

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОЛЕЙ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ

Владимир Федотович Рапута

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, тел. (383)330-61-51, e-mail: raputa@sscc.ru

Мария Николаевна Алексеева

Институт химии нефти СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 4, кандидат географических наук, младший научный сотрудник, тел. (3822)49-10-42, e-mail: amn@ipc.tsc.ru

Татьяна Владимировна Ярославцева

ФБУН Новосибирский НИИ гигиены Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Пархоменко, 7, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)330-61-51, e-mail: tani-ta@list.ru

С использованием спутниковых снимков зимнего периода времени установлены действующие нефтегазовые факела в западной части территории Томской области. Выполнена оценка зон их теплового воздействия на окружающую местность. Разработана модель оценивания полей концентраций примесей в пограничном слое атмосферы от совокупности источников. С её использованием и данными измерений теплового излучения факелов проведены модельные оценки полей относительного загрязнения регионального масштаба в летний и зимний периоды времени.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, нефтегазовый факел, спутниковые снимки, нефтяные месторождения, попутный нефтяной газ, параметр, модель оценивания.

THE CALCULATION OF RELATIVE POLLUTIONS CONCENTRATIONS IN THE ATMOSPHERE ON BASE THE MEASUREMENTS OF THERMAL RADIATION SOURCES

Vladimir F. Raputa

Institute of the Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 6, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., Principal Researcher, phone: (383)330-61-51, e-mail: raputa@sscc.ru

Maria N. Alekseeva

Institute of Petroleum Chemistry SB RAS, 4, Prospect Akademichesky St., Tomsk, 634055, Russia, Ph. D., Scientific Researcher, phone: (3822)49-10-42, e-mail: amn@ipc.tsc.ru

Tatyana V. Yaroslavtseva

FBSI «Novosibirsk scientific research institute of hygiene» of Rospotrebnadzor, 7, Parhomenko St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Senior Researcher, phone: (383)330-61-51, e-mail: tani-ta@list.ru

With the use of satellite images of the winter period, operating oil and gas plumes were installed in the western part of the Tomsk Region. An assessment of their thermal impact on the surrounding area has been carried out. A model has been developed for estimating the fields of impurity concentrations in the atmospheric boundary layer from a set of sources. With its use and thermal torch measurement data, model estimates of the regional-scale fields of relative pollution in the summer and winter periods of time have been carried out.

Key words: air pollution, oil and gas flare, satellite imagery, oil fields, associated petroleum gas, parameter, estimation model.

Введение

С развитием нефтегазодобывающего комплекса возникает значительное техногенное влияние атмосферного загрязнения на окружающие территории [1-5]. В процессе сжигания попутного нефтяного газа (ПНГ) образуется большое количество вредных атмосферных примесей, включая сажу, бенз(а)пирен, оксид углерода, оксиды азота, диоксид серы и др. В этой связи возникает проблема контроля качества воздуха и определение ореолов рассеивания загрязняющих веществ [6-9]. Решение данной проблемы нужно проводить с позиций системного анализа на единых методических, метрологических и информационных принципах, позволяющих выполнить комплексное исследование, дать оценку и прогноз происходящих процессов газового и аэрозольного загрязнения территорий. Значительную перспективу представляет использование спутниковой информации в условиях недостаточности сведений об источниках и объемах сжигания ПНГ [4, 10-14], в целях численного моделирования и мониторинга процессов загрязнения атмосферы от действующих факельных установок (ФУ).

Целью данной работы является численное восстановление полей загрязнения регионального масштаба на основе существующих методов детектирования теплового излучения ФУ в районах нефтегазодобычи по спутниковым снимкам территорий Томской области.

Объекты и методы исследований

Определение действующих ФУ и их теплового излучения при сжигании ПНГ на территории Томской области проводилось с использованием зимних снимков со спутника Landsat 8. Исследованиями были охвачены территории 12 нефтяных месторождений запада Томской области [15]. Для идентификации месторождений также использовались картографические материалы геоинформационной системы Института химии нефти СО РАН [16, 17]. Выявление и картирование ФУ по сжиганию ПНГ включают следующие основные этапы [18]:

- 1) Проводится перевод исходной информации, получаемой в значениях пикселей изображения 11 спектрального канала, из показателей абсолютного излучения в показатели спектрального излучения и с последующим переводом значений спектрального излучения в значения яркостной температуры.

