки загрязнения атмосферы мелкодисперсной пылью на базе БПЛА // Решетневские чтения: Материалы XXII Междунар. науч.-практ. конф. (12–16 ноября 2018, г. Красноярск): в 2 ч. / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова. – СибГУ им. М. Ф. Решетнева. – Красноярск. – 2018. – Ч. 1. – С. 376-378.

Исследования гидротермического режима нижнего бьефа Красноярской ГЭС методами математического моделирования и дистанционного зондирования

Были проведены исследования температуры поверхности воды в р. Енисей в нижнем бьефе Красноярской ГЭС (на расстояние от 35 до 124 км от плотины) на основе методов физико-математического моделирования и натурных наземных наблюдений.

В рамках настоящей работы предложена простая модель летнего гидротермического режима реки Енисей, основанная на вычислении температуры воды в движущейся вместе с водой системе координат. Физически обоснованный расчет энергетического баланса в воде учитывает поглощение водой солнечной энергии, излучение и поглощение воды в тепловом инфракрасном (ИК) диапазоне, а также затраты энергии на испарение воды и обусловленный конвективными процессами ее нагрев. Определяющими в энергообмене являются солнечная радиация и тепловое инфракрасное излучение. Для всех основных физических процессов на основе фундаментальных физических законов построены физико-математические модели; характеристики некоторых моделируемых параметров представлены на Рис. 4, Рис 5.

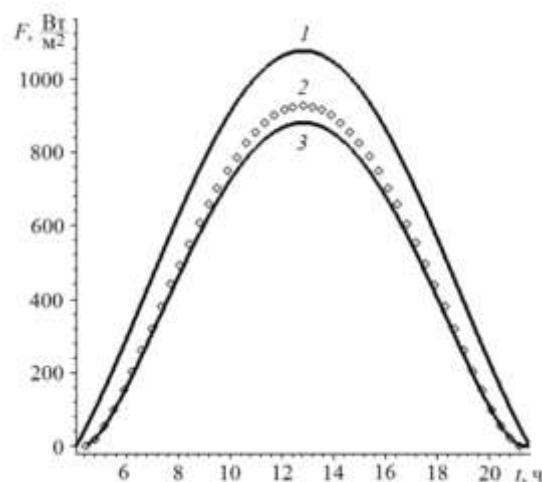


Рисунок 4. – Зависимость мощности солнечного излучения от времени: 1 – падающего на атмосферу Земли, 2 – прошедшего через атмосферу, 3 – поглощенного водой

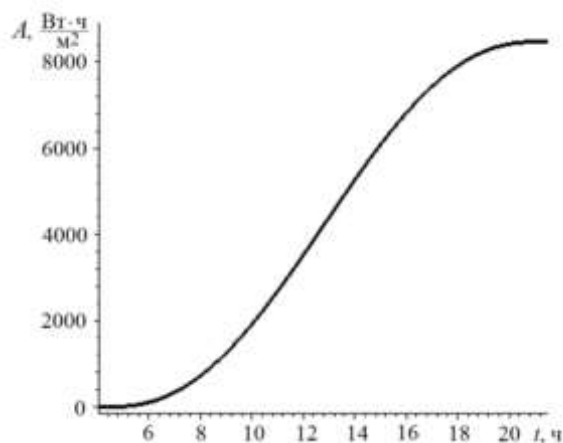


Рисунок 5 – Зависимость поглощаемой водой солнечной энергии от времени

Был рассмотрен ряд модельных ситуаций, для которых были получены количественные оценки рассматриваемых параметров. Модельные данные сравнивались с результатами наземных натурных измерений – по данным с официальных гидропостов и самостоятельных непосредственных измерений температуры воды.

Также были проведены исследования температуры воды в нижнем бьефе Красноярской ГЭС по данным дистанционного зондирования ИК-диапазона спутника Landsat-8. Эти ИК-данные использовались для вычисления температуры поверхности

воды, на основе общепринятых методов ее оценки по спутниковым данным, с учетом атмосферной коррекции.

Полученные в результате физико-математического моделирования и обработки данных дистанционного зондирования значения температуры воды близки к экспериментальным данным, регистрируемым на гидропостах, что позволяет судить об адекватности построенных моделей и методов определения температуры воды по ДДЗ реально происходящим гидротермическим процессам.

Основные публикации по разделу:

Шапарев Н.Я., Шокин Ю.И. Моделирование летнего гидротермического режима в нижнем бьефе Красноярской ГЭС // Вычислительные технологии. – 2018. – Т. 23, № 6. – С. 108-115. DOI:10.25743/ICT.2018.23.6.010

Анализ городских островов тепла в г. Красноярске по спутниковым данным

Были проведены исследования тепловых аномалий г. Красноярска и его окрестностей. В качестве исходной информации рассматривались данные ДЗЗ дальнего (теплого) ИК-диапазона спутника Landsat-8 (разрешение 100 м/пиксел).

Данные теплового ИК-диапазона записаны в исходных файлах побайтно в условных единицах («сырые геоданные»), каждый пиксел может принимать значение в диапазоне от 0 до 215. Вычисление температуры поверхности выполнялось в несколько этапов: 1) сначала нужно преобразовать упомянутые условные единицы в значения излучения, приходящего на сенсор, 2) затем преобразовать эти значения на сенсоре в значения температуры на верхней границе атмосферы, и, наконец, 3) по температуре на верхней границе атмосферы определить температуру на поверхности Земли.

Особенностью проведенного исследования стало сочетание спутниковых данных с нескольких космических аппаратов. Используемые данные ИК-диапазона Landsat-8 не обязательно должны дополняться данными тех других каналов этого спутника, которые необходимы для расчета вегетационного индекса NDVI – можно использовать другие, более детальные снимки. В этом случае можно строить комбинированные изображения температуры поверхности более высокого разрешения, аналогично широко используемому подходу повышения детальности изображений с помощью алгоритмов «pan-sharpening». В нашем случае для расчета NDVI были использованы данные видимого и ближнего

инфракрасного диапазонов спутниковой группировки PlanetScope с пространственным разрешением 3 метра.

В соответствии с изложенной методикой, были построены карты температуры поверхности Земли Красноярска и его окрестностей. Было обнаружено, что на территории города выделяется несколько тепловых аномальных зон разного типа – природные возвышенности, территории около крупных торгово-развлекательных центров, промышленные зоны предприятий, участки теплового загрязнения сточными водами. Был сделан вывод о том, что интенсивное излучение тепла наблюдается от объектов, сделанных из плотных материалов с высокой теплоемкостью, таких как асфальт, бетон и железобетон, камень.



Рисунок. 6 – Комбинация данных теплового ИК-диапазона Landsat-8 с используемыми для вычисления NDVI данными PlanetScope позволяют получить детальную тепловую карту уровня отдельных городских кварталов.

Результаты показали, что использование сочетания спутниковых данных различного пространственного разрешения дает возможность проведения детального анализа

температурных аномалий городской среды. Такая информация может быть использована при планировании развития города, освоении новых территорий, реконструкции жилых и производственных зон, для оценки комфортности условий жизни в различных городских районах.

Основные публикации по разделу:

Matuzko A.K., Yakubailik O.E. Monitoring of land surface temperature in Krasnoyarsk and its suburban area based on Landsat 8 satellite data // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. – 2018. – № 11(8). – С. 934-945. DOI: 10.17516/1999-494X-0115.

Матузко А.К., Якубайлик О.Э. Мониторинг температуры земной поверхности территории Красноярска и окрестностей на основе спутниковых данных Landsat 8 // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 7. – С. 177-182. DOI: 10.17513/use.36822.

Исследование структур вида «режимы-скачки» в изменениях глобального климата с середины XX века

Структуры вида «режимы-скачки» в изменениях климата фиксировались во многих исследованиях динамики температуры и др. параметров. Много внимания уделялось паузе потепления 1998-2014 годов.

Ранее был разработан и применен простой метод коррекции приповерхностных температур на эффекты Эль-Ниньо Южного Колебания (ЭНЮК). После применения этого метода коррекции пауза 1998-2014 гг. стала ещё более отчётлива. Более того, были обнаружены аналогичные квазистационарные периоды в 1950-1987 и 1988-1997 гг., а практически всё потепление произошло посредством скачков 1987 и 1997 годов.

Рассматриваемые глобальные эффекты могут быть выявлены и на региональном уровне. В течении этого года был проведен сравнительный анализ глобального потепления климата и региональных изменений в Азиатской части России с середины XX века. Было показано, что среднегодовые температурные аномалии Азиатской части России в целом повторяют лестнице-образную динамику роста глобальных температур очищенных от эффектов Эль-Ниньо (Рис. 7).

