

УДК 573.6.086.83:504.61

Загрязнение окружающей среды при сжигании попутного нефтяного газа на территории нефтедобывающих предприятий

Л. К. АЛТУНИНА, Л. И. СВАРОВСКАЯ, И. Г. ЯЩЕНКО, М. Н. АЛЕКСЕЕВА

*Институт химии нефти Сибирского отделения РАН,
проспект Академический, 4, Томск 634021 (Россия)**E-mail: alk@ipc.tsc.ru*

(Поступила 25.03.14)

Аннотация

На территории нефтяных месторождений вокруг факелов сжигаемого попутного нефтяного газа формируются обширные шлейфы аэрозольного загрязнения. Методика построения карт тепловых аномалий и экологического риска поражения растительных сообществ при сжигании газа в факелах разработана на основе тепловых космических снимков Landsat и продуктов MODIS. Нами исследована возможность применения таких карт для экологического мониторинга антропогенного воздействия на растительность территорий нефтяных месторождений Западной Сибири.

Ключевые слова: попутный нефтяной газ, загрязнение атмосферы, космоснимки, цифровые карты

ВВЕДЕНИЕ

При сжигании попутного нефтяного газа (ПНГ) образуются вредные соединения: сажа, оксиды азота и углерода, ароматические углеводородные соединения, тяжелые металлы (ртуть, мышьяк, хром), сернистый ангидрид и меркаптаны. Они загрязняют атмосферу, открытые водоемы, почву и растительность. Вследствие сжигания ПНГ выбросы углекислого (парникового) газа в России в 2011 г. составили около 90 млн т. Совокупная площадь почв, нарушенных в результате воздействия выбросов горящих факелов, оценивается в 100 тыс. га. Особую важность при анализе воздействия загрязнений приобретает картографическое обеспечение задач экологического прогнозирования [1].

На территории России в 2012 г. объем сжигания нефтяного газа в факелах составил 17.1 млрд м³ [2]. Анализ показал, что особую опасность для экологической обстановки представляет факельное сжигание ПНГ, ко-

торое формирует обширные шлейфы аэрозольного загрязнения [3].

Наиболее рациональный способ использования ПНГ – переработка и получение из него продукции газонефтехимии. В результате сжигания газа в факелах наша страна ежегодно теряет более 12 млн т ценного сырья, а потери экономики превышают 24 млрд долл. США. Так, в Западной Сибири – основном нефтегазодобывающем регионе России – в 2012 г. извлечение ПНГ в Ханты-Мансийском АО (ХМАО) составило 35.8 млрд м³, а объем его использования – порядка 32 млрд м³, т. е. 89 % от общего объема извлечения. В Томской области ситуация по утилизации ПНГ выглядит значительно хуже: в 2013 г. в регионе было использовано всего 76 % извлеченного ПНГ. Речь идет не только об экономических потерях, но и о высоких рисках для окружающей среды [4, 5].

Цель исследования – изучение возможности применения спутниковых данных для построения карт с тепловыми аномалиями при мониторинге исследуемых территорий Западной Сибири.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Космические снимки (КС) позволяют не только обновлять топографические, геологические, гидрогеологические, почвенные, геоботанические и другие карты, но и оценивать экологическую ситуацию регионов [6, 7]. Методика составления карт по КС основана на определенном сочетании рисунка снимка и значения яркости в каждой его точке, соответствующие спектральной отражательной способности поверхности Земли.

Путем автоматизированного дешифрирования фрагмента КС в районах Западной Сибири можно хорошо детализировать контуры болот различного типа, ареалы распространения групп растительности, контуры пожарщ, гари, участки и точки тепловых аномалий поверхности. Коллекция КС, используемых для построения карт и анализа влияния

горящих факелов на экологию территорий нефтедобывающих предприятий Западной Сибири, включает: 8 КС Landsat ETM, 10 – TERRA ASTER GREM и 20 – TERRA/MODIS, MOD11A1 за период 1999–2012 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1, 2 приведены фрагменты космических снимков Самогторского (ХМАО) и Советского (Томская обл.) нефтяных месторождений с идентификацией объектов по видам растительности.

