

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

ГРНТИ 50.41.23

№ АААА-А18-118011890026-9

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора ФИЦ КНЦ СО РАН

_____ Шпедт А.А.
«__» _____ 2020 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 плане НИР: 0356-2019-0013

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 «__» _____ 2020 г.

Руководитель проекта

д.ф.-м.н., профессор

_____ Н.Я. Шапарев

"__" _____ 2020 г.

Красноярск, 2020

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы г.н.с., д.ф.-м.н.		Н.Я. Шапарев
	(подпись, дата)	
в.н.с., д.б.н.		В.В. Заворуев
	(подпись, дата)	
в.н.с., к.ф.-м.н.		О.Э. Якубайлик
	(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.т.н.		А.А. Кадочников
	(подпись, дата)	
с.н.с., к.б.н.		Г.В. Макарская
	(подпись, дата)	
с.н.с., к.ф.-м.н.		О.В. Тасейко
	(подпись, дата)	
с.н.с., к.т.н.		А.В. Токарев
	(подпись, дата)	
м.н.с., к.б.н.		Ю.В. Пономарева
	(подпись, дата)	
инженер		А.К. Матузко
	(подпись, дата)	
Нормоконтролер		Вяткин А.В.
	(подпись, дата)	

РЕФЕРАТ

Отчёт 37 с., 17 рис., 1 табл., 1 прил.

ГЕОПОРТАЛ, ВЕБ-КАРТОГРАФИЯ, ДАННЫЕ ДЗЗ, ГЕОПРОСТРАНСТВЕННАЯ БАЗА ДАННЫХ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, ВЗВЕШЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ, PM_{2.5}, AQI, ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, ЗООБЕНТОС, ГИДРОБИОНТЫ.

Исследования и разработки по настоящему проекту имеют междисциплинарный характер, направлены на создание информационно-технологического обеспечения для задач мониторинга и оценки состояния окружающей природной среды. Приоритетом являются новые вычислительные технологии, методики и программное обеспечение для геоинформационных веб-систем и геопространственных веб-сервисов, создаваемое в модульной сервис-ориентированной архитектуре.

Цель работы – проведение фундаментальных и прикладных научных исследований методов и технологий разработки интегрированных проблемно-ориентированных систем экологической тематики, основанных на современных веб-ГИС-технологиях.

В процессе выполнения работы проводились теоретические и практические исследования особенностей реализации и эксплуатации информационно-аналитических систем, разработки математического и программного обеспечения. Выполнение поставленных задач было основано на современных методах и средствах математического моделирования и разработки программных систем, инструментарии и вычислительных технологиях.

Важнейшими результатами работы в 2019 году являются:

- 1) Разработка комплекса программно-технических средств для оценки загрязнения атмосферы промышленного города, реализация на его основе информационно-аналитической системы мониторинга состояния воздуха в г. Красноярске и результаты пространственно-временного анализа распространения загрязнения по городу, показавшие ранее недооцененное большое значение пригородной зоны с печным отоплением.
- 2) Создание физико-математической модели летнего гидротермического режима р. Енисей в нижнем бьефе Красноярской ГЭС на основе детерминированного подхода, результаты которой согласуются с наблюдениями на гидропостах и спутниковыми данными.
- 3) Формирование геопространственной базы данных с картографическим веб-интерфейсом с результатами гидробиологического мониторинга р. Енисей, ее наполнение актуальными сведениями о пространственной динамике байкальских эндемичных амфипод, распространившихся далеко за пределы оз. Байкал не только вниз, но и вверх по течению.

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.	6
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	16
3. Экспериментальное и вычислительное моделирование взаимосвязей между основными трофическими звеньями водных экосистем и их зависимости от абиотических факторов среды	27
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	33
ПРИЛОЖЕНИЕ А	36

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий проект посвящен исследованиям различных аспектов создания математического и программно-технологического обеспечения для систем мониторинга и оценки состояния природной среды. Актуальность этого направления обусловлена стремительным ростом объемов геопро пространственной информации, связанной с развитием сетей передачи данных (расширением зон покрытия и увеличением скорости сети Интернет) и мобильных устройств (смартфонов и планшетов), массовым распространением дешевых датчиков, измеряющих различные характеристики окружающей среды (метеоданные, загрязнение воздуха), все большей доступностью спутниковой информации с хорошим пространственным разрешением, ростом популярности беспилотных летательных аппаратов (дронов), и проч. В сочетании со значительным прогрессом последних лет в области веб-технологий (новые инструментальные средства для разработки веб- и мобильных приложений, «облачные» сервисы, и т.д.), перечисленные тенденции создают основу для нового поколения систем мониторинга природной среды.

Представленный этап научно-исследовательских работ – логическое продолжение ранее начатых исследований, связанных с решением актуальных задач оценки состояния природной среды, физико-математическим моделированием протекающих процессов и явлений, разработкой соответствующего программно-технологического, информационно-вычислительного обеспечения.

Стоит отметить междисциплинарный характер проводимых исследований. Совместная работа специалистов из разных предметных областей (экологов и программистов, разработчиков баз данных и дизайнеров веб-интерфейсов, физиков и гидробиологов) способствует эффективному решению поставленных задач.

Полученные в 2019 году 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 экологического мониторинга, управления водными ресурсами, моделировании природных и природно-техногенных явлений.

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

Программы и вычислительные технологии для системы оперативного экологического мониторинга

В отчетный период 2019 года были продолжены исследования и разработки, направленные на развитие созданной в предыдущие годы подсистемы «Данные оперативного мониторинга» геопортала ИВМ СО РАН, в том числе – ее сервисов сбора, агрегации и визуализации данных оперативного мониторинга. Была существенно переработана и дополнена информационная модель системы, в рамках которой все ее компоненты были структурированы в отдельные элементы (модули), с формализованными программными интерфейсами (API) (рис. 1). Был расширен перечень типов источников исходных данных, существенно переработаны (оптимизированы по времени вычислений, с минимизацией используемых ресурсов) сервисы вычисления их агрегированных значений. Каждый тип источника данных имеет свои особенности реализации – от элементарной последовательности операций для хорошо специфицированных XML-данных, доступных через документированные веб-сервисы, до нестандартного синтаксического анализа отдельных HTML-страниц в сети Интернет, из которых периодическими запросами извлекаются нужные цифры.

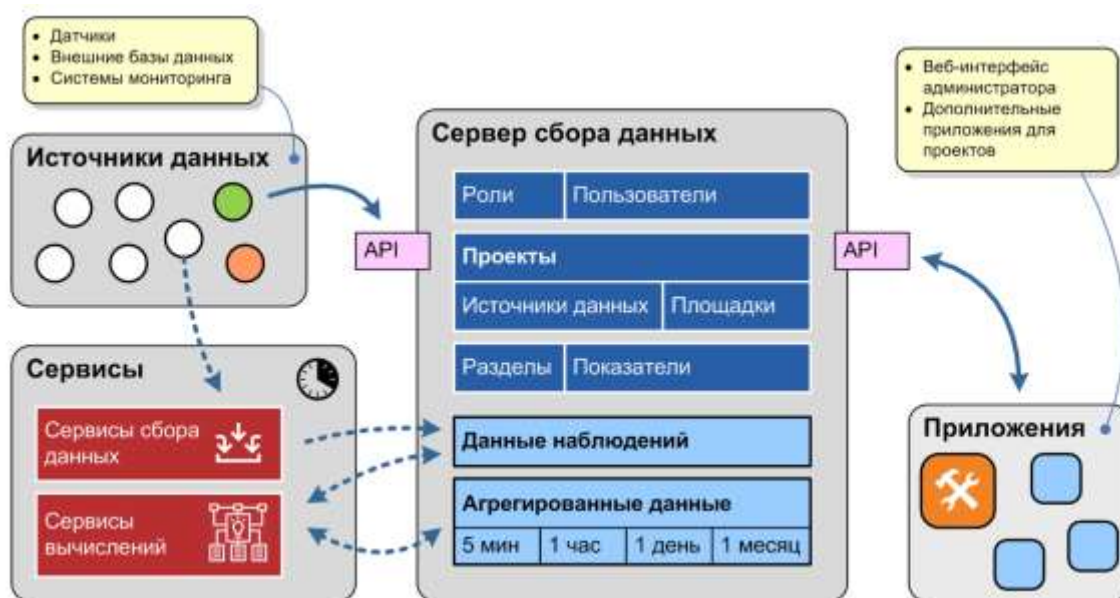


Рисунок 1 – Подсистема «Данные оперативного мониторинга» геопортала ИВМ СО РАН

Выполненная разработка основана на спецификациях Sensor Web Enablement (SWE) – наборе стандартов, разработанных международным Консорциумом геопространственных данных OGC (Open Geospatial Consortium), которые позволяют разработчикам сделать все типы датчиков, преобразователей и хранилищ данных датчиков доступными для обнаружения и использования через Интернет. Одним из основных используемых стандартов в системе «Данные оперативного мониторинга» геопортала ИВМ СО РАН теперь является OGC Sensor Observation Service (SOS), который определяет операции, предлагаемые каждым датчиком, при этом минимальный набор методов включает GetCapabilities, DescribeSensor и GetObservation, которые возвращают информацию о наблюдениях и измерениях, поддерживаемых SOS. Типы данных, предоставляемых датчиком, и сами типы датчиков могут быть получены из реестра датчиков. Разработанное на основе этих технологий, международных стандартов программное обеспечение значительно упростило сбор и анализ данных с распределенных по территории датчиков, показало свою эффективность в задаче формирования сети экологического научно-исследовательского мониторинга для г. Красноярска.

Были созданы новые пользовательские и программные интерфейсы (API) для наполнения и извлечения данных, реализован базовый веб-интерфейс для управления метаданными и навигации по хранилищу. Поддерживается разграничение доступа к объектам системы в зависимости от прав пользователя. Сервис реализован на языке сценариев PHP 5 с использованием фреймворка Yii, для хранения данных применяется СУБД PostgreSQL с модулем расширения PostGIS. Созданы новые веб-сервисы для интерактивного анализа данных накопленного архива наблюдений (рис. 2).



Рисунок 2 – Интерфейс подсистемы анализа архива данных экологического мониторинга краевой ведомственной системы наблюдений Минэкологии Красноярского края

Основные публикации по разделу:

- Кадочников А.А., Токарев А.В., Якубайлик О.Э. Геоинформационные технологии и программное обеспечение для оперативной оценки загрязнения атмосферы // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов (SDM-2019): Сборник трудов всероссийской конференции. Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2019, с. 109-113.
- Tokarev A, Shaparev N. Using the Monitoring Network and Geoportal Technologies to Analyze the State of the Atmosphere in Krasnoyarsk (Russia) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 516 (1), 012045. [Web of Science]

Сервисы тематического картографирования данных оперативного мониторинга на основе геопортала

Для публикации поступающих с различных сенсоров данных наблюдений в каталог геопортала ИВМ СО РАН был добавлен новый тип ресурса «данные наблюдений». При публикации такого ресурса пользователю предоставляется ряд настроек, включающий выбор из списка доступных станций наблюдения и сенсоров. Каждая станция наблюдения имеет пространственную привязку и определенный набор сенсоров. При этом разные станции наблюдения, не относящиеся к одной группе, могут иметь несколько общих сенсоров. Для просмотра данных наблюдений были расширены возможности существующего картографического веб-интерфейса для пользователя. Основные элементы нового интерфейса: карта подложка и данные наблюдения в виде полупрозрачного слоя на выбранный момент времени для выбранного показателя. В левой части веб-приложения пользователю доступны элементы управления, включающие выбор одного из показателей и временного интервала.

