

INFORMATION-ANALYTICAL SYSTEM OF EVALUATION OF THE ZONE OF INFLUENCE OF EMISSIONS OF THE COAL-MINING REGION USING REMOTE SENSING DATA

Olga L. Giniyatullina, Anatoly A. Bykov

Institute of Computational Technologies SB RAS, Kemerovo Branch, Kemerovo, Russia

Abstract

We present an approach to the development of information-analytical system to estimate emissions using a chain «data of remote sensing – mathematical model – results of measurements». In the system emission analysis is based on processing the data from the Sentinel 2a satellite. The algorithm of the image processing method of the Future Extract Segment Only is also presented. We show the results of combining the processed remote sensing data and estimated values, given their justification.

Keywords: Sentinel 2a, emissions, information-analytical system, Future, Extract, segmentation

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ ВЫБРОСОВ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Гиниятуллина О.Л., Быков А.А.

Кемеровский филиал Института вычислительных технологий СО РАН, Кемерово

Предложена разработка информационно-аналитической системы оценки выбросов, использующая цепочку «ДДЗ - математическая модель - результаты замеров». Анализ территорий в системе выполняется на базе обработки данных со спутника Sentinel 2a. Приводится алгоритм обработки изображением методом Future Extract Segment Only. Показаны результаты совмещения обработанных данных дистанционного зондирования и расчетных показателей, дано их обоснование.

Ключевые слова: Sentinel 2a, выбросы, информационно-аналитическая система, Future Extract, сегментация

Введение. Контроль состояния атмосферы и управление источниками выбросов является острой проблемой горнопромышленных регионов. Статья 16 Закона Российской Федерации об охране атмосферного воздуха [1] устанавливает, что «при проектировании, размещении, строительстве, реконструкции и эксплуатации объектов хозяйственной и иной деятельности должно обеспечиваться неперевышение нормативов качества атмосферного воздуха в соответствии с экологическими, санитарно-гигиеническими нормами», а также «учитываться фоновый уровень загрязнения атмосферного воздуха и прогноз изменения его качества при осуществлении указанной деятельности». Законом также устанавливаются санитарно-защитные зоны (СЗЗ) предприятий, размеры которых определяются на основе расчетов рассеивания выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферном воздухе и в соответствии с санитарной классификацией организаций [2].

В Кузбассе угледобывающие предприятия оказывают негативное техногенное воздействие на состояние окружающей среды. Система государственного мониторинга окружающей среды осуществляет оценку степени воздействия на природные комплексы [3]. Для угледобывающих предприятий выбросы за пределами СЗЗ должны обеспечивать соблюдение допустимых значений рисков для здоровья населения, прописанных в [4]. Следует отметить, что в настоящее время практика расчета острых, хронических и канцерогенных рисков для здоровья населения выполняется только в разделе ингаляционного воздействия (поступление ЗВ при дыхании). Однако, по [5] риски должны вычисляться с учетом поступления перорального (при потреблении воды и пищи) и через кожные покровы. Для этого требуется информационно-аналитическая система, которая обеспечивала бы сбор подобных данных, а также содержала бы расчетные модели для оценки выпадения атмосферных выбросов на различные типы подстилающей поверхности (вода, почва, снег), включая средства мониторинга и проверки этих данных. Рассмотрим, какие методы и подходы для оценки выбросов в настоящее время существуют.

Математические модели расчета выбросов. В настоящее время существует ряд математических моделей расчета выбросов, подробно описанных в [3]. Модели, как правило, позволяют получить поля оседания ЗВ от источника выбросов в виде изолиний. На практике, конечно, существует некоторое отклонение от расчетных данных.

Как показали исследования, наиболее удобным и достоверным показателем загрязнения атмосферы является анализ состояния снежного покрова. Снег является уникальным индикатором выбросов в атмосферу, поскольку летом вещества поглощаются почвой, водной поверхностью и растительностью, в то время как в зимний период происходит выпадение и накопление оседающих ЗВ с момента установления покрова до его весеннего таяния [3].

