

Федеральное агентство научных организаций

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

ГРНТИ 50.41.23

№ (ЦИТИС) АААА-А18-118011890026-9

ИНВ № 0726/2017

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФИЦ КНЦ СО РАН

_____ Волков Н.В.
_____ 201__ г.

ОТЧЕТ

О ВЫПОЛНЕНИИ ПРОЕКТА

«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ»

(промежуточный)

Номер проекта в ИСГЗ ФАНО 0356-2016-0726

Приоритетное направление: Информационно-телекоммуникационные системы

Программа ФНИ (номер и наименование): IV.38. Проблемы создания глобальных и интегрированных информационно-телекоммуникационных систем и сетей, развитие технологий и стандартов GRID

Протокол Ученого совета _____

№ _____ от «__» _____ 201__ г.

Руководитель проекта

д.ф.-м.н., профессор

_____ Н.Я. Шапарев

"__" _____ 2017 г.

Красноярск, 2017

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)	
Нормоконтролер		А.В. Вяткин
	(подпись, дата)	

РЕФЕРАТ

Отчёт 43 с., 14 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. Основные результаты научно-исследовательских работ за отчетный период по проекту состоят в следующем.

Выполнены работы по проектированию и разработке информационно-аналитического, программного обеспечения для мониторинга и оценки качества атмосферного воздуха. Разработаны программные компоненты для расчета индекса качества атмосферы (Air Quality Index, AQI), они интегрированы в подсистему оперативного научно-исследовательского мониторинга за состоянием загрязнения геопортала ИВМ СО РАН. Созданы прикладные веб-сервисы для автоматической загрузки в базу данных геопортала данных, поступающих из краевой системы наблюдений за состоянием загрязнения атмосферы. Разработано веб-приложение для визуализации этих данных.

Создан макет прибора для измерения концентрации взвешенных частиц PM_{2.5} в атмосфере, основанный на датчике Plantower PMS7003 и микроконтроллере Arduino Nano. Логика и управление режимами работы устройства реализованы с помощью микропрограмм на языке Wiring (упрощенный C++) с использованием ряда open source библиотек. Прибор обеспечивает отображение текущих значений уровней загрязнения на OLED-дисплее, передачу регистрируемых данных на геопортал через сотовую сеть. На геопортале реализован специализированный веб-сервис для приема данных и размещения их в базе данных оперативного мониторинга.

Проведены исследования и получены результаты пространственного распределения загрязнения атмосферы Красноярска по данным официальной экологической отчетности. В результате была сформирована база геопро пространственных данных, на основе которой были построены интегральные карты источников выбросов загрязняющих веществ на территории города, учитывающие в том числе неоднородность рельефа местности.

На основе серии разносезонных спутниковых снимков Landsat8 проведены исследования температуры поверхности Земли в Красноярске и его окрестностях. Выявлены температурные аномалии в пределах города («острова тепла»), проведено сравнение с данными измерений температуры в приземном слое атмосферы на автоматизированных постах наблюдений (метеостанциях) Росгидромета.

Исследованы структуры вида «режимы-скачки» в изменениях глобального климата с середины XX века. Показано, что большую часть времени в 1950-1987, 1988-1997 и 1998-2014 годах температуры практически постоянны, а все потепление происходило скачкообразно – в течение коротких промежутков времени 1987-1988 и 1997-1998.

В течение отчетного периода создан новый тематический раздел геопортала ИВМ СО РАН с коллекцией данных оперативного мониторинга, вспомогательными инструментами для их обработки и визуализации. Также реализованы сервисы сбора оперативных данных, которые поступают с нескольких источников – краевая система мониторинга атмосферного воздуха КВИАС, федеральная система ЕСИМО (данные по гидропостам), климатическая информация (NOAA, США), и проч. Поступающие данные размещаются в базе данных, дополнительно проводится их агрегация, вычисление производных показателей.

Проведен анализ многолетнего архива наблюдений за состоянием атмосферного воздуха в Красноярске. На основании имеющихся данных можно сделать предварительный вывод о том, что концентрация взвешенных частиц (PM10) в приземном слое атмосферы в 1,10-1,68 превышает среднегодовую ПДК. Анализ отчетливо показал, что в Красноярске явно не хватает автоматизированных постов наблюдений для того, чтобы дать достоверную оценку уровня аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха.

Выполнены работы по модернизации программного обеспечения для создания и редактирования стилевого оформления тематических карт в веб-интерфейсе. Разработанный новый редактор формирует XML-описание стилевого оформления слоев и карт геопортала, сохраняет его в каталоге ресурсов. Реализованное новое решение значительно упроща-

ет процесс настройки параметров представления пространственных данных на геопортале.

Выполнены работы по созданию программных средств для работы с каталогами спутниковых данных. Разработанные программные инструменты обеспечивают решение первоочередных задач оперативной обработки данных ДЗЗ, поступающих с нового спутникового приемного комплекса ФИЦ КНЦ СО РАН (введен в эксплуатацию весной 2017 г.). Решаются задачи их каталогизации, интерактивной визуализации с помощью веб-приложения, генерации ряда производных продуктов. Рассматривались следующие спутниковые данные: MODIS TERRA/AQUA, Suomi NPP, Метеор-М №2 КМСС.

В рамках очередного этапа исследований характеристик трофических звеньев экосистем была разработана система критериев водопользования в р. Енисей с привлечением подходов, методов и показателей теории устойчивого развития. Выявлено, что за исследованный период уменьшился ежегодный забор свежей воды на 43% и сброс загрязняющих веществ в водные объекты на 64%, при этом возросла доля повторно-последовательного и оборотного использования воды. В крае сохраняется большая степень износа систем водоснабжения, поэтому возникают большие потери воды при транспортировке и ухудшается качество доставляемой воды. В результате значительная доля населения потребляет питьевую воду, не отвечающую гигиеническим нормативам. Русловое зарегулирование Енисея коренным образом изменило биологические ресурсы. Произошла структурная перестройка биологических сообществ, способствующая снижению устойчивости водной экосистемы.

Была исследована временной динамики структурно-функциональных характеристик енисейского фитопланктона в нижнем бьефе Красноярской ГЭС. Известно, что в пределах г. Красноярска основное повышение численности и биомассы фитопланктона произошло после ввода в эксплуатацию Красноярской ГЭС. В рамках настоящего исследования было показано, что на фоне значительного варьирования численности и биомассы фитопланктона, резких межгодовых вариаций не установлено. В 2008-2014 гг. по сравнению с 1984-1987 гг. общая численность фитопланктона осталась на прежнем уровне, биомасса увеличилась в 2 раза. По показателям продуктивности фитопланктона (биомасса и содержание хлорофилла а) енисейские воды относятся к категории олиготрофных и мезотрофных.

В рамках выполнения работ за отчетный период сформирована единая база данных за период 2000-2016 гг. по количественному, доминанто-видовому составу и биомассе фитопланктона, первичной продукции и БПК₅, численности и биомассе бактериопланктона

русла и заливов Красноярского водохранилища, откорректирована привязка полученных данных к станциям отбора проб по карте-лоции водохранилища.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
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.	9
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	20
3. Экспериментальное и вычислительное моделирование взаимосвязей между основными трофическими звеньями водных экосистем и их зависимости от абиотических факторов среды	29
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	37
ПРИЛОЖЕНИЕ А	39
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	43

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с планом работ на 2017 г., исследования проводились по следующим темам:

По Блоку 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 –

Исследования характеристик элементов природной среды на основе анализа и моделирования физических процессов, обработки данных оперативного мониторинга и дистанционного зондирования, натурных наблюдений. Анализ методик и алгоритмов комплексной оценки состояния геосистем.

По Блоку 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 –

Создание информационно-аналитического обеспечения, прикладных геопространственных сервисов для региональных систем мониторинга природной среды и ресурсов – геоинформационных наборов данных, геопортала, сервисов каталогизации и автоматизированной тематической обработки оперативных данных дистанционного зондирования.

По Блоку 3. Экспериментальное и вычислительное моделирование взаимосвязей между основными трофическими звеньями водных экосистем и их зависимости от абиотических факторов среды –

Разработка системы критериев водопользования в р. Енисей с привлечением подходов, методов и показателей теории устойчивого развития. Исследование временной динамики структурно-функциональных характеристик енисейского фитопланктона в нижнем бьефе Красноярской ГЭС.

Полученные в результате выполнения работ в течение 2017 года результаты, изложены ниже в соответствующих разделах.

Блок 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.

Информационно-вычислительное обеспечение мониторинга загрязнения атмосферы

За отчетный период выполнены работы по проектированию и разработке информационно-аналитического, программного обеспечения для мониторинга и оценки качества атмосферного воздуха. Для интегральной оценки степени загрязнения атмосферы был выбран унифицированный показатель – индекс качества атмосферы (Air Quality Index, AQI), который используется во многих странах мира; он обеспечивает возможность предоставления информации в простой и наглядной форме. Основная идея состоит в том, что для каждого вещества формируется шкала уровней загрязнения, состоящая из нескольких классов в зависимости от степени воздействия на здоровье человека. Для каждого класса шкалы уровней загрязнения также вводится цветовое обозначение (зеленый / желтый / красный / бордовый / черный цвет означают соответствующую степень загрязнения атмосферы и влияние на здоровье человека – от безопасного уровня до стихийного бедствия), формулируются рекомендации населению.

В настоящей работе в качестве основы использовалась методика вычисления показателей AQI, предложенная Агентством по охране окружающей среды США и используемая в настоящее время многими странами мира – Китаем, и проч. В ней учитываются концентрации следующих загрязняющих веществ: PM10 – взвешенные частицы (<10мкм), PM2.5 – взвешенные частицы (<2.5мкм), O₃ – озон, CO – оксид углерода, SO₂ – диоксид серы, NO₂ – диоксид азота. Вычисление значения AQI по концентрации загрязняющего вещества выполняется с помощью кусочно-линейной интерполяции. В зависимости от типа вещества используются данные с разным периодом усреднения (1 час, 8 часов, 24 часа). Итоговый показатель качества рассчитывается как максимальный по всем загрязняющим веществам.

Разработанные программные компоненты расчета AQI были интегрированы в подсистему оперативного научно-исследовательского мониторинга за состоянием загрязнения атмосферы Красноярск геопортала ИВМ СО РАН. Были созданы прикладные веб-сервисы для автоматической загрузки (регулярного импорта) данных из Краевой системы наблюдений за состоянием окружающей среды, оператором которой является Краевое гос-

ударственное бюджетное учреждение «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края». Со всех автоматизированных постов наблюдения (АПН) этой краевой системы поступают данные по загрязнению атмосферы с периодичностью в 20 мин. В потоке данных есть большинство показателей, необходимых для расчета AQI, за исключением PM10 и озона, которые поступают нерегулярно. Вся поступающая информация сохраняется в базе данных подсистемы оперативного мониторинга геопортала ИВМ СО РАН.

Для подсистемы оперативного мониторинга геопортала были разработана методика и служебные сервисы обработки геопространственных данных, обеспечивающие в автоматическом режиме проведение расчетов показателей загрязнения атмосферы, вычисление индексов качества воздуха. Поступающие данные из краевой системы наблюдений агрегируются, определяются средние значения за 1 час, 8 часов, 24 часа для всех постов наблюдений. На основе методики расчета AQI вычисляются индексы качества для каждого загрязняющего вещества и его итоговое значение. Результат сохраняется в системе сбора данных в виде производных показателей, что дает возможность получать и использовать их через стандартный программный интерфейс.