Были расширены возможности существующего картографического веб-интерфейса подсистемы. Создан инструмент для тематического картографирования данных массива неравномерно распределенных точек в двумерном пространстве с помощью интерполяции с помощью алгоритма обратно-взвешенных расстояний (IDW – Inverse Distance Weighting). Для исследуемой области формируется регулярная сетка, значения в ячейках которой заполняются по указанному IDW-алгоритму. Предусмотрена возможность использования альтернативных методов интерполяции данных, подключения внешних модулей для расчета значений в ячейках сетки. Простые алгоритмы могут быть также реализованы с использованием языка PHP. Более сложные и более требовательные к системе решения могут быть реализованы в виде исполняемых файлов для операционной

системы Unix. В дальнейшей работе планируется использовать алгоритмы отложенной обработки для сложных и длительных по времени процессов преобразования данных наблюдений. Для этой цели могут выступать вычислительные кластеры, сервисы предоставляющий доступ к «большим данным» и различные сервисы WPS, предоставляющие услуги геопроессинга растровых и векторных данных.

Также были исследованы методы динамического построения регулярной сетки небольшого размера (в пределах 20×20 ячеек) в векторном формате на стороне клиента с последующим тематическим картографированием на ее основе. Такой подход обеспечивает возможность создания эффектных анимированных изображений для презентации изменения данных во времени с малой нагрузкой на Интернет-канал. Для ряда задач этот вариант является предпочтительным.

В основе реализации – средства отображения данных на стороне клиента в виде растровых изображений; все необходимые расчеты, необходимые для формирования регулярной сетки с данными, выполняются на сервере. При этом относительно большая нагрузка на канал (объем передаваемых данных) компенсируется использованием возможностей кэширования растровых изображений на стороне браузера и кэшированием растровых изображений после вычислений на стороне сервера при повторном использовании сформированных растров. В результате веб-приложение отображает всю тематическую информацию либо ее срез в зависимости от настроек пользователя в реальном времени без существенных задержек.

После настройки параметров ресурса типа «данные наблюдений» в подсистеме администрирования данных пользователи получают возможность управления параметрами отображения (рис. 3):

- выбор одного из показателей для отображения из доступного перечня показателей;
- выбор временного интервала;
- построение тематической карты на всю исследуемую территорию по исходным данным с различных сенсоров в точках наблюдений с помощью интерполяции;
- анимированный просмотр динамики изменения данных во времени;
- объединение в одном представлении данных информации по станциям наблюдений из разных проектов.

Основные публикации по разделу:

- Kadochnikov A, Shaparev N, Tokarev A, Yakubailik O. Software tools for web mapping systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 516(1), 012007. [Web of Science]

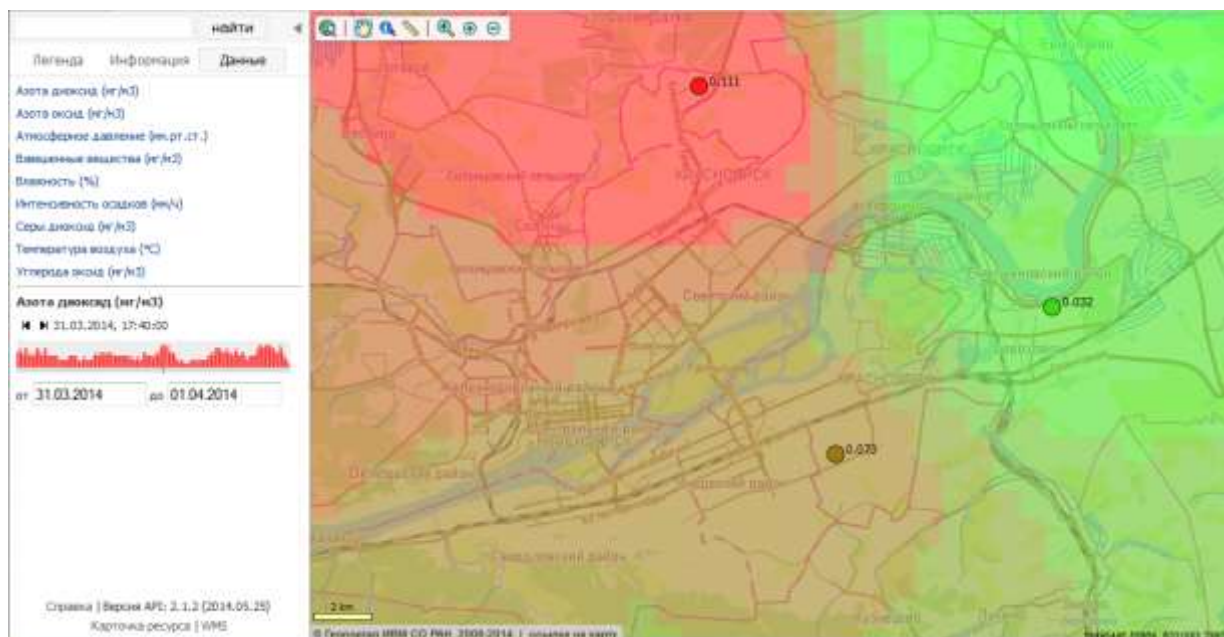


Рисунок 3 – Автоматическое построение тематических карт по данным подсистемы «Данные оперативного мониторинга» геопортала ИВМ СО РАН

Выявление изменений в городской среде по данным дистанционного зондирования Земли видимого и инфракрасного диапазонов

Решение актуальных современных задач мониторинга территорий, городского кадастра и землеустройства базируется на использовании аэрокосмической информации. Спутниковые данные являются объективной и независимой от разных субъективных факторов информацией, которая может регулярно регистрироваться, охватывая при этом сразу всю исследуемую территорию. Предметом настоящего исследования стал анализ применимости различных доступных спутниковых данных теплового инфракрасного (ИК) диапазона для выявления антропогенных изменений ландшафта городской среды на примере г. Красноярска. Главная идея – в оценке возможностей полностью автоматизированного выявления изменений ландшафта. Если традиционный используемый подход опирается на сравнительный анализ разновременных спутниковых изображений с помощью визуального дешифрирования оператором, то в нашем случае предпринимается попытка значительную часть задачи переложить на компьютер, минимизировать «субъективный фактор».

Были выбраны безоблачные спутниковые данные ИК-диапазона Landsat-8 TIRS (пространственное разрешение 100 м) и Terra MODIS (разрешение 1000 м) за сентябрь 2016-го и 2018-го гг., выполнена их стандартная предварительная обработка. На те же даты были получены сцены Planet Scope (разрешение 3 м), используя которые на всю

территорию города были подготовлены карты вегетационного индекса NDVI, и затем, с их помощью – карты температуры поверхности Земли (LST – land surface temperature).

Методической основой рассмотренного подхода является классический алгоритм определения LST по спутниковым данным, предложенный разработчиками программы Landsat. Значения NDVI, которые основаны на данных видимого и ближнего инфракрасного диапазонов, необходимы для вычисления коэффициента эмиссии (излучения), который в свою очередь нужен для расчета температуры поверхности LST. Ранее проведенные исследования показали, что сочетание спутниковых данных различного пространственного разрешения дает возможность проведения детального анализа температурных аномалий городской среды.

Terra MODIS не имеет достаточного пространственного разрешения для изучения городской территории, поэтому основой исследования стала комбинация данных более высокого пространственного разрешения Landsat / Planet Scope, а данные MODIS использовались для контроля точности. Вычисленная температура LST на основе Landsat / Planet Scope сравнивалась с температурой LST по Terra MODIS (ее не нужно вычислять, это один из стандартных продуктов) на соответствующие даты; получено хорошее соответствие результатов: коэффициент детерминации составил $R^2 \sim 0,82$.

Для определения изменений в городском ландшафте была вычислена разница нормированных значений температуры поверхности земли в сентябре 2016 и 2018 гг. Пиксели полученного изображения были разделены на 3 класса: без изменений, незначительные изменения при перепаде температур 1-3 градуса и значительные изменения при перепаде температур более 4 градусов. Результаты подтвердили исходную гипотезу – зоны значительного изменения температуры хорошо выделяют территории застройки или сноса зданий, сооружений, и проч., и таким образом вполне могут служить индикатором изменений в городской среде.



Рисунок 4. – Изменение ландшафта, связанные со строительством в период 2016 – 2018 годов спортивного кластера «Сопка» Универсиады-2019 в лесном массиве Красноярска.

На рис. 4 представлены снимки построенного в рассматриваемый период спортивного кластера «Сопка» Универсиады-2019 в Красноярске, в котором прошли соревнования по фристайлу и сноуборду. Увеличение температуры поверхности земли LST связаны с созданием горнолыжных трасс, строительством прочих спортивных сооружений.

На рис. 5 представлена обратная ситуация – уменьшение температуры LST. Обнаружен демонтаж производственных цехов предприятия, который привел к возникновению соответствующих аномалий изменения температуры поверхности земли.



Рисунок 5 – Изменение ландшафта, связанные со сносом цехов Красноярского завода комбайнов с 2016 по 2018 год в центре г. Красноярска

Основные публикации по разделу:

- Matuzko AK, Yakubailik OE. Assessment of thermal conditions in Krasnoyarsk urban area with use of different satellite data and geographic information system // Thermal Science, 2019, Vol. 23, Suppl. 2, pp. S615-S621. [Scopus, Web of Science]
- Gosteva AA, Matuzko AK, Yakubailik OE. Identification of changes in urban environment on the basis of the satellite data of the infrared range (on the example of Krasnoyarsk) // InterCarto/InterGIS, 2019, Vol. 25, pp. 90-100. [Scopus]

Физико-математическая модель летнего гидротермического режима р. Енисей в нижнем бьефе Красноярской ГЭС

В отчетный период были продолжены исследования всех основных физических процессов, влияющих на изменение температуры воды, возникающее в связи с обменом энергией между водой и окружающей средой. Результатом проведенного анализа стало создание физико-математической модели летнего гидротермического режима р. Енисей в нижнем бьефе Красноярской ГЭС на основе детерминированного подхода. В этой модели

учитываются следующие физические процессы: поглощение водой прямой и рассеянной солнечной радиации, поглощение поверхностью воды исходящей из атмосферы радиации в тепловом инфракрасном (ИК) диапазоне, излучение поверхностью воды радиации в ИК-диапазоне, испарительный и конвективный теплообмен.