В соответствии с нормативными документами [6, 7], содержание в почвах населенных мест и сельскохозяйственных потенциально опасных для человека химических веществ не должно

превышать предельно допустимые концентрации (ПДК), установленные санитарными правилами и гигиеническими нормативами. В рекомендациях [8], предназначенных для выявления зон чрезвычайной ситуации и зон экологического бедствия, приводится ранжирование по степени опасности уровня суммарного пылевого загрязнения снегового покрова.

Методы оценки выбросов горнопромышленного региона. Классическим методом определения степени загрязненности снега является отбор проб снежного покрова с последующим химическим анализом его в лаборатории. В нормативных документах [6, 7] строго определены показатели ПДК загрязняющих веществ для различных территорий. Следует отметить, что, несмотря на точность определения количества ЗВ, данный метод имеет существенные ограничения по площади обследования. Практически невозможно установить границы распространения загрязнений и осуществить контроль их изменения.

Альтернативным методом оценки выбросов горнопромышленного региона является использование данных дистанционного зондирования земли в зимний период времени. В [9] авторы описывали методы обработки космических снимков среднего разрешения с целью выделения границ загрязнений. Как указывалось ранее, космоснимки позволяют получить площадные измерения на больших территориях, выделить зоны аномальных значений спектральной отражательной способности снега, которые указывают на наличие пылевых загрязнений.

В настоящее время, в связи с получением данных дистанционного зондирования высокого разрешения со спутника Sentinel 2A, предложенный ранее подход адаптирован и развит в соответствии со спецификой обработки данного типа снимков.

Данные со спутника Sentinel 2A относятся к классу гиперспектральных снимков, в то время как в [9] для обработки использовались мультиспектральные снимки Landsat 7. Следует заметить, что мультиспектральные сенсоры формируют несколько изображений на «отдельной узкой полосе частот» от видимого до инфракрасного спектра, а гиперспектральный - одновременно изображения на всех участках спектрального диапазона и получает спектры всех пикселей сцены [10]. В отличие от мультиспектральных изображений гиперспектральные снимки более детально отображают земную поверхность. Изучение и классификация сложных экосистем на базе гиперспектральных снимков позволит повысить точность применения ДДЗ в таких областях как разведка и контроль месторождений, лесное и сельское хозяйство, охрана окружающей среды.

Предложенный ранее метод оценки снежного покрова базировался на применении индекса снега, который позволяет получить зоны аномальных значений интенсивности спектральной отражательной способности объектов путем алгоритмических преобразований красной и ближней инфракрасной полосы. В результате обработки выделяется пятно загрязнения, однако произвести градацию внутри по значениям индекса практически невозможно. С учетом того, что новые данные являются гиперспектральными и обладают большей информативностью, предлагается использовать для обработки алгоритмы, основанные на выделении внутренних свойств структур объектов (Future extraction method). Суть подхода заключается в комплексном выделении структурных, текстурных и пространственных характеристик объектов на снимке по некоторому правилу либо их комбинации. В настоящее время активно развиваются данные алгоритмы обработки изображений, использующие Фурье-преобразования, изменения гистограмм, различные фильтры (медианные, анизотропные и др.), морфологические операции и др. [11, 12]. Выбор того или иного алгоритма обработки изображения напрямую зависит от решаемой задачи. При оценке пылевого загрязнения снежного покрова на гиперспектральных снимках требуется выделить зону аномалии в целом (т.е. условные границы объекта, где значения спектральной яркости пикселей имеют резкое отличие) и выполнить градацию внутри нее. С учетом представленного выше обоснования применения математических моделей для оценки пылевых выбросов и практики лабораторных анализов проб снега, исследовалась возможность получения границ пылевого загрязнения в общепринятой градации [5, 8] по изображениям со спутника Sentinel 2a. При описании математической модели распространения примеси предполагается, что снежный покров – это однородное покрытие, на котором происходит оседание частиц по некоторому закону. Используем подобный подход

