

В.С. Комаров

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ ОГРАНИЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Обсуждаются некоторые проблемы экологического мониторинга атмосферы ограниченных территорий (в масштабах города или промышленного района), связанные с вопросами оптимизации сети экологических наблюдений и разработки современных автоматизированных систем локального контроля атмосферных загрязнений, а также высказываются некоторые соображения по методологии создания муниципальной информационной системы интеллектуальной поддержки решения атмосферно-экологических задач.

1. Введение

Современный этап развития человечества характеризуется угрожающими противоречиями, которые возникли между природой и обществом в результате интенсивного развития производительных сил. Самой серьезной опасностью при этом является постоянно усиливающееся загрязнение природных сред – атмосферы, гидросферы и биосферы, вызывающее нарушение экологического равновесия. В частности, земная атмосфера, находящаяся под непрерывным антропогенным воздействием, постоянно утрачивает свою уникальную способность к самоочищению и восстановлению, что приводит к существенному изменению состава атмосферного воздуха (в нем появляются твердые частицы в виде сажи, производственной пыли, содержащей тяжелые металлы, малые загрязняющие газы (SO_2 , CO , CH_4 , NO_x и т.п.) и другие примеси). Все это может вызвать в недалеком будущем пагубные изменения в физическом состоянии атмосферы, по своим масштабам близкие к последствиям ядерной войны [1].

Индустриальное воздействие на природную среду (в том числе и на атмосферу) настолько серьезно, что в некоторых регионах России, как и во многих районах земного шара, сложилась крайне неблагоприятная экологическая обстановка, которая требует постоянного контроля и оперативной экологической экспертизы (на основе полученных данных) с целью принятия неотложных мер по ее улучшению. Поскольку масштабы нашей страны, разнообразие климатических, экологических и социальных условий ее отдельных регионов накладывают свой отпечаток и затрудняют, а порой и вовсе исключают применение единого (для всей территории России) методического подхода к ведению экологического мониторинга, то представляется логичным решать различные проблемы этого мониторинга в первую очередь на региональном уровне.

Учитывая все перечисленные факты, а также и то, что локальные нарушения среды перерастают обычно в глобальные, изменяя фундаментальные свойства атмосферы (ее химический состав, температуру и влажность воздуха, озоновый экран, радиационный фон и т.п.), необходимо в самые ближайшие годы провести широкий спектр научно-прикладных разработок, связанных с решением различных задач атмосферно-экологического мониторинга ограниченных территорий (например, крупного города, промышленной зоны и региона в целом). Среди них, на наш взгляд, наиболее актуальными и требующими скорейшей реализации являются разработки, направленные на решение таких важных для практики задач, как:

– организация оптимальной сети стационарных экологических наблюдений для проведения объективного и надежного контроля за состоянием загрязнения воздушного бассейна на ограниченных территориях;

– создание муниципальной автоматизированной системы атмосферно-экологического мониторинга (МАСАЭМ), разрабатываемой на базе наземно-воздушных средств контроля и геоинформационной технологии обработки данных и предназначенной для постоянного слежения

за загрязнением воздушной среды на локальном уровне (город, район, промышленная зона), оперативной оценки текущей и ожидаемой экологической обстановки и выработки рекомендаций природоохранным органам по ее нормализации в случае экологической угрозы.

В настоящей статье рассматриваются некоторые проблемы, связанные с различными аспектами решения этих задач.