В настоящее время тепловые КС используются для изучения тепловых полей поверхности ландшафтов в условиях антропогенного воздействия. Нами исследована возможность применения тепловых КС Landsat и продуктов MODIS (MOD11A1 – температура поверхности Земли, MOD14A1 – данные по тепловым аномалиям) для экологического мо-

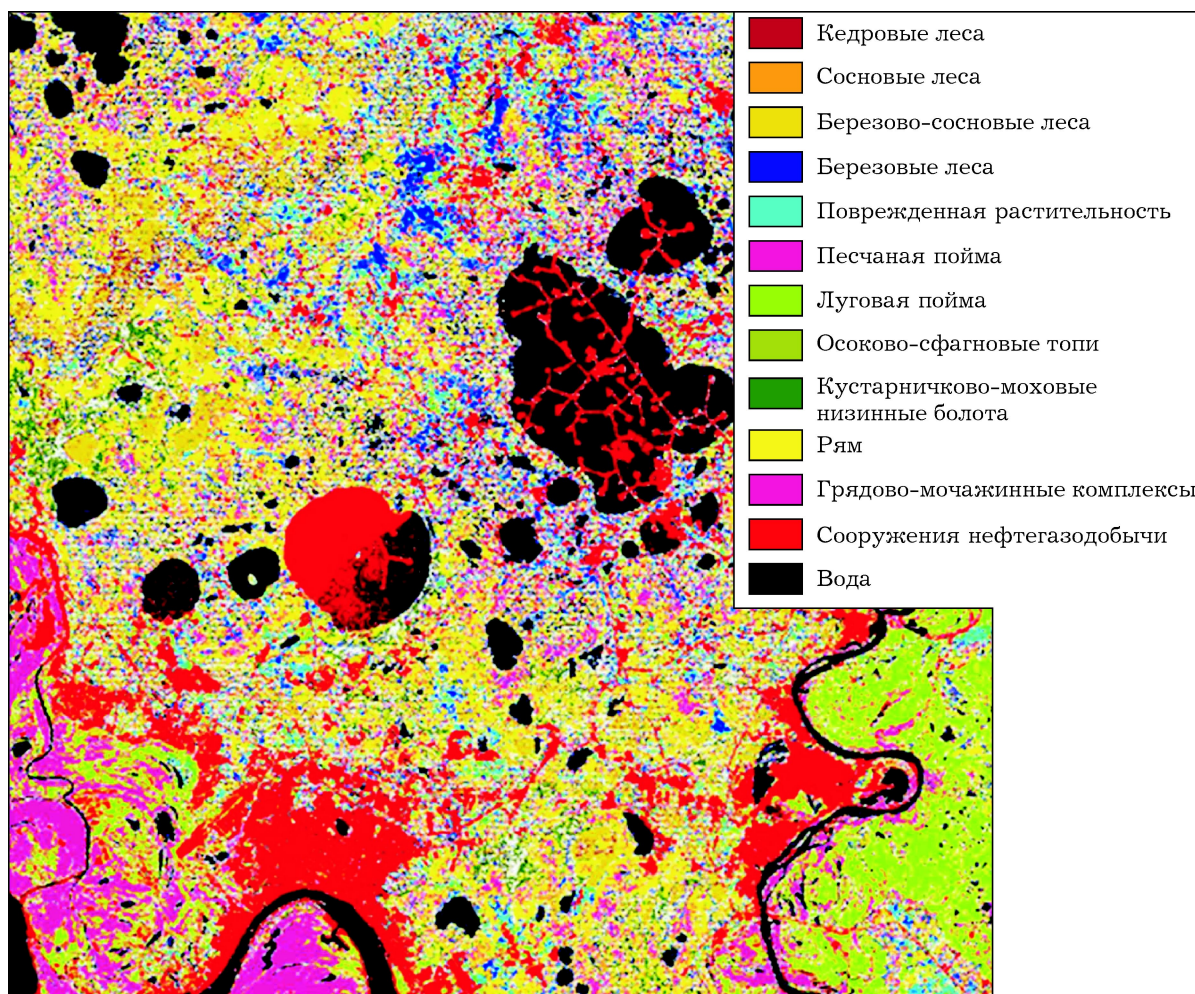


Рис. 1. Космический снимок территории Самогторского месторождения ХМАО.