для выбора алгоритма обработки изображения. Будем считать, что снежное покрытие имеет однородный состав и единую известную спектральную отражательную способность. Оседание ЗВ происходит от источника загрязнения с уменьшением концентрации на определенном пороге. Следовательно, можно определить значения спектральной яркости пикселей снега и при наличии отклонений в ИК-спектре разделить их на некоторые условные классы. Поскольку в официальной документации принята шкала определения степени загрязнений от 1 до 5 г/м², то используем 5 классов деления. Фактически, задача сводится к разбивке изображения на сегменты, используя в качестве правила отклонение в спектральных значениях пиксела в определенных каналах, т.е. внутренние свойства объектов. Таким образом, предлагается использовать алгоритм Future extraction для выделения сегментов (Extract Segments Only). Обратим внимание, что данный алгоритм работает не на одной полосе изображения, а на их совокупности. Наилучший результат сегментирования снежного покрытия дает алгоритм с использованием опции (Edge), которая устанавливает границы при изменении интенсивности в любом канале, и полного списка значений λ при слиянии малых сегментов в более крупные. В результате работы алгоритма получается сегментированное изображение снежного покрова, на котором легко идентифицируются границы изменения интенсивности отражения снежного покрова, что характеризует степень его загрязнения.

В Кемеровском филиале ИВТ разрабатывается информационно-аналитическая система оценки выбросов Кузбасса, которая сочетает в себе математическую модель расчета выбросов, результаты обработки данных дистанционного зондирования и лабораторные замеры проб снега.

Оценка выбросов в информационно-аналитической системе. Предлагаемая информационно-аналитическая система реализуется в рамках концепции распределенных систем, разрабатываемых в КФ ИВТ СО РАН и содержит три основных блока: расчетный модуль, блок данных ДДЗ и БД проб.

Продемонстрируем основные функции системы на примере объекта - территории Прокопьевско-киселевского и частично Новокузнецкого районов Кемеровской области, которая характеризуется высоким содержанием угледобывающих предприятий.

Принцип работы системы основан на применении цепочки «космоснимки – модель – пробы». Обработка космоснимков по рассмотренному выше алгоритму позволяет получить сегментированное изображение снежного покрова с четкими границами изменения интенсивности отражения. Модель позволяет рассчитать показатели выбросов с учетом удаления их от источников. Совмещение результатов обработки снимков с математическими расчетами позволяет провести идентификацию степени загрязнения в общепринятой градации и определить точки отбора проб, которые завершают обследование территории.

За период октябрь 2016 г. – март 2017 г. удалось получить три снимка со спутника Sentinel 2A, в результате обработки которых алгоритмом Future Extract Segments Only получено сегментированное изображение на всю территорию с четким выделением пятна загрязнения в целом и разбиением его на отдельные сегменты. Результаты обработки снимков совмещены с полученными расчетными изолиниями (рис. 1).

Как видно на рис. 1. в контур рассчитанной изолинии выбросов 5 г/м² происходит 100 % попадание объектов с резким падением значений отражения в области ИК спектра (рис. 2, линия 5). Полученные сегменты соответствуют источникам загрязнения. Далее происходит распределение выделенных сегментов по еще четырем классам с увеличением значений в ИК спектре (рис. 2, линии 1-4), что соответствует распределению ЗВ от источников. Таким образом, удалось провести идентификацию степени загрязнения снега в официально принятой классификации. Как видно на рисунке, оседание пыли происходит в северо-восточном направлении от источников загрязнения, что соответствует направлению розы ветров в данном регионе. По полученным в результате обработки космоснимков данным были выбраны точки отбора проб.

Пробы проанализированы на содержание различных элементов и суммарное содержания пылевых частиц (твердый остаток). В таблице 1 приведены концентрации твердых частиц в

снеговой воде (мг/дм^3) и пересчитанные на основе мощности (глубины) снежного покрова и его плотности значения выпадений в снег пылевых частиц (г/м^2 за зиму).

Лабораторные данные полностью подтвердили результаты пространственного и математического моделирования.