2. Оптимизация сети экологических наблюдений – важный фактор для ведения атмосферно-экологического мониторинга на ограниченных территориях

Существующая в настоящее время отечественная система контроля загрязнений атмосферного воздуха, как известно, базируется на сети наземных стационарных постов Роскомгидромета, оснащенных павильонами <Пост-1> и <Пост-2>, которые укомплектованы газоанализаторами типа ГМК-3 и ГКП-1 [2], а также на разрозненных и плохо скоординированных между собой различных ведомственных экологических лабораториях. При этом пространственное размещение стационарных постов обычно определяется приближенно, а именно: на основе результатов специальных обследований контролируемой территории и, в частности, изучения ее физико-географических и климатических особенностей, уровня загрязнения воздушной среды, расположения источников загрязнения и т.п. К тому же доминирующим подходом к организации региональной сети экологических наблюдений является субъективный подход, основанный на принципах количественного роста стационарных постов в зависимости от числа жителей того или иного населенного пункта, подверженного антропогенному воздействию. Так, согласно [3], на территории крупных населенных пунктов, в которых проживает более 500 тыс. человек, сеть экологических наблюдений должна состоять из 5–10 стационарных постов, а при числе жителей более 1 млн она должна иметь около 10–20 стационарных и маршрутных постов. Однако даже при выполнении этих условий (на практике они нигде не реализуются) из-за резкого пространственного и временного изменения выбрасываемых веществ подобная сеть стационарных постов не будет достаточно репрезентативной, поскольку, по мнению специалистов Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (г. Санкт-Петербург), для объективной оценки уровня загрязнения воздушной среды в больших городах или промышленных районах необходимо иметь данные экологических наблюдений с пространственным разрешением порядка 100×100 м.

Кроме того, при организации оптимальной сети экологического контроля необходимо учитывать также и возможности загрязнения воздушного бассейна на отдельных участках контролируемой территории за счет распределения загрязняющих веществ из одной ее части в другую.

Одним из возможных выходов из создавшегося положения могло бы быть использование в системе экологического мониторинга атмосферы данных регулярного слежения за загрязнением воздушной среды из Космоса, осуществляемого с помощью различных космических аппаратов (в том числе и спутникового лидара [4]). Однако из-за малой точности дистанционных измерений и небольшого пространственного разрешения, которое пока свойственно природоресурсным и метеорологическим спутникам [5], они не могут быть использованы для детального локально-регионального контроля за загрязнением воздушного бассейна ограниченных территорий (например, большого города или промышленного района).

Таким образом, все перечисленные обстоятельства поставили на повестку дня поиск альтернативных и более надежных подходов к организации оптимальной сети экологических наблюдений. Среди них наиболее надежным и эффективным решением этой задачи является математическое моделирование, которое основывается на принципах квазиоднородности поля загрязнений в пределах различных территориально-экологических районов и случайного характера его вариаций, обусловленных влиянием многочисленных факторов.

Действительно, согласно [2] поля концентраций загрязняющих веществ I_{il} (i – индекс вещества, l – область загрязнения) в атмосфере, меняющиеся в пространстве R и во времени t , формируются случайным образом под воздействием источников загрязнения $Q_i(R, t)$ и гидрометеорологических характеристик среды, т.е.

$$I_{il}(R, t) = f(Q_i, V_R, K_R, v_g, \dots), \quad (1)$$

где V_R, K_R, v_g – скорость ветра, коэффициенты турбулентной диффузии и гравитационного осаждения соответственно. При этом очевидной является и зависимость вида

$$Q_i(R, t) = \sum_j q_{ij}(R, t), \quad (2)$$

здесь q_{ij} – количество i -го загрязняющего вещества, выбрасываемого отдельными источниками. Как можно предполагать, формирование поля загрязнений $I_i(R, t)$ в значительной мере определяется размещением этих источников в пространстве, а также их меняющейся во времени интенсивностью.

С учетом вышесказанного можно констатировать, что численные методы решения задач по оптимизации сети экологических наблюдений, т.е. задач по выбору минимального количества измерительных датчиков при их оптимальном (с точки зрения оценки процессов загрязнения) размещении на контролируемой территории, являются более объективными и, следовательно, более перспективными, чем методы, основанные на простом (хотя и учитывающем некоторые физические факторы) увеличении числа экологических постов на этой территории.