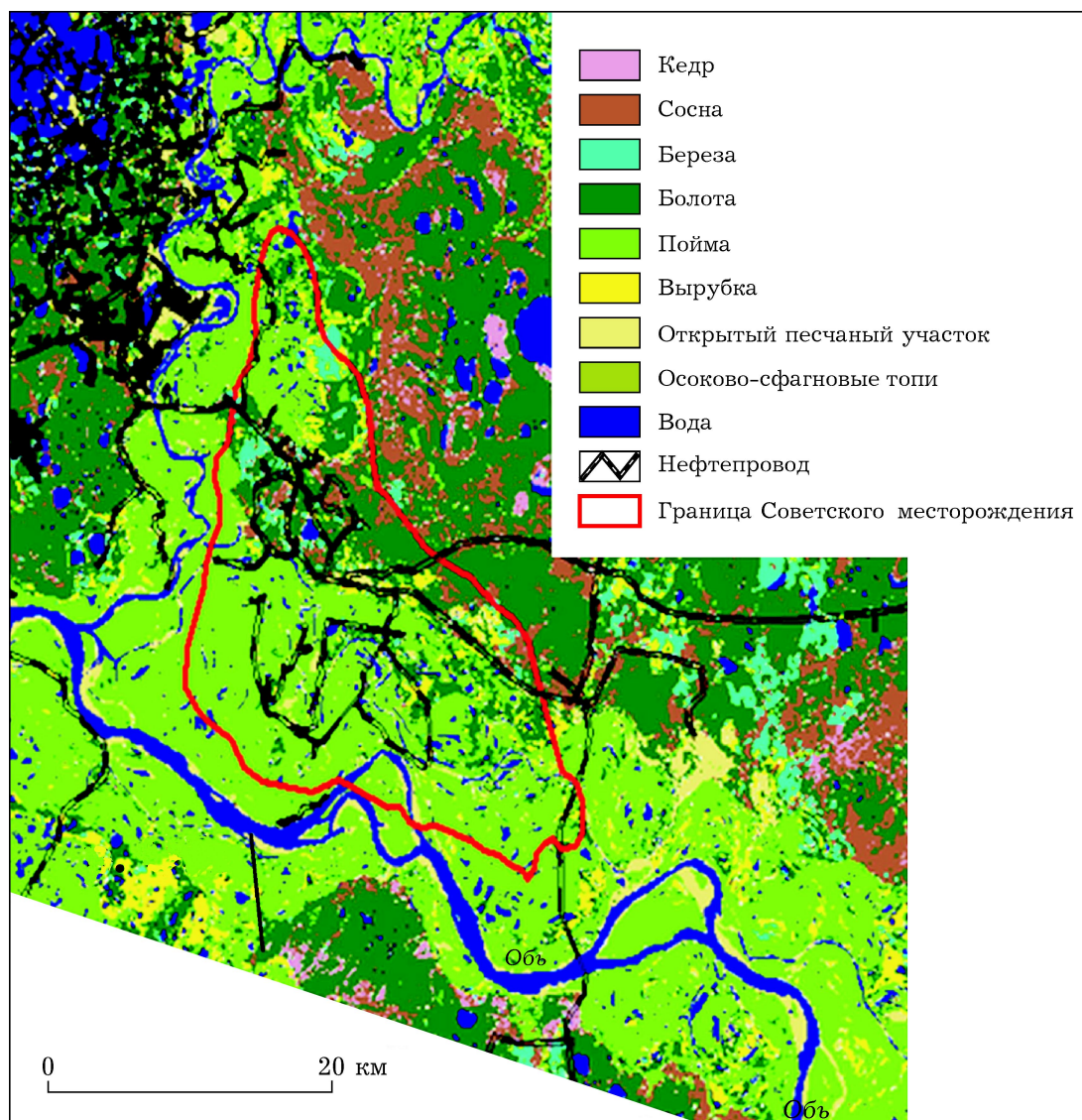


Рис. 2. Космический снимок территории Советского месторождения Томской области.