Разработанная модель основана на вычислении температуры воды в движущейся вместе с водой системе координат и применена к р. Енисей. Рассматривался участок реки от плотины Красноярской ГЭС до точки, расположенной от нее на расстоянии 124 км; на этом участке было выбрано 4 створа, соответствующих расположению гидропостов. Морфометрические характеристики реки формировались по данным спутниковых снимков высокого пространственного разрешения и лоцманским картам.

Полученные расчетные значения температуры воды по разработанной физико-математической модели сравнивались с результатами натурных наблюдений на гидропостах и ее оценкам, выполненным по данным дистанционного зондирования инфракрасного диапазона спутника Landsat-8. Было получено хорошее согласование всех теоретических и экспериментальных данных.

Основные публикации по разделу:

- Shaparev N.Y. Modelling summer water temperature on the Yenisei River // Thermal Science, 2019, Vol. 23, Suppl. 2, pp. S607-S614. [Scopus, Web of Science]
- Шапарев Н.Я. Роль радиационных процессов в термических режимах рек // Труды XXV Международного Симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы» (Конференция В. Распространение излучения в атмосфере и океане). – Томск: ИОА СО РАН, 2019, с. 13-16.

Анализ методов и результатов оценки природных и техногенных рисков на примере Красноярского края

Одной из рассмотренных за отчетный период задач стал анализ методов и результатов оценки природных и техногенных рисков на примере Красноярского края.

На основе анализа статистических данных МЧС России были проанализированы индивидуальные и коллективные риски – их принято считать базовыми рисками при ЧС природного и техногенного характера для промышленного региона. Индивидуальный риск ЧС техногенного характера связан с деятельностью отдельного человека или если он подвергается риску в составе части общества (проживание в экологически неблагоприятных регионах, вблизи источников повышенной опасности); он применяется для установления качественного значения с целью управления административными

территориями. Расчеты показали, что для Красноярского края индивидуальный риск не превышает предельно допустимых значений $R < 10^{-5}$.

При формировании рисков здоровью ведущей средой является атмосферный воздух. Оценка канцерогенного риска здоровью населения урбанизированных территорий от ингаляционного воздействия выполнялась по данным наблюдений на государственной региональной сетях мониторинга. Расчет индивидуального канцерогенного риска осуществлялся с использованием данных о величине экспозиции и значениях факторов канцерогенного потенциала. Дополнительно учитывалась вероятность развития рака у индивидуума на всем протяжении жизни, которая оценивалась с учетом среднесуточной дозы в течение жизни, а также величина популяционного годового риска – расчетное число дополнительных случаев возникновения онкологического заболевания в течение года. Оценка суммарного канцерогенного риска от ингаляционного воздействия выполнялась для формальдегида, бенз(а)пирена, бензола и этилбензола (рис. 6).

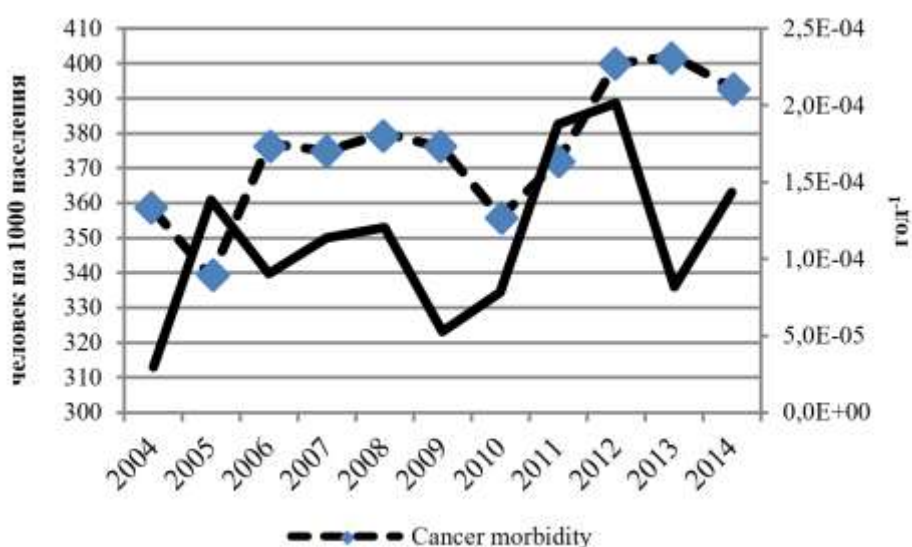


Рисунок 6 – Динамика индивидуальных канцерогенных рисков и смертности от онкологических заболеваний (на 100 тыс. человек) населения г. Красноярска

Следует отметить, что анализ уровней заболеваемости злокачественными новообразованиями не согласуется с расчетными уровнями канцерогенных рисков, это подтверждено официальной статистикой. Одна из причин таких расхождений в том, что в официальной методике расчета канцерогенных рисков не учитывается ряд важных показателей, влияющих на фактические уровни заболеваемости, например, возрастная структура населения. При этом загрязнение атмосферного воздуха всего лишь один из факторов, влияющих на онкологическую заболеваемость населения крупного промышленного центра. Для более полной оценки расчетных канцерогенных рисков

следует учитывать, например, такие виды воздействия на здоровье населения, как загрязнение питьевой воды, совокупность факторов образа жизни, в т.ч. курение и т.д.

Основные публикации по разделу:

- Taseiko O.V. Anthropogenic risks of industrial areas // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 537 (6), 062048. [Scopus, Web of Science]

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

Информационно-аналитическая система оперативной оценки загрязнения атмосферы и климатических условий в г. Красноярске

Атмосферный воздух является важнейшим компонентом окружающей среды. Во время активной промышленной деятельности в атмосферу выбрасываются большие количества загрязняющих веществ, ухудшающие качество атмосферного воздуха как вблизи источника загрязнения, вызывая локальные экологические проблемы, так и влияющие на процессы в окружающей среде. По данным Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) в 2012 году от загрязнения воздуха во всем мире погибло около 7 млн. человек. 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 PM_{10} .

Системы мониторинга состояния загрязнения атмосферного воздуха в настоящее время создаются и внедряются во многих городах мира как за рубежом, так и в России. В городе Красноярске мониторинг ведется рядом организаций федерального и региональных уровней, каждая из которых обладает собственными приборами, методиками, технологиями и системами сбора, хранения и обработки данных. В том числе:

- Краевая ведомственная информационно-аналитическая система о состоянии окружающей среды Красноярского края (КВИАС). По городу размещено 9 автоматизированных постов наблюдений, которые выполняют измерение массовых концентраций оксида и диоксида азота, диоксида серы, оксида углерода, $PM_{2.5}$, формальдегида в атмосферном воздухе каждые 20 минут. Используется дорогостоящее сертифицированное оборудование, в том числе анализаторы пыли модели BAM-1020 (Met One Instruments Inc., США).
- Проект общественников «Красноярск.небо». На текущий момент размещено около 20 постов, используются недорогие приборы AirVisual с оптическими датчиками $PM_{2.5}$. Размещение приборов на балконах жилых домов вызывает вопросы по достоверности данных.

- На базе ФИЦ КНЦ СО РАН развивается автоматизированная информационная система мониторинга состояния атмосферного воздуха в г. Красноярске. В настоящее время сеть находится на этапе построения, пока размещено около 20 станций. Используются приборы CityAir, которые обеспечивают измерение содержания взвешенных веществ в атмосферном воздухе ($PM_{2.5}$, PM_{10}) и основных метеорологических параметров: температуры, влажности и давления. Показатели измеряются и передаются каждую минуту на сервер сбора данных.

Блок оперативного научно-исследовательского мониторинга за состоянием окружающей среды на геопортале ИВМ СО РАН обеспечивает хранение, сбор и доступ к данным наблюдений. Собираемые данные автоматически приводятся к одним единицам измерения вычисляются усредненные значения на единой временной сетке. В настоящее время уже созданы программные модули для регулярного автоматического импорта из нескольких источников данных по загрязнению атмосферы.

Представляет интерес построение информационной системы, которая обеспечит наглядную визуализацию данных, поступающих из разных систем мониторинга. Для интегральной оценки степени загрязнения атмосферы перспективно использовать унифицированные показатели – индексы качества атмосферы AQI (Air Quality Index), Nowcast, Asian Nowcast, InstantAQI. На технологической платформе геопортала ИВМ СО РАН был разработан действующий прототип такой информационно-аналитической системы. Основные разделы: таблица, карта, блок анализа, архив данных, справочная информация (рис. 7).

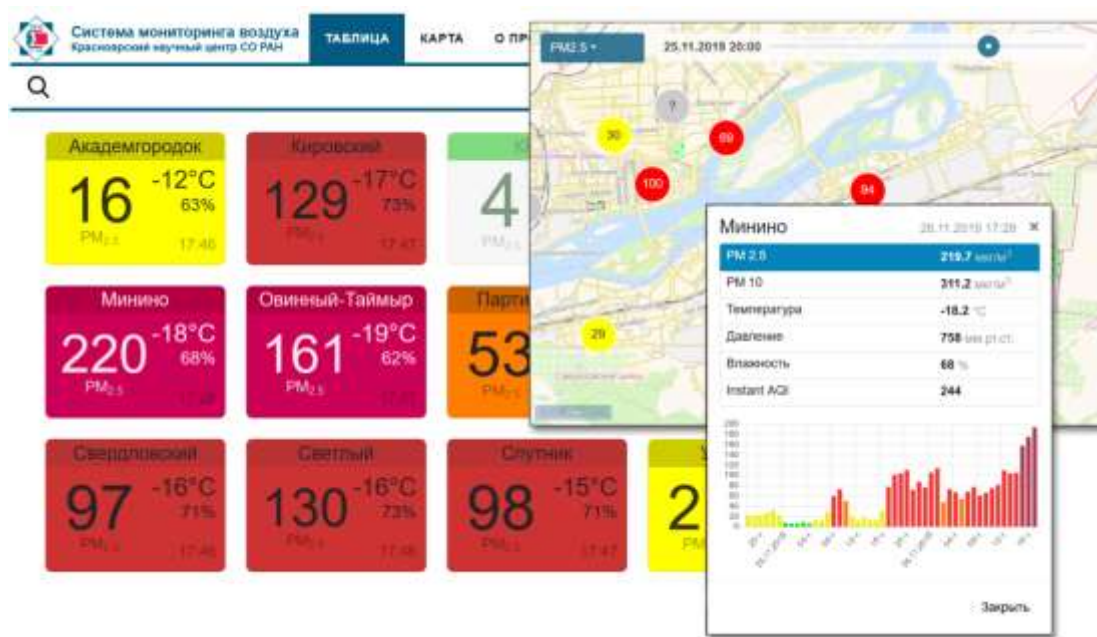


Рисунок 7 – Пользовательский интерфейс системы мониторинга

Табличное представление постов мониторинга показано на рис. 7 с левой стороны. Все посты отображаются в виде отдельных «карточек» с возможностью поиска по названию и сортировки. Карточка содержит актуальные данные по загрязнению воздуха и метеоинформации. Цветовая раскраска отражает степень опасности по шкале AQI. Выбрав отдельный пост пользователю открывается расширенное представление данных с динамикой изменения показателей за последние 2 суток.

