

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ*

Б. М. МИРКАРИМОВА

АО “КАЗГЕОКОСМОС”, Алматы, Казахстан

e-mail: bibigul@kgc.kz

In the given work two problems are solved. These are the calculation of pollution emissions as well as pollutant transfer and diffusion in the northeast part of Caspian Sea. The methodology is applied to the problem of burning of the associated gas in flares and accidents on oil pipelines, accompanied by burning of the ground imbued with oil. Oil spill accidents and burning of hydrocarbons at the objects of oil and gas extraction may damage three basic environmental components the ground, the atmosphere and water objects.

Введение

Нефтегазовый комплекс был и остается крупнейшим загрязнителем атмосферного воздуха в Казахстане. Он дает до 30 % загрязняющих веществ, выбрасываемых промышленностью. Причем вклад нефтегазового комплекса в загрязнение воздуха в течение последних лет стабильно растет, за последние годы он увеличился примерно в 1.5 раза. Две трети атмосферных выбросов, генерируемых нефтегазовым комплексом, приходится на нефтедобычу. Негативное влияние на загрязнение атмосферного воздуха оказывают предприятия нефтегазового комплекса Северо-Восточного Прикаспия. За последние десятилетия под воздействием антропогенных и биохимических факторов резко ухудшилось состояние экосистемы Каспийского моря в целом и особенно северо-восточной его части. Значительной проблемой охраны атмосферного воздуха является утилизация попутного и природного газа при добыче углеводородов. В основном загрязняют атмосферу углеводороды, которые испаряются из нефтяных амбаров, мест проливов нефти, из технологического оборудования. Окислы азота, диоксид серы и сажа выбрасываются при сжигании попутного и природного газа в факелах, печах, котельных и турбокомпрессорах.

Детальный анализ текущего состояния и прогностические оценки выполняются, как правило, с помощью математических моделей, встроенных в геоинформационные системы. В данной работе решаются три задачи: обнаружение факела с помощью космической

*Работа выполнена в рамках проекта “Создать межотраслевую геоинформационную систему с использованием методов дистанционного зондирования и цифровой картографии” в соответствии с Государственной Программой “Развитие космической индустрии в Республике Казахстан” на 2005–2007 гг.

© Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук, 2006.

съемки; определение объема выбросов загрязняющих веществ в районе нефтегазодобычи; расчет переноса этих веществ в атмосфере. При этом рассматриваются такие аварийные ситуации на объектах нефтегазодобычи, как разливы нефти и горение нефти.

1. Математическая формулировка модели атмосферного загрязнения Industrial Air Pollution (IAP)

Математической основой модели атмосферного загрязнения являются уравнения сохранения массы загрязняющих примесей, которые описывают адвекцию, турбулентную диффузию, химические реакции, стоки и источники загрязняющих веществ.

Эти уравнения в результате осреднения по высоте расчетной области могут быть преобразованы в двумерные уравнения вида

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \text{div}(C\mathbf{u}) + \sigma C = \mathbf{K}\Delta C + f,$$

где $\mathbf{u} = \{u, v\}$; $\mathbf{K} = \{K_x, K_y\}$; $\Delta = \left\{ \frac{\partial^2}{\partial x^2}, \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right\}$;

$$\sigma = \frac{1}{H - z_0} \left[\frac{\partial H}{\partial t} - \frac{V_d K_{z_0} \mu'_0}{K_{z_0} \mu'_0 + V_d (\mu - \mu_0)} \right]; \quad (1)$$

$$f = \frac{\alpha}{H - z_0} \left[1 - \frac{V_d (\mu - \mu_0)}{K_{z_0} \mu'_0 + V_d (\mu - \mu_0)} \right] + Q;$$

$$C|_{\Gamma} = 0 \text{ при } V_n < 0, \quad C(0, x, y) = C^0(x, y) \text{ при } t = 0. \quad (2)$$

Здесь использованы все обозначения, принятые в работах [1, 2]. При расчете применялась численная схема Смоларкевича [3, 4], позволяющая уменьшить влияние аппроксимационной вязкости.

2. Разработка ГИС-технологии анализа загрязнения атмосферы при горении нефти и нефтепродуктов

Одна из главных экологических проблем нефтегазоносных районов Северо-Восточного Прикаспия — горение нефти и нефтепродуктов при плановых (сжигание попутного нефтяного газа на факельных установках) и аварийных эпизодах.