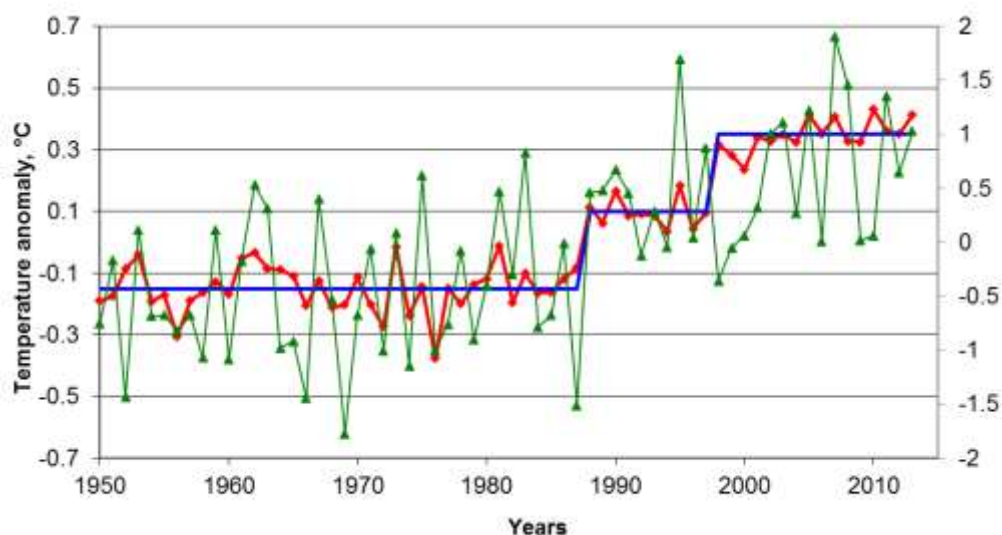


Рисунок 7 – Сравнение динамики очищенной от эффектов Эль-Ниньо и вулканов глобальной приповерхностной температуры и температуры поверхности Азиатской части России. Здесь красная линия – очищенная глобальная температурная аномалия (левая шкала); зелёная линия – среднегодовые аномалии приповерхностной температуры региона (правая шкала); синяя линия – схематическое изображение режимов и скачков.

Основные публикации по разделу:

Belolipetskii V.M., Belolipetsky P.V., Genova S.N. Numerical modelling of the hydrothermal regime of the Krasnoyarsk reservoir // Journal of Siberian Federal University, Mathematics & Physics. – 2018. – Vol. 11 (5). – P. 569-580. DOI: 10.17516/1997-1397-2018-11-5-569-580.

Формирование информационно-вычислительного обеспечения для распределенных проблемно-ориентированных геоинформационных веб-систем (геопорталов) мониторинга социально-экономических процессов и состояния природной среды на основе сервис-ориентированной архитектуры.

Прототип информационно-аналитической системы оперативной оценки загрязнения атмосферы и климатических условий в г. Красноярске

За отчетный период была выполнена разработка прототипа информационно-аналитической системы для мониторинга загрязнения атмосферы. Технологической платформой разработки является геопортал ИВМ СО РАН, его подсистема «Данные оперативного мониторинга». Были использованы базовые возможности этой подсистемы, в том числе – сервисы сбора, визуализации и агрегации данных оперативного мониторинга. Также был создан ряд новых программных компонент.

В рамках рассматриваемого прототипа системы были реализованы сервисы сбора данных из разнородных источников первичной информации:

- Данные Краевой ведомственной системы наблюдений за состоянием окружающей среды (КВИАС). Оператор системы – Краевое государственное бюджетное учреждение «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края». С 6 автоматизированных постов наблюдения приходят метеоусловия и данные (в том числе, концентрации оксида и диоксида азота, диоксида серы, оксида углерода, PM2.5, формальдегида) по загрязнению атмосферы с периодичностью в 20 мин.
- Научно-исследовательская сеть мониторинга состояния атмосферного воздуха в г. Красноярске, формируемая ФИЦ КНЦ СО РАН. В настоящее время сеть находится на этапе построения, пока размещено 13 станций по городу. Используются приборы CityAir, которые обеспечивают измерение содержания взвешенных веществ в атмосферном воздухе (PM2.5, PM10) и основных метеорологических параметров: температуры, влажности и давления. Показатели измеряются и передаются каждую минуту на сервер сбора данных.
- Данные независимых экологов, представленные на сайте «nebo.live». По городу размещено около 14 датчиков, измеряется температура, влажность и концентрация взвешенный частиц PM2.5. Для измерений используются приборы AirVisual, которые, к сожалению, не имеют сертификации. Приборы расположены на балконах жилых

домов, вследствие чего результаты измерения не могут считаться достаточно репрезентативными. Периодичность поступления данных – 20 минут.

Из разных систем данные поступают с разным периодом, набор показателей отличается, встречаются пропуски в данных, что усложняет их совместный анализ.

Задачей формируемой информационной системы является обеспечение интеграции, совместной визуализации данных, поступающих из разных систем мониторинга, предоставления инструментов для их наглядного анализа. Для интегральной оценки степени загрязнения атмосферы предусматривается использование унифицированные показатели – индексов качества атмосферы AQI (Air Quality Index), Nowcast, Asian Nowcast, InstantAQI.



Рисунок 8 – Пользовательский интерфейс прототипа информационно-аналитической системы оперативной оценки загрязнения атмосферы и климатических условий в г. Красноярске.

Разработанный пользовательский интерфейс содержит следующие элементы (Рис. 8):

- Интерактивная карта г. Красноярска с размещенными постами наблюдения. На карте отображается текущее значение загрязнения в каждом пункте наблюдения и

выполняется цветовая тематическая раскраска в зависимости от степени опасности. Форма пиктограммы поста наблюдения отражает принадлежность к источнику данных.

- Панели выбора источников данных, показателей и момента времени.
- Окно с графиками динамики изменения показателей за период времени. Поддерживается одновременное отображение данных с нескольких постов наблюдения.

Реализация прототипа выполнена в концепции одностраничного веб-приложения (single-page application, SPA). Используется единственная HTML-страница, которая обеспечивает взаимодействие с пользователем через динамически формируемый интерфейс путем манипуляций с DOM-структурой документа. Разработка выполнена с использованием клиентского фреймворка Angular от компании Google на языке программирования TypeScript. Библиотека обладает гибкостью в выборе шаблонов проектирования, можно выбрать модели MVC (Model-View-Controller) или MVVM (Model-View-ViewModel). Выбранный подход позволяет разрабатывать интерактивные веб-приложения с высокой скоростью работы.

Основные публикации по разделу:

Якубайлик О.Э., Кадочников А.А., Токарев А.В. Геоинформационная веб-система и приборно-измерительное обеспечение оперативной оценки загрязнения атмосферы // Автометрия. – 2018. – Т. 54. № 3. – С. 39-46. DOI: 10.15372/AUT20180305

Анализ уровня загрязнения атмосферы Красноярска взвешенными частицами

Несмотря на многолетние исследования, на сегодняшний день не сформировано однозначного понимания о структуре загрязнения воздушной среды Красноярска и его причинах, характерных распределениях концентраций РМ в пределах города, их изменению во времени и зависимости от различных факторов. Создаваемые в рамках настоящего проекта программные инструменты, информационно-аналитические интерфейсы и сервисы представляются одним из эффективных способов решения указанной проблемы.

Сформированная база данных наблюдений за состоянием загрязнения атмосферы и созданное программное обеспечение обеспечивают возможность рассмотрения различных модельных ситуаций, проверки рабочих гипотез в рассмотрении различных задач анализа

экологической ситуации. В частности, была проведена оценка динамики концентрации $PM_{2,5}$ в приземном слое атмосферы Красноярска зимой 2017-18 гг. – эти данные начали регистрироваться в краевой экологической ведомственной системе только с декабря 2017 г.

Установлено, что неблагоприятные метеорологические условия (НМУ) способствуют возрастанию концентрации РМ в приземном слое атмосферы. Анализ данных показал, что, во-первых, периоды НМУ, прогнозируемые Среднесибирским УГМС, не совпадают по времени с периодами фактического загрязнения атмосферы взвешенными частицами PM_{10} . Во-вторых, в периоды прогнозных НМУ, которые устанавливаются для территории всего города, фиксировались ситуации, когда в некоторых районах не фиксировалось превышение загрязнения PM_{10} .

Обнаружена взаимосвязь между содержанием $PM_{2,5}$ в воздушной среде г. Красноярска и высотой расположения постов наблюдения над уровнем Енисея. Установлено, что количество дней, когда концентрация взвешенных частиц превышает среднесуточную ПДКсс, больше, чем дней, прогнозируемых НМУ. Пример данных представлен на Рис. 9.