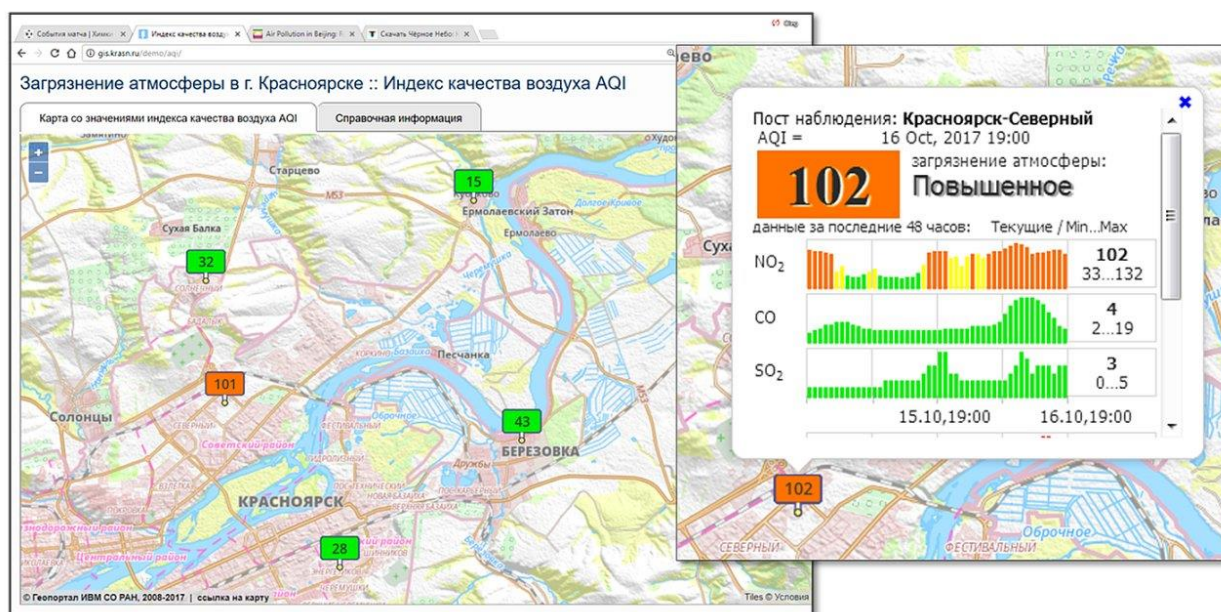


Рис. 1. Интерфейс веб-приложения для мониторинга загрязнения атмосферы.

Проектирование и разработка пользовательского интерфейса веб-ГИС мониторинга выполнялась на основе программных интерфейсов (API) геопортала ИВМ СО РАН, набора

ранее разработанных инструментальных программных средств. Для дизайна экранных форм веб-приложения использовался механизм формирования динамического контента на основе шаблонов. Шаблоны позволяют изменять порядок и форму вывода атрибутивных данных по объектам в слоях карты, включая различные элементы стилового оформления – цвет, параметры шрифтов, и т.д.

Веб-приложение отображает на карте текущие значения AQI по постам наблюдений, динамику изменения индекса качества за последние 48 часов. Данные обновляются каждый час в автоматическом режиме. Разработанная система мониторинга находится в опытной эксплуатации (Рис. 1.).

Основные публикации по разделу:

- Якубайлик О.Э., Кадочников А.А., Токарев А.В. Веб-технологии для геоинформационной системы оперативной оценки загрязнения атмосферы и климатических условий в Красноярске // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов. Труды Всероссийской конференции, Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2017, с. 44-48.
- Yakubailik O. Geospatial services & Web GIS software for environmental monitoring problems // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, www.sgem.org, SGEM2016 Conference Proceedings, v. 1, 2016, № 2, pp. 657-664, DOI 10.5593/SGEM2016/B21/S08.082.

Прибор для измерения уровня загрязнения атмосферы

Мелкодисперсная пыль PM_{2.5} (взвешенные частицы размером до 2,5 мкм) считается одним из основных загрязнителей атмосферы, оказывающих существенное влияние на здоровье человека, однако в настоящее время в г. Красноярске мониторинг этого показателя недостаточно развит. Краевая система наблюдений за состоянием окружающей среды до сих пор не имеет датчиков, измеряющих концентрации PM_{2.5}; сейчас обсуждается их установка на нескольких автоматизированных постах в 2018 г. Стоимость сертифицированных датчиков PM_{2.5} достигает нескольких млн. руб., и поэтому в условиях ограниченных возможностей бюджета в ближайшей перспективе сложно рассчитывать на создание детальной сети наблюдений за концентрацией PM_{2.5} в городе.

Вместе с тем, в настоящее время ряд китайских компаний (PLANTOWER, и проч.) недавно освоил производство относительно дешевых датчиков PM_{2.5} (~20\$), которые по

представленным в Интернете данным обеспечивают достаточную для научно-исследовательского мониторинга точность измерений концентрации PM2.5. Себестоимость готового прибора, который обеспечивает регулярное измерение и передачу данных на сервер сбора, составляет всего несколько тысяч рублей, при этом погрешность измерений не превышает 10%. Это позволяет говорить о потенциальной возможности развертывания/установки достаточно большого количества устройств в городе (десятки – сотни). В результате может быть создана уникальная научно-исследовательская сеть наблюдений за загрязнением атмосферы мелкодисперсным аэрозолем (PM2.5). Такая сеть позволит выявлять проблемные участки и моменты времени в пространственно-временном распределении загрязнений, может стать хорошей «исследовательской основой» для последующего детального анализа сертифицированными приборами, соответствующими экологическими организациями.

Проектирование и разработка устройства для регистрации концентрации мелкодисперсных взвешенных частиц размером до 2,5мкм (PM2.5) в воздухе выполнялась на основе доступных на рынке электронных компонент. Системной основой прибора стал микроконтроллер Arduino – электронный конструктор и удобная платформа быстрой разработки устройств, которая пользуется огромной популярностью во всем мире благодаря удобству и простоте языка программирования, а также открытой архитектуре и программному коду.

Было выполнено программирование микроконтроллер на языке Wiring (упрощенная версия C++), в среде разработки Arduino IDE. Для создания прототипа прибора для измерения концентраций PM2.5 использовались: плата Arduino Nano 3.0, модуль сотовой связи GSM SIM800L, дисплей OLED SSD1306, линейный стабилизатор AMS1117 на 3.3в, преобразователь логических уровней, блок питания. Основным элементом созданного устройства является модуль PMS7003 – универсальный цифровой датчик для измерения концентрации взвешенных частиц в воздухе компании Plantower, в основе работы которого лежит измерение рассеивания лазерного излучения на взвешенных частицах.

Предусмотрено несколько режимов работы устройства с разными периодами отображения и передачи данных на сервер – (время обновления экрана/передачи данных): 5s/off, 5s/20s, 5s/20m, 20m/20m. В режимах с большим периодом ожидания между измерениями выполняется временное выключение внутреннего вентилятора датчика пыли для экономии его ресурса работы.

Использован ряд open source библиотек для программирования устройства: Agenda – для реализации планировщика задач, SSD1306Ascii – для работы с OLED дисплеем на

контроллере SSD1306, TinyGSM – для передачи данных через сотовую сеть. На основе программного кода от Martin Falatic была разработана собственная библиотека для получения данных с датчика PMS7003.

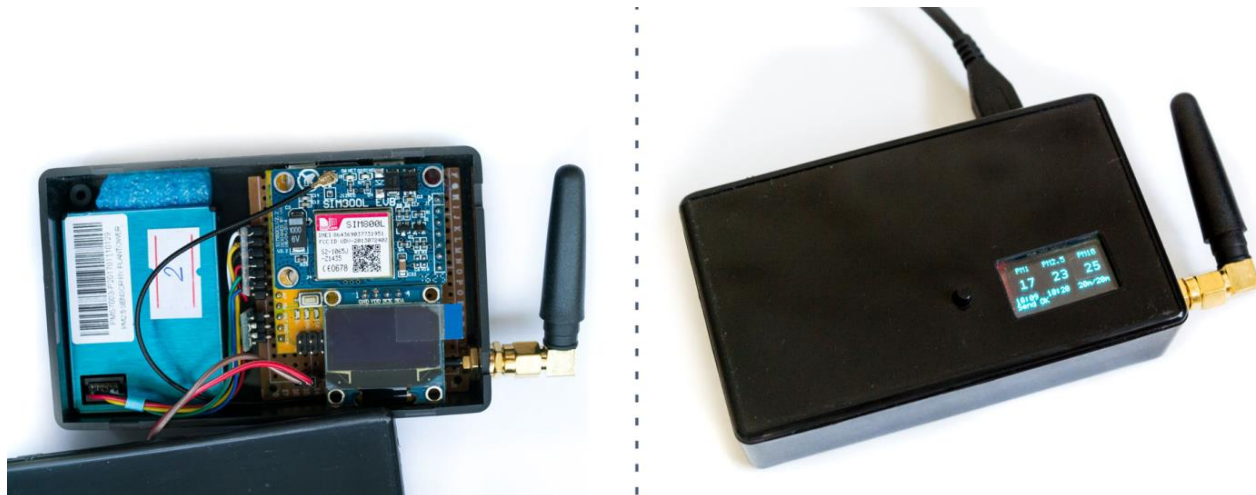


Рис. 2. Прибор для измерения концентрации взвешенных частиц PM2.5 в воздухе.

Для сбора и обработки данных о загрязнении воздуха взвешенными частицами используется сервис SensorCollector геопортала ИВМ СО РАН. API сервиса построено на основе REST подхода, запросы передаются HTTP методами GET/POST/DELETE с параметрами. Передача текущих значений показателей выполняется следующим запросом:

```
http://gis.krasn.ru/sc/api/1.0/projects/<project_id>/values/send?  
key=<key>&site=<site_id>&<values>, где:
```

- *key* – ключ пользователя для доступа к сервису;
- *project_id* – идентификатор проекта, в рамках которого собираются данные;
- *site_id* – идентификатор площадки, на которой размещен датчик;
- *values* – значения показателей передаются отдельными параметрами в виде: `<code>=<value>&...<code>=<value>`, где `code` – код показателя в системе, `value` – его численное значение.

Разработанное устройство находится в опытной эксплуатации (Рис 2.).

В текущей версии прибора реализована передача значений PM1, PM2.5, PM10 на сервер. В дальнейшем список показателей планируется расширить, добавив общее коли-

чество взвешенных частиц в единице объема, температуру, влажность, атмосферное давление.

Основные публикации по разделу:

- Якубайлик О.Э., Кадочников А.А., Токарев А.В. Веб-технологии для геоинформационной системы оперативной оценки загрязнения атмосферы и климатических условий в Красноярске // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов. Труды Всероссийской конференции, Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2017, с. 44-48.
- Shaparev N., Yakubailik O. Usage of Web Mapping Systems and Services for Information Support of Regional Management // MATEC Web of Conferences, v. 79, 2016, № 01081, DOI 10.1051/matecconf/20167901081.

Пространственный анализ загрязнения атмосферы в г. Красноярске

Были проведены исследования загрязнения атмосферы на территории г. Красноярска, основанные на обработке официальных данных по предельно допустимым выбросам. Уровень загрязнения атмосферного воздуха города за последние годы обычно характеризуется, как "очень высокий"; по отчетам Минприроды Красноярск регулярно входит в перечень самых «грязных» городов России.

В результате выполненных работ подготовлена серия тематических карт, на которых представлены пространственные данные по различным загрязняющим веществам (Рис. 3.).