2) Построение в системе ArcMap цифровых уровней, представляющих диапазоны с наиболее высокотемпературными пикселями, с центром расположения ФУ из растров яркостной температуры, полученных на предыдущем этапе. Далее проводится расчёт площадей зон соответствующего теплового воздействия ФУ на ландшафты.

При построении моделей оценивания полей концентраций примесей учитывается, что на расстояниях 7–10 км от источника выбросов, возможность существенного упрощения процессов переноса и диффузии примесей в пограничном слое атмосферы. Для таких удалений от источника получается вполне равномерное распределение примеси по вертикали [6, 8]. К числу наиболее значимых параметров относится высота слоя перемешивания, средняя скорость ветра в нём, а также величина поперечного расширения факела примеси [6, 7]. Для описания процессов длительного загрязнения возникают дальнейшие упрощения количественного представления полей концентраций.

В случае точечного источника и в условиях горизонтально однородного и стационарного пограничного слоя атмосферы концентрацию примеси можно описать следующей формулой [6, 9, 19]

$$C(r, \varphi) = \frac{\theta \cdot P(\varphi + 180^\circ)}{r}, \quad (1)$$

где

$$\theta = \frac{M}{2\pi \cdot u \cdot h}, \quad (2)$$

M – мощность эмиссии источника; h и u – средняя толщина слоя перемешивания и скорость ветра в нём, $P(\varphi)$ – роза ветров за рассматриваемый промежуток времени.

При выбросах примесей от совокупности факелов используется принцип суперпозиции полей концентраций. В этом случае суммарное поле $C(x, y, \vec{\theta})$ компоненты примеси описывается следующим соотношением

$$C(x, y, \vec{\theta}) = \sum_{k=1}^K \theta_k C_k(x, y), \quad (3)$$

где $C_k(x, y)$ – нормированное поле концентрации от k -го факела единичной мощности, рассчитываемое на основе соотношений (1), (2).

Оценку вектора неизвестных параметров $\vec{\theta}$ можно получить методом наименьших квадратов с использованием данных наблюдений концентраций в заданных точках [20].

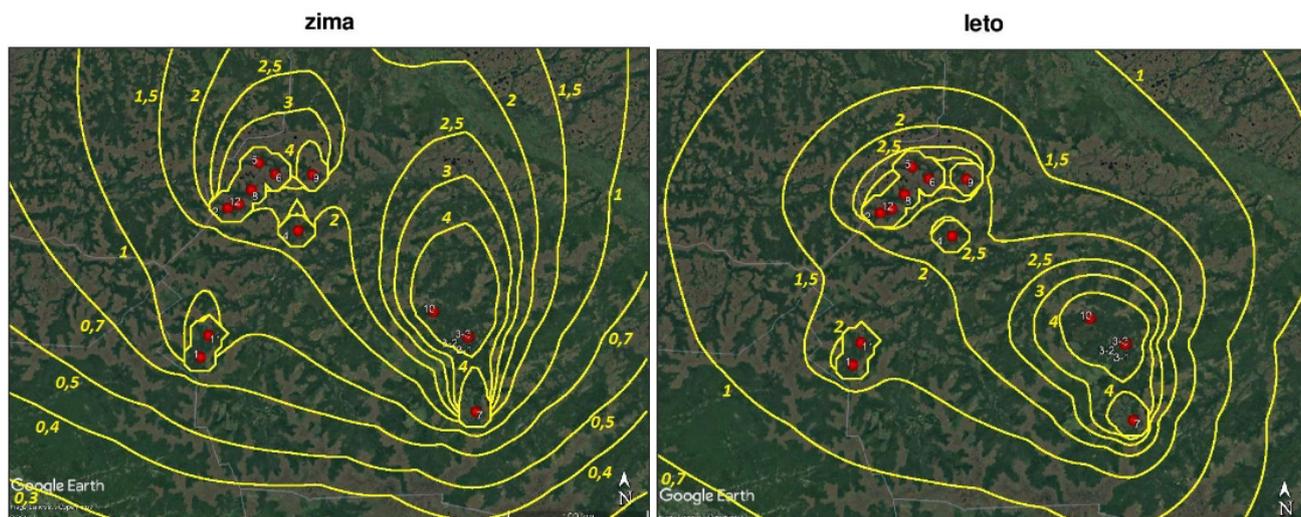
Результаты и обсуждения

Использование предложенного метода обработки растра 11 канала спутника Landsat 8 и алгоритмов картографирования в цифровом формате дало воз-