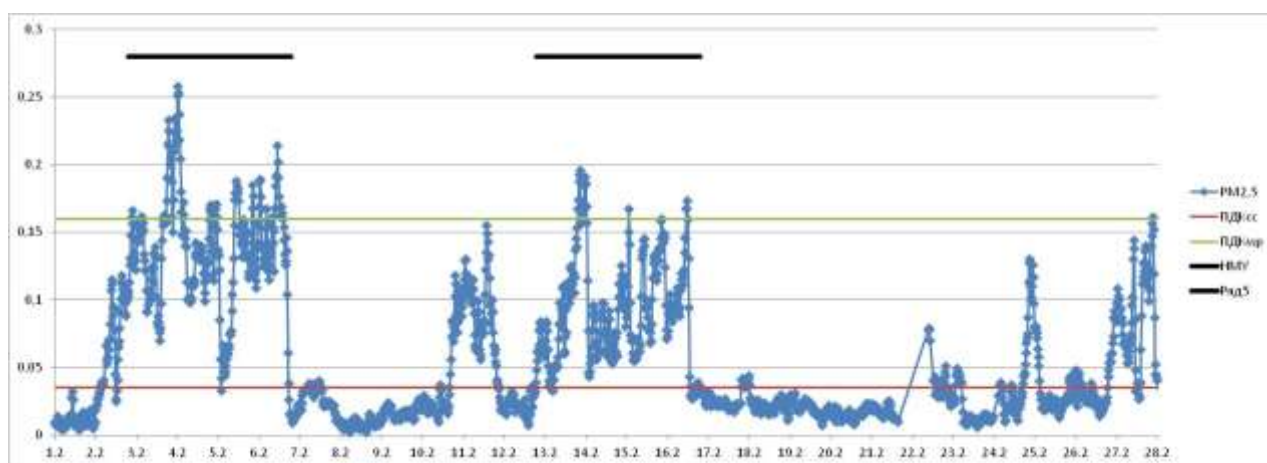


Рисунок 9 – Динамика $PM_{2,5}$ на посту «Северный» в феврале 2018 года. Коричневая и зеленая линии – величины среднесуточной и максимально разовой ПДК; черная линия – периоды НМУ, объявленные Среднесибирским УГМС

Таблица 1. Средние за месяц концентрации $PM_{2,5}$ ($C_{ср}$, мкг/м³) и средние за прогнозный период НМУ концентрации $PM_{НМУ}$ ($C_{НМУ}$, мкг/м³) на постах наблюдения г. Красноярска в зимний период 2017-2018 гг.

Посты наблюдения	Декабрь 2017 года		Январь 2018 года		Февраль 2018 года	
	$C_{ср}$	$C_{НМУ}$	$C_{ср}$	$C_{НМУ}$	$C_{ср}$	$C_{НМУ}$
Ветлужанка	52,0±4,1	170,0±16,8				
Северный	31,2±1,6	53,9±5,0	45,8±2,2	88,5±4,1	58,1±2,3	114,7±3,8

Солнечный	18,4±0,9	45,3±5,7	23,2±1,2	50,1±3,1	33,0±1,6	57,2±0,4
Черёмушки	35,5±2,3	79,0±7,6	43,5±2,3	51,8±2,9	52,7±1,8	93,7±3,3

Среднемесячные концентрации PM_{2,5} за зимний период представлены в Таблице 1, в которой выделены значения, превышающие ПДКсс (0,035 мг/м³ = 35 мкг/м³). Обращает на себя внимание тот факт, что на посту в Солнечном были зарегистрированы самые низкие среднемесячные концентрации РМ. Это объясняется двумя причинами. Во-первых, пост в Солнечном находится на высоте почти 200 м относительно уровня р. Енисей, а все остальные посты располагаются на высотах ниже 100 м. Во-вторых, максимальная и среднемесячная скорость ветра в Солнечном характеризуются самыми высокими значениями.

Загрязнение атмосферы в г. Красноярске сначала фиксируется на посту в Черемушках, затем в Северном и в последнюю очередь на посту в Солнечном. Снижение уровня загрязнения фиксируется на постах в обратной последовательности. Указанная закономерность коррелирует с высотой расположения постов наблюдения относительно поверхности реки Енисей. Пост в Черемушках находится на высоте 25 м, пост в Северном – на 55 м, пост в Солнечном – на 195 м.

Основные публикации по разделу:

Заворуев В.В., Заворуева Е.Н. Динамика концентрации PM_{2,5} в приземном слое атмосферы Красноярска зимой (2017-2018 гг.) // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXIV Международного симпозиума. Часть D. Физика тропосферы. – Томск: Издательство ИОА СО РАН. – 2018. – С. D189-D192. ISBN 978-5-94458-172-3

Сервисы геопортала для обработки и визуализации меняющихся во времени геопространственных данных

В течение отчетного периода выполнялись исследования и разработки, направление на создание технологий, инструментов и сервисов для работы с меняющимися во времени геопространственными данными, т.е. данными, которые содержат время как одно из измерений. В системах оперативного мониторинга подобные «многомерные» данные возникают регулярно, но, к сожалению, к настоящему времени не выработано единых правил, стандартов для хранения и операций с такого рода информацией.

Рассматривались важные частные случаи меняющихся во времени геопространственных данных, например, данные для постоянной во времени геометрии объектов с изменяющейся атрибутивной информацией, данные на регулярных сетках (например, поле температуры). Изменяемая во времени информация может быть представлена как в отдельных файлах, так и в атрибутике одного файла, если это не противоречит ограничениям используемого формата геопространственных данных.

Программная реализация средств для обработки и визуализации данных рассматриваемого типа выполнялась на основе технологической платформы геопортала ИВМ СО РАН. Был модернизирован ряд его программных блоков и библиотек; в геопортал добавлены инструменты для просмотра и анализа данных, имеющих временное измерение. Такие инструменты позволяют просматривать данные в выбранный пользователем момент времени в одном ресурсе геопортала с помощью инструментов навигации по временному отрезку.

Реализованы три режима представления данных, имеющих параметр времени:

- Режим с поддержкой стандартов Консорциума открытых геопространственных данных (OGC) для просмотра данных в соответствии со спецификацией WMS Time. Стандарт OGC WMS Time поддерживает атрибут TIME в запросах GetMap для слоев, которые правильно настроены и содержат в исходных данных поле времени. При указании в параметре запроса времени в формате ISO-8601 выполняется фильтрация по значению этого поля. Такой режим позволяет работать с ресурсами геопортала через стандартный картографический веб-интерфейс с инструментами навигации по времени, а также позволяет подключать ресурсы геопортала по WMS протоколу из стороннего программного обеспечения, имеющего инструменты для работы с временным измерением.
- Второй режим позволяет в одном ресурсе осуществлять навигацию по архиву растровых и векторных файлов, каждый из которых содержит информацию на заданный момент времени. Имена таких файлов должны иметь общий формат, содержащий точку времени для каждого файла. Для таких ресурсов формируется шаблон имени файлов, которой в дальнейшем позволяет выполнять навигацию по файлам с помощью картографического веб-интерфейса. Для такого режима можно настроить интервал времени данных, шаг времени для инструментов навигации, начальный интервал и значение по умолчанию. Такой режим позволяет просматривать

архивы данных ДЗЗ на выбранную территорию или, например, карты температур на основе данных глобальной модели прогнозов погоды GFS (Global Forecast System)..

- Третий режим позволяет выполнять навигацию по полям атрибутивной таблицы, каждое из которых содержит данные на заданный момент времени. Количество полей и их название задает оператор. Данный режим существенно экономит дисковое пространство, т.к. пространственные данные не дублируются по сравнению с первым режимом. Но при таком формате данные не доступны через стандарты OGC.

Новые инструменты позволяют существенно улучшить возможности геопортала при работе с данными имеющими временное измерения, а у пользователя появляются дополнительные возможности для анализа данных наблюдения, распределенных по времени и дополнительные возможности при работе с набором данных ДДЗ за выбранный период времени. На Рис. 10 представлен пример веб-интерфейса картографического веб-приложения с температурой поверхности земли по модели GFS с шагом 6 часов за 13 октября 2018 года.