Полученные результаты обследования района позволили определить источники загрязнения, выделить зоны оседания ЗВ с их точными границами и провести их ранжирование по официальной классификации. Применение космоснимков и расчетной модели позволило определить более точно места отбора проб, что существенно снизило затраты на проведение экологического мониторинга выбросов угольных предприятий.

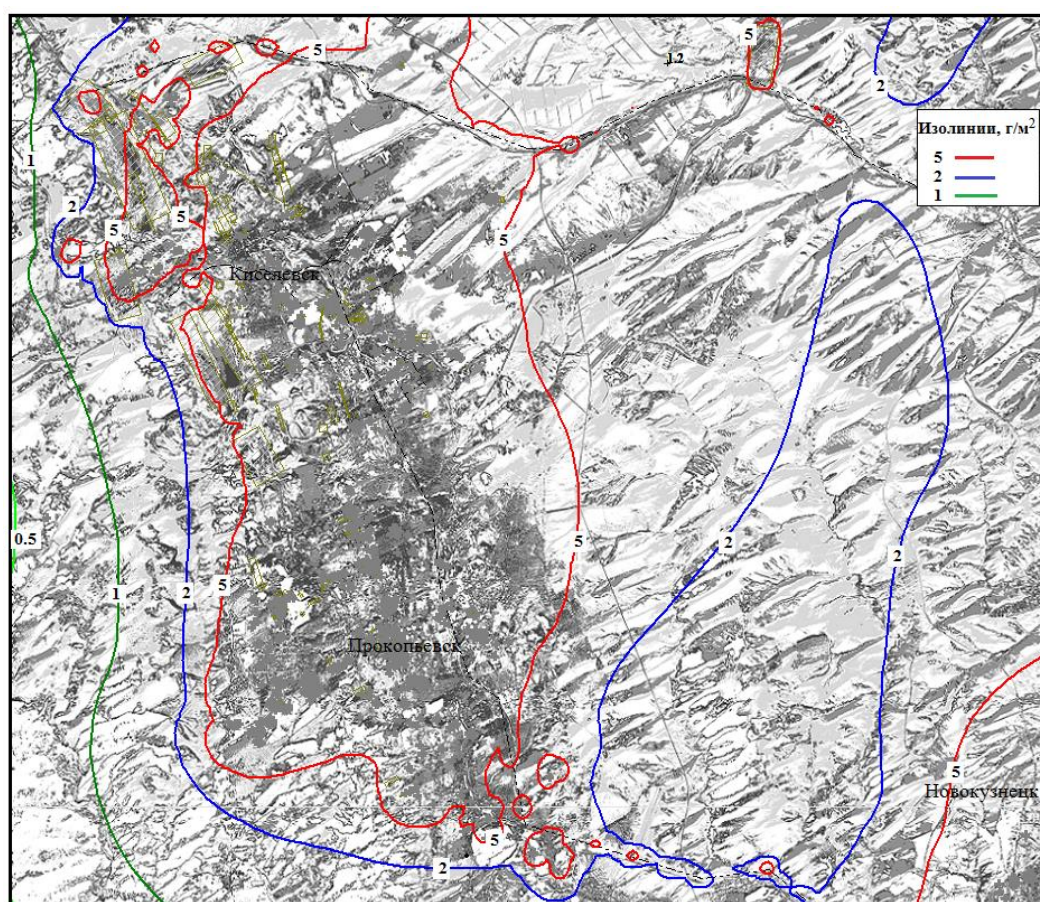


Рис. 1. Совмещение результатов обработки космоснимков и расчета математической модели.