Поддерживается отображение постов наблюдения на интерактивной карте г. Красноярска. На карте показывается 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.

Для авторизованных пользователей доступны дополнительные разделы – блок анализа данных и архив данных. Пользователь сам выбирает какие данные ему необходимы и за какой промежуток времени с помощью интерфейса пользователя, представленного на рис. 8. Результат можно посмотреть как на карте, так и в виде интерактивных графиков. Поддерживается расчет и отображение изолиний выбранного показателя на карте.

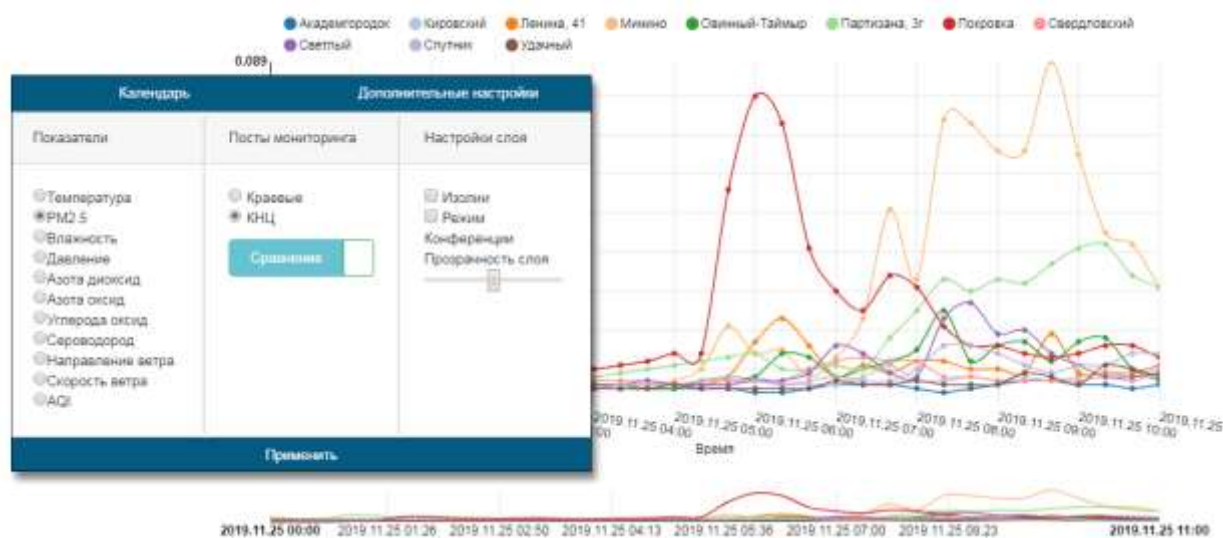


Рисунок 8 – Элементы аналитического блока системы мониторинга

Реализация выполнена в концепции одностраничного веб-приложения (single-page application, SPA). Используется адаптивная разметка страниц, оптимизированная как для настольных компьютеров, так и для экранов мобильных устройств. 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). Используется библиотека Bootstrap для HTML- и CSS-шаблонов оформления элементов веб-форм, блоков навигации и прочих компонентов. Выбранный подход позволяет разрабатывать интерактивные веб-приложения с высокой скоростью работы на десктопах и мобильных устройствах.

Основные публикации по разделу:

- Kadochnikov AA, Tokarev AV, Zavoruev VV and Yakubailik OE. Prototype of city environmental monitoring system based on geoportal technologies // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 537 (6), 062052. DOI: 10.1088/1757-899X/537/6/062052 [Scopus, Web of Science]
- Zavoruev VV, Zavorueva EN, Kadochnikov AA, Tokarev AV, Yakubailik OE. Assessment of the possibility of using CityAir air monitoring station in environmental engineering // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 537 (6), 062053. [Scopus, Web of Science]
- Веб-сайт «Система мониторинга воздуха Красноярского научного центра СО РАН» – <http://air.krasn.ru/>.

Пространственно-временной анализ загрязнения атмосферы Красноярска в период неблагоприятных метеоусловий

Предметом исследования в настоящей работе стала динамика загрязнения г. Красноярска взвешенными частицами. Был рассмотрен период времени с декабря 2018 г. по май 2019 г., для которого были проанализированы имеющиеся данные по уровню концентраций взвешенных частиц PM_{2.5} в атмосфере Красноярска, полученные сетью научно-исследовательского экологического мониторинга ФИЦ КНЦ СО РАН. Особое внимание было уделено первой половине февраля, т.к. в этот период Среднесибирским УГМС был объявлен режим неблагоприятных метеоусловий (НМУ) – с 19:00 08 февраля 2019 г. по 19:00 13 февраля 2019 г.

Режим НМУ – краткосрочное особое сочетание метеорологических факторов, способствующих накоплению вредных (загрязняющих) веществ в приземном слое атмосферного воздуха. Юридические лица, имеющие источники выбросов вредных веществ в атмосферный воздух, при объявлении режима НМУ обязаны проводить мероприятия по уменьшению выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух.

Данные мониторинга взвешенных частиц PM_{2.5} за февраль показали превышение допустимых концентраций в период со 2 по 13 февраля, уровень которого в отдельные моменты составлял более 5 максимальных разовых ПДК (рис. 9).

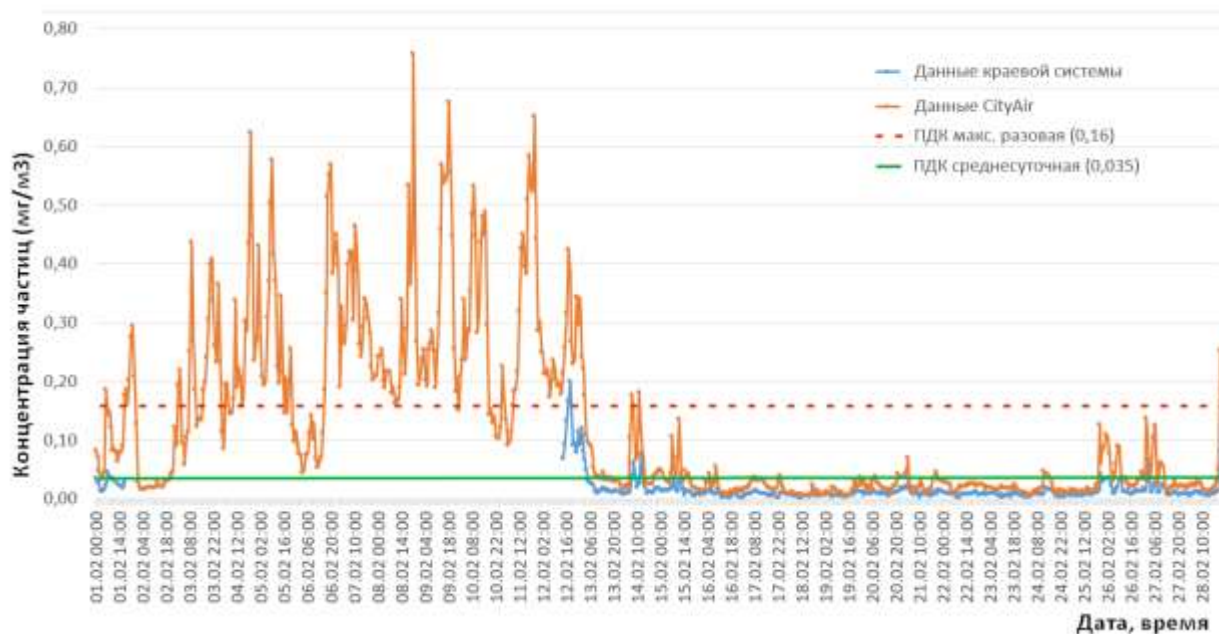


Рисунок 9 – Результаты измерений концентрации PM_{2.5} в феврале 2019 г. на посту мониторинга «Покровка-Красноярск»

Плотная сеть установленных датчиков концентраций PM_{2.5} ФИЦ КНЦ СО РАН позволила провести исследование пространственно-временного распространения смога по территории Красноярска в 1-й половине февраля 2019 г. Анализ полученных данных показал, что в данный период времени определяющим фактором образования смога над городом являлся дым печного отопления, возникавший в малоэтажной застройке частного сектора (Николаевка, Покровка) и в расположенных в непосредственной близости от города поселках (Солонцы, Дрокино, Менино). В это время наблюдались низкие температуры (около -30°C), которые способствовали интенсивному отоплению домов (преимущественно бурый уголь), что, скорее всего, и стало основной причиной высоких концентраций PM_{2.5}. Возникновение загрязнения на начальном этапе показано на рис. 10. Детальный анализ зафиксированных скорости и направления ветра показал, что при характерных юго-западном/южном ветре со скоростью порядка 2-3 м/с за время от нескольких часов до полудня дым печного отопления поселков пригородной зоны почти полностью покрывает город. Очень важным фактором, влияющим на распространение загрязнения, является рельеф местности. Для загрязнения расположенных на

относительно высоких участках местности микрорайонов города (Академгородок) необходимо порядка суток.

Обратный процесс – полная «очистка города» от уровня концентрации PM_{2.5} в несколько ПДК до абсолютно чистого состояния – был осуществлен 13.02.2019 при смене направления ветра на юго-западное, со скоростью 1-4 м/с за ориентировочно 10 часов.