нитинга антропогенного воздействия на территории Ватинского, Самогторского и Советского нефтяных месторождений. Авторы [8] показали, что результаты обработки данных MOD14A1 почти вдвое ниже по сравнению с результатами обработки данных NOAA, особенно при раннем обнаружении малоразмерных очагов пожаров низкой интенсивности. Так, при детектировании факельных установок в Томской области, по данным MOD14A1, обнаружено всего 6 единиц, по модифицированным данным алгоритма MOD14 [9], – 21, по данным RTM-метода, – 53. В нашем случае точность продукта MOD14A1 для обнаружения высокотемпературных участков (пожаров и факе-

лов) незначительна и может быть повышена с использованием КС Landsat путем наложения карт очагов пожаров, городской застройки и факелов на продукт MOD14A1 в ArcGIS.

Для выделения высокотемпературных участков на КС Landsat в среде ERDAS Imagine проводились следующие операции: 1) пересчет исходных значений пикселей в реальные значения приходящего излучения на сенсоре; 2) пересчет значений излучения на сенсоре в значения температуры; 3) выявление участков с температурой выше порогового значения, которое выбрано на основе значений температуры воздуха приземного слоя (17 °С в сентябре 1999 г., 21 °С в июле 2007 г.) [10].

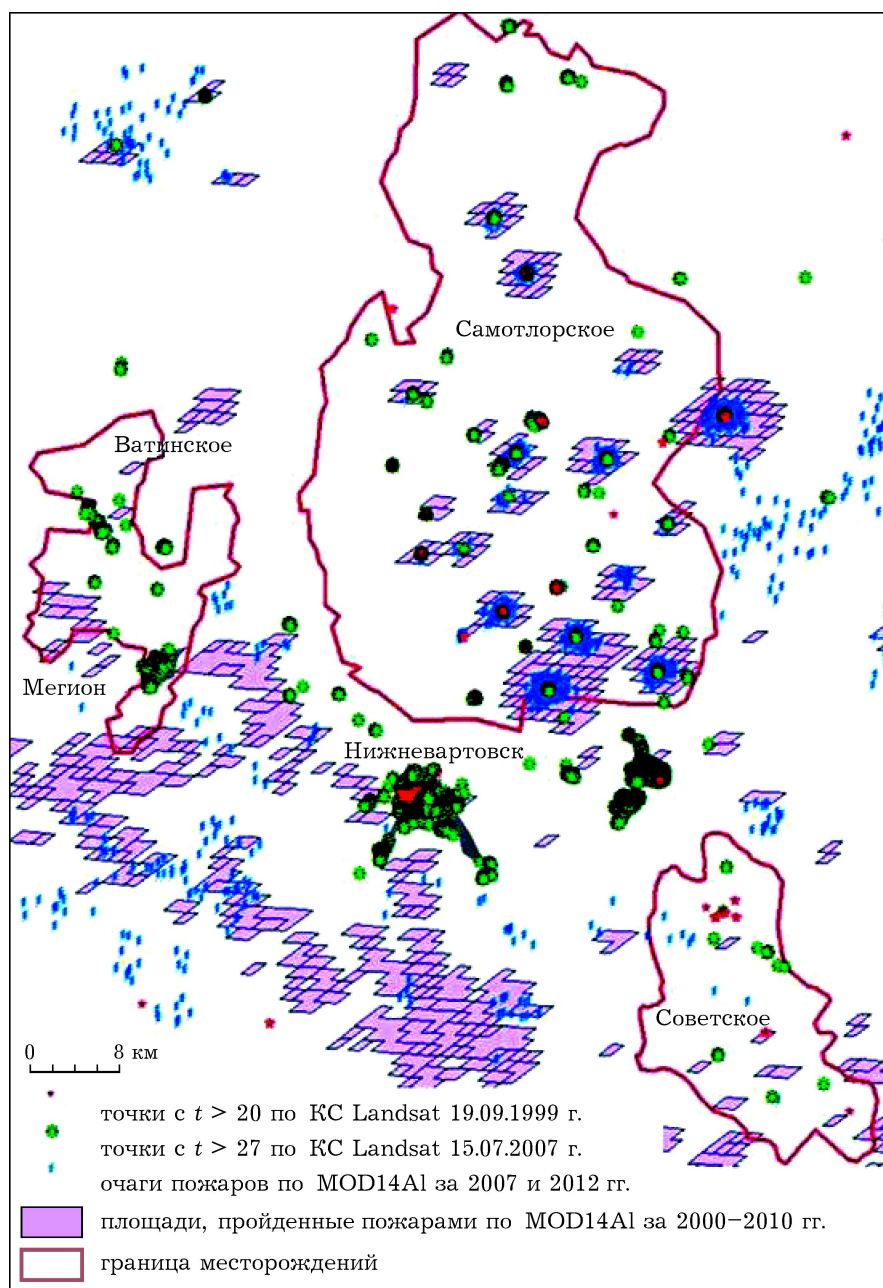


Рис. 3. Участки и точки с аномальными значениями температуры поверхности территории нефтяных месторождений.