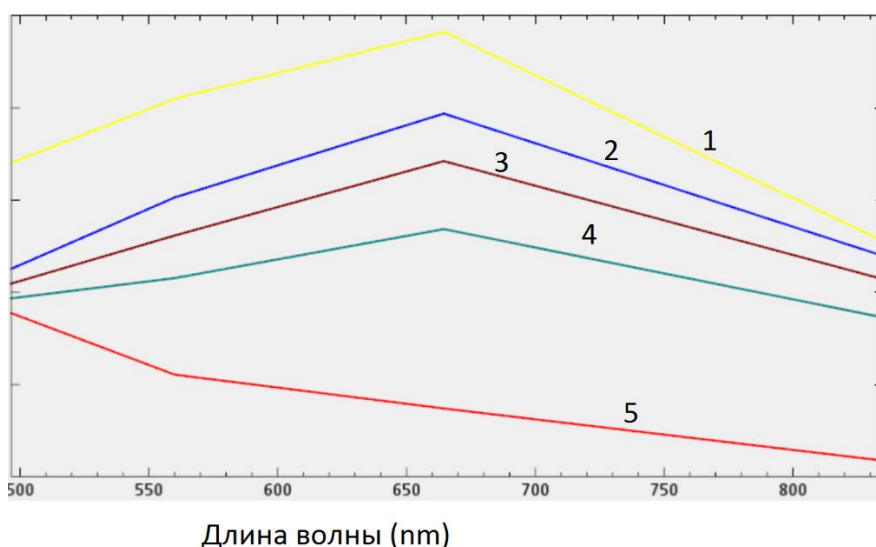


Рис. 2. Спектральная отражательная способность снега в выделенных сегментах изображения.

Точки отбора снеговых проб, взятых весной 2017 года.

Код	Координаты, угл. град.	Мощность снежного покрова, см	Плотность снежного по- крова, г/см ³	Запас Н ₂ O, V, л/м ²	Твердый остаток, мг/дм ³	Выпадение за зиму, г/м ²
T1	N 53,65024 E 86,91170	213	0,3704	789	164,5	129,79
T3	N 53,64700 E 086,89955	60	0,2217	133	207,2	27,56
T2	N 53,63851 E 86,85390	90	0,2744	247	66,9	16,52
T4	N 53,61587 E 86,91357	59	0,2051	121	63,6	7,69
T5	N 53,61444 E 86,92321	62	0,2452	152	53,0	8,06
T6	N 53,59819 E 86,91881	82	0,2427	199	115,1	22,91

Разработанная информационно-аналитическая система оценки выбросов позволяет комплексно оценивать состояние региона в целом, причем площадь исследования ограничивается только границами захвата космоснимка. Применение математической модели и данных лабораторных исследований являются дополнительными механизмами проверки адекватности полученных результатов. Предложенная система является уникальным инструментом управления горнопромышленным регионом и может входить как блок в систему геоэкологического мониторинга.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-45-420277-р_а).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» (в редакции от 30.12.2008 № 313-ФЗ)
- [2] Ковалев В.А., Потапов В.П., Счастливцев Е.Л., Шокин Ю.И. Моделирование геоэкологических систем угледобывающих районов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2015. 298 с.
- [3] Ковалев В. А., Потапов В. П., Счастливцев Е. Л. Мониторинг состояния природной среды угледобывающих районов Кузбасса. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013.
- [4] СанПин 2.2.1/2.1.1.1200-03 с изменениями № 1 СанПин 2/2/1/2/2/1-2362-08 от 10/04.2008, № 25 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. М., 2008
- [5] Р 2.1.10.1920-04 Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М., 2004. 163 с.
- [6] Методические указания МУ 2.1.7.730-99 «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест». М., 1999
- [7] СанПин 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. М., 2003
- [8] Критерии оценки экологической обстановки территории для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Методика. М., 1992
- [9] Опарин В.Н., Потапов В.П., Гиниятуллина О.Л., Андреева Н.В., Счастливцев Е.Л., Быков А.А. Оценка пылевого загрязнения атмосферы угледобывающих районов Кузбасса в зимний период по данным дистанционного зондирования Земли // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2014. № 3. С. 126-137
- [10] Da-Wen Sun. Hyperspectral imaging for food quality. Analysis and control. UK, 2010. 493 p.
- [11] Nixon M., Aguado A. Feature Extraction & Image Processing for Computer Vision.- 3th ed. UK, 2012. 623 p.
- [12] Guyon I., Nikravesh M., Zadeh L.A. Feature Extraction. Foundation and Applications.- Berlin, NY, 2006. 762 p.