Факельные установки для сжигания попутного нефтяного газа пока, к сожалению, являются неотъемлемой частью технологического цикла добычи нефти. В результате сжигания на факелах миллиардов кубометров попутного нефтяного газа на территории Северо-Восточного Каспия сложилась довольно сложная экологическая ситуация. Сжигание на факелах попутного газа сопровождается выбросом в атмосферу большого количества парниковых газов, оксидов серы и азота, вокруг месторождений формируется повышенный тепловой фон. Кроме того, в процессе эксплуатации нефтепромыслов в атмосферу выделяются твердые частицы, сернистый ангидрид, окись углерода и оксиды азота. Экологическая ситуация резко обостряется из-за загрязнения воздушного бассейна парами меркаптанов, относящихся ко второму классу опасности. Наиболее крупные выбросы в

атмосферу происходят при испытаниях скважин, в результате порывов нефтепроводов и других аварий. Загрязнение атмосферы в этих случаях связано в основном со сжиганием выбросов горючего газа и разливами нефти.

В результате аварийных разливов нефти наносится ущерб трем основным компонентам окружающей природной среды: земле, атмосфере и водным объектам. Основными факторами, определяющими величину ущерба, наносимого окружающей природной среде при авариях на нефтепроводах, являются:

- количество вылившейся из нефтепровода нефти и распределение ее по компонентам окружающей среды;
- степень загрязнения земель;
- количество углеводородов, выделившихся в атмосферу.

При свободном горении нефти и нефтепродуктов расчет выбросов производится при следующих ситуациях:

- горение нефти и нефтепродуктов на поверхности раздела фаз жидкость — атмосфера;
- горение пропитанного нефтью и нефтепродуктом инертного грунта;
- комбинированный случай горения нефти и нефтепродуктов.

Любая задача по прогнозу загрязнения атмосферы распадается на два этапа — определение мощности выбросов и расчет переноса и рассеяния загрязнителей на прогнозируемый период.

2.1. Оценка загрязнения компонентов окружающей природной среды при авариях на магистральных нефтепроводах

Для расчета массы испарившихся углеводородов при авариях на магистральных нефтепроводах была использована программа “Аварии на нефтепроводах” фирмы “Интеграл”, г. Санкт-Петербург. В данной программе реализована методика определения ущерба окружающей природной среде при подобных авариях [5], в соответствии с которой степень загрязнения атмосферы вследствие аварийного разлива нефти определяется массой летучих низкомолекулярных углеводородов, испарившихся с покрытой нефтью поверхности земли или водоема. Масса углеводородов, испарившихся с поверхности земли, покрытой разлитой нефтью, определяется по формуле

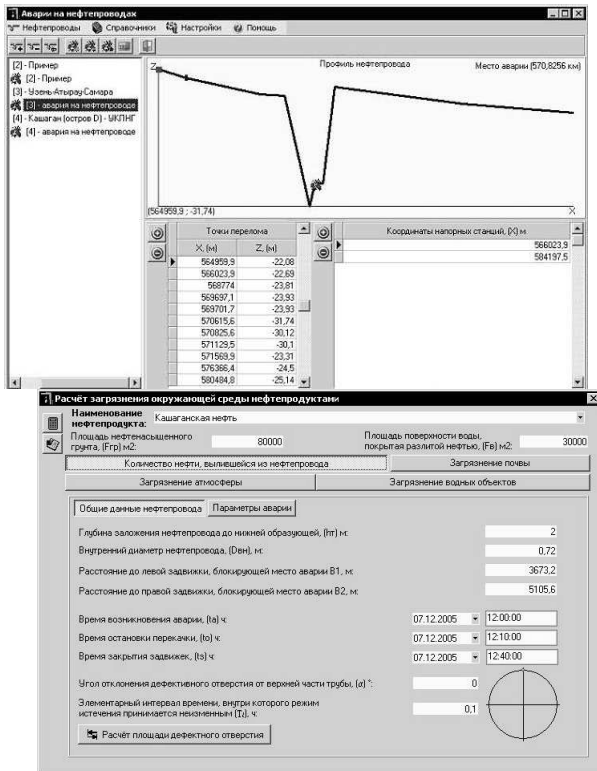
$$M_{и.п} = q_{и.п} F_{гр} \cdot 10^{-6}.$$