В последние годы для решения проблемы оптимального размещения измерительных датчиков стали широко применяться методы параметрической идентификации процессов с учетом пространственной динамики [6–11]. Суть их заключается в том, что на основе доступных данных измерений $Y(\tau)$ при $\tau \in (0, t)$ и некоторой заданной математической модели вида [9, 11]:

$$\frac{\partial X(t, z)}{\partial t} = L_z(\theta) X(t, z) + D(t, z) U(t, z) + W(t, z), \quad z \in \Omega, \quad t \in (0, t_f) \quad (3)$$

(где t – время наблюдений; $z = [z_1, z_2, z_3]^T$ – вектор пространственных координат расположения измерительных датчиков (постов); τ – операция транспонирования; $X(t, z)$ и $U(t, z)$ – векторы переменных состояния и управления соответственно; $L_z(\theta)$ – матричный оператор с неизвестным вектором параметров θ ; $D(t, z)$ – заданная матрица; $W(t, z)$ – случайные возмущения объекта) определяется совокупность датчиков N в точках z^j (здесь $j = 1, 2, \dots, N$), причем таким образом, чтобы обеспечить максимум некоторого критерия точности идентификации неизвестных параметров θ . Для решения поставленной таким образом задачи на практике применяют обычно или информационный критерий Фишера (см., например, [10]) или критерий минимизации средней квадратической ошибки [6, 11]

$$J(\theta) = E \left[\sum_{j=0}^N \int_0^{t_f} |Y(t, z^j) - H(t, z^j; \theta)|^2 dt \right], \quad (4)$$

где $\|\cdot\|$ – норма в евклидовом пространстве.

Основными недостатками методов параметрической идентификации для систем с распределенными параметрами, в том числе и для экосистемы (с точки зрения оптимизации сети экологических наблюдений), являются слабая проработка вопросов оценки качества указанных методов на фактическом материале и неучет в численных схемах (при имеющихся возможностях) подвижных измерительных датчиков, что позволило бы реализовать проблему оперативного слежения за загрязнением атмосферы не только с помощью определенного количества стационарных постов, но и с привлечением подвижных (мобильных) измерительных систем, для которых в этом случае определяются оптимальные траектории и скорости их передвижения.

Наряду с методами параметрической идентификации для решения задач оптимизации сети экологических наблюдений (при предположении, что поле загрязнений является случайным) используются также и другие методы, в частности методы, базирующиеся на теории планирования эксперимента (см., например, [12, 13]) и на использовании корреляционных (структурных) функций пространственного распределения загрязнений [14]. Более подробные и полные сведения о методах, применяемых в настоящее время для решения задач по оптимальному размещению пунктов наблюдений за загрязнением воздушной среды, можно получить из обзоров [7, 13].

3. Состояние и развитие работ в области создания автоматизированных систем локально-регионального мониторинга атмосферных загрязнений

Накопленный опыт организации и ведения экологического мониторинга атмосферы в различных регионах нашей страны однозначно свидетельствует о том, что планирование и проведение природоохранных мероприятий в масштабах отдельных территориально-экономических районов должны основываться на оперативной, достоверной и максимально полной информации о состоянии загрязнения воздушного бассейна, причем полученной не только вблизи источников выброса загрязняющих веществ, но и в окрестностях крупных промышленных центров и близлежащих районов. Поскольку существующая отечественная система экологического мониторинга атмосферы ограниченных территорий не отвечает, как уже было показано выше, требованиям современной практики (особенно в части оперативности и репрезентативности получаемых данных и автоматизации процессов наблюдений и обработки экологической информации), то на повестку дня встал остро вопрос о скорейшем создании действенной автоматизированной системы локально-регионального мониторинга атмосферных загрязнений, которая разрабатывалась бы на основе новейших технических средств (и в первую очередь эффективных и наиболее перспективных систем лазерного зондирования атмосферы [4, 15]) и современных информационных технологий, например, геоинформационной технологии, получившей широкое распространение за рубежом при решении задач оценки природных ресурсов [16, 17]. Данная система, которая может быть элементарной (базовой) ячейкой общегосударственной системы экологической безопасности (примерная структура последней представлена на рис. 1), должна удовлетворять определенным требованиям, а именно:

- дополнять (за счет новых автоматизированных систем наземного экологического контроля) имеющуюся в стране стандартную сеть экологических наблюдений;

- иметь в своем составе автоматизированные мобильные станции и воздушные (на базе самолетов, вертолетов, аэростатов и др.) контрольно-измерительные комплексы;

- быть способной интегрировать (на основе подсистем связи и обработки данных) результаты экологического контроля, осуществляемого всей совокупностью контрольно-измерительных датчиков;

- обеспечивать надежное площадное оценивание и прогноз экологического состояния воздушного бассейна города (или промышленного центра) на основе фоновой (климатической) и оперативной информации, поступающей от всех систем контроля, расположенных на территории города и близлежащих районов;

- быть способной к быстрой адаптации в автоматизированные системы более высокого уровня, вплоть до национального или даже глобального уровня.

Анализ имеющихся публикаций показывает, что если в зарубежных странах уже появился ряд подобных автоматизированных систем и некоторые из них охватывают территории целых городов и даже регионов (см., например, [18, 19]), то в нашей стране известна лишь одна аналогичная отечественная система АНКОС-АГ [2, 20], основными функциями которой являются:

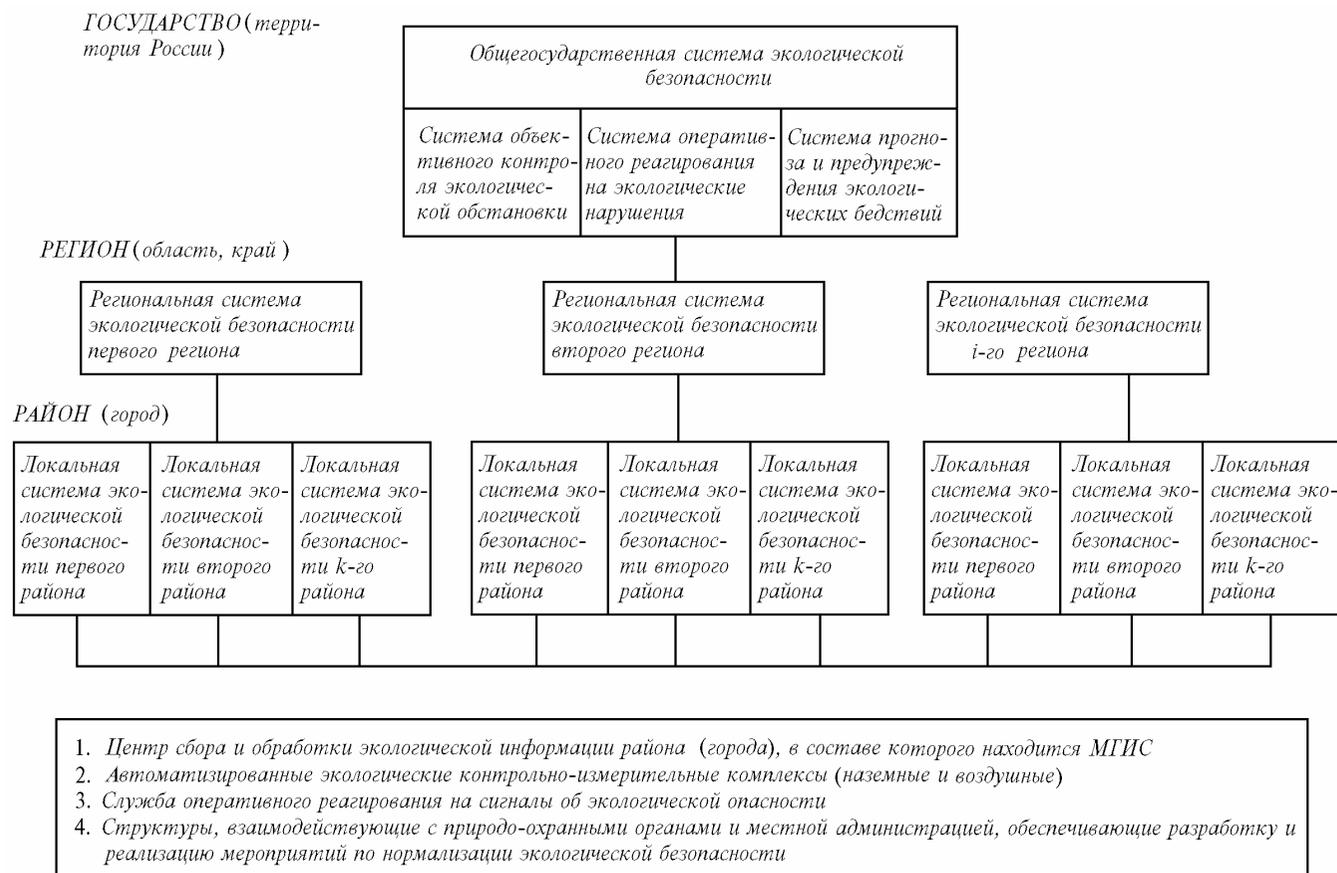
- автоматический сбор и накопление информации о загрязнении атмосферы основными примесями (CO , SO_2 , NO_x , $\Sigma \text{CH}-\text{CH}_4$, O_3), а также данных о ее метеорологическом режиме, представленном характеристиками температуры и ветра;