Продукты MOD14A1 группы “Тепловые аномалии/Пожары” (Thermal Anomalies/Fire) позволяют обнаружить среднеразмерные очаги с высокой интенсивностью горения. Принцип детектирования пожаров основан на их сильном излучении в среднем инфракрасном диапазоне. Применительно к продукту MOD11A1 исходные значения пикселей конвертировали в значения температуры, из формата hdf – в формат tif, из синусоидальной проекции – в географическую.

На основе преобразований выполнено детектирование участков с высокой температурой поверхности территорий нефтяных месторождений (рис. 3). Согласно КС Landsat, такие температуры характерны для территорий с городской застройкой и участков с факельными установками. Так, по данным КС Landsat 19.09.1999 г., температуры поверхности изменяются от 20 до 48 °С, по данным КС Landsat 15.07.2007 г., – от 27 до 35 °С. Как следует из данных рис. 3, зелеными и крас-

ными точками отмечены горящие факелы на территории Советского, Самотлорского и Ватинского месторождений. Совмещение зеленых и красных точек указывает на длительное горение факелов в период 1999–2007 гг.

По данным КС Landsat, в 2007 г. на Ватинском месторождении выявлено 176 высокотемпературных участков, на Самотлорском месторождении – 390, на Советском – 22, а в 1999 г. – 0, 88 и 16 соответственно. В 2012 г., по данным MOD14A1, на территории Самотлорского месторождения численность горящих факелов составила 136, на Советском и Ватинском снизилась до 7 и 1 соответственно.

Радиус прямого термического повреждения растительности для факела малой мощности достигает 50 м, с большей мощностью – 200 м. Последствия угнетения растительности только за счет теплового излучения наблюдаются на расстоянии до 4 км и более (табл. 1).

Значительное негативное действие на растительность оказывают пожары, риск возникновения которых существенно повышается на нефтедобывающих территориях с действующими факельными установками. На рис. 3 показаны участки гари 2000–2010 гг. и очаги пожаров за 2007 и 2012 гг. по данным MOD14A1. Видно, что на территории Самотлорского месторождения имеются значительные по площади участки старых и относительно недавних пожаров.

Основу ПНГ составляет смесь легких углеводородов, включая метан, этан, пропан, бутан, изобутан и другие углеводороды, которые под давлением растворены в нефти. Состав ПНГ может значительно варьировать в зависимости от территории добычи и от свойств конкретного месторождения. Компонентный состав ПНГ исследуемых месторождений представлен в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2

Состав ПНГ месторождений Западной Сибири, мас. %

Месторождения	CO ₂	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂
Ватинское	0.51	3.09	58.78	12.03	15.75	6.72	3.12
Самотлорское	0.67	3.02	59.53	6.21	15.78	10.54	4.25
Советское	0.48	2.02	57.30	6.10	13.70	18.90	1.50

Разработанная нами методика картографирования экологических рисков предполагает оценку экологического риска воздействия химического загрязнения атмосферы с учетом чувствительности к нему различных растительных сообществ. В основе разработанной методики оценки экологического риска лежат три его градации – пренебрежимый, приемлемый, неприемлемый. Неприемлемым считается риск в зоне загрязнения выше 2 ПДК, приемлемым – от 2 до 1.0 ПДК, пренебрежимым – в зоне с уровнем загрязнения ниже 1.0 ПДК.