Масса углеводородов, испарившихся в атмосферу с поверхности водного объекта, покрытой нефтью, определяется по формуле

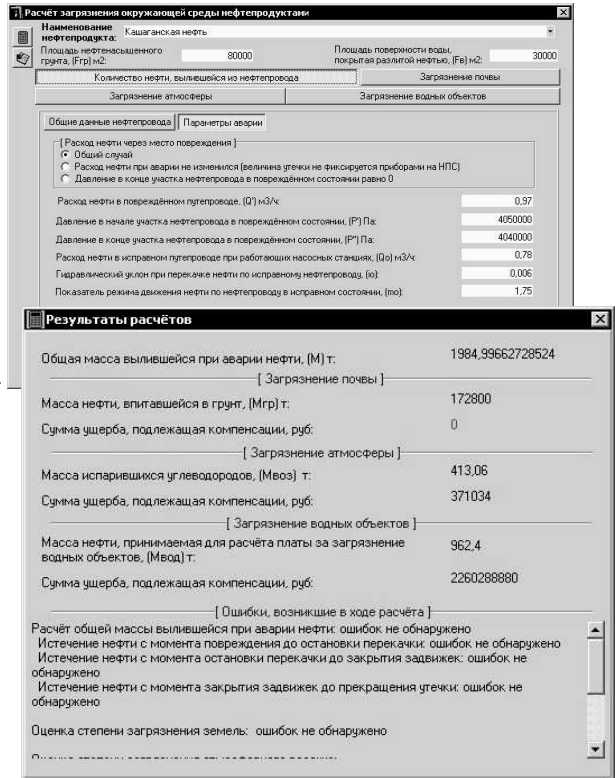
$$M_{и.в} = q_{и.в} F_{в} \cdot 10^{-6}.$$

На рис. 1 представлены окна программы “Аварии на нефтепроводах” с входными данными по нефтепроводу и результатами расчета.

Расчет рассеяния в атмосфере вредных веществ производился по численной модели атмосферного загрязнения IAP (1), (2). На рис. 2 представлен один из результатов расчетов атмосферного загрязнения, здесь же стрелками показаны направление и величина ветра, соответствующие расчетному моменту времени.



Профиль и общие данные нефтепровода



Результаты расчета

Рис. 1. Расчет массы испарившихся углеводородов по программе “Аварии на нефтепроводе”.

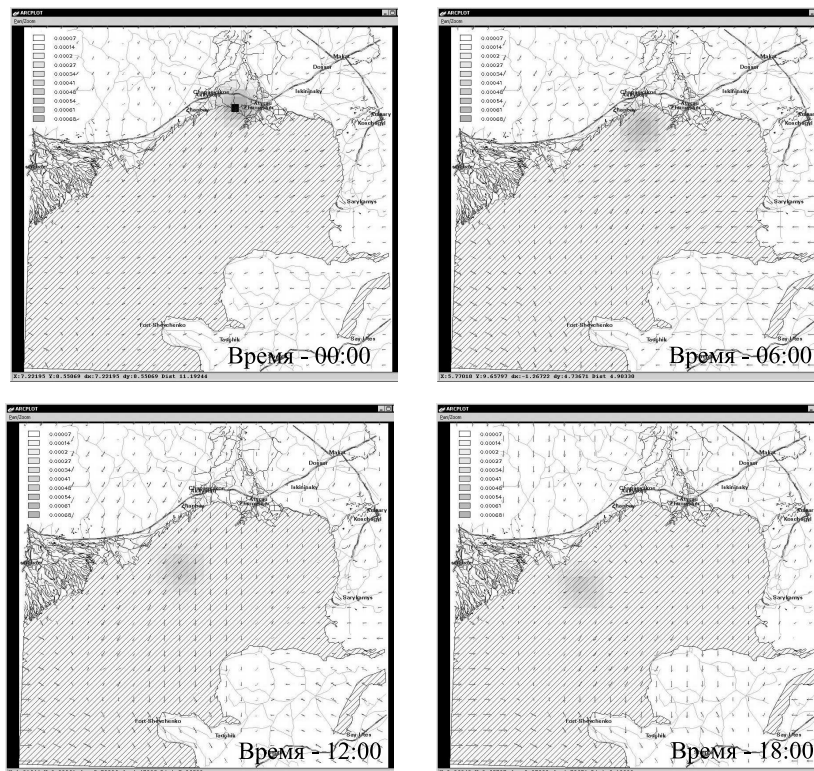
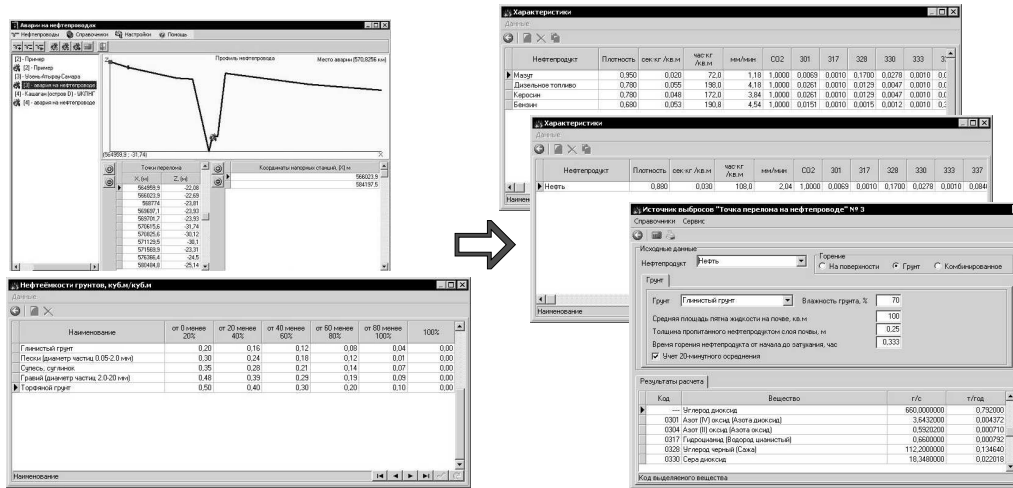