- выявление высоких концентраций загрязняющих веществ, превышающих установленные ПДК, и передача штормовых предупреждений;

- краткосрочное прогнозирование уровня загрязнений;

- анализ причин превышения ПДК и выдача рекомендаций промышленным предприятиям по сокращению выбросов вредных веществ в атмосферу во время неблагоприятных метеорологических условий.

Однако несмотря на то, что эта система поступила лишь недавно на опытную эксплуатацию, она не получила широкого распространения на практике. Поэтому не случайно, что проблема создания автоматизированных систем экологического мониторинга ограниченного воздушного бассейна, по-прежнему, находится под пристальным вниманием специалистов, а ее скорейшее решение является одной из основных задач, реализуемых в период 1993–1995 гг., Федеральной целевой комплексной научно-технической программы <Экологическая безопасность России> [21].



Примерная структура общегосударственной системы экологической безопасности

Несмотря на известные трудности, связанные с решением проблемы автоматизации ведения экологического мониторинга ограниченного воздушного бассейна, в настоящее время появились определенные предпосылки к ее успешной реализации в самые ближайшие годы. Этому способствует ряд важных обстоятельств:

во-первых, в существующие традиционные системы экологического мониторинга с недавнего времени стали внедряться новые эффективные средства дистанционного зондирования атмосферных загрязнений – лазерные локаторы (см., например, [22]), которые завоевывают все более прочные позиции;

во-вторых, на вооружение экологической службы в самые ближайшие годы могут поступить современные автоматизированные мобильные станции, предназначенные для диагностики промышленных загрязнений воздушной среды на территории промышленного города (станция подобного типа <ЭКОЛИД> описана в [23]);

в-третьих, начинают все более широко применяться в практике экологических наблюдений специализированные самолеты-лаборатории, предназначенные для локально-регионального контроля состояния окружающей среды (среди них следует отметить самолет-лабораторию Ан-30 <Оптик-Э> для зондирования атмосферы над городами и промышленными районами, который создан специалистами ИОА СО РАН и показал значительную эффективность при опытной эксплуатации [24, 25]);

в-четвертых, в связи с появлением мощной вычислительной техники и современных видов информационных технологий (например, геоинформационной) стало вполне возможным создание эффективной автоматизированной системы интеллектуальной поддержки решения задач атмосферно-экологического мониторинга.