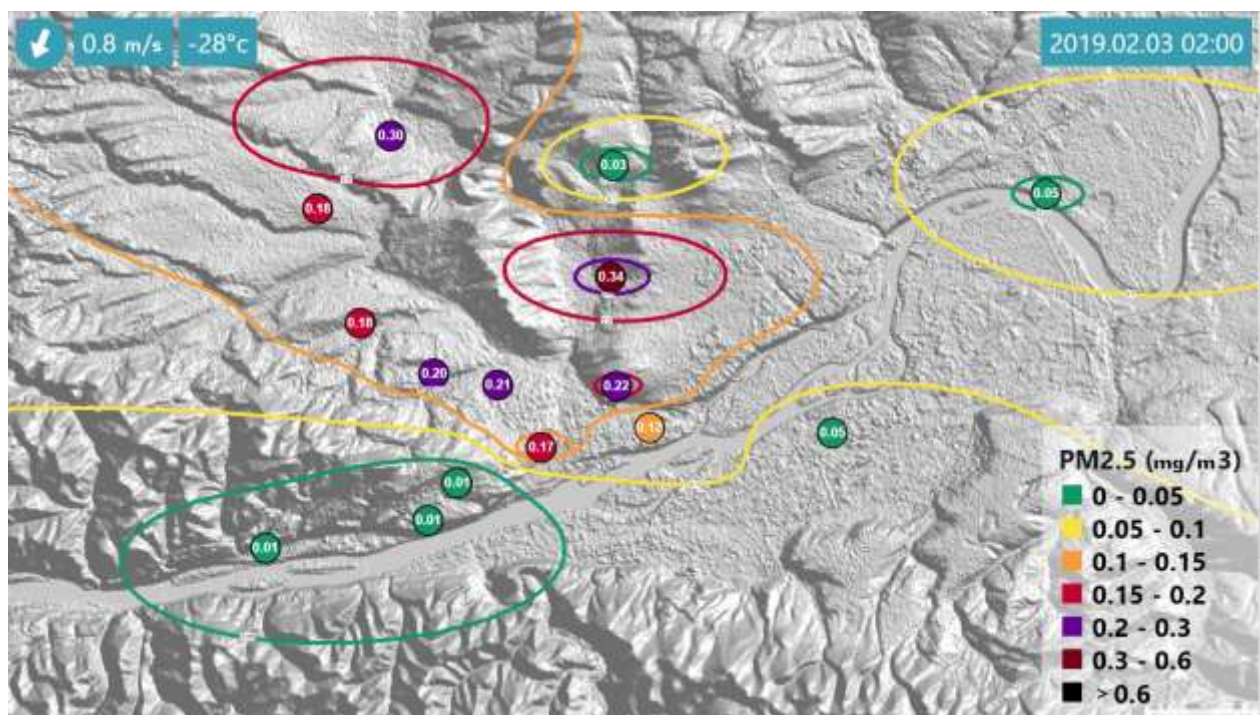


Рисунок 10 – Начало распространения смога на территорию Красноярска, обусловленное интенсивным печным отоплением в малоэтажной застройке в северной части города

Основные публикации по разделу:

- Якубайлик О.Э., Заворуев В.В., Малимонов М.И., Пушкарев А.А. Пространственный анализ загрязнения атмосферы Красноярска // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов (SDM-2019): Сборник трудов всероссийской конференции. Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2019, с. 477-482.
- Заворуев В.В., Заворуева Е.Н. Концентрация PM_{2.5} в приземном слое атмосферы поселков Дрокино и Минино (Красноярский край) в период отопительного сезона // Труды XXV Международного Симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы» (Конференция С. Исследование атмосферы и океана оптическими методами). – Томск, Изд-во ИОА СО РАН, 2019. С. 556-559.

Исследование состояния атмосферы в г. Красноярске в показателях устойчивого развития

Одной из задач за отчетный период стало исследование состояния атмосферы г. Красноярска в показателях устойчивого развития. Для этой цели использовались показатели, принятые ООН, разработанные в России и США. Показатели включают индикаторы входного воздействия, состояния и управления. Анализ состояния проводился на основе данных государственных докладов «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае» за 2007-2017 гг.

Валовый объем загрязняющих веществ – это суммарная характеристика количества загрязнений, поступающих в атмосферу города за год. На рис. 11 показано изменение валового объема выбросов от стационарных и передвижных источников в воздушную среду г. Красноярска за 2007-2017 гг. Пунктирными линиями обозначены соответствующие линии тренда и прогноз на 2018 год. Начиная с 2013 года, в методику оценки выбросов в атмосферный воздух от автомобильного транспорта внесены изменения, что привело к снижению оценок почти на 50%.

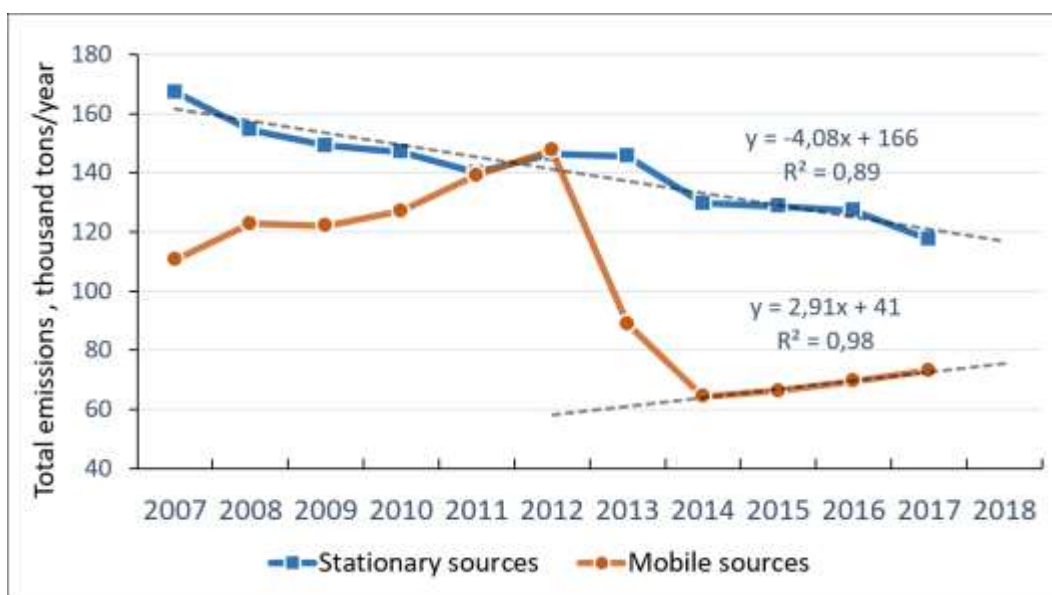


Рисунок 11 – Валовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу г. Красноярска

Согласно валовым показателям уровень загрязнения воздуха за 2014-2017 годы незначительно снижается, но остается стабильно высоким по сравнению с другими городами России. Снижение обусловлено усовершенствованием систем пылегазоочистки на крупных промышленных предприятиях. Валовые выбросы в 2017 г. от стационарных источников составили 62%, а от передвижных источников – 38%. Структура выбросов различных веществ в 2017 г. от стационарных источников: угарный газ – 50%, диоксид

серы – 19,3%, твердые вещества – 14,7%, оксиды азота – 14%. Следует отметить, что удельные выбросы на 1 человека по всем загрязняющим веществам уменьшаются в течение 2007-2017 гг.

В Таблице 1 приведена динамика изменения годовых индексов качества атмосферы в г. Красноярске:

- *ИЗА5* – комплексный индекс загрязнения атмосферы по 5 приоритетным для города загрязняющим веществам;
- *Вещества* – приоритетные загрязняющие вещества (Ф – формальдегид, Бп – бензапирен, ВВ – взвешенные вещества, NO₂ – диоксид азота, NH₃ – аммиак, Эб – этилбензол);
- *СИ* (стандартный индекс) – наибольшая концентрация примеси, деленная на ПДК_{мр}, из данных измерений за всеми примесями в городе за год;
- *НП* – наибольшая повторяемость превышения ПДК из данных измерений на всех постах наблюдений за всеми определяемыми примесями.

Таблица 1. Динамика годовых индексов качества атмосферы

Год	ИЗА5	Вещества	СИ	НП (%)	Уровень загрязнения
2017	>14	Бп, Ф, NH ₃ , NO ₂ , ВВ	20.1	23.1	очень высокий
2016	>14	Бп, Ф, NH ₃ , NO ₂ , ВВ	40.6	21.9	очень высокий
2015	>7	Ф, Бп, ВВ, NO ₂ , NO	18.5	18.0	высокий
2014	17.48	Ф, Бп, Эб	30.2	8.1	очень высокий
2013	17.05	Ф, Бп, ВВ, NO ₂	17.1	22.9	очень высокий
2012	22.93	Ф, Бп, ВВ, NO ₂	17.0	29.0	очень высокий
2011	23.75	Бп, Ф, ВВ, NO ₂ , NH ₃	20.0	27.7	очень высокий
2010	21.86	Бп, Ф, ВВ, NO ₂	20.4	23.2	очень высокий
2009	18.56	Бп, Ф, ВВ	10.4	15.2	очень высокий
2008	15.31	Бп, Ф, ВВ, NO ₂ , NO	18.0	23.3	очень высокий
2007	14.66	Бп, Ф, ВВ, NO ₂	12.8	27.7	очень высокий

Важно отметить, что резкое снижение оценки уровня загрязнения воздуха в 2014 г. произошло в связи с изменением ПДК_{сс} формальдегида. За рассматриваемый период уровень загрязнения остается стабильно очень высоким. Основными примесями, влияющими на значение комплексного индекса загрязнения, является бенз(а)пирен и формальдегид.

Основные публикации по разделу:

- Tokarev A, Shaparev N. Using the Monitoring Network and Geoportal Technologies to Analyze the State of the Atmosphere in Krasnoyarsk (Russia) // IOP Conference Series:

Materials Science and Engineering, 2019, 516 (1), 012045. DOI: 10.1088/1757-899X/516/1/012045 [Web of Science]

- Токарев А.В., Шапарев Н.Я. Оценка влияния отдельных загрязняющих веществ на индекс качества воздуха в г. Красноярске // Труды XXV Международного Симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы» (Конференция С. Исследование атмосферы и океана оптическими методами). – Томск, Изд-во ИОА СО РАН, 2019. С. 380-383.

Геоинформационное обеспечение задач управления территорией Академгородка

Одним из направлений деятельности в отчетный период стало создание геопространственного информационного обеспечения на территорию Академгородка г. Красноярска для поддержки решения учетно-эксплуатационных и иных задач, возникающих в текущей деятельности ФИЦ КНЦ СО РАН. Во-первых, был создан набор геопозиционированных растровых данных, в составе которого планшеты инженерных коммуникаций и ортофотоплан территории Академгородка, подготовленный с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА, дрона). Все данные размещены на геопортале, работают в режиме ограниченного доступа. Во-вторых, создана единая геоинформационная база данных земельных участков и объектов капитального строительства (ОКС) ФИЦ КНЦ СО РАН, осуществлено ее наполнение.

Для создания ортофотоплана Академгородка использовался дрон DJI Phantom 3 Advanced, оборудованный фотокамерой с матрицей Sony EXMOR 1/2.3” CMOS и объективом с фокусным расстоянием 20 мм и светосилой f/2.8. Основные его характеристики: рама – 350 мм, вес – 1280 г, скорость подъема – до 5 м/с, горизонтальная скорость – до 15 м/с, время полёта – 15-20 мин. Подвес камеры обеспечивает стабилизацию по 3 осям во время полета. Поддерживается как ручное управление полетом с радиопульта, так и интеллектуальные режимы полета по заданному маршруту.

Для планирования и выполнения полетов использовалось приложение Litchi для квадрокоптеров DJI; съемка выполнялась с разрешением 4000×3000 пикселей. Территория была отснята за 22 полета в течение нескольких дней в апреле 2019 года, когда снег уже сошел, а листья деревьев еще не распустились. Спланированные траектории показаны на рис. 12. Все полеты выполнялись в одной плоскости на высоте около 125 метров над землей. Во время полета фотографии делались каждые 2 секунды, за 1 полет получалось около 300-400 снимков.