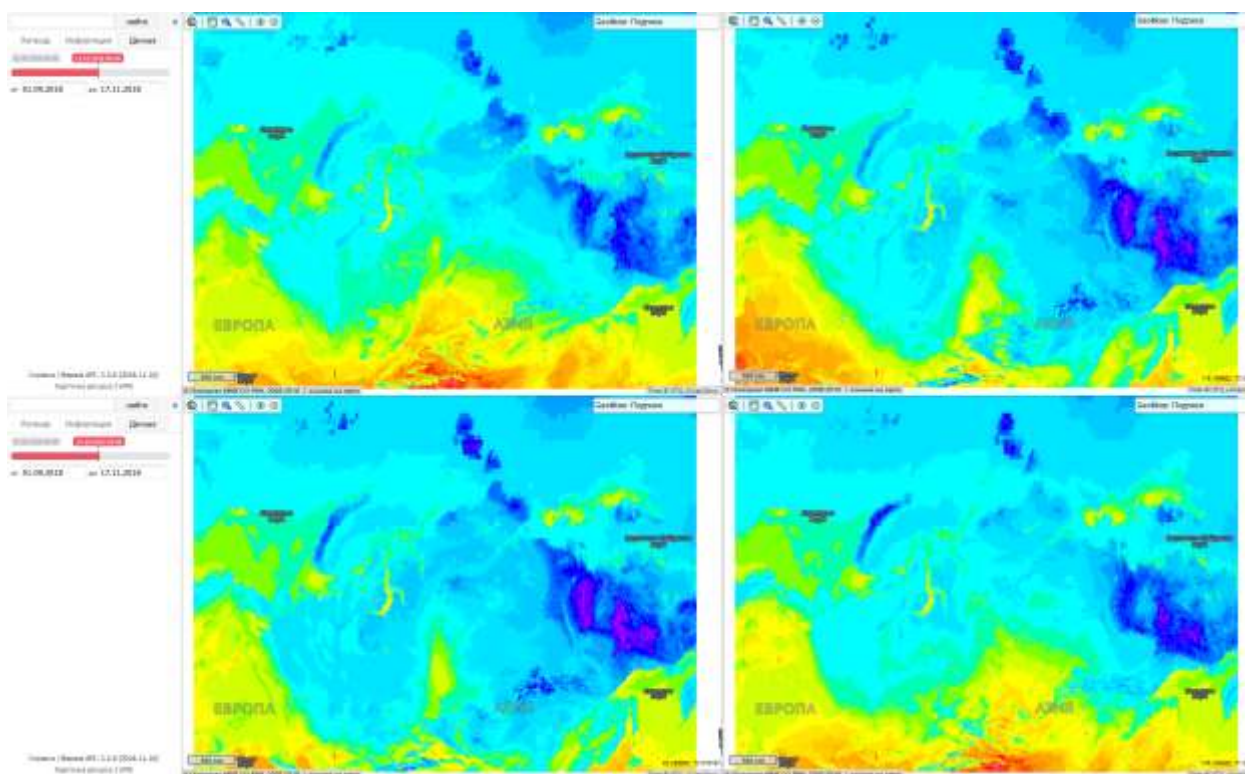


Рисунок 10 – Веб-интерфейс картографического веб-приложения с примером карты температур поверхности Земли.

Основные публикации по разделу:

Yakubailik O.E., Kadochnikov A.A., Tokarev A.V. WEB Geographic Information System and the Hardware and Software Ensuring Rapid Assessment of Air Pollution // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2018. – Vol. 54(3). – P. 243-249. DOI: 10.3103/S8756699018030056

Разработка подсистемы импорта данных реанализа для геопортала ИВМ СО РАН

В некоторых системах дистанционного мониторинга возникает потребность в использовании метеорологических данных и создания удобных методов и инструментов, обеспечивающих возможность их совместного анализа с другими пространственными данными. Одним из важных классов метеоинформации являются данные реанализа. Это данные фактических измерений, прошедшие через физические модели, согласованные между собой и пересчитанные на регулярную пространственную и временную сетку. Одним из основных достоинств данных реанализа является наличие устойчивых, очищенных от ошибок многолетних рядов данных. Это позволяет использовать их при анализе как текущей спутниковой информации, так и долговременных архивов данных ДЗЗ.

Геопортал ИВМ СО РАН создавался как платформа для построения распределенных информационно-аналитических геоинформационных систем и сервисов. Одним из ее блоков является подсистема оперативного научно-исследовательского мониторинга за состоянием окружающей среды. В настоящее время уже созданы адаптеры для регулярного автоматического импорта данных из различных источников, в том числе:

- Ежедневные сводки глобального покрытия (GSOD) Национального климатического центра США с метеорологических станций всего мира, в том числе – с российских.
- Данные по загрязнение атмосферного воздуха из «Краевой системы наблюдений за состоянием окружающей среды» с автоматизированных постов наблюдений.
- Оперативные данные ежедневных наблюдений (уровень воды и характеристики его изменения, температура воды и воздуха) на гидрологических постах в Красноярском крае из федеральной системы информации об обстановке в мировом океане ЕСИМО.
- Выборочная метеорологическая информация системы мониторинга ФГБУ «Среднесибирское УГМС» (Росгидромет).

Добавление данных реанализа на геопортал существенно расширяет возможности платформы в части представления и анализа данных. Одним из этапов реализации этой

задачи является разработка подсистемы регулярного получения данных. К ней можно сформулировать следующие требования:

- автоматизация процессов получения и обработки данных;
- ведение архива данных;
- поддержка нескольких источников данных;
- возможность регулярного отслеживания наличия обновлений;
- поддержка запросов к базе метео данных для получения как единовременных показателей, так и временных рядов.

На сегодняшний день в мире существует несколько основных глобальных численных моделей прогнозирования погоды: американская GFS, английская UKMet и европейская модель ECMWF. Global Forecast System – одна из широко используемых численных моделей прогноза погоды, созданная National Centers for Environmental Prediction (NCEP). GFS модель обновляется четыре раза в день (00:00, 06:00, 12:00 и 18:00 UTC) и выдает прогнозы до 16 суток (на 384 часа). Данные формируются по регулярной сетке с несколькими пространственными разрешениями (0.25° , 0.5° , 1°) на весь земной шар. Исходные данные GFS находятся в открытом бесплатном доступе на американских серверах (<http://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs/>) в формате GRIB2 за 7 последних дней. Доступ к архиву за предыдущее время свободно предоставляет Национальный центр атмосферных исследований (NCAR) (<http://rda.ucar.edu/>).

На первом этапе был разработан прототип сервиса для автоматического импорта данных реанализа, который поддерживает работу с данными модели GFS из нескольких источников – серверов NCEP и NCAR. Реализация сервиса выполнялась на языке сценариев PHP 5 с использованием фреймворка Yii. Это высокоэффективный PHP-фреймворк для разработки веб-приложений реализующий парадигму MVC. Он основан на компонентной структуре и позволяет максимально применить концепцию повторного использования кода, существенно ускоряя процесс веб-разработки. Для обработки файлов формата GRIB использовалась специализированная утилита wgrib2, разработанной NOAA.

Обработка данных выполняется в несколько этапов:

- Загружается GRIB2 файл с пространственным разрешением 0.25° с данными реанализа (пример: gfs.0p25.2018010100.f000.grib2, 184 Мб).
- Из покрытия всего земного шара вырезается только область с Россией.

- Из 354 доступных показателей сохраняются: TMP, PRES, GUST, VIS, WEASD, SNOD, RH, DPT, SUNSD, PWAT, CWAT, ICEC, TSOIL, SOILW.
- Результат записывается в GRIB2 файле (~2 Мб), дополнительно генерируется JSON файл с метаданной.

Первичный архив ведется в файловой системе, с заданной структурой папок и правил наименования файлов (/YYYY-MM/gfs.YYYYMMDDHH.0p25.f000.grib2). Запуск процедуры импорта происходит по расписанию 4 раза в сутки из планировщика задач. Кроме этого поддерживается ручной импорт из архива NCAR с указанием периода времени.

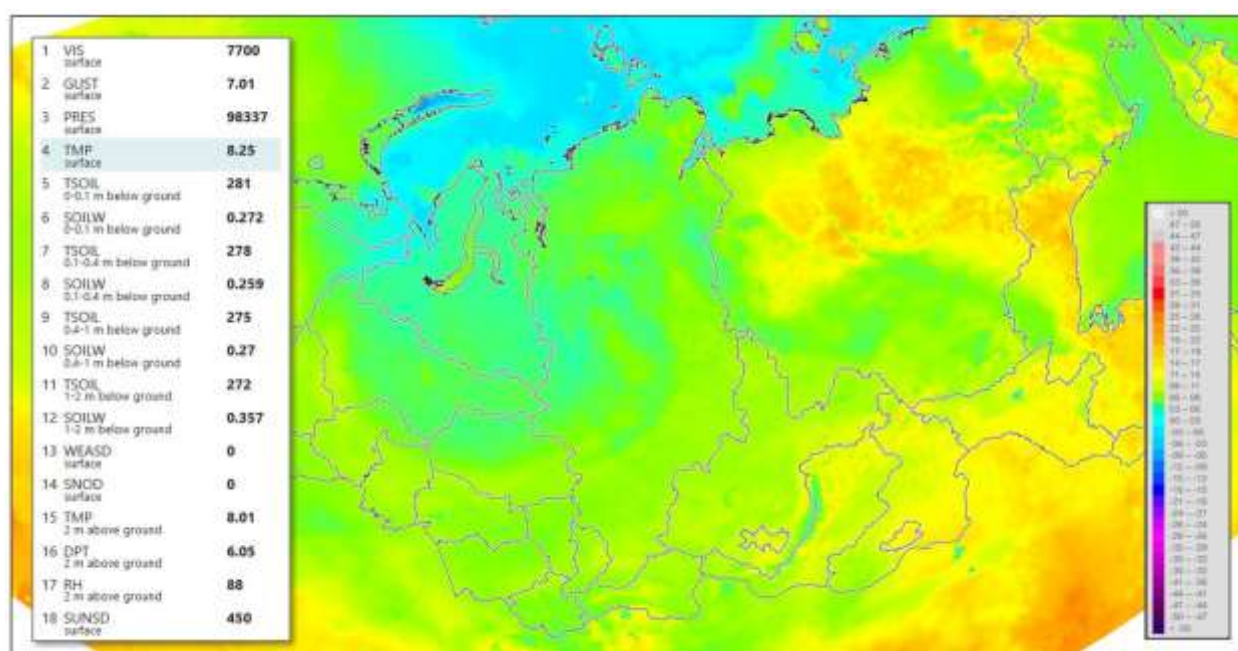


Рисунок 11 – Пример отображения температуры поверхности Земли на 01.08.2018 00:00 UTC

Возможности геоportала ИВМ СО РАН позволяют выполнять регистрацию внешних источников пространственных данных, в том числе и в формате GRIB2. После этого растровые слои можно использовать для создания тематических карт и анализа данных.