Таксономические группы растений по увеличению чувствительности к воздействию фитотоксичных газов располагаются в следующем порядке: мхи, лишайники и грибы; хвойные древесные породы; лиственные древесные породы; травянистые растения. Чувствительность групп растений определялась на основе анализа экологических нормативов, рекомендуемых сотрудниками Научно-исследовательского института охраны атмосферного воздуха (С.-Петербург). Для картографирования экологических рисков предложены следующие значения коэффициента чувствительности: травянистая растительность – 1, мелколиственный лес – 0.75, хвойный лес – 0.5. Чем выше чувствительность, тем меньшие концентрации загрязняющих веществ вызывают повреждения соответствующих видов растительности. В соответствии с коэффициентом чувствительности для каждой группы растительных сообществ выбираются

ТАБЛИЦА 1

Зоны воздействия факельных установок на лесные экосистемы

Радиус зоны, км	Воздействие	Последствия воздействия
До 0.2	Интенсивная нагрузка	Практически полное уничтожение растительности
0.2–1	Умеренная нагрузка	Уничтожение и деградация растительности
1–4	Низкая нагрузка	Деградация растительности и накопление продуктов сгорания
4–10	Остаточное	Проникновение и накопление остатков продуктов сгорания

зоны с определенным уровнем загрязнения атмосферы.

Для лесных комплексов с преобладанием хвойной растительности получены следующие данные:

- неприемлемый уровень риска – в зоне с уровнем загрязнения >1 ПДК;
- приемлемый – с уровнем загрязнения от 1 до 0.5 ПДК;
- пренебрежимый – с уровнем загрязнения от 0.5 до 0.025 ПДК.

Для мелколиственного леса принимается:

- неприемлемый уровень риска – при загрязнении выше 1.5 от ПДК;
- приемлемый – с уровнем загрязнения от 1.5 до 0.75 от ПДК;
- пренебрежимый – с уровнем загрязнения от 0.75 до 0.0375 ПДК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, продемонстрирована возможность использовать тепловые космические снимки Landsat и продукты MODIS для экологического мониторинга антропогенного воздействия на растительность территорий нефтяных месторождений Западной Сибири. Разработана методика картографирования аномальных тепловых полей поверхности ландшафта для определения местоположения действующих факелов и площадей пожаров.

Разработана методика расчета уровня экологического риска при сжигании ПНГ в факелах в отношении растительного покрова. Применение средств геоинформационных технологий позволяет проводить совместный пространственный анализ структуры территории и моделировать загрязнение среды с использованием

цифровых карт. Это упрощает процедуру оценки комплексных негативных воздействий на окружающую среду и позволяет оперативно принимать решения по их устранению.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-05-98080-р_Сибирь_а) и Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг. (проект НИР V.46.5.5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Полищук Ю. М., Березин А. Е., Дюкарев А. Г., Козин Е. С., Токарева О. С. // Тр. 2-го совещ. “Экология пойм сибирских рек и Арктики”. Томск, 2000. С. 314–320.
- 2 Кирюшин П. А., Книжников А. Ю., Кочи К. В., Пузанова Т. А., Уваров С. А. Попутный нефтяной газ в России: “Сжигать нельзя, перерабатывать!”: Аналитический доклад об экономических и экологических издержках сжигания попутного нефтяного газа в России. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013. 88 с.
- 3 Сваровская Л. И., Яценко И. Г., Алексеева М. Н. // Вестн. ЦКР Роснедра. 2013. № 6. С. 22–26.
- 4 Данные по тепловым аномалиям MOD14A1, описание и получение.
URL: <http://gis-lab.info/qa/mod14a1.html>.
- 5 Информационный бюллетень “О состоянии окружающей среды Ханты-Мансийского автономного округа – Югры в 2008–2009 гг.” // Департамент экологии Ханты-Мансийского автономного округа – Югры”. Ханты-Мансийск: ОАО “НПЦ Мониторинг”, 2010 г. 130 с.
- 6 Доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2010 г. // Департамент экологии Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Ханты-Мансийск: ОАО “НПЦ Мониторинг”, 2011. 125 с.
- 7 Алтунина Л. К., Сваровская Л. И., Полищук Ю. М., Токарева О. С. // Нефтехимия. 2011. Т. 51, № 5. С. 387–391.
- 8 Алексеева М. Н., Яценко И. Г., Перемитина Т. О. // Безопасность жизнедеятельности. 2013. № 1. С. 30–35.
- 9 Афонин С. В., Белов В. В., Соломатов Д. В. // Сб. статей “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”. 2009. Вып. 6, Т. 1. С. 23–32.
- 10 Афонин С. В., Белов В. В., Соломатов Д. В. // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21, № 12. С. 1056–1063.