

УДК 504.3.054

О МОДЕЛИРОВАНИИ ДИНАМИКИ ПЕРЕНОСА ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ ГОРОДОВ

Т.В. Донцова, С.С. Храпов¹, В.Н. Азаров

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
ул. Академическая, 1, г. Волгоград, 400074, Россия
Тел.: (8442) 96-98-26, факс (8442) 97-49-33, e-mail: info@vgasu.ru
¹Волгоградский государственный университет
Университетский пр. 100, г. Волгоград, 400062, Россия
Тел.: (8442) 46-02-79 e-mail: priem@volsu.ru

Заключение совета рецензентов: 05.10.13 Заключение совета экспертов: 10.10.13 Принято к публикации: 15.10.13

Для решения назревшей экологической проблемы – загрязнение Биосферы результатами человеческой деятельности, предлагается принципиально новый подход – балансовый метод. Приводится описание разработанной математической модели нестационарного переноса примесей в приземном слое атмосферы от источников загрязнения.

Ключевые слова: биосфера, балансовый метод, динамика переноса примесей в атмосфере, математическая модель нестационарного переноса примесей в приземном слое атмосферы.



ON MODELING OF DYNAMICS OF POLLUTANTS TRANSFER IN ATMOSPHERE OF CITIES

T.V. Dontsova, S.S. Khrapov¹, V.N. Azarov

Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering
1 Academic St., Volgograd, 400074, Russia
Tel.: (8442) 96-98-26, fax (8442) 97-49-33, e-mail: info@vgasu.ru
¹Volgograd State University
100 University Ave., Volgograd, 400062, Russia
Tel.: +7 (8442) 46-02-79, e-mail: priem@volsu.ru

Referred: 05.10.13 Expertise: 10.10.13 Accepted: 15.10.13

To address the urgent environmental problems – pollution of the biosphere by human activities, it is proposed a new approach – balance method. Description of the developed mathematical model of unsteady transport of pollutants in the surface layer of the atmosphere from pollution sources is presented.

Keywords: biosphere, balance method, dynamics of transport of pollutants in the atmosphere, the mathematical model of non-stationary transfer of pollutants in the low layer of the atmosphere.



Татьяна
Васильевна
Донцова

Сведения об авторе: аспирант Волгоградского гос. архитектурно-строительного университета, заместитель начальника отдела геологии и подсчета запасов ЗАО «ВолгоградНИПИнефть».

Область научных интересов: устойчивое развитие урбанизированных территорий, балансовый метод.

Публикации: 13.



Сергей
Сергеевич
Храпов

Сведения об авторе: канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры информационных систем и компьютерного моделирования Волгоградского гос. университета. Директор ООО «Моделирование и информационные технологии» (МИП).

Область научных интересов: геоинформационные системы, параллельное программирование на GPU, численное моделирование, вычислительная гидродинамика.

Публикации: 95.



Валерий Николаевич
Азаров

Сведения об авторе: д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Безопасность жизнедеятельности в техносфере» Волгоградского гос. архитектурно-строительного университета. Заслуженный эколог РФ, лауреат премии Правительства РФ в области образования, советник Российской академии архитектуры и строительных наук с 2010 г.

Область научных интересов: обеспечение безопасности технологических процессов и условий труда работников, повышение эффективности природоохранных систем, совершенствование пылегазоочистных устройств и аппаратов (в первую очередь на встречных закрученных потоках), совершенствование системы обращения с отходами, разработка технологий по переработке отходов, исследования дисперсного состава пыли по оригинальной методике, прошедшей утверждение Госстандарте России.

Публикации: более 250, в том числе 77 патентов и свидетельств.

В настоящее время город – источник деградации биосферы. Человечество живет расточительно, неограниченно потребляя ограниченные ресурсы экосистемы Земли. И с каждым годом экологический дефицит устремительно растет, отсюда вытекает следствие – деградация людей. Для устойчивого развития урбанизированных территорий предлагается новый подход к градостроительству, основанный на балансовом методе, который предполагает исправление потребительского, хищнического отношения человека к природе именно с места концентрации причин и следствий – с городов.