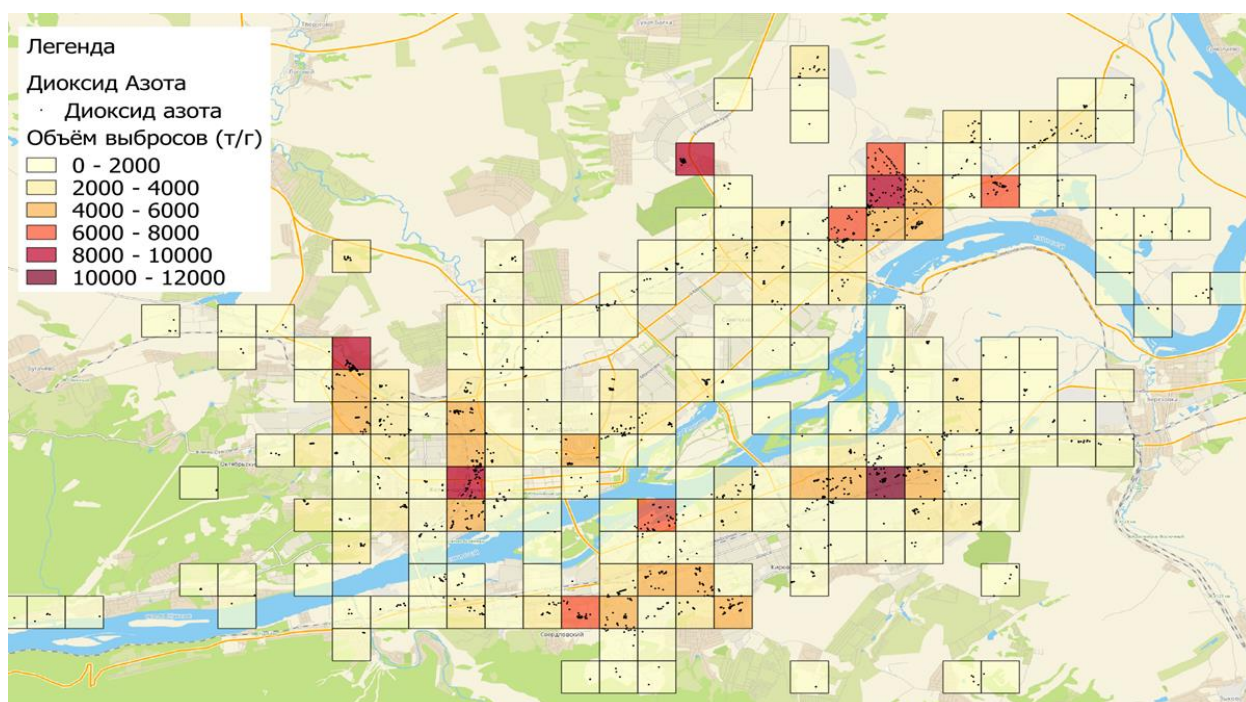


Рис. 3. Распределение источников загрязнения атмосферы диоксидом азота в Красноярске

Работа была основана на обработке исходных данных стандартной экологической отчетности (том ПДВ г. Красноярска). В результате была сформирована база геопространственных данных, на основе которой были построены интегральные карты источников выбросов загрязняющих веществ на территории города. Учитывая значительную неоднородность рельефа местности в пределах города, сформированная база геоданных по загрязнению атмосферы была дополнена данными по цифровой модели рельефа – это обеспечило возможность проведения анализа с учетом абсолютных высот источников загрязнений. Характерная карта распределения суммарных выбросов приведена на Рис. 3.

Основные публикации по разделу:

1. Якубайлик О.Э. Технологии формирования интерактивных тематических карт на геопортале // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2017, № 4(154), с. 23-28.

Мониторинг температуры земной поверхности Красноярска и окрестностей

Были проведены исследования температуры поверхности Земли в Красноярске и его окрестностях, выполнено сравнение полученных результатов с данными измерений температуры в приземном слое атмосферы на автоматизированных постах наблюдений (метеостанциях) Росгидромета.

Карты температуры поверхности Земли строились на основе спутниковых данных Landsat 8, на котором размещен радиометр TIRS, предназначенный для получения изображений в дальнем инфракрасном («тепловом») диапазоне (длины волн от 10,3 до 12,5 мкм). Уровень детализации (пространственное разрешение) данных составляет 100 метров/пиксел. В рамках данной работы были обработаны 10 снимков Landsat8, относящихся к разным сезонам (весна, лето, зима).

Разработанная методика обработки спутниковых данных включает последовательность операций – спектральная калибровка изображений, атмосферная коррекция, вычисление вспомогательных спектральных индексов и построение карты излучательной способности на их основе, вычисление яркостной температуры с последующим вычислением поверхностной температуры. На заключительном этапе выполнялось усреднение данных по нескольким снимкам (посезонно).

Результатом выполнения работ стало создание сезонных карт температурных аномалий г. Красноярска (Рис. 4.).

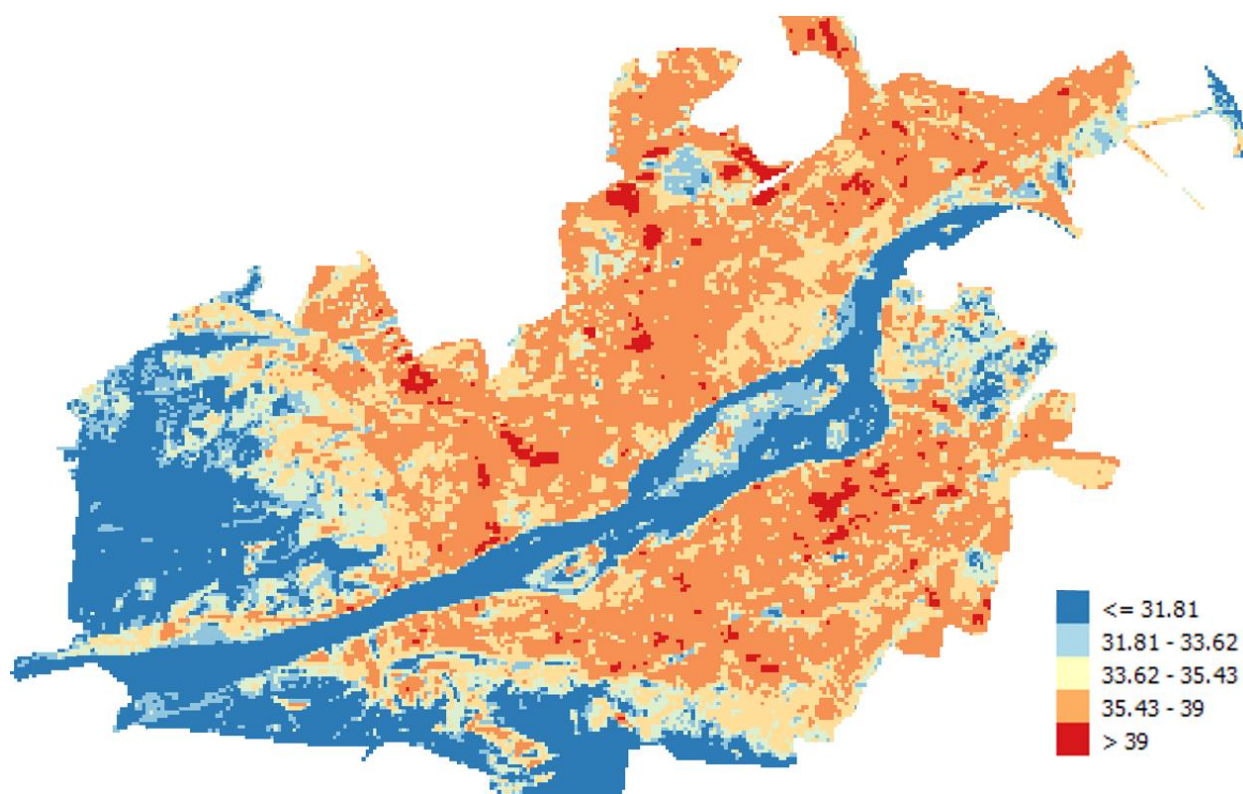


Рис. 4. Карта температурных аномалий г. Красноярска в летнее время.

Основные публикации по разделу:

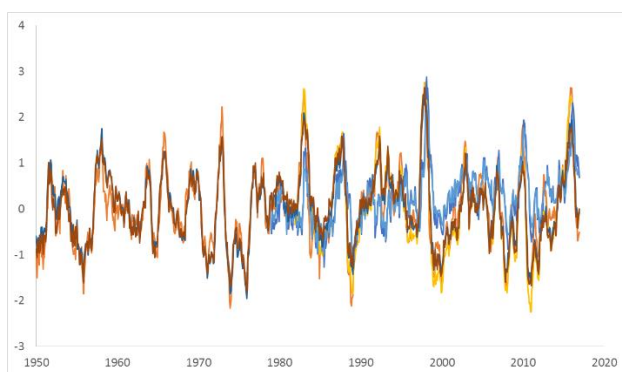
2. Матушко А.К. Определение температуры поверхности воды по данным дистанционного зондирования Земли // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли. Материалы IV международной научной конференции. Красноярск: СФУ, 2017. с. 271-274.

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. Стоит заметить, что аналогичный скачок вероятно произошёл в 2015-2016, однако этот вопрос требует дополнительного исследования.

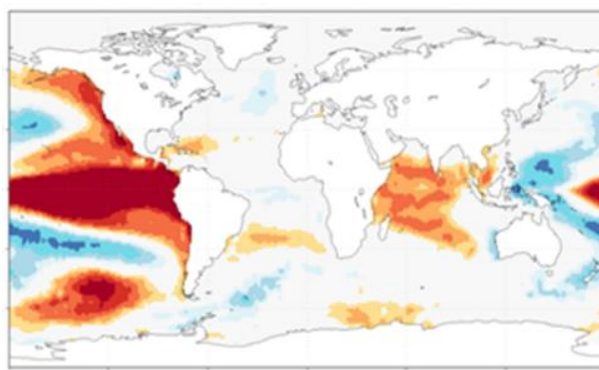
Была проанализирована динамика глобального климата в 1950-2014 годах по нескольким базам данных: HadCRUT v4.5 – поверхностные температуры суши и океана; ICOADS v2.5 – температуры поверхности океана (ТПО) измеряемые на кораблях; NCEP OI v2 – ТПО измеряемые со спутников; UAH v5.6 и RSS MSU v3.3 – базы спутниковых измерений температуры нижней тропосферы (ТНТ).

а



в

б



г

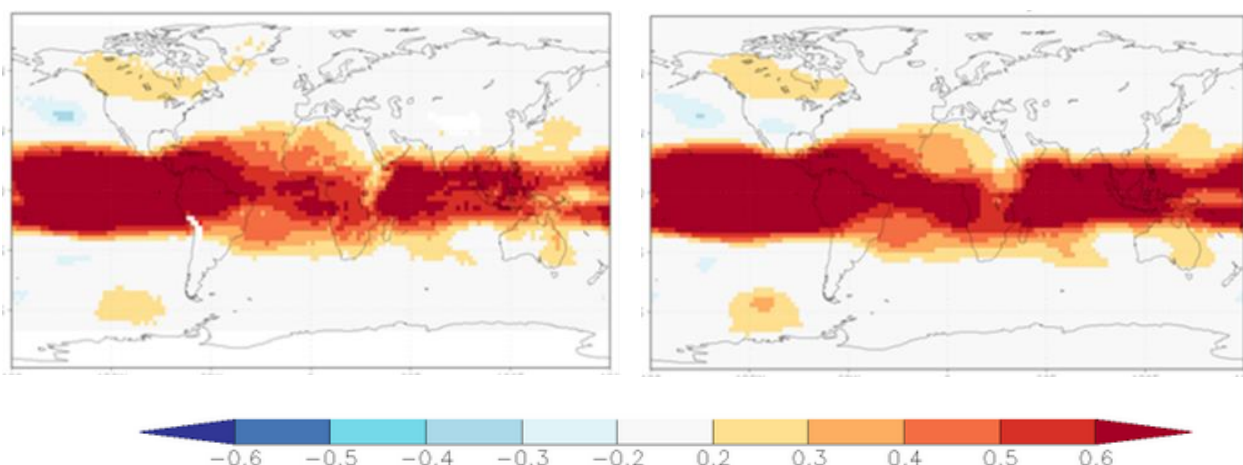


Рис. 5. Сравнение индекса Nino34 ЭНЮК и главных компонент (ГК) представленного анализа (а) и проекций ГК на соответствующие поля: спутниковую температуру поверхности океана NCEP OI (б); температуры нижней тропосферы RSS MSU (в) и UAH MSU (г). Цвет показывает коэффициент корреляции.