Рис. 2. Поле концентрации НС.

2.2. Оценка загрязнения компонентов окружающей природной среды при горении замазученного грунта

Для расчета количества вредных выбросов, образующихся при сгорании нефти и продуктов ее переработки на инертном грунте, использовалась программа “Горение нефти” фирмы “Интеграл”, г. Санкт-Петербург. Программа реализует утвержденную расчетную методику [6].



Профиль нефтепровода и нефтеемкость грунтов

Результаты расчета

Рис. 3. Расчет выбросов вредных веществ при горении замазученного грунта.

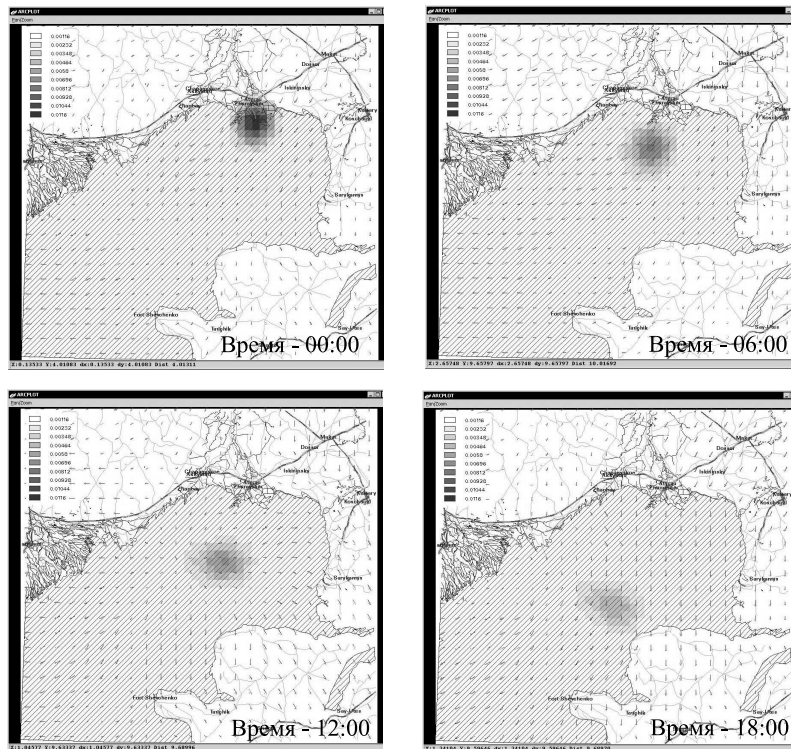


Рис. 4. Поле концентрации SO₂.