Для наглядной визуализации временных рядов по данным реанализа было создано тестовое приложение на платформе геоportала (Рис. 11). Пользовательский интерфейс содержит фильтры для выбора момента времени и одного из показателей, в результате отображается тематическая карта с подходящей цветовой палитрой. Поддерживаются пространственные запросы для получения значений всех доступных показателей в конкретной точке карты.

Основные публикации по разделу:

Якубайлик О.Э., Кадочников А.А., Павличенко Е.А., Ромасько В.Ю., Токарев А.В. Аппаратно-программный комплекс приема, оперативной обработки и визуализации спутниковых данных ФИЦ КНЦ СО РАН // В сборнике: Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли Материалы V Международной научной конференции. Сибирский федеральный университет, Институт космических и информационных технологий. – 2018. – С. 25-29.

Экспериментальное и вычислительное моделирование взаимосвязей между основными трофическими звеньями водных экосистем и их зависимости от абиотических факторов среды.

Оценка биопродукционного потенциала и экологического статуса водных объектов бассейна Енисея

Зообентос – один из важнейших элементов экосистем континентальных водоемов и водотоков. Донные беспозвоночные способствуют естественному самоочищению вод и являются хорошими индикаторами происходящих изменений внешней среды, в том числе и антропогенного характера. Кроме того, зообентос – важная составляющая кормовой базы всех видов сибирских рыб (осетровых, сиговых, хариусовых, карповых и др.). Наиболее емкие сведения о сообществах донных беспозвоночных водотоков бассейна Енисея получены еще в середине прошлого столетия. Последующие исследования в полной мере не отражают представлений о современном состоянии зообентоса, поскольку носили фрагментарный характер, велись преимущественно в Енисее, в меньшей степени посвящены его притокам. В то же время, развитие Сибири в новых социально-экономических условиях выдвигает требования более точных, современных и конкретных количественных сведений о биологических ресурсах.

На основе данных, собранных в ходе маршрутных биосъемок в р. Енисей (от истока до устья р. Ангара) и его притоках (рр. Абакан, Мана, Кан, Агул, Кунгус), оценена структурная организация и пространственное распределение сообществ реофильного зообентоса в бассейне Енисея. Проведенное исследование дополнило имеющиеся сведения современными данными о количественном распространении зообентоса в бассейне Енисея.

Все исследованные водотоки являются горными реками, в донной фауне которых преобладают литореофильные организмы, заселяющие каменистые грунты на большом течении. В зообентосе обнаружен 231 вид макробеспозвоночных, широко распространенных в Палеарктике и Голарктике. Доминирующие комплексы характеризовались изменчивостью по мере удаления от истоков рек.

В р. Енисей видовой состав бентонтов расширялся от верховья (48) к устью р. Ангара (69). В верховье Енисея (участок 1, на территории республики Тыва) ядро донных сообществ представляли поденки, ручейники и хирономиды (Рис. 12). На территории республики Хакасии (участок 2) определяющим фактором для формирования структуры

зообентоса являлось обилие фитоценозов, где абсолютными доминантами являлись байкальские амфиподы *Gmelinoides fasciatus*. В зообентосе Среднего Енисея (участок 3, от плотины Красноярской ГЭС до устья р. Ангара) по сравнению с верховьем существенно возросла доля хирономид.

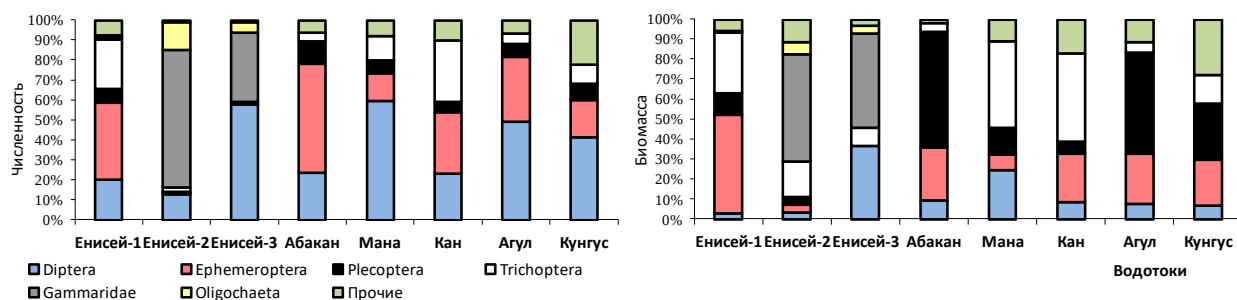


Рисунок 12 – Структурная организация зообентоса в р. Енисей и его притоках

В притоках видовой состав бентонтов разнообразнее, чем в Енисее; максимальным видовым богатством отличались рр. Мана и Кан. Донные сообщества в притоках Енисея представлены преимущественно хирономидами и поденками, в р. Кан численность дополняли ручейники. Выявлена смена структурообразующих комплексов зообентоса в рр. Мана, Агул, Кунгус по сравнению с более ранними исследованиями других авторов.

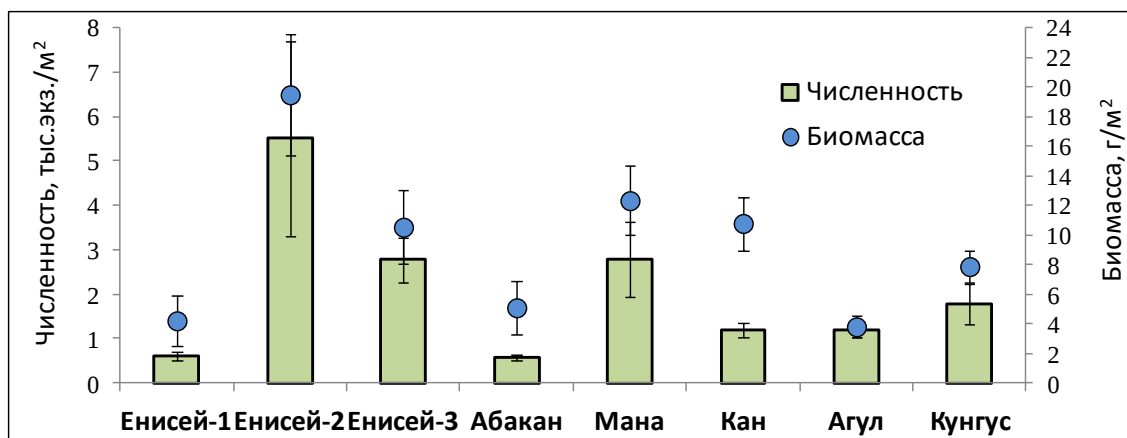


Рисунок 13 – Численность и биомасса зообентоса в р. Енисей и водотоках его бассейна

Количественное распределение донной фауны в Енисее (Рис. 13) характеризовалось низкими показателями в верховье (612 экз./м^2 и $4,2 \text{ г/м}^2$) и высокими на участке 2 ($5,5 \text{ тыс. экз./м}^2$ и $19,5 \text{ г/м}^2$). При этом увеличение плотности на участке 2 наблюдалось в фитофильных сообществах ($18,0 \pm 6,6 \text{ тыс. экз./м}^2$ и $38,4 \pm 13,3 \text{ г/м}^2$) за счет обилия молоди амфипод; в остальных биоценозах численность составила $2,1 \pm 0,4 \text{ тыс. экз./м}^2$, биомасса – $14,3 \pm 2,4 \text{ г/м}^2$. В Среднем течении Енисея на участке 3 (от плотины Красноярской ГЭС до

устья р. Ангары) количественные показатели донных сообществ (2,8 тыс. экз./м² и 10,5 г/м²) вполне согласуются с более ранними исследованиями, проведенными нами в начале 2000-ых годов – 3,5 тыс. экз./м² и 10,8 г/м².