Сигнал ЭНЮК выделялся из указанных полей с помощью метода главных компонент (ГК). Затем исходные данные корректировались на линейные проекции соответствующих сигналов. Были получены сходные результаты для всех рассмотренных разнородных данных. Далее аналогичная динамика в виде квазистационарных периодов и скачков 1987 и 1997 годов была обнаружена в некоторых других параметрах и без какой-либо процедуры коррекции. Это, например, среднеглобальная скорость меридионального переноса на высоте 300mb по модели реанализа NCEP/NCAR. Или спутниковые измерения уходящей длинноволновой радиации (UMD OLR) северных и южных умеренных широт.

Был использован метод главных компонент, который является эффективным способом выделения основных мод изменчивости из климатических полей. Во всех рассмотренных базах данных первые ГК отражают вариации ЭНЮК и похожи между собой (Рис. 5а). Но проекции этих сигналов на соответствующие поля имеют значительные отличия, отражающие различное влияние ЭНЮК, к примеру, на температуры поверхности океана и нижней тропосферы (Рис. 5а, б, в, г).

Была выполнена коррекция данных, для исключения краткосрочных эффектов. Амплитуда потепления рассмотренных полей после этого не претерпела значительных изменений после коррекции, а вот форма получилась удивительная. Было обнаружено, что большую часть времени в 1950-1987, 1988-1997 и 1998-2014 годах температуры практически постоянны, а всё потепление происходит в течении коротких событий 1987/1988 и

1997/1998. Без процедуры коррекции динамика в виде «лестницы» не видна, потому что замаскирована вариациями ЭНЮК. Но логично предположить, что существуют параметры климата, не реагирующие на ЭНЮК и имеющие аналогичную динамику в виде «лестницы». Анализ данных показывает, что независимые наблюдения подтверждают реальность структуры потепления в виде «режимов-скачков» с середины 20 века.

Основные публикации по разделу:

3. Белолипецкий П.В., Барцев С.И., Салтыков М.Ю., Дегерменджи А.Г., Белолипецкий В.М., Иванова Ю.Д., Почекутов А.А. «Лестница» потепления с середины 20 века // Международная молодёжная школа и конференция по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде. CITES'2017, Таруса–Звенигород, Россия, с. 87-90.
4. Belolipetsky P.V., Bartsev S.I., Saltykov M.Y., Reid P.C. A staircase signal in the warming of the mid-20th century // Proceedings of the International Conference on Environmental Science and Technology (CEST2017), Rhodes, Greece, 2017, art. no. CEST2017_00726, pp. 1-5.

Блок 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.

Сервисы оперативного мониторинга параметров природной среды

В течение отчетного периода создан новый тематический раздел геопортала ИВМ СО РАН (<http://gis.krasn.ru/sc/>) с коллекцией данных оперативного мониторинга. На данный момент в системе реализован сбор оперативных данных с нескольких источников и созданы следующие разделы (Рис. 6.):

- Подсистема мониторинга атмосферного воздуха КВИАС КГБУ «ЦРМПиООС».
- Данные системы мониторинга ФГБУ «Среднесибирское УГМС».
- Данные гидрологических наблюдений в Красноярском крае.
- Климатические данные GSOD на территорию Красноярского края.
- и др.

Ведется сбор и загружен архив данных об атмосферном воздухе из Краевой ведомственной информационно-аналитической системы о состоянии окружающей среды Красноярского края (КВИАС).

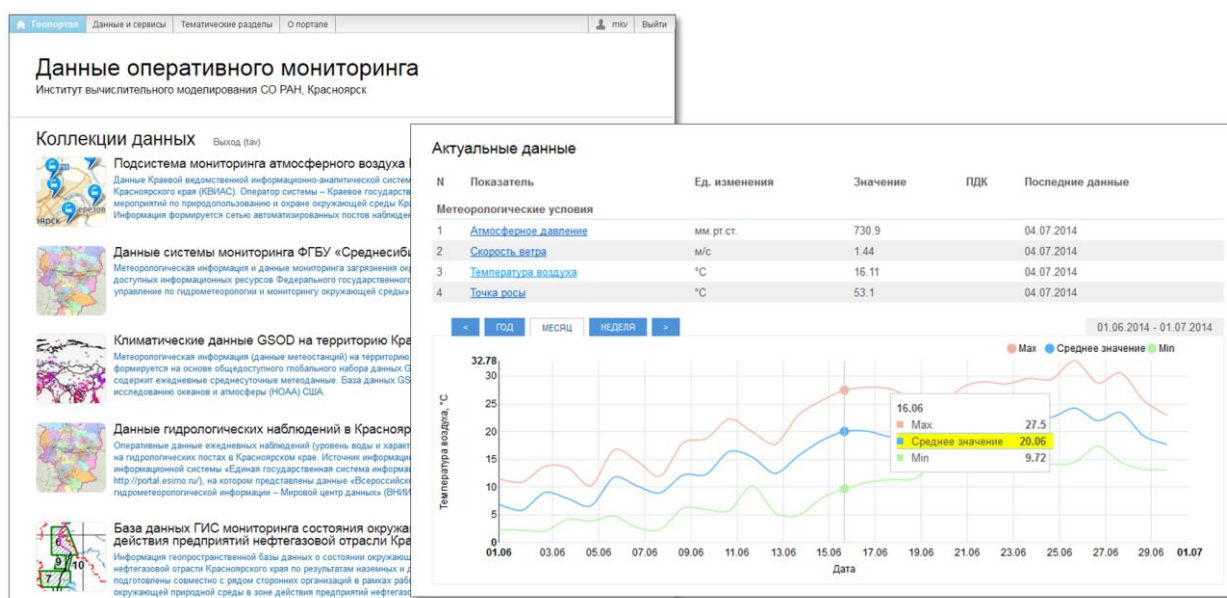


Рис. 6. Раздел с данными оперативного мониторинга геопортала ИВМ СО РАН.

Для загрузки данных с сайта КВИАС подготовлен программный модуль для обработки и преобразования входных данных, обеспечивающий периодическую загрузку данных наблюдений от этой системы через веб-сервис. Веб-сервис предоставляет доступ к данным в JSON-формате и содержит три раздела информации: посты наблюдения и их координаты, список показателей (загрязняющие вещества и метеоданные), значение показателей с привязкой ко времени.

Была выполнена загрузка архива данных наблюдений с 2009 по 2017 год. Импорт этих данных в фоновом процессе на сервере геопортала занял несколько дней. После импорта архива данные загружаются с периодом раз в час. Данные передвижных лабораторий загружаются раз в несколько дней. При возникновении проблем импорта с удаленного веб-сервиса разработанное программное обеспечение автоматически находит дату последних полученных данных и формирует запрос для загрузки новых данных.

Сформирован архив оперативных данных ежедневных наблюдений (уровень воды и характеристики его изменения, температура воды и воздуха) на гидрологических постах (пункты стационарных гидрологических наблюдений, прикрепленные к гидрологическим станциям) в Красноярском крае. Этот архив сформирован на основе данных из двух источников:

- Данные автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО, <https://gmvo.skniivh.ru>).
- Портал федеральной межведомственной информационной системы «Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане» (<http://portal.esimo.ru/>).

Раздел «Данные системы мониторинга ФГБУ «Среднесибирское УГМС»» формируются на основе данных, полученных с сайта ФГБУ Среднесибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ФГБУ Среднесибирское УГМС, <http://meteo.krasnoyarsk.ru/>). Данные собираются по следующим показателям: атмосферное давление, влажность, направление ветра, скорость ветра, температура воздуха. Архив ведется с начала 2013 года.

Из дополнительных особенностей разработанного программного обеспечения для импорта данных наблюдений с различных ресурсов стоит отметить:

- автоматический импорт данных с внешних веб-сервисов;
- загрузка архива данных порциями, с целью уменьшения нагрузки на удаленный сервер;

- оповещение по электронной почте об ошибках импорта данных (чаще всего такие ошибки связаны с недоступностью удаленного сервиса из-за каких-то внутренних проблем или из-за проблем каналов связи);
- ведение лог-файла с отчетом об этапах импорта;
- при любом изменении числа показателей, их характеристик и постов наблюдений система информирует об этом администратора.

Основные публикации по разделу:

5. Якубайлик О.Э., Кадочников А.А., Токарев А.В. Веб-технологии для геоинформационной системы оперативной оценки загрязнения атмосферы и климатических условий в Красноярске // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов. Труды Всероссийской конференции, Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2017, с. 44-48.
6. Турчанинова Е.С., Якубайлик О.Э. Построение иерархической модели водосборов речной сети // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли. Материалы IV международной научной конференции. Красноярск: СФУ, 2017. с. 307-310.

Анализ концентрации взвешенных частиц в приземном слое атмосферы города Красноярска

Рассмотренные выше разработанные программно-технические средства поддержки архива наблюдений за состоянием окружающей среды Красноярска обеспечили возможность проведения пространственно-временного анализа экологического состояния города.

Красноярск является самым восточным городом-миллионником в России. Климатические условия очень неблагоприятные для рассеивания примесей. Город располагается в зоне высокого потенциала загрязнения атмосферы (ПЗА). Частые застои воздуха приводят к накоплению примесей в атмосфере и формированию высоких уровней загрязнения воздуха. Наличие алюминиевого завода, трех угольных ТЭЦ и большого количества автотранспорта способствует загрязнению атмосферы. В частности, в 2015 году суммарные выбросы составили 195 тыс.т., в том числе 128,7 тыс.т. от стационарных источников.

Визуально видимое аэрозольное загрязнение атмосферы жители города называют «черным небом», хотя правильное название этого явления – смог. Мониторинг за концентрацией PM10 в приземном слое атмосферы Красноярска ведется с конца 2012 года.

Сервисы подсистемы данных оперативного мониторинга геопортала предоставляют инструменты для анализа и представления данных. В частности, на основании имеющихся данных можно сделать предварительный вывод о том, что концентрация взвешенных частиц (PM10) в приземном слое атмосферы в 1,10-1,68 превышает среднегодовую ПДК. Анализ показывает, что в Красноярске явно не хватает автоматизированные посты наблюдений (АПН) для того, чтобы дать достоверную оценку уровня аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха в мегаполисе. В тех районах города, где находятся АПН, концентрация PM10 в большинстве случаев превышает среднегодовую ПДК. Это можно трактовать как аэрозольное загрязнение в определенном районе Красноярска. В 2015-2016 годах аэрозольное загрязнение зафиксировано и на загородных АПН.

При штиле и слабом ветре наблюдается аэрозольное загрязнение над территорией практически всего города. При этом на всех АПН фиксируются концентрации PM10, превышающие значение максимально разовой ПДК. Подобные ситуации реализуются в период НМУ, количество которых в Красноярске достигает 60 суток в год.

На Рис. 7 представлены значения среднесуточных и максимальных разовых концентраций взвешенных частиц (PM10) в 2016 г. Очевидно превышение над предельно допустимыми концентрациями – для PM10 они составляют: максимальная разовая = $0,3 \text{ мг/м}^3$, среднесуточная = $0,06 \text{ мг/м}^3$.