возможность определить положение ФУ на 12 месторождениях ТО. Коэффициент корреляции между значениями площади зон воздействия и количеством нефтяного газа в нефти близок к значению 0,5, что указывает на определённую взаимосвязь между этими характеристиками. А именно, имеет место монотонная зависимость между содержанием попутного газа в нефти и соответствующей площадью зоны теплового воздействия. Корреляция же между максимальной яркостной температурой пикселя на участке с ФУ и площадью зоны термического воздействия достигала величины 0,9.

Для численного определения поля концентрации примеси от совокупности факелов в относительных единицах вполне могут быть использованы соотношения (1)–(3). Полагая тепловое выделение пропорциональным мощности эмиссии ФУ и вводя обозначения $M_k = \alpha T_k$, $k = 1, \dots, K$, приходим к соотношению вида (3) для вычисления поля относительной концентрации лёгкой примеси от совокупности факелов.

С использованием этого подхода и результатов обработки данных дистанционного зондирования теплового излучения на рисунке приведены поля относительных концентраций примесей от выявленных факелов в региональном в процессах их переноса регионального масштаба. Рисунок показывает наличие нескольких значимых максимумов полей концентраций. Наиболее крупный максимум обусловлен поступлением продуктов сжигания ПНФ от ФУ Лугинецкого, Шингинского, Герасимовского месторождений нефти. Другой максимум образовался за счёт поступлений примесей от группы ФУ, включая Катыльгинское, Западно-Катыльгинское, Ломовое, Южно-Черемшанское, Столбовое месторождение.



Среднезимняя и среднелетняя нормированная концентрация примеси в пограничном слое атмосфере, рассчитанная на основе данных теплового излучения нефтегазовых факелов:

● – расположение ФУ, ———— — концентрация примеси, рассчитанная по соотношению вида (3)

Следует отметить, что конфигурации зимних и летних полей концентраций заметно отличаются. Это объясняется особенностями повторяемости направлений ветра в зимний и летний периоды времени [21]. Изолинии полей концентраций, приведённые на рисунке, соответствуют условиям применимости модели (3). Они находятся на необходимом расстоянии от ФУ, на котором обеспечивается достаточно однородное распределение примеси в пограничном слое атмосферы по вертикали. Результаты оценивания относительных концентраций могут быть использованы при интерпретации данных наземных наблюдений и оптимизации размещения сети регионального мониторинга загрязнения нефтедобывающих территорий.

Заключение

С использованием информации с 11 термоканала спутника Landsat 8 и предложенной методики детектирования установлено функционирование ФУ в границах 12 нефтяных месторождений на западе Томской области. Анализ данных наблюдений позволил выявить границы зон теплового воздействия в окрестностях ФУ и определить площади этих зон. Данные исследования на основе закономерностей атмосферной диффузии дают возможность оценить поля относительного регионального загрязнения окружающих территорий. Полученные результаты могут быть использованы при планировании размещения систем наземного мониторинга, определения объёмов факельного сжигания ПНГ и влияния образующихся примесей на экосистемы и атмосферные процессы. Эти исследования указывают на необходимость комплексного использования результатов космического зондирования теплового излучения нефтегазовых факелов и данных наземного многокомпонентного мониторинга загрязнения территорий для получения прогнозных оценок влияния выбросов примесей на окружающую среду.

Благодарности

Разработка алгоритма идентификации факельных установок на космических снимках, расчет зоны теплового воздействия выполнены в ИХН СО РАН по Проекту НИР ПФНИ ГАН на 2013-2020 годы V.46.1.2. «Диагностика состояния и восстановление природных экосистем на объектах нефтегазового комплекса Западной Сибири и прилегающих территориях» № ГР АААА-А17-117030310200-4. Справочные данные по объемам нефтедобычи и содержанию газа в нефти приведены из базы данных о свойствах нефти ИХН СО РАН.