Расчет выбросов реализован при следующих ситуациях: горение нефти и нефтепродуктов на поверхности раздела фаз жидкость — атмосфера, горение пропитанного нефтью и нефтепродуктом инертного грунта и комбинированный случай горения нефти и нефтепродуктов.

На рис. 3 представлены окна программы “Горение нефти” с входными данными по нефтепроводу и результатами расчета. Расчет рассеяния в атмосфере вредных веществ проводился по численной модели атмосферного загрязнения IAP (1), (2). На рис. 4 приведены результаты расчетов атмосферного загрязнения.

2.3. Обнаружение факела и расчет загрязнения атмосферы при сжигании попутного нефтяного газа на факельных установках

Обязательная часть в задаче мониторинга загрязнения атмосферы при факельном сжигании попутного нефтяного газа — оперативная съемка и дешифрирование данных дистанционного зондирования. Обработка спутниковых данных дает возможность контролировать состояние окружающей среды на территории нефтегазодобычи, например распределение всплесков температуры, обнаружение факелов, горящих скважин и других высокотермальных объектов. При этом используются данные со сканера MODIS — одной из наиболее перспективных систем, применяемых для этой цели, благодаря наличию большого количества каналов с узкими спектральными диапазонами в видимой области спектра. Обработка космоснимков проводится в два этапа:

- первичная обработка до уровня 1В (распаковка, калибровка первичной информации, радиационная и геометрическая коррекция изображения, географическая привязка);
- тематическая обработка для построения маски облаков, карты температуры подстилающей поверхности, маски пожаров.

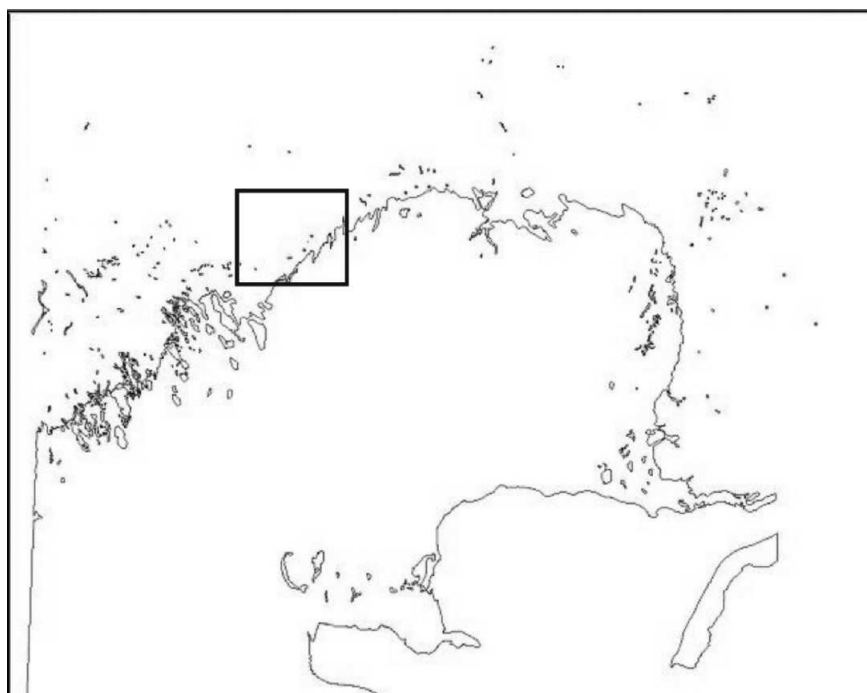


Рис. 5. Очаг возгорания (в рамке) в районе месторождения.