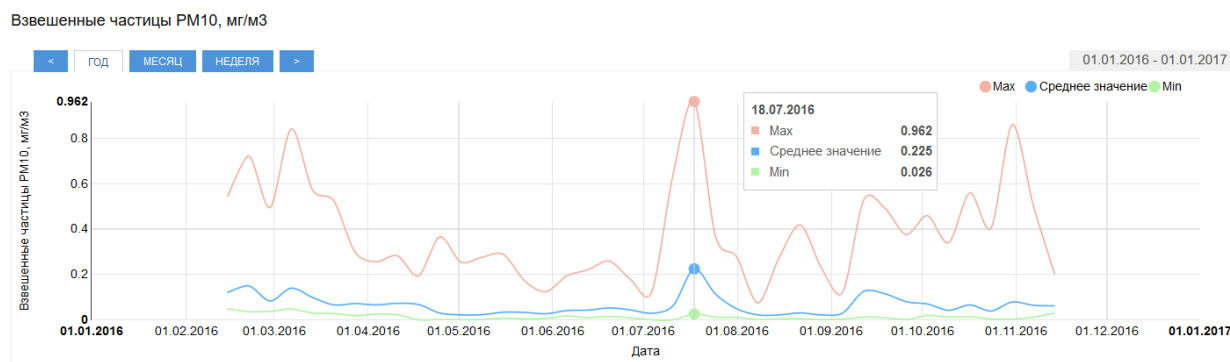


Рис. 7. Динамика концентрации взвешенных частиц размером 10 мкм (PM10) в 2016 г.

Основные публикации по разделу:

7. Заворуев В.В., Заворуева Е.Н. Влияние летних неблагоприятных метеорологических условий на концентрацию PM10 в приземном слое атмосферы Красноярска // Материалы XXIII Международного симпозиума "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы и климат", Иркутск, Изд-во ИОА СО РАН им. В.Е. Зуева, 2017, с. D106-D109.

8. Заворуева Е.Н., Заворуев В.В., Печёнкин Ф.А. Концентрация взвешенных частиц в приземном слое атмосферы города Красноярска в 2013-2016 годах // Путь науки, 2017, № 4 (38), с. 13-15.

Редактор стилового оформления слоев и карт геопортала

Были выполнены работы по модернизации программного обеспечения для создания и редактирования стилового оформления тематических карт в веб-интерфейсе. Разработанный новый редактор формирует XML-описание стилового оформления слоев и карт геопортала, сохраняет его в каталоге ресурсов. Ранее эта задача решалась с помощью отдельного windows-приложения «ГеоЭкспресс». Реализованное новое решение значительно упрощает процесс настройки параметров представления пространственных данных на геопортале.

Реализация выполнена в концепции одностраничного веб-приложения (single-page application, SPA). Используется единственный HTML-документ – как оболочка для всех веб-страниц, с организацией взаимодействия с пользователем через динамически подгружаемые HTML, CSS, JavaScript посредством AJAX. Все визуальные элементы интерфейса конструируются прямо в браузере с помощью JavaScript путем манипуляций с DOM-структурой документа. Разработка выполнена с использованием клиентского JavaScript-фреймворка AngularJS. Фреймворк работает с HTML, содержащим дополнительные пользовательские атрибуты, которые описываются директивами, и связывает ввод или вывод области страницы с моделью, представляющей собой обычные переменные JavaScript. Значения этих переменных задаются вручную или извлекаются из статических или динамических JSON-данных. Библиотека обладает гибкостью в выборе шаблонов проектирования, можно выбрать модели MVC (Model-View-Controller) или MVVM (Model-View-ViewModel). Фреймворк адаптирует и расширяет традиционный HTML, чтобы обеспечить двустороннюю привязку данных для динамического контента, что позволяет автоматически синхронизировать модель и представление. В результате AngularJS уменьшает роль DOM-манипуляций и улучшает тестируемость.

Основное веб-приложение для настройки и управления геопорталом было доработано в части настройки стилового оформления. Разработаны редакторы стилей для слоев и карт в виде SPA-приложений, встроенных в основной пользовательский интерфейс (Рис. 8.).

Редактор стиля слоев поддерживает несколько видов оформления: тематическая раскраска, круговые диаграммы, столбчатые диаграммы, накопительные гистограммы. Стили-

вые классы определяются для диапазона масштабов и условиям на атрибуты пространственных объектов. Все изменения можно сразу посмотреть на карте во вкладке предварительного просмотра.

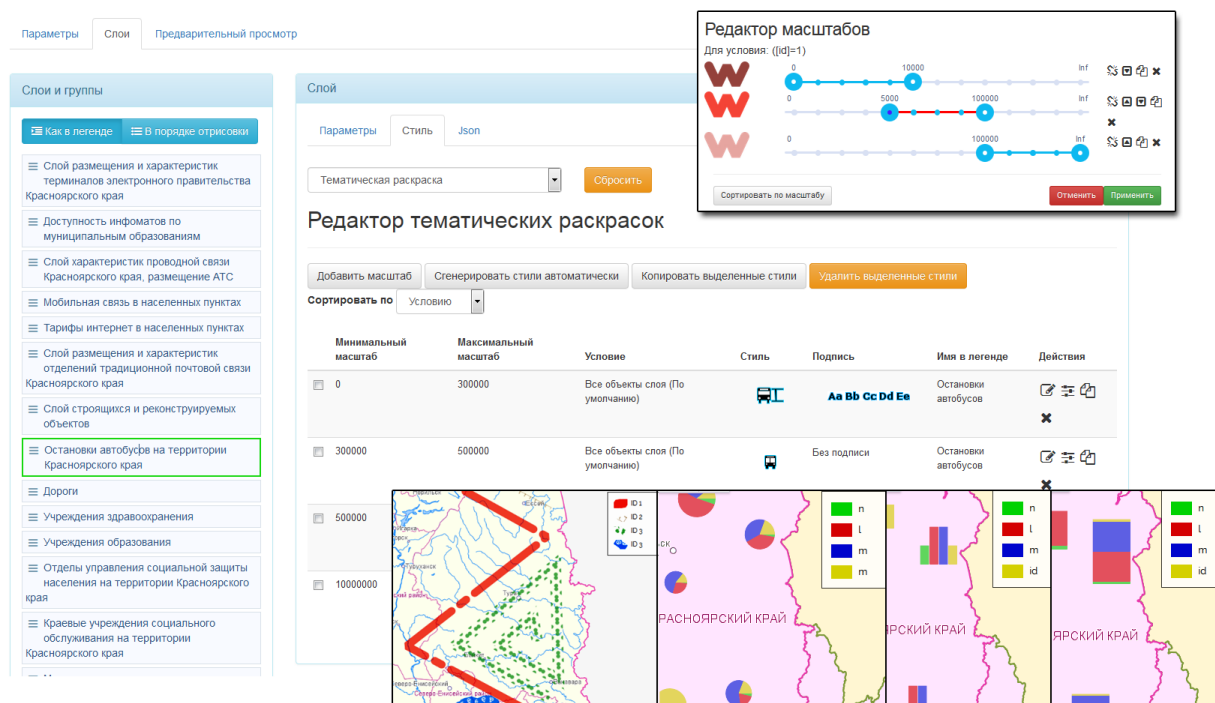


Рис. 8. Интерфейс пользователя веб-редактора стиливого оформления тематических карт.

Для полноценного функционирования клиентской части редакторов стилей необходима серверная поддержка в виде набора служебных сервисов. Решаются такие задачи:

- Навигация по дереву ресурсов каталога для выбора слоя. Получение значений заданного атрибутивного поля слоя.
- Получение списка доступных библиотек символов и шрифтов, а также их элементов.
- Формирование изображения таблицы шрифтов и отдельных символов.
- Предварительный просмотр слоя или карты с текущими стилистыми настройками.
- Преобразование проекции для массива точек.

Реализованы все основные возможности windows-приложения «ГеоЭкспресс» на веб-платформе. Веб-приложение работает в тестовом режиме на геопортале ИВМ СО РАН.

Основные публикации по разделу:

9. Якубайлик О.Э., Кадочников А.А., Токарев А.В. Веб-технологии для геоинформационной системы оперативной оценки загрязнения атмосферы и климатических условий в Красноярске // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов. Труды Всероссийской конференции, Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2017, с. 44-48.

Информационно-вычислительное обеспечение для каталога спутниковых данных

Были выполнены работы по проектированию и разработке программных средств для работы с каталогами спутниковых данных. Они стали составной частью работ по созданию информационно-вычислительного обеспечения для Единого регионального центра дистанционного зондирования Земли (ЕРЦ ДЗЗ) ФИЦ КНЦ СО РАН. В созданном весной 2017 г. ЕРЦ ДЗЗ ведется обработка спутниковых данных, поступающих с нового спутникового приемного комплекса ФИЦ КНЦ СО РАН (введен в эксплуатацию весной 2017 г.) и из Сибирского регионального центра ДЗЗ Роскосмоса на базе АО ИСС в г. Железногорске.

Разработанные программные инструменты обеспечивают решение первоочередных задач оперативной обработки поступающих данных ДЗЗ, их каталогизации, интерактивной визуализации с помощью веб-приложения. Рассматривались следующие данные: MODIS TERRA/AQUA, Suomi NPP, Метеор-М №2 КМСС.

Для быстрого и удобного поиска в каталоге спутниковых данных, для минимизации нагрузки на серверное программное и аппаратное обеспечение подготовлен набор серверных приложений для предварительной обработки спутниковых данных, включающих следующие этапы обработки:

1. Преобразование исходных растровых данных в формат GeoTiff с преобразованием исходной проекции в азимутальную равновеликую проекцию Ламберта (Lambert Azimuthal Equal Area) (код EPSG:3576), являющуюся обязательной для работы сервисов OGC (Open Geospatial Consortium). EPSG Geodetic Parameter Dataset представляет собой структурированный набор данных, систем координат и координатных преобразований, доступных через интернет-реестр (www.epsg-registry.org).
2. Создание цветного изображения для разных масштабов отображения, состоящего из трех спектральных каналов. Такие изображения будут использоваться для детального просмотра спутникового снимка с сохранением исходного разрешения. Для MODIS в качестве основы для цветного RGB изображения совмещены дневные и ночные съемки: в дневное время съемки используются каналы 7-2-1 в диапазоне от 0 до 100%

альбедо с гаммой 1,8; в ночное время используются каналы 21-31-32 в негативном отображении от 235К до 305К с гаммой 1. Для космического аппарата Метеор-М №2 базовое цветное изображение содержит красный, зеленый и рассчитанный по ним и ближнему инфракрасному каналу прибора КМСС синий канал.

3. Создание мультиканального изображения для показа «квиклуков» в веб-приложении для разных масштабов отображения, но с меньшим разрешением (до 1 км на точку). В отличие от базового цветного изображения «квиклуки» в веб-приложении могут отображаться группами, в зависимости от выбора пользователя, тогда как базовое цветное изображение будет активно только для одного выбранного снимка. Для спектрорадиометра MODIS мультиканальное изображение содержит 1-4, 7, 21, 31, 32 каналы. Комбинации этих каналов позволяют строить изображения с естественными цветами для человеческого глаза, псевдоцветные изображения для классификации снега и льда, изображения для определения пожаров и дыма и т.д.
4. Для космического аппарата Метеор-М №2 формируются продукты в виде растрового многоканального изображения в формате GeoTIFF с индексами NDVI (нормализованный относительный индекс биомассы, Normalized Difference Vegetation Index) и NDWI (нормализованный разностный водный индекс, Normalized Difference Water Index). Индекс NDVI предназначен для обнаружения и оценки интенсивности вегетации растений. Для расчета индекса используются значения спектральной яркости в красном и ближнем инфракрасном диапазонах спектра. Индекс NDWI показывает содержание влаги в почве и листьях растений. Для расчета индекса используются значения спектральной яркости в зеленом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра.
5. Преобразование из 16-битного формата к 8-битному, более подходящему для показа спутниковых снимков в веб-приложении и требующее значительно меньших ресурсов в системе хранения данных.