Все это дает широкие возможности для разработки принципиально новой автоматизированной системы локального (муниципального) экологического мониторинга воздушной среды. Поэтому авторы [26] (с учетом накопленного опыта экспедиционных работ) предложили для реализации в самом ближайшем будущем проект достаточно совершенной системы локального мониторинга атмосферных загрязнений <Город>, которая строится по централизованному принципу и включает в себя три основных подсистемы контроля: комплекс лазерных и акустических локаторов, наземные стационарные посты экологических наблюдений и автоматизированные мобильные станции, а также центральный пульт управления, обеспечивающий управление всей системой контрольно-измерительных датчиков и осуществляющий все процедуры сбора и обработки полученной информации.

К сожалению, и предложенная система <Город> не отвечает в полной мере существующим требованиям. В частности, проект этой системы не предусматривает применения объективного (численного) подхода (с использованием, например, методов параметрической информации [8, 9]) к решению задачи оптимального размещения контрольно-измерительных датчиков. Эта задача решается авторами [26] на основе менее эффективного подхода, основанного на расчете автокорреляционных функций поля загрязнений по данным самолетного зондирования, осуществляемого над городом на высотах 100 – 200 м, и качественном исключении пунктов, которые не попадают в узлы шлейфов от разных предприятий, расположенных на территории города, при различных направлениях ветра.

Такой подход, на наш взгляд, не может быть достаточно объективным, так как в подобном случае совершенно не учитываются специфика приземной атмосферы (до высоты 50–100 км [27]) и большое разнообразие ветрового и турбулентного режима внутри города, которые определяют перенос атмосферных загрязнений в зависимости от характера подстилающей поверхности (и в первую очередь, от неровностей ее рельефа), от расположения улиц, жилых и промышленных зданий (особенно высотных), от наличия в центре города острова тепла и т.д. [2].

Кроме того, при создании подсистемы сбора и обработки данных, являющейся одним из основных элементов автоматизированной системы <Город>, не используются принципы современной геоинформационной технологии, которая может служить эффективным средством для ведения экологического мониторинга атмосферы на ограниченных территориях.

4. Основные принципы создания муниципальных информационных систем, разрабатываемых на базе геоинформационной компьютерной технологии

Существующая сеть экологических наблюдений не в состоянии обеспечить решение таких ключевых проблем атмосферно-экологического мониторинга, как:

а) раннее обнаружение внезапных промышленных выбросов в атмосферу города, происходящих в результате аварий или нарушения технологических процессов, с целью оперативной выработки необходимых природоохранных мер по устранению возможных опасных последствий загрязнения;

б) оперативное оценивание масштабов распространения загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу в результате крупных и катастрофических аварий, для определения размеров пораженной территории и обеспечения экологической безопасности в зоне бедствия;

в) сверхкраткосрочное и краткосрочное прогнозирование процессов загрязнения атмосферного воздуха на основе результатов наблюдений лишь имеющейся сети стационарных экологических станций.

Поэтому при разработке современной муниципальной системы экологического мониторинга атмосферы, способной решить все перечисленные выше ключевые проблемы, необходимо не только модернизировать и расширять существующую сеть экологических наблюдений (за счет включения в нее автоматизированных систем оперативного контроля воздушной среды типа <Город> [26] и эпизодического использования специализированных самолетов-лабораторий), но и создавать эффективную компьютерную систему информационного обеспечения, которая бы осуществляла интеллектуальную поддержку решения различных экологических задач.