Трофический статус Верхнего Енисея, а также притоков Абакан и Агул соответствовал “Умеренному” классу (α -мезо-трофный); р. Кунгус относится к “Среднему” классу (β -мезотрофный); Средний Енисей вместе с притоками Мана и Кан характеризуется “Повышенной” трофностью (α -евтрофный).

Известно, что рыбопродуктивность водных объектов определяется уровнем развития в них кормовых ресурсов. На основе количественных данных о степени развития кормовой базы (зообентос) проведена оценка потенциальной рыбопродуктивности исследованных рек (Табл. 2).

Таблица 2. Потенциальная рыбопродуктивность бассейна р. Енисей (верхнее и среднее течение)

Водный объект	Площадь участка, га	Продукция зообентоса, т	Потенциальная рыбопродуктивность, кг/га	Ихтиомасса бентофагов*, кг/га
р. Енисей (от г. Кызыл до г. Шагонар)	7 963	1003	10,5	2,3
р. Енисей (от Майнской ГЭС до г. Абакан)	3 082	1322**	35,8	17,2
р. Енисей (от Красноярской ГЭС до устья р. Ангара)	24 440	7699	26,3	18,8
р. Абакан	9 438	1438	12,7	8,6
р. Мана	3 542	1307	30,8	4,5
р. Кан	10707	3469	27,0	6,9
р. Агул	4 427	503	9,5	4,5
р. Кунгус	870	205	19,6	4,5

Примечание.

* – ихтиомасса основных бентофагов (ленок, хариус) согласно контрольным уловам;

** – без учета фитофильного зообентоса

Выявлено, что рыбохозяйственный потенциал бассейна Енисея достаточно высок. Основываясь на потенциальной рыбопродуктивности водного объекта, а также на численности и биомассе рыб, общий предельно допустимый объем вселения подрощенной молоди для целей искусственного воспроизводства может достигать 139,28 млн. шт. Первое место по объемам вселения занимает молодь лососевых рыб (таймень, ленок,

хариус) – 135,82 млн. шт. Наибольшей приемной емкостью обладает р. Енисей (на участке от плотины Красноярской ГЭС до р. Ангара), наименьшей – р. Агул и ее приток р. Кунгус.

Основные публикации по разделу:

Андрианова А.В. Структурная организация донной фауны в бассейне Енисея (верхнее и среднее течение) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 7. – С. 140-145. DOI 10.17513/mjpf.12343.

Андрианова А.В., Якубайлик О.Э., Шанько Ю.В. Современные данные о пространственном распределении байкальских амфипод в р. Енисей и их визуализация в геоинформационной веб-системе // Российский журнал биологических инвазий. – 2018. – № 3. – С. 2-19.

Исследования экосистемы Красноярского водохранилища

В соответствии с планом научно-исследовательских работ, в течение отчетного периода проводились исследования структурно-функциональных характеристик экосистемы Красноярского водохранилища во взаимосвязи с абиотическими условиями водной среды.

Сформирована единая база данных рядов натурных наблюдений за 2000-2017 гг. по содержанию растворенного кислорода в водной среде, биологического потребления кислорода (БПК), численности и биомассы бактериопланктона, доминантно-видового состава, численности и биомассы фитопланктона, продукционной активности фитопланктона в русле и заливах средней части Красноярского водохранилища с привязкой станций отбора проб к лоции Красноярского водохранилища в летний период с учетом уровня водонаполнения водотока, сроков летнего периода.

Анализ данных базы с использованием метода кластерного анализа выявил влияние уровня воды в водохранилище на размерные характеристики и численность клеток фитопланктона, выражающееся в обратной зависимости от водности (Рис. 14). Максимальный размер клеток фитопланктона наблюдался в маловодные годы, что может свидетельствовать как о росте самой клетки, так и о смене видового состава фитопланктона при низком уровне наполнения водохранилища (Рис. 15). При анализе видового состава выявлено, что увеличение численности достигается за счет прироста сине-зеленых водорослей. Диатомовые не имеют характерных зависимостей от уровня наполнения водохранилища. Продукционные и количественные характеристики

бактериопланктона заметно изменяются в течение внутригодового вегетационного периода, возрастая от июня к августу на порядок и более.

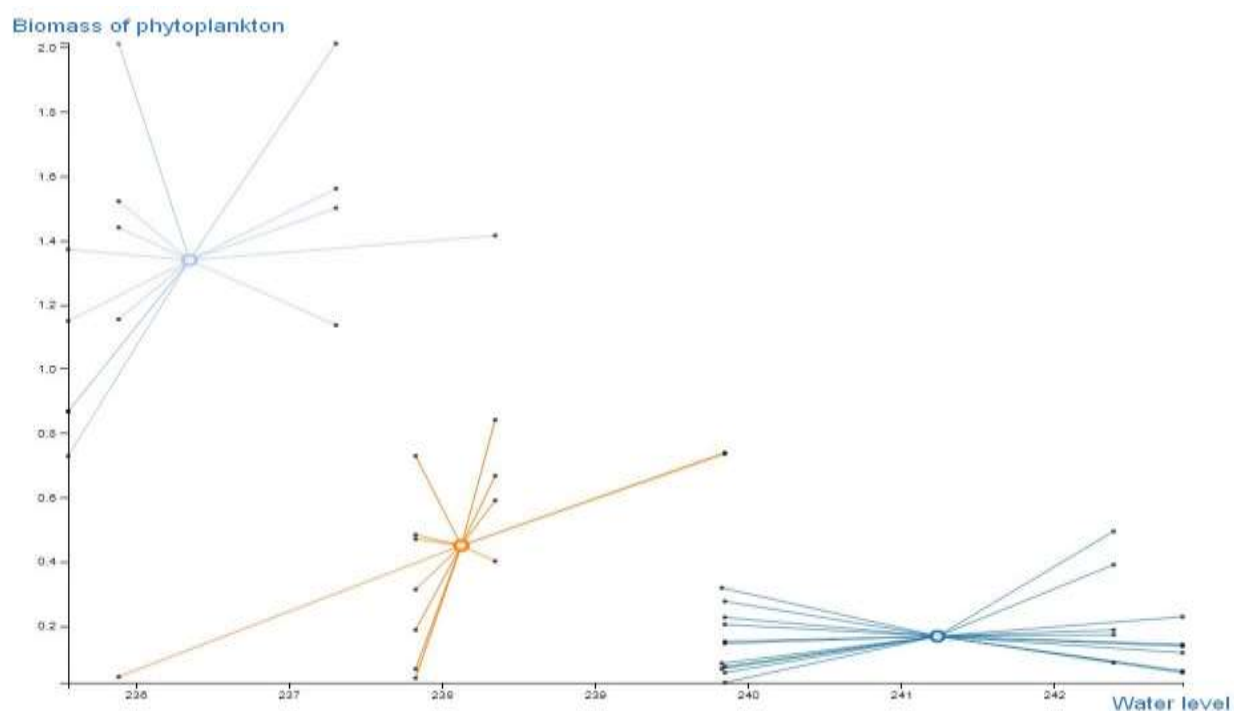


Рисунок 14 – Изменение биомассы фитопланктона в зависимости от уровня воды в Красноярском водохранилище.