Создан веб-интерфейс каталога спутниковых данных для просмотра архива спутниковых снимков. В нем предусмотрена возможность выбора космического аппарата, выбора predetermined набора каналов и продуктов у каждого снимка для простого анализа данных. Возможности созданного программного модуля позволяют комбинировать любые сочетания каналов, доступных в изображении без дополнительной настройки серверного программного обеспечения.

При формировании цветных изображений используется LUT (Look Up Table), это своеобразная «таблица поправок» для внесения изменений в каждый из трех каналов. Ранее для улучшения качества изображения использовалось спектральное преобразование, которое строится на работе со спектральной диаграммой, показывающей зависимость между количеством пикселей изображения и значениями спектральной яркости.

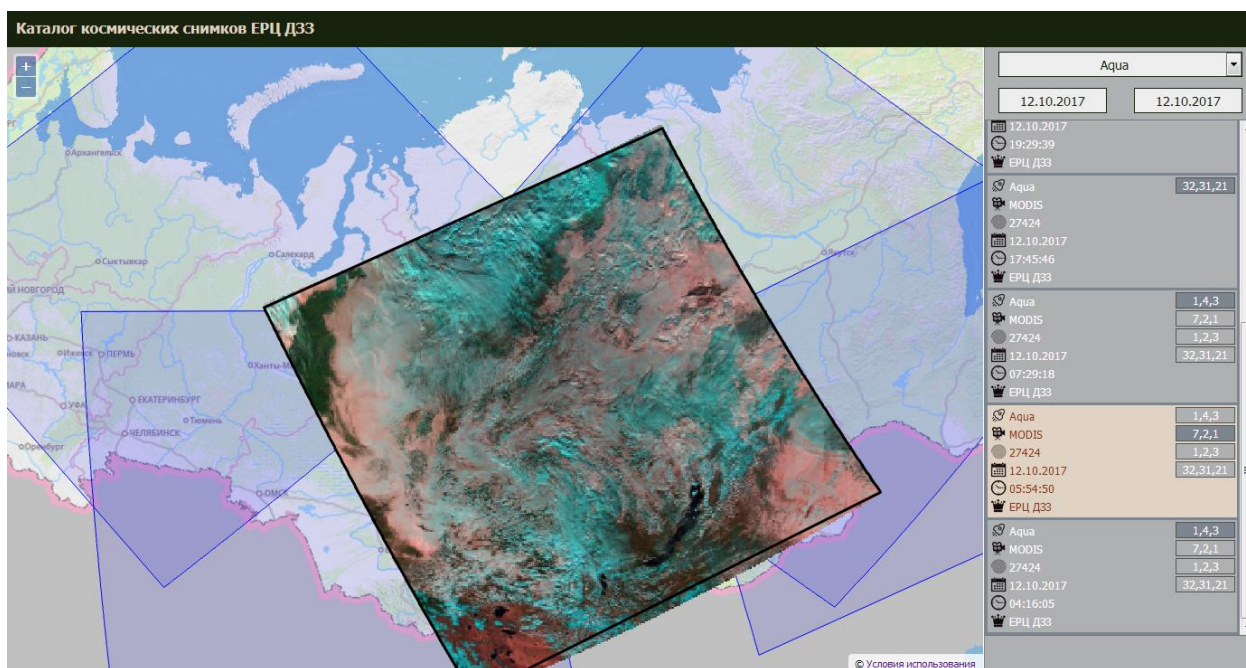


Рис. 9. Веб-интерфейс каталога спутниковых снимков.

При спектральных преобразованиях изменяется такой параметр как контрастность. Для повышения контрастности использовалось линейное растягивание гистограммы, заключающееся в том, что всем значениям яркости присваиваются новые значения с целью охватить весь возможный диапазон от 0 до 255. LUT позволяет изменять значение яркости точек изображения при преобразовании снимка к 8 битам из 16 бит с помощью линейной интерполяции между ними. Это позволяет сделать снимок более ярким. Пример веб-интерфейса представлен на Рис. 9.

Основные публикации по разделу:

10. Кадочников А.А. Программно-технологическое обеспечение системы спутникового мониторинга окружающей природной среды // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов. Труды Всероссийской конференции, Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2017, с. 271-274.

11. Yakubailik O. Geospatial services & Web GIS software for environmental monitoring problems // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, www.sgem.org, SGEM2016 Conference Proceedings, v. 1, 2016, № 2, pp. 657-664, DOI 10.5593/SGEM2016/B21/S08.082.

Блок 3. Экспериментальное и вычислительное моделирование взаимосвязей между основными трофическими звеньями водных экосистем и их зависимости от абиотических факторов среды.

Разработка системы критериев водопользования в р. Енисей с привлечением подходов, методов и показателей теории устойчивого развития.

Объектом настоящего исследования является одна из крупных рек мира – Енисей, на примере которой была опробована разработанная нами система показателей устойчивого водопользования. Значения показателей устойчивого водопользования указывают направление развития тенденций в водохозяйственной деятельности. Сформированная система показателей включает 4 критерия: гидрографические характеристики, социально-экономическое состояние водопользования, характеристика сточных и качество поверхностных вод, биологические ресурсы. Каждый из критериев представлен несколькими индикаторами, содержание которых наполнено статистическими материалами за период 1993-2015 гг.; численными оценками, проведенными авторами; собственными экспедиционными и литературными данными.

Выявлено, что за исследованный период уменьшился ежегодный забор свежей воды на 43% и сброс загрязняющих веществ в водные объекты на 64%, при этом возросла доля повторно-последовательного и оборотного использования воды. В динамике использования свежей воды (Рис. 10) заметно, что доля производственных и сельскохозяйственных нужд уменьшается.

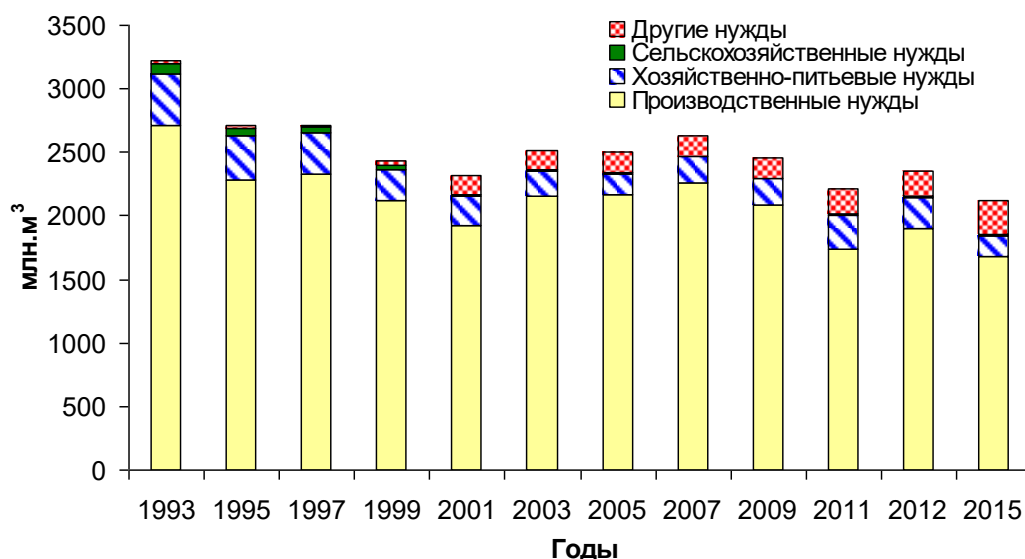


Рис. 10. Динамика использования свежей воды по направлениям.

Несмотря на уменьшение сброса загрязняющих веществ в водные объекты (Рис. 11), Красноярский край лидирует в Сибирском Федеральном округе по объему сточных вод. На участке Енисея от плотины Красноярской ГЭС до г. Игарка, согласно показателю УКИЗВ, вода оценивается как “загрязненная” (3 класс) и “грязная” (4 класс). Химические и биологические оценки качества воды в Енисее показали сходные результаты.

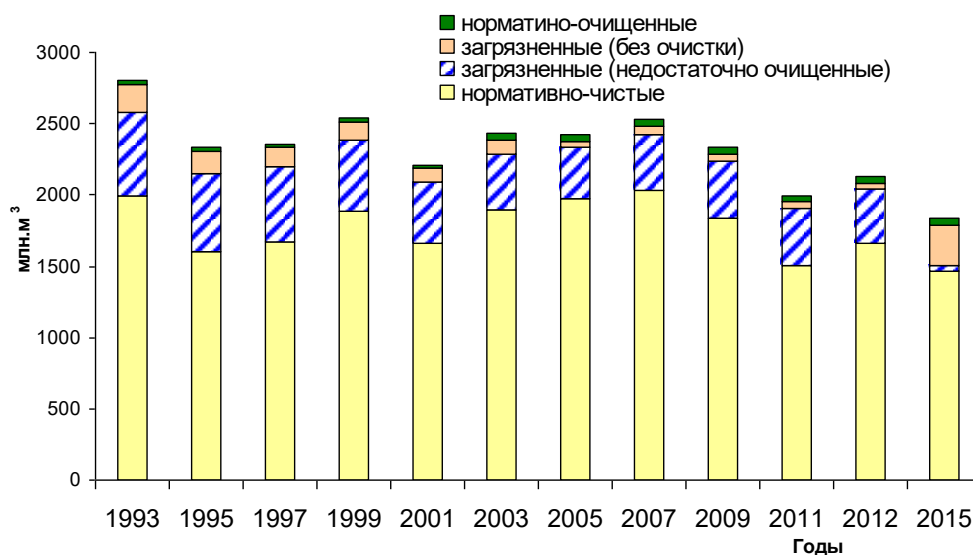


Рис. 11 Динамика сброса сточных вод в поверхностные водные объекты.

В крае сохраняется большая степень износа систем водоснабжения, поэтому возникают большие потери воды при транспортировке и ухудшается качество доставляемой во-

ды. В результате значительная доля населения потребляет питьевую воду, не отвечающую гигиеническим нормативам.

Величина водопользования на единицу валового регионального продукта остается высокой, что связано со слабой эффективностью водопользования в энергетике и добыче природных ресурсов. Однако этот показатель в последние годы уменьшается.

Русловое зарегулирование Енисея коренным образом изменило биологические ресурсы речной экосистемы. Произошла структурная перестройка биологических сообществ, способствующая снижению устойчивости водной экосистемы. Обогащение водной толщи привнесенными биогенными элементами и органическими веществами стимулировало развитие фитопланктона, фито- и зообентоса. Из списка встречающихся видов рыб исчезли валик и нельма, численность осетра, стерляди, тайменя, ленка, сига и некоторых других ценных видов рыб резко сократилась.

Основные публикации по разделу:

- Шапарев Н.Я., Андрианова А.В. Река Енисей в показателях устойчивого водопользования // География и природные ресурсы (в печати).

Исследование временной динамики структурно-функциональных характеристик енисейского фитопланктона в нижнем бьефе Красноярской ГЭС.

Река Енисей – крупнейшая водная артерия Сибири, подвергнутая русловому зарегулированию во второй половине XX столетия. Цель данной работы состояла в изучении формирования фитопланктона и флуоресцентных характеристик вод в условиях сброса водонапорной Красноярской ГЭС. Материалом для работы послужили проведенные авторами сборы фитопланктона в 2008-2014 гг. на расстоянии 40 км ниже Красноярской ГЭС.