Рисунок 12 – Карта траекторий полетов и фрагмент построенной 3d-модели

В результате совместной обработки снимков строится высокоточная трёхмерная модель местности, карта высот и ортофотоплан. Пространственное разрешение составляет около 10 см/пиксел.

Создание геоинформационной базы данных ОКС ФИЦ КНЦ СО РАН было обусловлено необходимостью организации эффективного и оперативного доступа к информации по земельным участкам и объектам недвижимости, управление которыми осуществляет ФИЦ КНЦ СО РАН. Предварительный анализ ситуации показал, что первичная информация представлена преимущественно в табличном виде, местоположение объектов недвижимости на местности (карте) не всегда и не всем очевидно. Даже элементарная на первый взгляд задача геопривязки имеющих официальные адреса зданий/сооружений на территории Академгородка потребовала многократных консультаций с разными специалистами отдела по управлению имуществом КНЦ. При формировании базы данных использовались все доступные источники – документы отдела по управлению имуществом, публичная кадастровая карта Росреестра, спутниковые снимки, и проч.

В базе данных содержатся следующие характеристики ОКС: наименование объекта, кадастровый номер, реестровый номер гос. имущества, дата постановки на кадастровый учет, номер регистрации права собственности РФ, дата регистрации права собственности РФ, номер регистрации иного вещного права, дата регистрации иного вещного права, общая площадь, описание местоположения (рис. 13). Каждому объекту были привязаны табличные характеристики ОКС и дополнительные данные о типе и наименовании объекта (общепринятые – например, ИВМ СО РАН, Дом ученых, Муз. школа, и т.д.). Текущая редакция геоинформационной базы данных содержит 72 объекта в слое земельных участков и 325 объектов ОКС, ее планируется модифицировать и дополнять в следующем году.

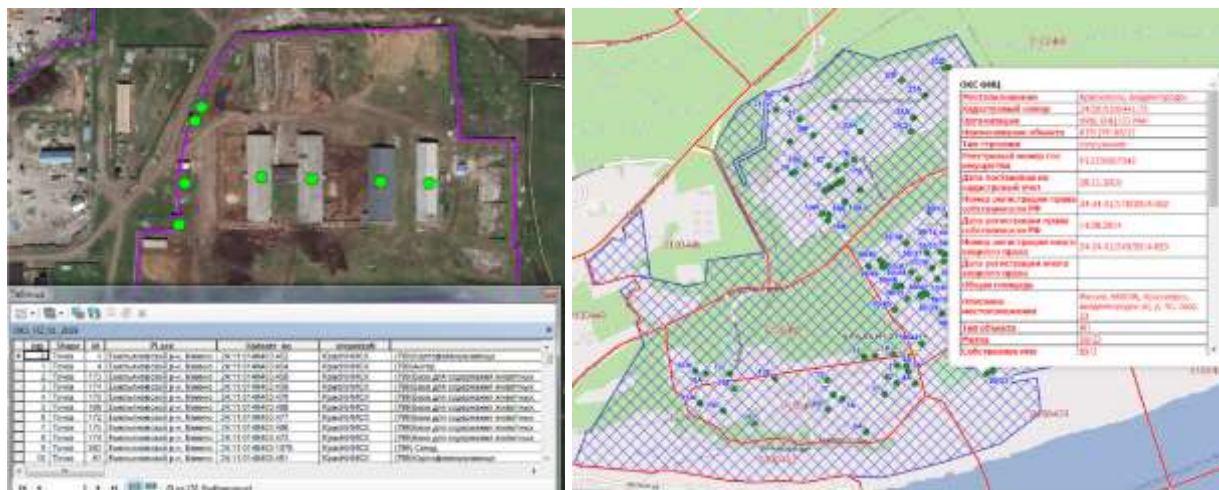


Рисунок 13 – Геопространственная база данных объектов капитального строительства и ее веб-интерфейс на геопортале в сочетании с онлайн-данными публичной кадастровой карты Росреестра.

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

Формирование геопространственной базы данных, содержащей структурно-функциональные характеристики гидробиологических сообществ в разнотипных водных экосистемах бассейна Енисея

На основе собственных данных экспедиционных исследований нами сформирована геопространственная база данных с результатами наблюдений (рис. 14), которая размещена на геопортале ИВМ СО РАН в отдельном разделе (<http://gis.krasn.ru/go/n5p8>). Геопортал предоставляет возможности визуализации информации в виде интерактивных тематических карт и обеспечивает возможность прямого доступа к данным через картографические веб-сервисы из современных ГИС. Первоначальное наполнение геоинформационной системы составлено по материалам экспедиционных исследований, проведенных в начале 2000-ых гг. на участке от плотины Красноярской ГЭС до устья р. Подкаменной Тунгуски.

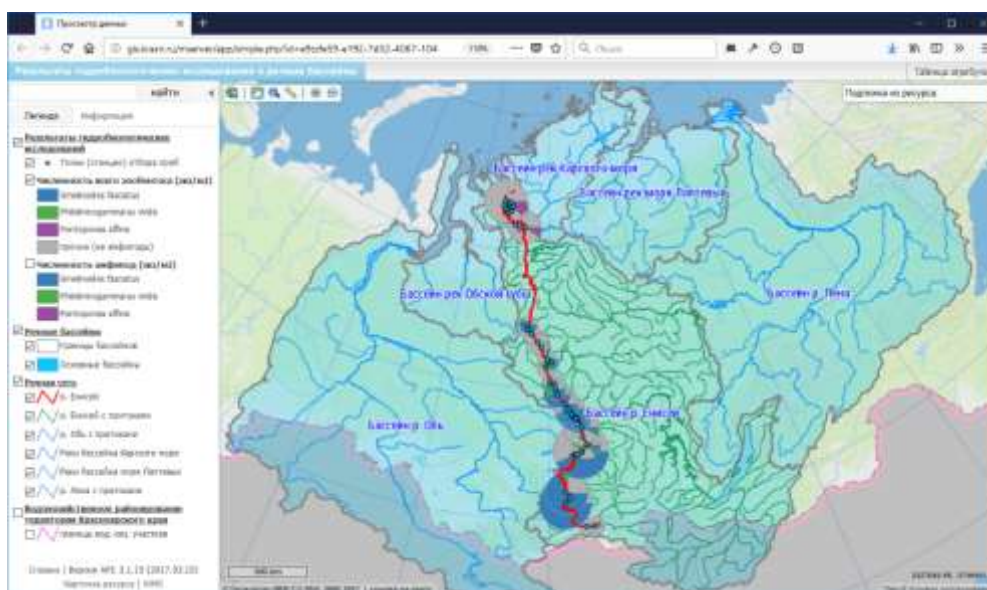


Рисунок 14 – Веб-интерфейс геопортала ИВМ СО РАН: речная сеть бассейна р. Енисей, точки отбора гидробиологических проб, результаты исследований.

В настоящее время информационный ресурс пополнен современными сведениями о количественном распределении зообентоса (беспозвоночные животные, обитающие на дне водоемов и водотоков) в Енисее. Особое внимание уделено пространственной динамике байкальских эндемичных амфипод в Енисее, которые распространились далеко за пределы

Байкала не только вниз, но и вверх по течению. В настоящее время проблема инвазий чужеродных видов относится к одному из важных направлений фундаментальных и прикладных работ. Однако, в России наблюдается явный недостаток в Интернет-ресурсах, посвященных видам-вселенцам. На данный момент геоинформационная система пополнена результатами экспедиционных гидробиологических исследований, проведенных в 2015-2016 гг. в нескольких зонах Енисея от истока до устья. Выявлено, что на всем протяжении реки среди гаммарид количественно доминировал *Gmelinoides fasciatus*, второе место занял *Philolimnogammarus viridis* (рис. 15). Лишь в низовье и дельте Енисея лидирующие позиции перешли к *Pontoporeia affinis* – представителю эстуарно-реликтового комплекса организмов. Байкальские эндемики активно заселили участок Верхнего Енисея ниже Саяно-Шушенского вдхр., особенно в зонах массового распространения макрофитов. Наблюдается дивергенция экологических ниш у *G. fasciatus* и *Ph. viridis* в Енисее: доминант предпочитает заиленные песчано-галечные биотопы со спокойным скоростным режимом; субдоминант склонен к каменисто-галечным грунтам, омываемым быстрым течением. За последние 15 лет возросла плотность и доля рачков в зообентосе на участке Ангара – Подкаменная Тунгуска, особенно *G. fasciatus* – в 4 раза численность и в 7 раз биомасса.

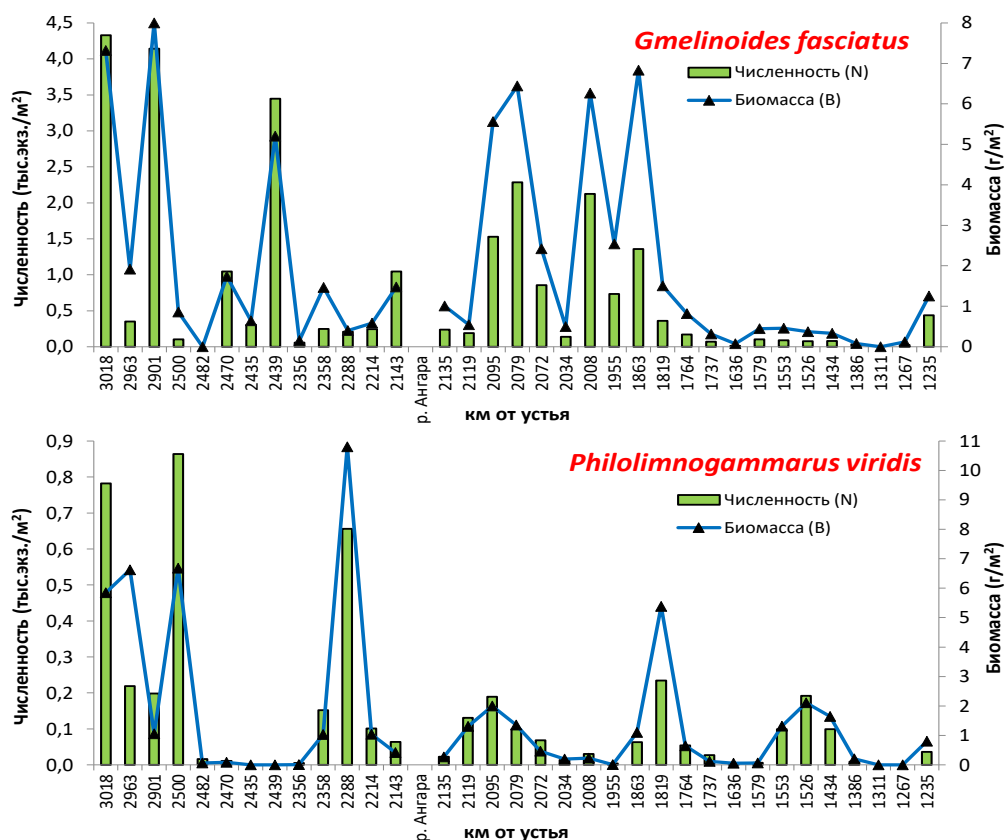


Рисунок 15 – Пространственная динамика численности и биомассы *G. fasciatus* и *Ph. viridis* в Верхнем (выше впадения р. Ангара) и Среднем (ниже впадения р. Ангара) Енисее

На дальнейших этапах работ планируется привлечение методов геоинформационного моделирования. Геопозиционированная гидробиологическая информация может быть сопоставлена с другими элементами природной среды – растительным покровом, типами почв, данными государственного экологического мониторинга по загрязнению территории, и проч. Речной бассейн в этом контексте становится системообразующим фактором. Изучение различных характеристик экосистемы на основе бассейнового принципа увязывает в одно целое разнообразные проявления биологической жизни на территории.