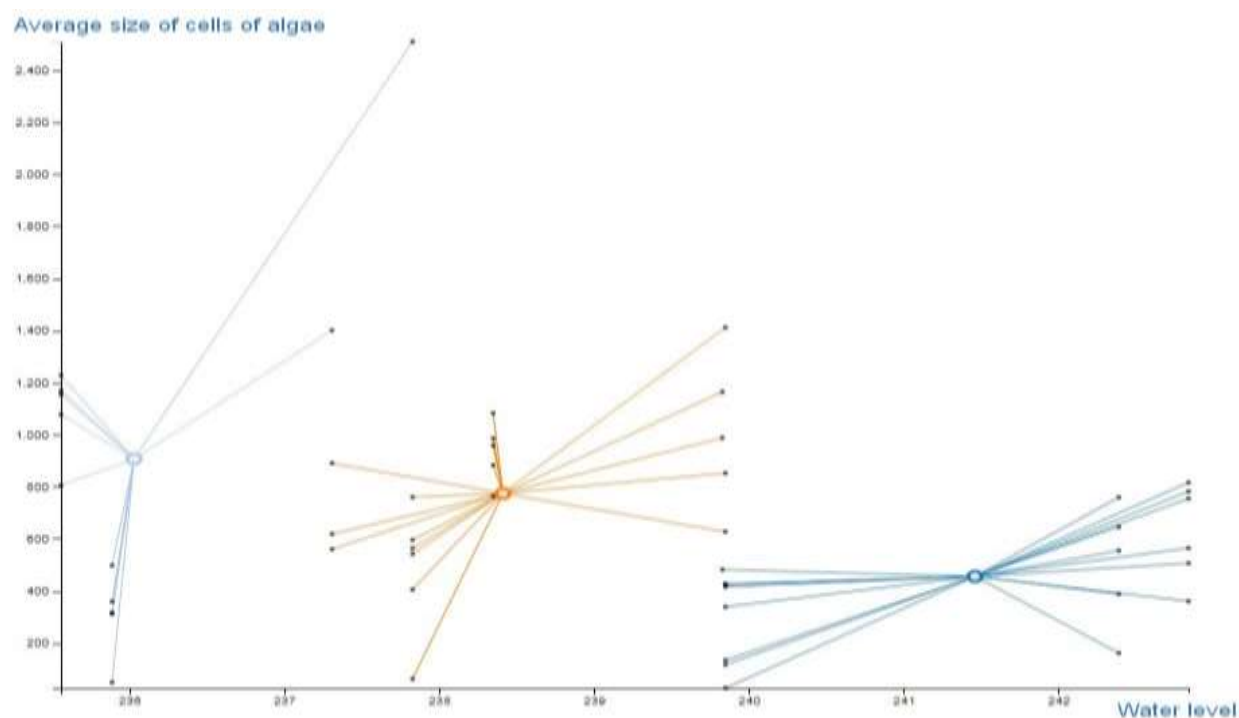


Рисунок 15 – Изменение размера клеток фитопланктона в зависимости от уровня воды в Красноярском водохранилище.

Показано, что в вегетационный период значение БПК₅ снижается от июня к августу, но зависимости значений БПК₅ от температуры воздуха в летний период не отмечено. Однако оценка изменения значений БПК₅ от начальной равновесной концентрации кислорода в воде выявила прямо пропорциональную зависимость, что определяет опосредованное влияние температуры воды на процессы БПК. Выявлено, что при увеличении водности увеличивается сапробность, которая является показателем качества воды, т.е. при увеличении уровня воды происходит снижение класса качества (Рис. 16).

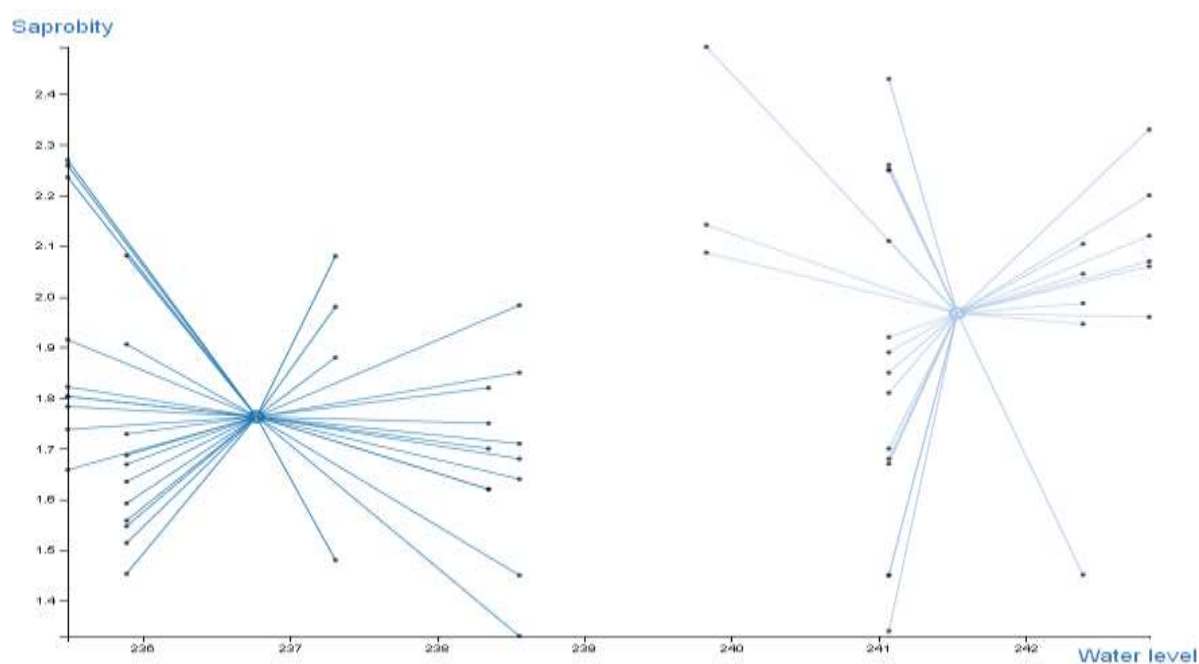


Рисунок 16 – Изменение коэффициента сапробности в зависимости от уровня воды в Красноярском водохранилище.

Основные публикации по разделу:

Postnikova P., Korobko A., G. Makarskaya G. Analysis of the influence of abiotic factors on the functional activity of plankton communities of the Krasnoyarsk reservoir // International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM-2018 Conference Proceedings. – 2018. – Vol. 18, Issue 3.1. – P. 47-54.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В течение 2018 года выполнен полный цикл исследований, запланированных по данному проекту. В ходе его выполнения получены результаты, приоритет которых подтверждается рейтинговыми публикациями в ведущих российских и зарубежных научных журналах.

Разработаны информационно-вычислительные сервисы для геопространственных данных системы экологического мониторинга. Сервисы обеспечивают формирование базы данных для задачи оценки, прогнозирования состояния окружающей природной среды, связанной с загрязнением атмосферы промышленного города. Реализация выполнена на основе стандартов REST построения распределенных приложений; разработанные программные интерфейсы (API) обеспечивают передачу/получение информации со станций экологического мониторинга.

Создано приборно-измерительное обеспечение для задач оценки загрязнения атмосферы мелкодисперсной пылью на базе БПЛА (беспилотного летательного аппарата – квадрокоптера). Разработанная система (сенсор, установленный на квадрокоптере) позволяет измерять загрязнение атмосферы, метеорологические параметры.

Проведены исследования гидротермического режима нижнего бьефа Красноярской ГЭС методами математического моделирования и дистанционного зондирования. Предложена простая модель летнего гидротермического режима реки Енисей, основанная на вычислении температуры воды в движущейся вместе с водой системе координат. Физически обоснованный расчет энергетического баланса в воде учитывает поглощение водой солнечной энергии, излучение и поглощение воды в тепловом инфракрасном диапазоне, а также затраты энергии на испарение воды и обусловленный конвективными процессами ее нагрев. Полученные в результате физико-математического моделирования и обработки данных дистанционного зондирования значения температуры воды близки к экспериментальным данным, регистрируемым на гидропостах.

Проведены исследования тепловых аномалий г. Красноярска и его окрестностей. В качестве исходной информации рассматривались данные ДЗЗ дальнего (теплого) ИК-диапазона спутника Landsat-8 (разрешение 100 м/пиксел) и данные видимого и ближнего ИК-диапазонов спутниковой группировки PlanetScope. Результаты показали, что использование сочетания спутниковых данных различного пространственного разрешения дает возможность проведения детального анализа температурных аномалий городской

среды. Такая информация может быть использована при планировании развития города, освоении новых территорий, реконструкции жилых и производственных зон, для оценки комфортности условий жизни в различных городских районах.

Исследованы скачкообразные изменения климата за последнее столетие на региональном уровне. Обнаружено, что среднегодовые температурные аномалии азиатской части России в целом повторяют лестнице-образную динамику роста глобальных температур, очищенных от эффектов Эль-Ниньо.

Выполнена разработка прототипа информационно-аналитической системы для мониторинга загрязнения атмосферы. Созданное программное обеспечение обеспечивает интеграцию данных, поступающих из разных источников, совместную визуализацию данных. Для интегральной оценки степени загрязнения атмосферы предусматривается использование унифицированные показатели – индексов качества атмосферы AQI (Air Quality Index), NowCast, InstantAQI и других.

Проведен анализ уровня загрязнения Красноярска взвешенными частицами по данным оперативного мониторинга загрязнения на постах краевой ведомственной системы экологического мониторинга. Обнаружена взаимосвязь между содержанием концентрации взвешенных частиц PM_{2,5} в воздушной среде г. Красноярска и высотой расположения постов наблюдения над уровнем Енисея. Установлено, что количество дней, когда концентрация взвешенных частиц превышает среднесуточную ПДК, больше, чем дней, прогнозируемых неблагоприятных метеоусловий, прогнозируемых Росгидрометом.

Разработаны новые сервисы геопортала ИВМ СО РАН, предназначенные для обработки и визуализации меняющихся во времени геопространственных данных. В частности, для данных с постоянной во времени геометрией объектов, но с изменяющейся атрибутивной информацией, для данных на регулярных сетках (например, поле температуры). Изменяемая во времени информация может быть представлена как в отдельных файлах, так и в атрибуте одного файла, если это не противоречит ограничениям используемого формата геопространственных данных. Программная реализация сервисов основана на международных стандартах OGC WMS TIME.