Всего в фитопланктоне реки обнаружено 99 видов, разновидностей и форм водорослей из 6 отделов. Собственно планктонных из них оказался только 21 вид, остальные – водоросли дна и обрастаний, а так же смешанного планктонно-бентосного типа местообитаний. Особую роль в формировании фитоценоза исследуемого участка реки на протяжении четырех лет наблюдений играли диатомовые (65 таксонов рангом ниже рода) и зеленые (22) водоросли. Отделы цианобактерии, динофитовые, золотистые и криптофитовые немногочисленны и характеризовались небольшим видовым разнообразием.

Высокое видовое разнообразие фитопланктона отмечено в летний и осенний периоды, низкое – в зимний и весенний. Наибольшую роль по численности играли диатомовые водоросли, характеризующиеся выраженной сезонностью пиков развития отдельных ви-

дов, приуроченных к определенным коротким интервалам годового цикла. Так, с конца апреля до конца мая в большом количестве регистрировались *Diatoma vulgare* Bory и *Hannaea arcus* (Ehrb.) Patr. В июне в планктоне реки доминировала *Aulacoseira islandica* (O. Mull.) Sim., в июле – *Cyclotella radiosa* (Grun.) Lemm., в августе – *Fragilaria crotonensis* Kitt. В появлении этих видов прослеживается определенная последовательность, повторяющаяся в общих чертах из года в год.

Сезонная динамика количественных показателей фитопланктона нижнего бьефа Красноярской ГЭС показала слабое развитие водорослей зимой и осенью, интенсивное – весной и летом. Динамика структурных показателей внутри года имела вид одновершинной кривой (Рис. 12).

Зимой отмечена крайне низкая концентрация водорослей (численность варьировала от 0,07 до 0,78 млн. кл./л; биомасса – 0,07-0,92 мг/л). Весной вариации численности составили 0,16-6,01 млн. кл./л, биомассы – 0,14-9,90 мг/л. С конца апреля до конца мая наблюдалась тенденция увеличения плотности, связанная с интенсивным развитием диатомовых водорослей: *D. vulgare* и *H. arcus*. В июне-августе численность фитопланктона достигала 12,25 млн. кл./л, биомасса – 23,00 мг/л. В течение всего июня интенсивно развивалась *A. islandica*, с максимальным развитием в середине месяца, что совпадало с максимальной численностью и биомассой фитопланктона в целом. Осенью количественные показатели фитопланктона снизились, в среднем составляя 0,53 млн. кл./л и 0,58 мг/л соответственно.

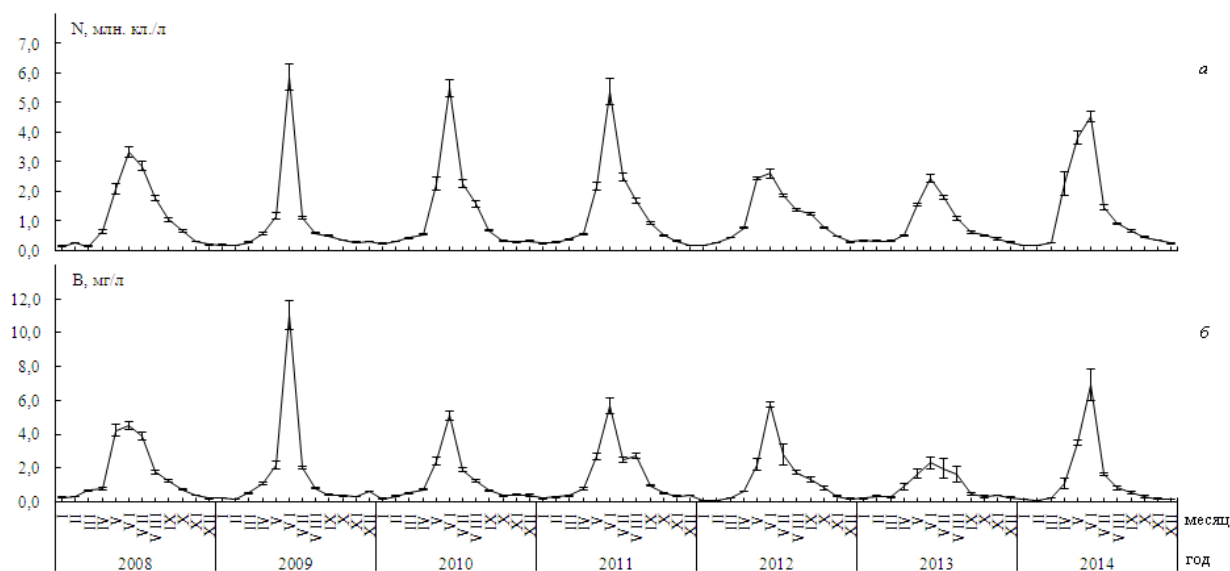


Рис. 12. Сезонная динамика численности (а) и биомассы (б) фитопланктона в нижнем бьефе Красноярской ГЭС, р. Енисей

Стоит отметить, что в пределах г. Красноярска основное повышение численности и биомассы фитопланктона после ввода в эксплуатацию Красноярской ГЭС произошло в 80-ые годы XX века, когда численность увеличилась в среднем в 7 раз, биомасса – в 8 раз. Причиной интенсивного развития фитопланктона в р. Енисей послужил увеличившийся поток биогенов и органического вещества в экосистему реки вследствие возросшей антропогенной нагрузки, что в дальнейшем привело к повышению трофности водотока. В настоящее время, на фоне значительного варьирования численности и биомассы фитопланктона, резких межгодовых вариаций не установлено. В 2008-2014 гг. по сравнению с 1984-1987 гг. общая численность фитопланктона осталась на прежнем уровне, биомасса увеличилась в 2 раза.

Широкое применение для биологического анализа качества вод получили пигментные характеристики фитопланктона, наиболее важным в реакциях фотосинтеза является хлорофилл а. Известно, что мелкоклеточные виды водорослей имеют более высокую фотосинтетическую активность, что частично обуславливается большим содержанием хлорофилла в клетках, а частично – большей эффективностью преобразования поглощённой энергии. В ходе работы установлено, что общая численность и биомасса фитопланктона р. Енисей формировались в основном за счет водорослей с мелкими размерами: нанофитопланктона (2-20 мкм) и микрофитопланктона (20-64 мкм). И только в летние месяцы в пробах часто регистрировались клетки водорослей с длиной более 64 мкм. Стоит отметить, что спад фотосинтетической активности, приходящийся на весенне-летний период, очевидно, связан с изменением видового состава фитопланктона и доминированием в биомассе клеток с большими объемами (Рис. 13). По показателям продуктивности фитопланктона (биомасса и содержание хлорофилла а енисейские воды относятся к категории олиготрофных и мезотрофных.

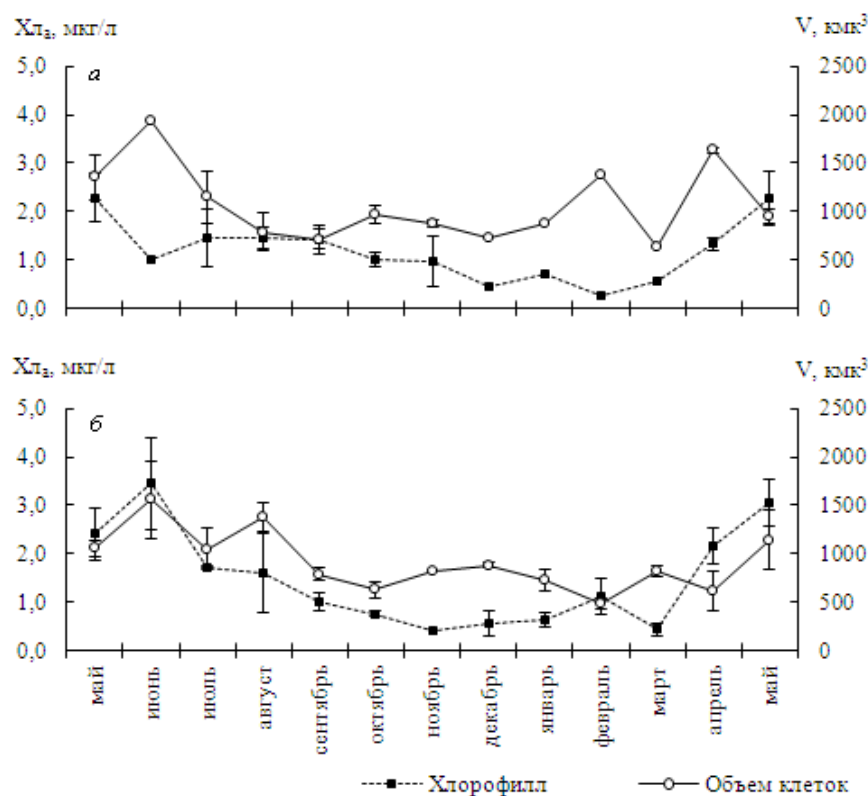


Рис. 13. Среднемесечные значения содержания хлорофилла а (Хла, мкг/л) и объема клеток фитопланктона (V, мкм³) в 2012-2013 (а) и 2013-2014 гг. (б)

Основные публикации по разделу:

- Пономарева Ю.А., Постникова П.В. Временная динамика структурных и функциональных характеристик енисейского фитопланктона в нижнем бьефе Красноярской ГЭС // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2017. № 38. С. 167–182. DOI: 10.17223/19988591/38/10 [Ponomareva Yu.A., Postnikova P.V. Temporal dynamics of structural and functional characteristics of the Yenisei river phytoplankton downstream of the Krasnoyarsk hydroelectric power station. Tomsk State University Journal of Biology. 2017. № 38. PP. 167–182. DOI: 10.17223/19988591/38/10].
- Пономарева Ю.А., Прокопкин И.Г., Белолипецкий П.В. Влияние скорости сброса воды через плотину ГЭС на динамику фитопланктона в нижнем бьефе Красноярского гидроузла // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: труды III Всероссийской научной конференции с международным участием: в 4 т. Барнаул, 2017. Т. 1. 260 с.

- Ponomareva Y.A., Prokopkin I.G. and Belolipetsky P.V. The influence of Krasnoyarsk hydropower station discharge rate on the dynamics of the phytoplankton population downstream of the dam // 15th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes, Greece, 31 August to 2 September 2017.

Моделирование прямого и косвенного воздействия органо-минерального детрита на звенья планктонного сообщества.

В рамках выполнения работ за отчетный период сформирована единая база данных за период 2000-2016 гг. по количественному, доминанто-видовому составу и биомассе фитопланктона, первичной продукции и БПК₅, численности и биомассе бактериопланктона русла и заливов Красноярского водохранилища, откорректирована привязка полученных данных к станциям отбора проб по карте-лоции водохранилища.

Гетеротрофные микроорганизмы, составляющие основную часть бактериопланктона в водоемах – практически единственные утилизаторы растворенного органического вещества (DOM), концентрация органического вещества в водоеме должна определять их содержание. Однако, как правило, численность бактериопланктона и содержание DOM не находятся в прямой зависимости. Причин такого несоответствия между содержанием бактерий и DOM в водоеме может быть несколько: разный состав DOM; влияние других факторов на активность гетеротрофных микроорганизмов. Первая причина является чрезвычайно существенной, так как определяет уровень развития и качественный состав бактериопланктона. Изменение доли биохимически активного органического вещества, определяемого по биохимическому окислению BOD₅, в общем содержании DOM почти всегда сказывается на концентрации бактериопланктона (Рис. 14).