Вместо традиционных критериев и механизмов регрессивного и деградационного развития отраслей, построенных на теории расширенного экономического воспроизводства, нужны критерии и механизмы прогрессивного саморазвития регионов (прогрессивное развитие людей, технологий, организаций и биосферы), опирающихся на воспроизводстве главной производительной силы – чистой (лишенной загрязнений) части биосферы. Развитие человека может быть оценено наличием гармонии человека и природы [1, 2].

Основой прогрессивных изменений могут послужить тройственные балансы населения, мест удовлетворения потребностей населения и Потенциала Биосферы. Для разработки балансов необходимо определить рациональные критерии и стандартные функции, касающиеся землепользования, водоснабжения и водоотведения, энергетики, а также воздушного бассейна. Для каждого фактора последовательно рассмотреть все этапы его использования от изъятия из Биосферы до образования отходов и их переработки. Подходить к изучению балансов воздушного бассейна нужно не только с позиции ограничения загрязнений, но, главным образом, и по причине лимитирования объема изъятия кислорода для сжигания органического топлива из-за возрастающего парникового эффекта. Потребность города в ресурсах выражается по формуле [3]:

$$B_{30п} = B_{30т} + B_{30и} + B_{30д} - B_{30в}, \quad (1)$$

где $B_{30п}$ – общая потребность всех людей в рассчитываемом природном ресурсе; $B_{30т}$ – общая потребность техносферы в рассчитываемом природном ресурсе; $B_{30и}$ – вывоз природного ресурса из района; $B_{30д}$ – деградация природного ресурса в районе вследствие загрязнения; $B_{30в}$ – ввоз природного ресурса в район.

Слагаемые: ввоз природного ресурса в район $B_{30в}$ и вывоз природного ресурса из района $B_{30и}$ для воздушной среды обозначим межрайонным переносом в атмосфере. Определение динамики переноса примесей в атмосфере позволит найти данные слагаемые уравнения.

Волгоградская область представляет большой интерес для изучения, так как по значениям климатических параметров, определяющих перенос и рассеивание примесей, поступающих в воздушный бассейн с выбросами от предприятий и автотранспорта, относится к зоне с повышенным потенциалом загрязнения атмосферы. На сегодняшний день город Волгоград и его спутник Волжский внесены в государственный перечень городов России с самым грязным атмосферным воздухом. Получение карт загрязнений посредством расчета на ЭВМ особенно актуально для веществ, для которых лабораторные измерения концентрации сопряжены с большими затратами, а также для примесей, не выбрасываемых непосредственно в атмосферу, но возникающих в ней в результате химических превращений обычных загрязнителей. С помощью компьютерных программ, основанных на прямом решении математических уравнений, описывающих исследуемый процесс, строятся информационно-математические модели промышленных районов. Такие модели позволяют осуществлять экологический мониторинг за состоянием воздушно-водного бассейна, включая последствия различного рода аварий.

В лаборатории «Вычислительной физики и экологического моделирования» ВолГУ разработана математическая модель нестационарного переноса примесей в приземном слое атмосферы от источников загрязнения Южного промузла г. Волгограда, относящегося к экологически напряженной территории, на территорию Светлоярского района [4, 5]. Основная карта моделируемой территории приведена на рис. 1. В данном регионе основными источниками загрязнений являются промышленные предприятия Южной промзоны и часть прудов-отстойников. Южная зона города (Красноармейский и Кировский районы) является центром химической и нефтехимической промышленности (нефтеперерабатывающий завод, завод технического углерода, «Каустик», «Химпром»). Имеются предприятия энергетики (ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, ВолгоГРЭС).





Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

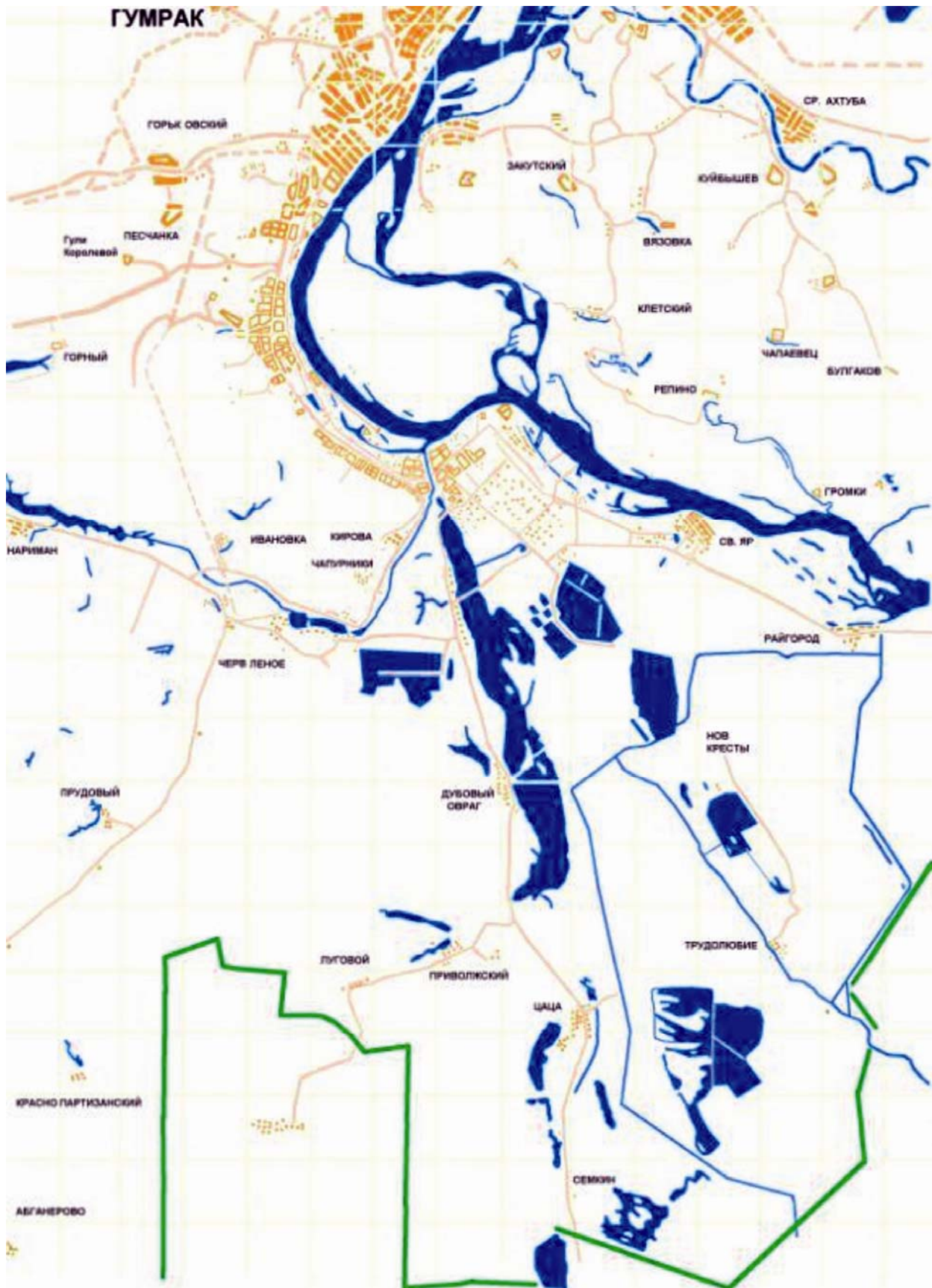


Рис. 1. Основная электронная карта южной части г. Волгограда и северной части Светлоярского района
Fig. 1. Basic electronic map of the southern city of Volgograd and the northern part of the Svetloyarsky district

Основными компонентами компьютерной системы являются:

1) Модель приземного слоя атмосферы.

Модель приземного слоя атмосферы учитывает метеорологические и климатические условия (направление и силу ветра, температуру воздуха, конвективное состояние атмосферы).

2) Модель динамики загрязняющих примесей.

Расчет динамики распространения примесей учитывает основные физические факторы, определяющие этот процесс: ветровой снос, диффузионный перенос, осаждение на поверхность земли и повторное загрязнение.

3) Графический и математический интерфейс обработки и визуализации информации.

Основой графического интерфейса является электронная карта Светлоярского района и территории Южного промышленного узла г. Волгограда. Электронная карта включает набор слайдов разного разрешения, на фоне которых отображаются распределения изолиний концентрации определенной примеси. Разрешение карты составляет 100 м. Карта содержит основные объекты (населенные пункты, основные дороги, путепроводы, высоковольтные ЛЭП, крупные водоемы), как правило, изображаемые на картах общего назначения в масштабе 1:200000. На фоне карты в динамическом режиме изображается пространственное распределение поверхностной плотности выбранной загрязняющей примеси.