Основные публикации по разделу:

- Andrianova A.V., Yakubailik O.E. (2019) Geoinformational Web-System for the Analysis of the Expansion of the Baikal Crustaceans of the Yenisei River. In: Bychkov I., Voronin V. (eds) Information Technologies in the Research of Biodiversity – Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. 2019, pp. 125-130. [Web of Science]
- Андрианова А.В., Дербинева Е.В., Гадинов А.Н., Криволицкий Д.А., Мельников И.И. Кормовая база и потенциал рыбопродуктивности бассейна Енисея (верхнее и среднее течение) // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2019. № 45. С. 142–163. [Scopus]
- Андрианова А.В., Карпова Е.Д., Лепьявко М.П. Особенности пространственного распределения донной фауны в р. Кан (приток Среднего Енисея, Красноярский край) // «Вестник Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология». 2019 г. Т. 19. № 4. С. 440-452.

Оценка влияния разной минерализации природной воды на кинетику образования свободных радикалов у гидробионтов.

Особое значение в поддержании гомеостаза гидробионтов и проявлении у них адаптационных потенций как в природных, так и в антропогенно измененных условиях среды обитания играют механизмы регуляции кислородного метаболизма, включающие в себя систему кооперативно действующих про- и антиоксидантных ферментов, витаминов, каротиноидов, металлов с переменной валентностью, и устанавливающие строго определенный баланс между интенсивностью свободнорадикальных процессов, включая перекисное окисление липидов, и антиоксидантной активностью. Антиоксидантный статус организма зависит как минимум от четырех факторов: строго определенной структурной организации липидов, активности антиоксидантных ферментов и ферментов, регулирующих обмен фосфолипидов клеточных мембран, а также от содержания низкомолекулярных антиоксидантов. Сбои или отсутствие антиоксидантного статуса

приводят к развитию окислительного стресса, возникновению и накоплению окислительных повреждений и в конечном итоге – возникновению патологических изменений. Изменение количественного содержания и активности антиоксидантных ферментов, накопление продуктов перекисного окисления липидов в стрессовых условиях у разнообразных морских и пресноводных гидробионтов активно исследуются и используются в мониторинге состояния не только самих гидробионтов, но и водных экосистем. Хемилюминесцентный метод анализа кинетики генерации активных форм кислорода и свободных радикалов позволяет получить интегральную характеристику активности всего комплекса контроля радикалообразования исследуемого объекта.

Хемилюминесцентный анализ генерации свободных радикалов и активных форм кислорода в гомогенатах недифференцированных тканей при инициации оксидативного стресса перекисью водорода выявил отличия кинетики изменения скорости образования и дисмутации свободных радикалов у амфипод, обитающих в отличающихся по гидрохимическим характеристикам водоемах (рис. 16). У одновидовых особей амфипод *G. lacustris* отмечается снижение максимальной интенсивности и объема генерации свободных радикалов с увеличением содержания сульфатов, хлоридов и повышением pH в среде их обитания, что свидетельствует о более высокой активности антиоксидантных систем в тканях гаммарид и согласуется с данными повышенного содержания ферментов АОС у амфипод в соленой водной среде.

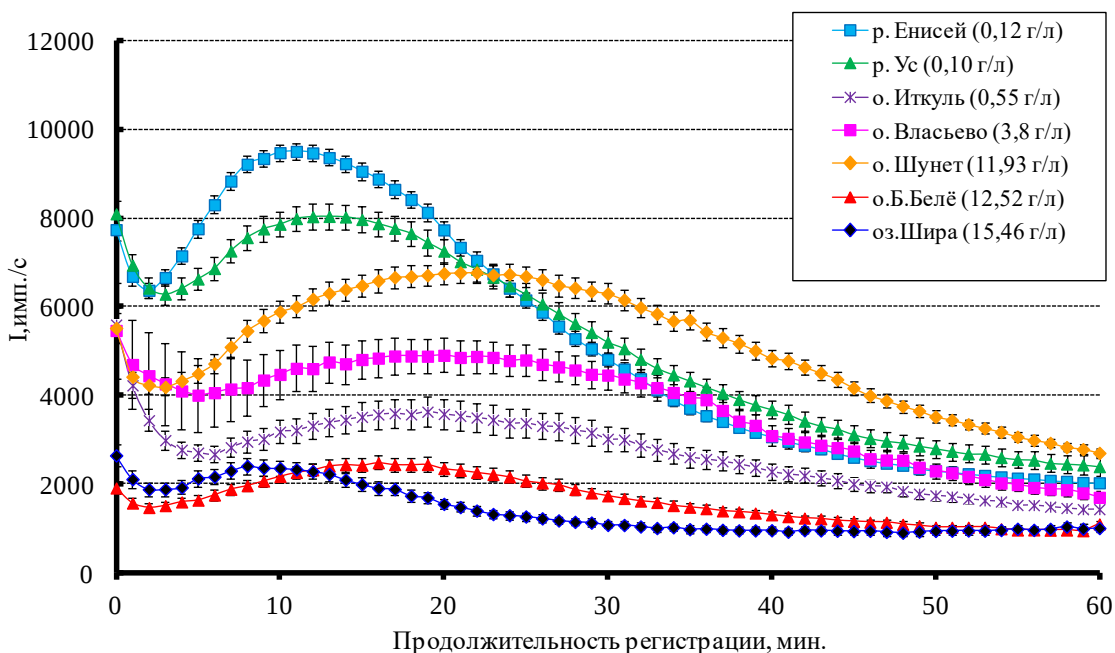


Рисунок16 – Хемилюминесцентная кинетика радикалообразования в тканях при инициации оксидативного стресса in vitro у представителей зообентоса из водоемов с разной минерализацией.

Видовая специфика кинетики радикалообразования при оксидативном стрессе у амфипод может определяться степенью адаптированности вида к функционированию в определенных экологических условиях. Судя по объему и максимальной интенсивности образующихся радикалов, у *G. lacustris* система антиоксидантной защиты надежнее контролирует всплеск образования свободных радикалов в тканях особей, обитающих в озерах Белё и Шира, чем у особей из озер Власьево и Шунет (рис. 17).

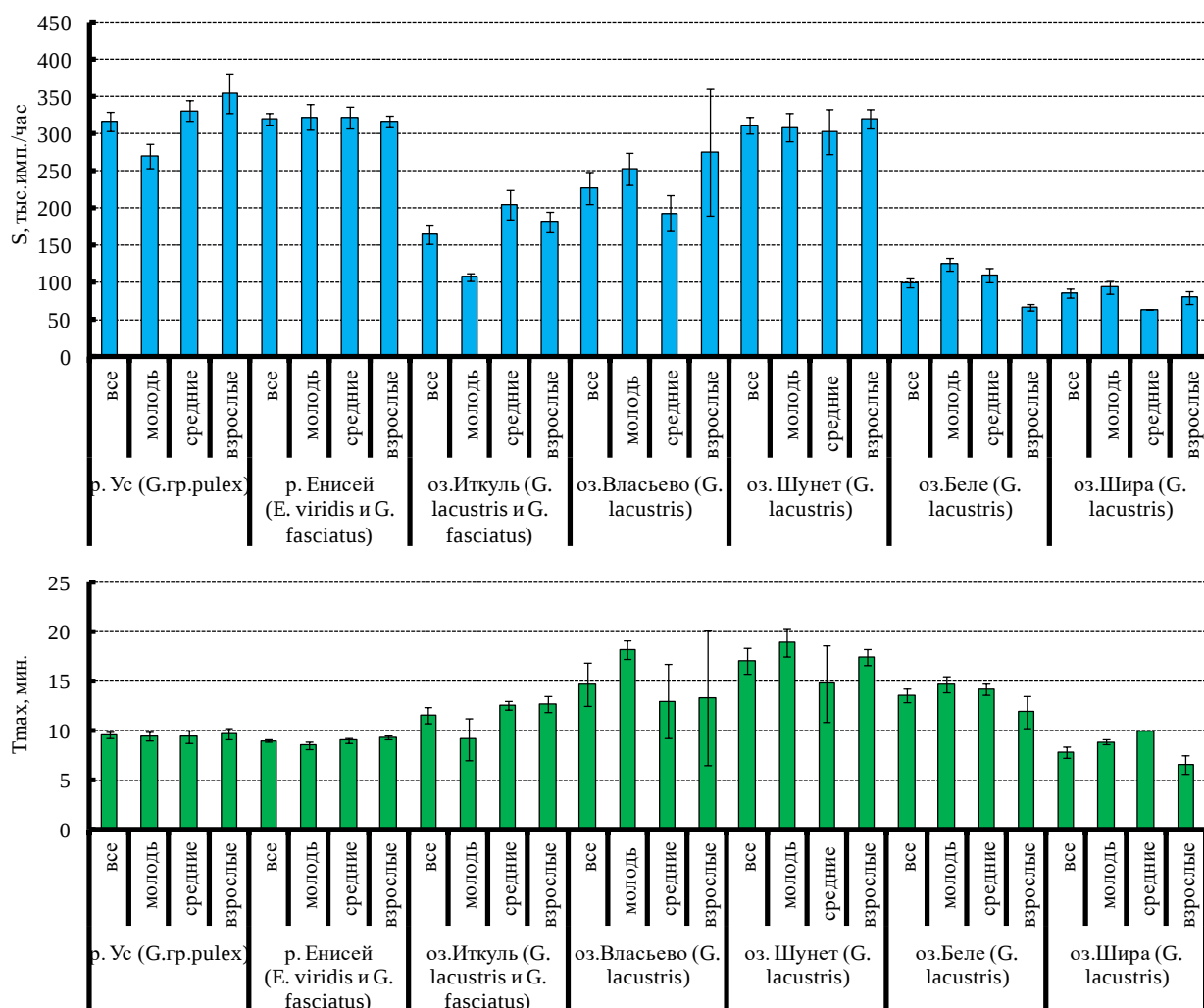


Рисунок 17 – Параметры кинетики радикалообразования в тканях амфипод из различных водных экосистем при инициации оксидативного стресса.