Создана подсистема метеорологических данных геопортала ИВМ СО РАН – на основе информации Центра прогнозирования погоды NCEP/NOAA. Данные обновляются 4 раза в сутки, имеют пространственное разрешение 0.25° (около 27 км/пиксел). Реализована подсистема архивирования данных и формирования связанных с ними метаданных, средства оперативной интерактивной веб-визуализации. Пользовательский

интерфейс содержит фильтры для выбора момента времени и одного из показателей, в результате отображается тематическая карта с подходящей цветовой палитрой. Поддерживаются пространственные запросы для получения значений всех доступных показателей в конкретной точке карты.

Выполнена оценка биопродукционного потенциала и экологического статуса водных объектов бассейна Енисея. Выявлено, что рыбохозяйственный потенциал бассейна Енисея достаточно высок. Основываясь на потенциальной рыбопродуктивности водного объекта, а также на численности и биомассе рыб, общий предельно допустимый объем вселения подрощенной молоди для целей искусственного воспроизводства может достигать 139,28 млн. шт. Первое место по объемам вселения занимает молодь лососевых рыб (таймень, ленок, хариус) – 135,82 млн. шт. Наибольшей приемной емкостью обладает р. Енисей (на участке от плотины Красноярской ГЭС до р. Ангара), наименьшей – р. Агул и ее приток р. Кунгус.

Проведены исследования экосистемы Красноярского водохранилища. Анализ данных базы данных рядов натурных наблюдений за 2000-2017 гг. по содержанию растворенного кислорода в водной среде, биологического потребления кислорода (БПК), численности и биомассы бактериопланктона, доминантно-видового состава, численности и биомассы фитопланктона, продукционной активности фитопланктона в русле и заливах средней части Красноярского водохранилища с использованием метода кластерного анализа выявил влияние уровня воды в водохранилище на размерные характеристики и численность клеток фитопланктона, выражающееся в обратной зависимости от водности. При анализе видового состава выявлено, что увеличение численности достигается за счет прироста сине-зеленых водорослей. Диатомовые не имеют характерных зависимостей от уровня наполнения водохранилища. Продукционные и количественные характеристики бактериопланктона заметно изменяются в течение внутригодового вегетационного периода, возрастая от июня к августу на порядок и более.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Научные публикации в журналах, индексируемых в российских и международных
информационно-аналитических системах научного цитирования

1. Yakubailik, O.E., Kadochnikov, A.A., Tokarev, A.V. WEB Geographic Information System and the Hardware and Software Ensuring Rapid Assessment of Air Pollution // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2018. – Vol. 54(3). – P. 243-249. DOI: 10.3103/S8756699018030056
2. Shaparev N., Tokarev A., Yakubailik O., Soldatov A. Web technologies for rapid assessment of pollution of the atmosphere of the industrial city // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 363(1). – P. 012034. DOI: 10.1088/1757-899X/363/1/012034
3. Андрианова А.В., Якубайлик О.Э. Геоинформационная база данных для анализа пространственного распределения байкальских эндемичных амфипод в р. Енисей // Вычислительные технологии. – 2018. – Т. 23, № 4. – С. 5-14. DOI: 10.25743/ICT.2018.23.16487
4. Андрианова А.В. Структурная организация донной фауны в бассейне Енисея (верхнее и среднее течение) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 7. – С. 140-145. DOI: 10.17513/mjpf.12343
5. Гостева А.А., Матузко А.К., Якубайлик О.Э. Дистанционные методы в изучении температуры поверхности земли в городах (на примере г. Красноярск, Россия) // ИнтерКарто/ИнтерГИС. – 2018. – Т. 24, № 2. – С. 195-205. DOI: 10.24057/2414-9179-2018-2-24-195-205
6. Andrianova A.V., Yakubailik O.E., Shan'ko Y.V. Modern data on the spatial distribution of the baikal amphipods in the Yenisei River and their visualization in the geoinformational web system // Russian Journal of Biological Invasions. – Vol. 9. – № 4. – P. 299-312. DOI: 10.1134/S2075111718040021
7. Matuzko A.K., Yakubailik O.E. Monitoring of land surface temperature in Krasnoyarsk and its suburban area based on Landsat 8 satellite data // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. – 2018. – Vol. 11(8). – P. 934-945. DOI: 10.17516/1999-494X-0115.
8. Матузко А.К., Якубайлик О.Э. Мониторинг температуры земной поверхности территории Красноярска и окрестностей на основе спутниковых данных Landsat 8 //

- Успехи современного естествознания. – 2018. – № 7. – С. 177-182. DOI: 10.17513/use.36822.
9. Zavoruev V.V., Domysheva V.M., Pestunov D.A., Panchenko M.V., Sakirko M.V. Daily course of CO₂ fluxes in the atmosphere-water system and variable fluorescence of phytoplankton during the open-water period for Lake Baikal according to long-term measurements // *Doklady Earth Sciences*. – 2018. – V. 479, № 2. – P. 507-510. DOI: 10.1134/S1028334X18040207.
 10. Шапарев Н.Я., Шокин Ю.И. Моделирование летнего гидротермического режима в нижнем бьефе Красноярской ГЭС // *Вычислительные технологии*. – 2018. – Т. 23, № 6. – С. 108-115. DOI: 10.25743/ICT.2018.23.6.010.
 11. Shaparev N.Ya., Andrianova A.V. The Yenisei river in terms of sustainable water management // *Geography and Natural Resources*. – 2018. – V. 39, No. 4. – P. 307-315. DOI: 10.1134/S1875372818040030.
 12. Matuzko A.K., Yakubailik O.E. Remote sensing methods for estimation of urban heat islands on the example of Krasnoyarsk city // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM-2018 Conference Proceedings*, 2018, Vol. 18, Issue 2.3, P. 167-174. DOI: 10.5593/sgem2018/2.3/S10.022.
 13. Postnikova P., Korobko A., G. Makarskaya G. Analysis of the influence of abiotic factors on the functional activity of plankton communities of the Krasnoyarsk reservoir // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM-2018 Conference Proceedings*. – 2018. – Vol. 18, Issue 3.1. – P. 47-54. DOI: 10.5593/sgem2018/3.1/S12.007
 14. Zavoruev V.V., Zavorueva E.N. Dynamics of PM_{2.5} concentration in the atmospheric surface layer over Krasnoyarsk in winter (2017-2018) // *Proceedings of SPIE*. – 2018. – Vol. 10833. – Article 108338Y. DOI: 10.1117/12.2505205.
 15. Shaparev N.Ya., Shokin Yu.I., Yakubailik O.E. Research of hydrothermal regime in the Krasnoyarsk hydroelectric power station downstream by mathematical modeling and remote sensing // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – Vol. 211. – Article 012022. DOI: 10.1088/1755-1315/211/1/012022.
 16. Yakubailik O.E., Kadochnikov A.A., Tokarev A.V. Computational technologies and software for assessment of air pollution in Krasnoyarsk // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2018. – Vol. 211. – Article 012080. DOI: 10.1088/1755-1315/211/1/012080.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Выписка из плана научно-исследовательской работы на 2018 год

Содержание работы	Планируемый результат выполнения работы
1. Проектирование и разработка методов и вычислительных технологий оперативной обработки данных наземного мониторинга и дистанционного зондирования для задач оценки и прогнозирования состояния окружающей природной среды.	1. Комплекс информационно-вычислительных сервисов для ввода, представления и аналитической обработки пространственных данных наземного мониторинга и дистанционного зондирования, обеспечивающий решение широкого класса научно-исследовательских задач. Пользовательский интерфейс для доступа к разработанным сервисам обработки данных.
2. Проектирование и разработка интерфейсов и сервисов программно-технологического обеспечения веб-ГИС для оперативной оценки загрязнения атмосферы и климатических условий г. Красноярска на основе данных оперативного наземного мониторинга и дистанционного зондирования; опытная эксплуатация этой системы.	2. Информационно-аналитическая система оперативной оценки загрязнения атмосферы и климатических условий в г. Красноярске на основе веб-ГИС с унифицированными показателями (индексами) качества атмосферы. Система будет основана на оперативных данных, поступающих с городских автоматизированных постов наблюдения за состоянием атмосферы, а также данных дистанционного зондирования.
3. Оценка биопродукционного потенциала и экологического статуса водных объектов бассейна Енисея. Анализ структурно-функциональных характеристик экосистемы Красноярского водохранилища во взаимосвязи с абиотическими условиями водной среды.	3. Выявлена пространственная организация гидробиологических сообществ основных трофических звеньев экосистем, на основе которой оценено качество воды в бассейне Енисея. Сформирована база данных многолетних рядов натурных наблюдений по биотическим и абиотическим компонентам экосистемы Красноярского водохранилища.