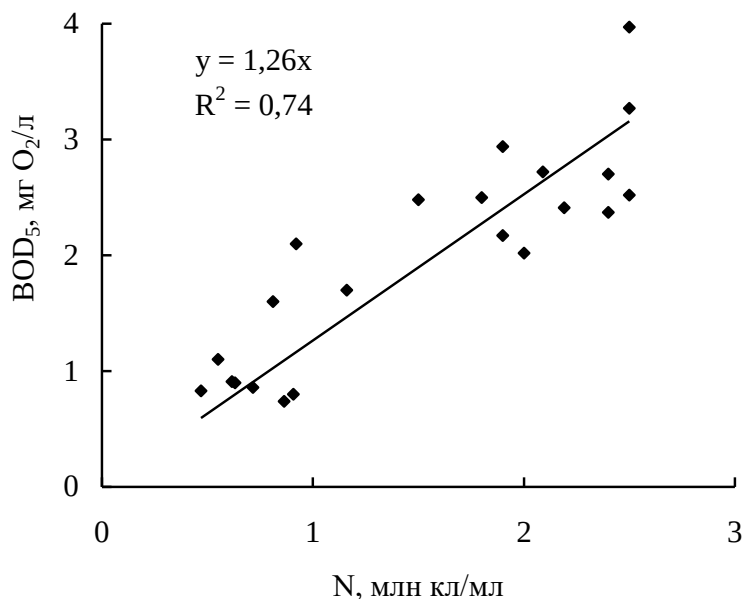


Рис. 14. Зависимость между BOD₅ и численностью бактериопланктона.

Отмечено, что равновесная плотность бактериопланктона (предельная плотность численности) выше в водоемах с более высоким содержанием минерального взвешенного вещества и формирующегося на нем органоминерального детрита. Вследствие взаимодействий растворенных органических соединений, адсорбированных на поверхности минеральных частиц, происходят химические изменения, ведущие к превращению биохимически устойчивых субстратов в соединения, которые могут усваиваться водными микроорганизмами.

Основные публикации по разделу:

- Макарская Г.В., Тарских С.В. Особенности рыб семейства окуневых, обитающих в разнотипных водоемах // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: материалы международной научно-практической конференции. Часть 2. Наука: опыт, проблемы, перспективы развития / КрасГАУ. Красноярск, 2017. – С. 203-208.
- Пахомова В.Г., Шадрин К.В., Макарская Г.В., Тарских С.В., Рупенко А.П., Крюкова О.В., Гуревич Ю.Л. Изменение генерации активных форм кислорода в печени после введения биогенного ферригидрита // Медицинская экология. Наука – 2017.- № 3(70). – С136-139.
- Апонасенко А.Д., Г.В. Макарская, П.В. Постникова Функциональные характеристики бактериопланктона в реке Енисей и его притоках // Микробиология (в печати)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В течение 2017 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.

Разработан набор программных модулей и веб-сервисов, предназначенный для систем мониторинга социально-экономических процессов и природной среды. В основе предлагаемого подхода лежит информационно-вычислительное обеспечение геопортала ИВМ СО РАН (геоинформационная платформа, реализованная в распределенной архитектуре). В том числе, выполнены работы по проектированию и разработке информационно-аналитического, программного обеспечения для мониторинга и оценки качества атмосферного воздуха. Разработаны программные компоненты для расчета индекса качества атмосферы (Air Quality Index, AQI), они интегрированы в подсистему оперативного научно-исследовательского мониторинга за состоянием загрязнения геопортала ИВМ СО РАН. Созданы прикладные веб-сервисы для автоматической загрузки в базу данных геопортала данных, поступающих из краевой системы наблюдений за состоянием загрязнения атмосферы. Разработано веб-приложение для визуализации этих данных.

Создан макет прибора для измерения концентрации взвешенных частиц PM_{2.5} в атмосфере, основанный на датчике PMS7003 и микроконтроллере Arduino Nano. Логика и управление режимами работы устройства реализованы с помощью микропрограмм на языке Wiring (упрощенный C++) с использованием ряда open source библиотек. Прибор обеспечивает отображение текущих значений уровней загрязнения на OLED-дисплее, передачу регистрируемых данных на геопортал через сотовую сеть.

На основе серии разносезонных спутниковых снимков Landsat8 проведены исследования температуры поверхности Земли в Красноярске и его окрестностях. Выявлены температурные аномалии в пределах города («острова тепла»), проведено сравнение с данными измерений температуры в приземном слое атмосферы на автоматизированных постах наблюдений (метеостанциях) Росгидромета.

Исследованы структуры вида «режимы-скачки» в изменениях глобального климата с середины XX века. Показано, что большую часть времени в 1950-1987, 1988-1997 и 1998-2014 годах температуры практически постоянны, а все потепление происходило скачкообразно – в течение коротких промежутков времени 1987-1988 и 1997-1998.

Проведен анализ многолетнего архива наблюдений за состоянием атмосферного воздуха в Красноярске. Показано, что концентрация взвешенных частиц (PM10) в приземном слое атмосферы в 1,10-1,68 превышает среднегодовую ПДК. Анализ отчетливо показал, что в Красноярске явно не хватает автоматизированных постов наблюдений для того, чтобы дать достоверную оценку уровня аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха.

Выполнены работы по модернизации программного обеспечения для создания и редактирования стилевого оформления тематических карт в веб-интерфейсе геопортала ИВМ СО РАН. Разработанный новый редактор формирует XML-описание стилевого оформления слоев и карт геопортала, сохраняет его в каталоге ресурсов. В результате значительно упрощаются настройки параметров представления пространственных данных на геопортале.

Выполнены работы по созданию программных средств для работы с каталогами спутниковых данных, решающие первоочередные задачи оперативной обработки данных ДЗЗ, поступающих с нового спутникового приемного комплекса ФИЦ КНЦ СО РАН (введен в эксплуатацию весной 2017 г.) – каталогизация, интерактивная визуализация с помощью веб-приложения, генерация ряда производных продуктов. Рассматривались следующие спутниковые данные: MODIS TERRA/AQUA, Suomi NPP, Метеор-М №2 КМСС.

Разработана система критериев водопользования в р. Енисей с привлечением подходов, методов и показателей теории устойчивого развития. Выявлено, что за исследованный период уменьшился ежегодный забор свежей воды на 43% и сброс загрязняющих веществ в водные объекты на 64%, при этом возросла доля повторно-последовательного и оборотного использования воды. В крае сохраняется большая степень износа систем водоснабжения, поэтому возникают большие потери воды при транспортировке и ухудшается качество доставляемой воды. В результате значительная доля населения потребляет питьевую воду, не отвечающую гигиеническим нормативам.

Была исследована временной динамики структурно-функциональных характеристик енисейского фитопланктона в нижнем бьефе Красноярской ГЭС. По результатам исследований показано, что в 2008-2014 гг. по сравнению с 1984-1987 гг. общая численность фитопланктона осталась на прежнем уровне, биомасса увеличилась в 2 раза.

В рамках выполнения работ за отчетный период сформирована единая база данных за период 2000-2016 гг. по количественному, доминанто-видовому составу и биомассе фитопланктона, первичной продукции и БПК₅, численности и биомассе бактериопланктона русла и заливов Красноярского водохранилища, откорректирована геопривязка данных.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

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

1. Evsyukov A.A. Online analitical processing of spatial data for emergency monitoring // CEUR Workshop Proceedings, 2017. - P. 180-184 DOI 2-s2.0-85040252671
2. Bartsev S., Belolipetskii P., Degermendzhi A. Multistable states in the biosphere-climate system: towards conceptual models // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2017, № 173, pp. 1-10. DOI 10.1088/1757-899X/173/1/012005.
3. Shaparev N.Ya. New possibilities of using the voigt profile // Russian physics journal, v. 59, is. 12, 2017, pp. 2004-2011. DOI 10.1007/s11182-017-1007-9.
4. Пономарева Ю.А., Постникова П.В. Временная динамика структурных и функциональных характеристик енисейского фитопланктона в нижнем бьефе красноярской ГЭС // Вестник томского государственного университета. Сер.: Биология. - 2017 - № 38 – С. 167-182. DOI 10.17223/19988591/38/10
5. В.М. Белолипецкий, Т.В. Пискажова, А.А. Портянкин Численная модель поведения гарнисажа в алюминиевом электролизере // Вестник Иркутского государственного технического университета - Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет", 2017. - Т. 21, № 8. - С. 151-166. DOI 10.21285/1814-3520-2017-8-151-166
6. Shaparev N.Ya. Absorption of resonance laser radiation in ultracold plasma // Quantum electronics, v. 47, is. 8, 2017, pp. 718-721, DOI 10.1070/QEL16430.
7. Пахомова В.Г., Шадрин К.В., Макарская Г.В., Тарских .В., Рупенко А.П., Крюкова О.В., Гуревич Ю.Л. Изменение генерации активных форм кислорода в печени после введения биогенного ферригидрита // Здоровье. Медицинская экология. Наука - 2017 - т. 70, вып. 3 - С. 136-139. DOI 10.5281/zenodo.817825
8. П.Н. Якивчук, Т.В. Пискажова, В.М. Белолипецкий Математическая модель для управления охлаждением роторного кристаллизатора // Вестник Иркутского государственного технического университета. - Иркутск : Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2017. - Т. 21, № 9. - С. 104-113. DOI 10.21285/1814-3520-2017-9-104-113

9. Якубайлик О.Э. Технологии формирования интерактивных тематических карт на геопортале // Вестник компьютерных и информационных технологий - 2017 - № 4(154) - С. 23-28. DOI 10.14489/vkit.2017.04.pp.023-028
10. Sadovsky M.G., Bushmelev E.Y., Ostylovsky A.N. New clusterization method based on graph connectivity search // Journal of Siberian Federal University - Mathematics and Physics, 2017 – Vol.10, Iss. 4. – P. 443- 449. DOI 10.17516/1997-1397-2017-10-4-443-449
11. Yakubaylik O.E., Kadochnikov A.A., Tokarev A.V. Web technologies for the geoinformation system of rapid assessment of atmospheric pollution and climatic conditions in Krasnoyarsk // CEUR Workshop Proceedings, 2017. - P. 44-48. DOI: 2-s2.0-85040249272
12. Kadochnikov A.A. Software and technological support of satellite environmental monitoring system // CEUR Workshop Proceedings, 2017. - P.271-274 DOI 2-s2.0-85040233887
13. Andrianova A. V., Yakubaylik O. E. Geospatial database for the analysis of invasive process of the baikal endemic crustacean in yenisei river // CEUR Workshop Proceedings, 2017. - P.237-241 DOI 2-s2.0-85040236269

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Выписка из плана научно-исследовательской работы на 2017 год

Содержание работы	Планируемый результат выполнения работы
1. Исследования характеристик элементов природной среды на основе анализа и моделирования физических процессов, обработки данных оперативного мониторинга и дистанционного зондирования, натурных наблюдений. Анализ методик и алгоритмов комплексной оценки состояния геосистем.	1. Методы исследований и информационно-вычислительные технологии для качественной и количественной оценки различных характеристик природной среды по данным дистанционного зондирования и натурных наблюдений, на основе средств физико-математического моделирования.
2. Создание информационно-аналитического обеспечения, прикладных геопространственных сервисов для региональных систем мониторинга природной среды и ресурсов – геоинформационных наборов данных, геопортала, сервисов каталогизации и автоматизированной тематической обработки оперативных данных дистанционного зондирования.	2. Математическое и программное обеспечение для информационной поддержки региональной системы экологического мониторинга на основе сервис-ориентированной архитектуры, методов распределенной обработки геопространственных данных. Программные средства каталогизации и автоматизации обработки оперативных данных дистанционного зондирования.
3. Разработка системы критериев водопользования в р. Енисей с привлечением подходов, методов и показателей теории устойчивого развития. Исследование временной динамики структурно-функциональных характеристик енисейского фитопланктона в нижнем бьефе Красноярской ГЭС.	3. Апробация системы критериев оценки устойчивого водопользования р. Енисей, разработанной с учетом классических показателей водопользования ООН, региональных показателей и дополнительных гидробиологических характеристик.