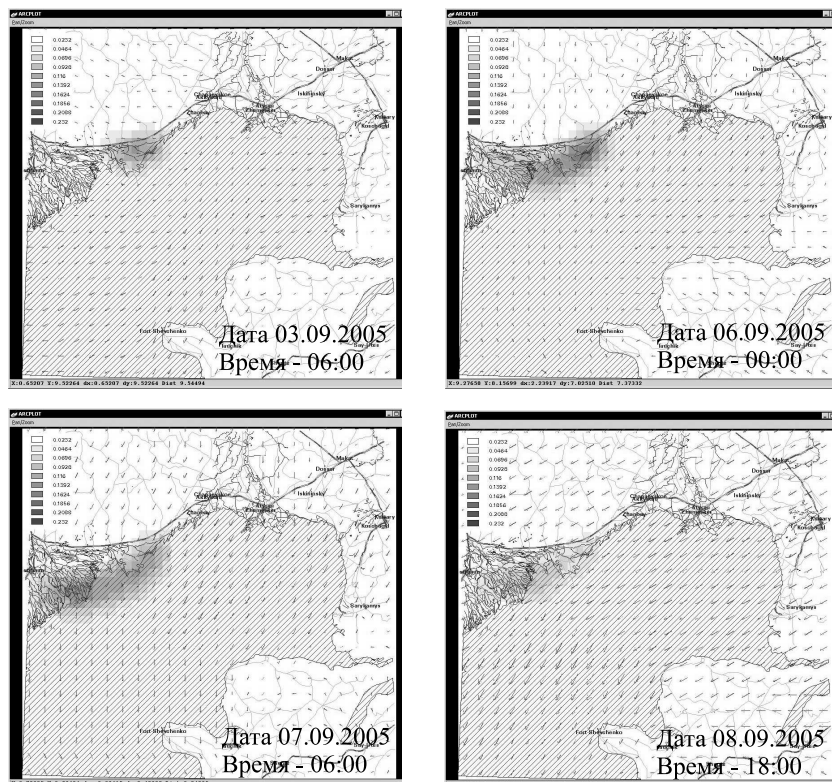


Рис. 6. Поле концентрации CO.

Тематическая обработка снимков осуществляется с помощью инструментов Программы обработки данных дистанционного зондирования Земли ScanEx Image Processor v.1.0. Например, для выделения пожаров или факелов используются две основные величины — значение температуры в 21 (4 нм) канале (чем больше температура, тем выше вероятность пожара) и разность между температурами в 21 (4 нм) и 31 (11 нм) каналах (чем больше разность, тем выше вероятность пожара).

На рис. 5 изображен очаг возгорания в районе одного из месторождений.

Для расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании попутного нефтяного газа на факельных установках применяется сертифицированная программа “ПНГ-Эколог” фирмы “Интеграл”, г. Санкт-Петербург. Эта программа реализует утвержденную расчетную методику [7].

Метеополя восстановлены по данным метеостанций на 03.09.05–08.09.05. На рис. 6 представлены результаты расчетов атмосферного загрязнения оксидом углерода (CO) по модели IAP на на 03.09.05–08.09.05.

Заключение

Разработанная ГИС-технология мониторинга загрязнения атмосферного воздуха при сжигании попутного нефтяного газа включает:

- оперативную обзорную съемку сканером MODIS (спутники Terra, Aqua);
- тематическую обработку снимков с целью выделения и идентификации факелов;
- расчет мощности выбросов продуктов горения;
- прогноз распространения загрязняющих веществ на ближайшие 120 ч.

Список литературы

- [1] ZAKARIN E.A., MIRKARIMOVA B.M. GIS-based mathematical modeling of urban air pollution // J. Physics of Atmosphere and Ocean. Russ. Acad. of Sci. 2000. Vol. 36, N 3. P. 366–375.
- [2] MIRKARIMOVA B.M. Geoinformation modeling of air pollution state of the city of Almaty at different scenarios of city transport development // J. of Comp. Technologies. 2004. Vol. 9, pt 2, special issue. P. 124–135.
- [3] SMOLARKIEWICZ P.K., CLARK T.L. The multidimensional positive definite advection transport algorithm: further development and applications // J. Comput. Phys. 1986. Vol. 67, N 2. P. 396–438.
- [4] SMOLARKIEWICZ P.K., GRABOWSKI W.W. The multidimensional positive advection transport algorithm: nonoscillatory option // J. Comput. Phys. 1990. Vol. 86, N 2.
- [5] МЕТОДИКА определения ущерба окружающей среде при авариях на магистральных нефтепроводах. М., 1996.
- [6] МЕТОДИКА расчета выбросов вредных веществ в атмосферу при свободном горении нефти и нефтепродуктов. Самарский областной комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации, Самара, 1996.
- [7] МЕТОДИКА расчета выбросов вредных веществ в атмосферу при сжигании попутного нефтяного газа на факельных установках. НИИ “Атмосфера”, 1997.

Поступила в редакцию 19 октября 2006 г.