4) База данных источников загрязнений, которая включает:

- А) перечень промышленных предприятий,
- Б) список загрязняющих веществ,
- В) координаты источников,
- Г) химическую формулу выброса,
- Д) объем выбрасываемого загрязнения в единицу времени,
- Е) высоту трубы (высоту формирования выброса),
- Ж) температуру выбрасываемой смеси.

Данная компьютерная система содержит систему поддержки, включающую документацию и программный пользовательский интерфейс. Информационно-математический комплекс предназначен для использования на персональных ЭВМ в Windows-среде при стандартных параметрах (ОЗУ от 512 Мб, ПЗУ от 50 Гб). Отличительной чертой данной системы является ее открытый характер, что позволяет Пользователю задавать, пополнять и изменять базу данных источников загрязнений и их параметры самостоятельно по мере производственной необходимости.

Пакет программ включает следующие модули:

1. Расчетный модуль. В основе лежит численное интегрирование уравнений переноса примеси с учетом основных физических факторов.

2. Графический интерфейс. Он включает: систему электронных карт моделируемой территории; графическое представление пространственно-временного

распределения загрязняющих примесей; вывод основных параметров текущего расчета.

3. Базу данных по источникам и примесям.

4. Базу данных метеорологического состояния атмосферы.

Результаты численного моделирования выводятся на монитор компьютера в виде карты Светлоярского района и Южного промзла г. Волгограда с нанесенными на нее концентрациями загрязнений, которая может быть напечатана на принтере.

Программный комплекс «ЭкоПром» (рис. 2) предназначен для компьютерного моделирования процесса распространения загрязняющих примесей от промышленных источников, расположенных на территории предприятия. В основе «ЭкоПром» лежат геоинформационная система GeoMapBuilder и математическая модель для описания нестационарной трехмерной динамики загрязнений, в том числе от нестационарных источников для конкретного задаваемого физического состояния атмосферы. В предлагаемом подходе используется прямое численное интегрирование точных уравнений переноса примеси в атмосфере с учетом основных физических факторов, что приближает данный метод к проведению вычислительного эксперимента.

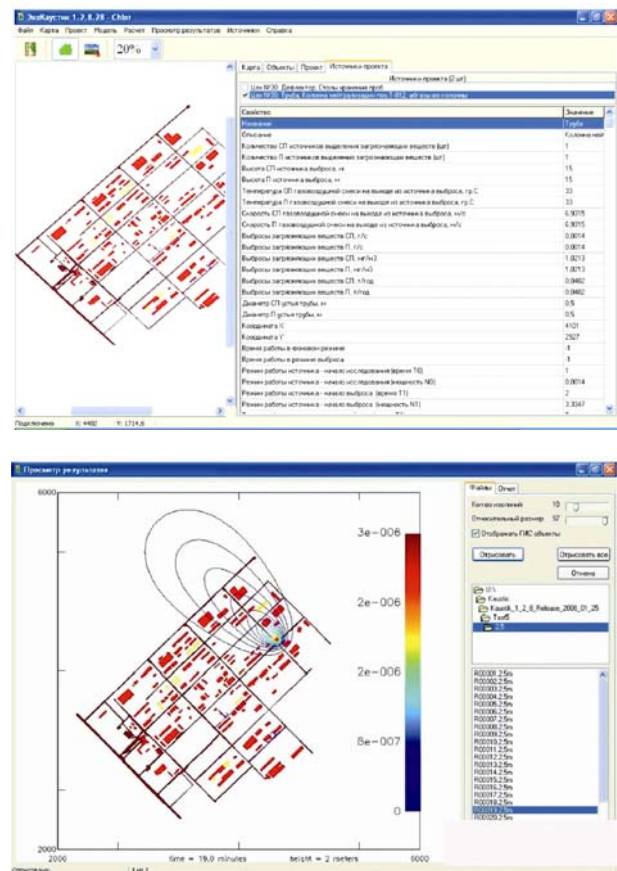


Рис. 2. Интерфейс программного комплекса «ЭкоПром»
Fig. 2. Interface of software complex "EcoProm"

Примеры расчетов распространения и трансформации загрязняющих примесей представлены на рис. 3.