Моделирование региональных зон загрязнения выполнено в ИВМиМГ СО РАН по проекту НИР 1.4.1.2. «Развитие методов математического моделирования для задач физики атмосферы, гидросферы и охраны окружающей среды» (№ ГР0315-2019-0004).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Книжников А. Ю., Ильин А. М. Проблемы и перспективы использования попутного нефтяного газа в России : учебное пособие. – М. : Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2017. – 32 с.
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». – М. : Минприроды России; НИА-Природа, 2017. – 760 с.
3. Евдокимов И. В., Юсупов И. А., Ларионова А. А., Быховец С. С., Глаголев М. В., Шавнин С. А. Тепловое воздействие факела попутного газа на биологическую активность почвы // Почвоведение. – 2017. – № 12. – С.1485–1493.
4. Алексеева М. Н., Яценко И. Г., Перемитина Т. О. Тепловое воздействие на нефтедобывающие территории Томской области при сжигании попутного нефтяного газа // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2018. – Т. 15. – № 5. – С. 52–60.
5. Мячина К. В. Тепловое загрязнение степных ландшафтов Урало-Заволжья в районах нефтегазодобычи: анализ на основе спутниковых данных // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2017. – Т. 28. – № 5. – С. 44–55.
6. Бызова Н. Л., Гаргер Е. К., Иванов В. Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси: монография. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 278 с.
7. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей / Под ред. Ф.Т. М. Ньистада и Х. Ван Допа: учебное пособие. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 351 с.
8. Рапута В. Ф., Олькин С. Е., Резникова И. К. Методы численного анализа данных наблюдений регионального загрязнения территорий площадным источником // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 21. – № 6. – С. 558–562.
9. Рапута В. Ф., Королёва Г. П., Горшков А. Г., Ходжер Т. В. Исследование процессов длительного загрязнения окрестностей Иркутска тяжелыми металлами // Оптика атмосферы и океана. – 2001. – Т. 14. – № 6–7. – С. 623–626.
10. Кочергин Г. А., Куприянов М. А., Полищук Ю. М. Использование космических снимков Landsat 8 для оперативной оценки суммарного объема факельного сжигания попутного газа на нефтедобывающей территории // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14. – № 5. – С. 47–55.
11. Elvidge C. D., Zhizhin M., Baugh K., Hsu F. C., Ghosh T. Methods for Global Survey of Natural Gas Flaring from Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Data // Energies. – 2016. – Vol. 9 (1). – P. 14. DOI: 10.3390/en9010014.
12. Афонин С. В., Соломатов Д. В. Методика учета оптико-метеорологического состояния атмосферы для решения задач атмосферной коррекции спутниковых ИК-измерений // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 21. – № 02. – С. 147–153.
13. Avdan U., Jovanovska G. Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data // Journal of Sensors. – Vol. 2016 [Электронный ресурс]. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/1480307> (Дата обращения: 11.01.2019).
14. Зареи С. А., Насири А. М., Щербаков В. М., Широкова В. А. Применение алгоритма расщеплённого окна прозрачности для расчёта температуры земной поверхности на основе материалов тепловой космической съёмки // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 6. – С. 77–82.
15. Экологический мониторинг: Доклад о состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2017 году: Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области. ОГБУ «Облкомприрода». – Томск : Дельтаплан. – 2018. – 158 с.
16. Яценко И. Г., Полищук Ю. М. Классификация трудноизвлекаемых нефтей и анализ их качественных свойств // Химия и технология топлив и масел. – 2016. – № 4 (596). – С. 50–56.

17. Ященко И. Г., Полищук Ю. М. Трудноизвлекаемые нефти: физико-химические свойства и закономерности размещения: монография. / Под ред. А. А. Новикова. – Томск : В-Спектр, 2014. – 154 с.
18. Using the USGS Landsat 8 Product: Landsat 8 userguide, United States Geological Survey. URL: http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php (Дата обращения 30.01.2018)
19. Генихович Е. Л., Берлянд М. Е., Грачёва И. Г. Оперативная модель расчёта концентраций, осреднённых за длительный период // Труды ГГО. – 1998. – Вып. 549. – С. 11–31.
20. Успенский А. Б., Федоров В. В. Вычислительные аспекты метода наименьших квадратов при анализе и планировании регрессионных экспериментов: учебное пособие. – М. : Изд-во МГУ, 1975. – 168 с.
21. Архив погоды в Среднем Васюгане [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gp5.ru/> (Дата обращения 25.03.2018)

© В. Ф. Рапута, М. Н. Алексеева, Т. В. Ярославцева, 2019