По величине времени достижения максимума антиоксидантная система одновидовых особей из оз. Белё более реактивна, чем у особей из оз. Шира, превосходящего по содержанию солей оз. Белё. Достоверные отличия параметров кинетики генерации свободных радикалов при оксидативном стрессе в тканях амфипод из речных систем и пресного оз. Иткуль вероятно связаны не только с разным видовым составом анализируемых особей, но и с различиями по температурным, гидрохимическим и

гидродинамическим характеристикам мест обитания. Возрастная динамика процессов генерации свободных радикалов более выражена у *G. гр. pulex* из р. Ус, у амфипод из оз. Иткуль, *G. lacustris* из оз. Белё. При этом с возрастом наблюдалось увеличение максимальной интенсивности и объема генерации свободных радикалов при оксидативном стрессе (рис. 17) у амфипод из пресноводных экосистем и снижение значения этих же характеристик для амфипод из оз. Белё при сокращении времени достижения максимума. Данный факт, очевидно, связан с возрастным изменением количественного содержания и функциональной активности компонентов антиоксидатной системы.

Таким образом, выявлено, что у одновидовых амфипод (*G. lacustris*) из различных природных водоемов происходит снижение максимальной интенсивности и объема генерации свободных радикалов с увеличением содержания сульфатов, хлоридов и повышением pH в среде их обитания.

Основные публикации по разделу:

- Makarskaya G. Functional activity of blood cells of fishes in conditions of change of a level of water-filling of the Krasnoyarsk water basin // International Multidisciplinary Scientific Conference SGEM, 2019, V.19, No 3.1. – pp. 217-224. [Scopus]
- Fedotova A.S., Turitsina E.G., Makarskaya G.V., Tarskikh S.V. Kinetics of formation of reactive oxygen species by blood cells when exposed to ultra-low doses of ionizing radiation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 315(6). 042017. [Scopus]
- Турицына Е.Г., Макарская Г.В., Витковский М.И., Тарских С.В. Клинические аспекты хемилюминесценции клеток крови телят при бронхопневмонии // Вестник КрасГАУ. 2019. № 5. С. 106–112.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В течение 2019 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 изданиях.

Создан комплекс программно-технических средств для проведения оценки загрязнения атмосферы промышленного города. Решены задачи модернизации ранее созданного программного обеспечения для сбора, агрегации и визуализации данных оперативного экологического мониторинга на основе технологий геопортала ИВМ СО РАН. Разработанные типы данных и сервисы геопортала обеспечили возможности эффективной высокопроизводительной обработки данных, создания нового поколения веб-приложений. Они стали основой для созданной в 2019 году системы научно-исследовательского мониторинга загрязнения атмосферы г. Красноярска.

Создан публичный веб-интерфейс информационно-аналитической системы мониторинга воздуха в г. Красноярске, информация в которую поступает с распределенных по городу станций мониторинга. Выполнен анализ данных многолетних наблюдений по состоянию атмосферы в г. Красноярске в показателях устойчивого развития. Исследованы возможности использования данных дистанционного зондирования Земли для рассматриваемых задач оценки состояния окружающей природной среды. В результате анализа данных установлены характерные метеорологические условия, определяющие возникновение смога над городом.

Созданная сеть мониторинга позволила провести исследование пространственно-временной динамики загрязнения атмосферы города взвешенными частицами в зимний период, в режиме неблагоприятных метеоусловий в начале февраля 2019 г. В это время наблюдались низкие температуры (около -30°C), которые способствовали интенсивному отоплению домов (преимущественно бурым углем), что, скорее всего, и стало основной причиной высоких концентраций $\text{PM}_{2.5}$. Детальный динамики загрязнения показал, что при характерном в рассматриваемый период северном/северо-восточном ветре со скоростью порядка 2-3 м/с дым печного отопления малоэтажной застройки поселков пригородной зоны в северной части города за время от нескольких часов до полудня почти полностью покрывает город. Очень важным фактором, влияющим на распространение загрязнения, является рельеф местности – для загрязнения расположенных на относительно высоких участках местности микрорайонов города (например – Академгородок) необходимо порядка суток.

Создана физико-математическая модель летнего гидротермического режима р. Енисей в нижнем бьефе Красноярской ГЭС на основе детерминированного подхода. В этой модели учитываются следующие физические процессы: поглощение водой прямой и рассеянной солнечной радиации, поглощение поверхностью воды тепловой инфракрасной радиации (ТИР), исходящей из атмосферы, излучение поверхностью воды ТИР, испарительный и конвективный теплообмен. Выполнены оценки значений температуры воды по данным дистанционного зондирования инфракрасного диапазона спутника Landsat-8. Полученные в результате моделирования и обработки данных ДЗЗ значения температуры воды близки к расчетным и экспериментальным данным, регистрируемым на гидропостах.

Разработана методика выявления антропогенных изменений в ландшафте городской среды по спутниковым данным инфракрасного спектрального диапазона. В основе предложенного подхода – построение разновременных детальных карт температуры поверхности земли LST по комбинации данных Landsat TIRS и Planet Scope NDVI с последующим их совместным анализом. Практические эксперименты со спутниковыми снимками за сентябрь 2016 и 2018 гг. показали, что благодаря высокому пространственному разрешению Planet Scope (3 м) можно уверенно идентифицировать построенные за указанный период здания/сооружения и иные объекты городской инфраструктуры.

Исследованы индивидуальные и коллективные риски – их принято считать базовыми рисками при ЧС природного и техногенного характера для промышленного региона, на основе анализа статистических данных МЧС России. Расчеты индивидуального риска ЧС техногенного характера показали, что для Красноярского края он не превышает предельно допустимых значений. Также выполнены расчеты канцерогенного риска здоровью населения урбанизированных территорий от ингаляционного воздействия. Обнаружено, что статистические данные по уровню заболеваемости злокачественными новообразованиями не согласуются с расчетными уровнями канцерогенных рисков. Наиболее вероятные причины обнаруженных расхождений связаны с несовершенством официальной методике расчета канцерогенных рисков, которая не учитывает, например, возрастная структура населения.

Создано информационно-аналитическое обеспечение для поддержки решения учетно-эксплуатационных и иных задач, возникающих в текущей деятельности ФИЦ КНЦ СО РАН – набор геопозиционированных растровых данных, в составе которого планшеты инженерных коммуникаций и ортофотоплан территории Академгородка, сформированный с помощью фотосъемки с квадрокоптера, а также геопространственная база данных,

содержащая информацию по земельным участкам и объектам капитального строительства ФИЦ КНЦ СО РАН. Все подготовленные ресурсы размещены в разделе ограниченного доступа на геопортале ИВМ СО РАН.

На основе материалов экспедиционных исследований сформирована геопространственная база данных с результатами гидробиологического мониторинга, которая размещена на геопортале ИВМ СО РАН в отдельном тематическом разделе (<http://gis.krasn.ru/go/n5p8>). Выполнено наполнение базы геоданных актуальными сведениями о пространственной динамике байкальских эндемичных амфипод в р. Енисей, распространившихся далеко за пределы оз. Байкал не только вниз, но и вверх по течению. В качестве биомаркеров стрессовых воздействий на гидробионтов рассмотрены компоненты антиоксидантной системы у амфипод, обитающих в природных минерализованных озерах Хакасии. Выявлено снижение максимальной интенсивности и объема генерации свободных радикалов с увеличением содержания сульфатов, хлоридов и повышением pH в среде их обитания.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

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

1. Андрианова А.В., Карепова Е.Д., Лепьявко М.П. Особенности пространственного распределения донной фауны в р. Кан (приток Среднего Енисея, Красноярский край) // «Вестник Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология». – 2019. – Т. 19, № 4. – С. 440-452. DOI: 10.18500/1816-9775-2019-19-4-440-452
2. Andrianova A.V. Distribution of endemic crustaceans from the Lake Baikal to the Yenisei River // 18th International Multidisciplinary Scientific Conference SGEM. – 2019. – Vol. 18 (3.1). – P. 203-210. DOI: 10.5593/sgem2018/3.1/S12.027
3. Andrianova A.V., Derbineva E.V., Gadinov A.N., Krivolutskiy D.A., Melnikov I.I. Feed base and potential fish productivity of the Yenisey basin (upstream and midstream) // Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta, Biologiya. – 2019. – Iss. 45. – P. 142-163. DOI: 10.17223/19988591/45/8
4. Andrianova A.V., Yakubailik O.E. Geoinformational Web-System for the Analysis of the Expansion of the Baikal Crustaceans of the Yenisei River. // Bychkov I., Voronin V. (eds) Information Technologies in the Research of Biodiversity – Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. – 2019. – P. 125-130. DOI: 10.1007/978-3-030-11720-7_17
5. Gosteva AA, Matuzko AK, Yakubailik OE. Identification of changes in urban environment on the basis of the satellite data of the infrared range (on the example of Krasnoyarsk) // InterCarto/InterGIS. – 2019. – Vol. 25. – P. 90-100. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-2-25-90-100
6. Kadochnikov A, O Yakubailik O. Information and analytical provision of the satellite monitoring system // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 516 (1). – ID. 012030. DOI: 10.1088/1757-899X/516/1/012030
7. Makarskaya G. Functional activity of blood cells of fishes in conditions of change of a level of water-filling of the Krasnoyarsk water basin // International Multidisciplinary Scientific Conference SGEM. – 2019. – Vol. 19, N 3.1. – P. 217-224. DOI: 10.5593/sgem2019/3.1/S12.028
8. Matuzko AK, Yakubailik OE. Assessment of thermal conditions in Krasnoyarsk urban area with use of different satellite data and geographic information system // Thermal Science. – 2019. – Vol. 23, Sup. 2. – P. S615-S621. DOI: 10.2298/TSCI19S2615M

9. Shaparev, N.Y. Modelling summer water temperature on the Yenisei River // Thermal Science. – 2019. – Vol. 23, Sup. 2. – P. S607-S614. DOI: 10.2298/TSCI19S2607S
10. Taseiko O.V. Anthropogenic risks of industrial areas // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 537 (6). – ID. 062048. DOI: 10.1088/1757-899X/537/6/062048
11. Tokarev A, Shaparev N. Using the Monitoring Network and Geoportal Technologies to Analyze the State of the Atmosphere in Krasnoyarsk (Russia) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 516 (1). – ID. 012045. DOI: 10.1088/1757-899X/516/1/012045
12. Yakubailik O, Kadochnikov A, Tokarev A. Software for data visualization in the system of real-time satellite monitoring // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 75. – ID. 03004. DOI: 10.1051/e3sconf/20197503004
13. Zavoruev VV, Zavorueva EN, Kadochnikov AA, Tokarev AV, Yakubailik OE. Assessment of the possibility of using CityAir air monitoring station in environmental engineering // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 537 (6). – ID. 062053. DOI: 10.1088/1757-899X/537/6/062053
14. Zavorueva E.N., Zavoruev V.V., Lipovka Yu.L. Diurnal profile of the PM10 concentration in the atmospheric surface layer of the Beryozovka village (Krasnoyarsk Krai) // Proceedings of SPIE. – 2018. – Vol. 10833. – ID. 108336K. DOI: 10.1117/12.2505157