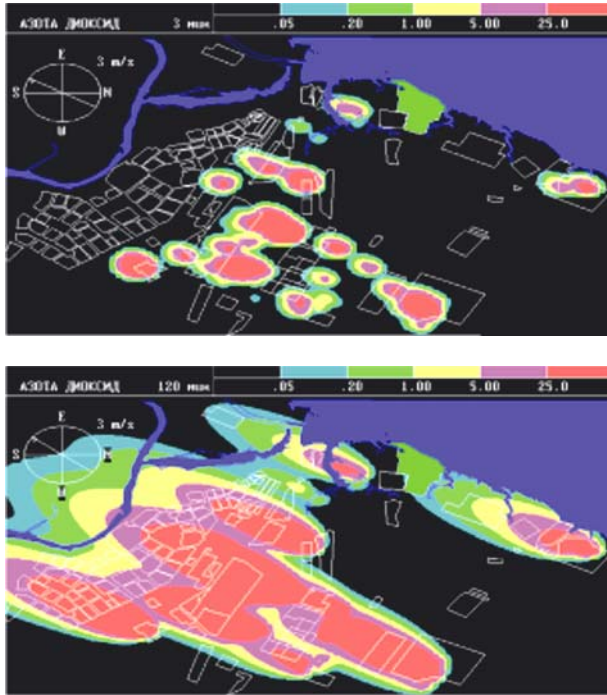


Рис. 3. Распространения диоксида азота в атмосфере
Fig. 3. Distribution of nitrogen dioxide in atmosphere

Программный комплекс «АтмоГИС» [6] предназначен для решения различных задач динамики распространения загрязняющих примесей и аэрозолей в приземном слое на основе численного интегрирования нестационарных уравнений переноса с учетом внешних факторов (рис. 4). Результатом моделирования являются карты распределения загрязняющих веществ в атмосфере. Программный комплекс может быть использован для прогнозирования последствий аварийных ситуаций на промышленных предприятиях.

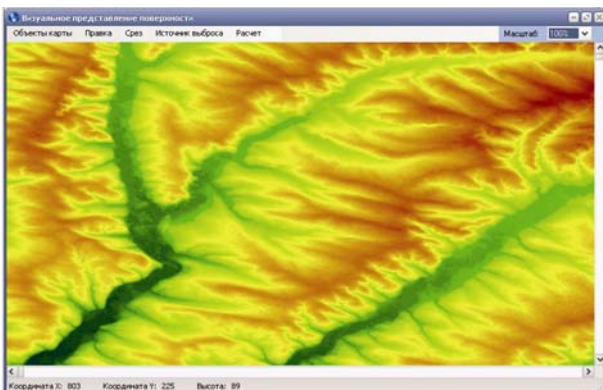


Рис. 4. Главное окно программы «АтмоГИС»
Fig. 4. Main window of "AtmoGIS" software

Основной задачей ГИС-приложения является моделирование динамики переноса загрязняющих примесей и аэрозолей в приземном слое атмосферы. Для этого служит специальный расчетный модуль, основанный на численных алгоритмах решения уравнения диффузии. Результаты моделирования представлены ниже на рис. 5-6.

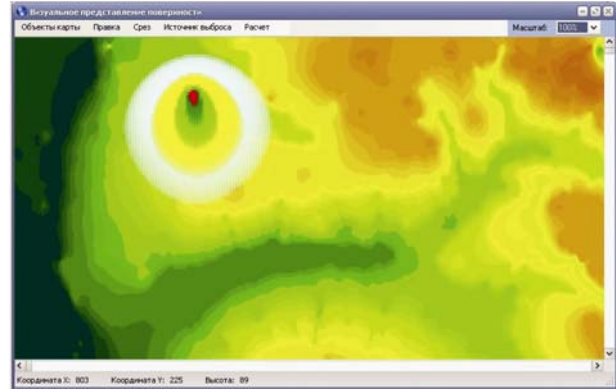


Рис. 5. Расчет распространения оксида углерода по явной схеме. Суточный выброс 165,35 кг/сут. Ветер северный
Fig. 5. Calculation of carbon monoxide distribution by explicit scheme. Daily release is 165.35 kg/day. North wind

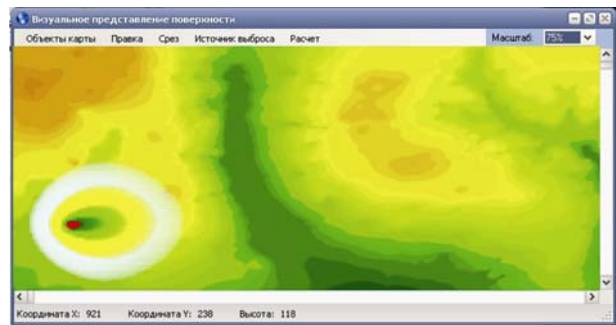


Рис. 6. Расчет распространения ангидрида сернистого в атмосфере по неявной численной схеме. Суточный выброс 40,886 кг/сут. Ветер восточный
Fig. 6. Calculation of sulfur dioxide distribution in atmosphere by implicit numerical scheme. Daily release is 40.886 kg/day. East wind

Созданная имитационная модель дает возможность решения различных задач экологического мониторинга южной части г. Волгограда, позволяет определять последствия аварий и других нештатных ситуаций, формировать экологические и экономические рекомендации, проводить обучение специалистов-экологов.

Список литературы

1. Азаров В.Н., Донцова Т.В. Концепции биосферной совместимости и экологического следа и их роль в достижении экологически устойчивого развития урбанизированных территорий // Социология города. 2013. № 1. С. 39-45.
2. Егорушкин В.А., Городков А.В., Федоров В.С., Азаров В.Н. Биосферная совместимость. Технологии внедрения инноваций. Города, развивающие человека. // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 10. С. 71-72.
3. Ильичев В.А. Биосферная совместимость: технологии внедрения инноваций. Города, развивающие человека // М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011.
4. Белослудцев А.А., Гусаров Д.В., Еремин М.А., Кузьмин Н.М., Хоперсков С.А., Храпов С.С. Информационно-компьютерный комплекс для моделирования динамики примесей от предприятий химической промышленности // Вестник Волгоградского гос. университета. Сер. 1: Математика. Физика. 2009. № 12. С. 95-102.
5. Храпов С.С., Хоперсков А.В., Еремин М.А. Компьютерное моделирование экологических систем. Монография. Волгоград: «Волгоградский гос. ун-т», 2010.
6. Малярчук Ю.Д., Храпов С.С. Информационная модель специализированной ГИС для моделирования динамики воздушных потоков // Международный научно-исследовательский журнал. 2013. № 5-1. С. 79-83.

References

1. Azarov V.N., Doncova T.V. Konceptii biosfernoj sovmestimosti i ekologičeskogo sleda i ih rol' v dostiženii ekologičeski ustojčivogo razvitiâ urbanizirovannyh territorij // Sociologiâ goroda. 2013. № 1. S. 39-45.
2. Egoruškin V.A., Gorodkov A.V., Fedorov V.S., Azarov V.N. Biosfernaâ sovmestimost'. Tehnologii vnedreniâ innovacij. Goroda, razvivaûšie čeloveka. // Promyšlennoe i graždanskoe stroitel'stvo. 2012. № 10. S. 71-72.
3. Il'ičev V.A. Biosfernaâ sovmestimost': tehnologii vnedreniâ innovacij. Goroda, razvivaûšie čeloveka // M.: Knižnyj dom «LIBROKOM», 2011.
4. Belosludcev A.A., Gusarov D.V., Eremin M.A., Kuz'min N.M., Hoperskov S.A., Hrapov S.S. Informacionno-komp'ûternyj kompleks dlâ modelirovaniâ dinamiki primesej ot predpriâtij himičeskoj promyšlennosti // Vestnik Volgogradskogo gos. universiteta. Ser. 1: Matematika. Fizika. 2009. № 12. S. 95-102.
5. Hrapov S.S., Hoperskov A.V., Eremin M.A. Komp'ûternoe modelirovanie ekologičeskikh sistem. Monografiâ. Volgograd: «Volgogradskij gos. un-t», 2010.
6. Malârčuk Ū.D., Hrapov S.S. Informacionnaâ model' specializirovannoj GIS dlâ modelirovaniâ dinamiki vozdušnyh potokov // Meždunarodnyj naučno-issledovatel'skij žurnal. 2013. № 5-1. S. 79-83.

Транслитерация по ISO 9:1995