Поскольку многие аспекты модернизации сети экологических наблюдений и современные методы и средства контроля достаточно хорошо освещаются в работах [19, 20, 22–24, 26, 28], то в настоящей статье останавливаться на них нет никакого смысла, и поэтому основное внимание уделим рассмотрению некоторых проблем, связанных с разработкой типовой автоматизированной информационной системы, предназначенной для интеллектуальной поддержки решения задач локального экологического мониторинга атмосферы (например, в масштабах промышленного города). В качестве подобной системы, на наш взгляд, следует использовать муниципальную геоинформационную систему (МГИС), которая должна разрабатываться на основе самой совершенной геоинформационной компьютерной технологии, позволяющей наиболее эффективно:

- организовать различные виды информации и ввести их в соответствующую пространственно-временную структуру;

- построить пространственно-структурную модель контролируемой территории;

- обеспечить оптимальную реализацию всех процедур интеллектуальной поддержки решения задач атмосферно-экологического мониторинга, в том числе сбора и ввода в машинную среду данных измерений, поступающих от всех контрольно-измерительных датчиков, анализа и обработки полученной информации (с целью оценки текущего и ожидаемого состояния загрязнений воздушной среды), представления результатов расчета в табличном, графическом, картографическом или ином виде;

- дать широкие возможности для манипулирования многослойной и разнородной информацией (например, географической, климатической, экологической и т.п.).

При этом данная геоинформационная система должна создаваться, с одной стороны, на базе персонального компьютера типа IBM PC/AT 386 (486) с процессором и периферийным оборудованием, включающим в свой состав:

- средства ввода в машинную среду, представленные устройствами цифрования (с помощью цифрователей с ручным обводом – дигитайзеров) или сканирования (с использованием сканирующих и телевизионных систем планшетного или барабанного типа), а также приборами для представления позиционных данных в растровом или векторном форматах;

- средства ввода данных и документирования результатов, включающие в себя видеотерминалы с драйверами одно- и двухэкранной визуализации (типа MDA, HERCULES, EGA, VGA и др.), принтеры (матричные и лазерные), графопостроители и другие устройства ввода.

С другой стороны, ГИС должна создаваться на основе специального (тематического и системного) программного обеспечения существующих ГИС, например ГИС PC ARC/INFO [29], которая предназначена для сферы IBM-совместимых персональных ЭВМ и поддерживает ввод пространственно-распределенных данных, векторное представление точечных, линейных и других форм объектов в виде набора информационных слоев, создание и хранение их тополого-геометрических и содержательных атрибутов, различные аналитические и графические операции обработки данных, включая генерацию картографической информации и манипуля-

цию с различными ее информационными слоями.

Подобный подход к созданию МГИС наиболее полно и эффективно позволит удовлетворить ряд требований, которые предъявляются к таким системам, а именно:

1. Данная муниципальная геоинформационная система должна иметь локальный характер и строиться с учетом специфики атмосферно-экологических процессов и состояния природной среды в пределах контролируемой территории;

2. Созданная МГИС должна представлять широкие возможности для интегрирования, обработки, систематизации и анализа разнородной (в том числе разномасштабной и получаемой с различной периодичностью) информации;

3. Информационно-программные средства МГИС должны обеспечивать формирование информационных компьютерных баз с пространственно-распределенными данными, отражающими географические, климатические, природоресурсные и иные особенности контролируемой территории, а также иметь в своем составе некоторый <математический полигон>, который включает в себя совокупность моделей различного типа (физико-статистических, гидродинамических, фотохимических), необходимых для моделирования атмосферных процессов и оценки текущей и ожидаемой экологической обстановки;

4. Муниципальная геоинформационная система должна иметь распределенную конфигурацию, основой которой является вычислительная сеть, обеспечивающая оперативное взаимодействие Центра обработки данных, где находится центральная рабочая станция с удаленными стационарными и подвижными контрольно-измерительными датчиками, а также с системами контроля воздушного базирования;

5. Системная архитектура муниципальной ГИС должна представлять возможность высокопроизводительной работы всех ее подсистем и поддерживать модульный принцип построения системы, который позволил бы свободно проводить последующую интеграцию в нее дополнительных программных информационных модулей;

6. Муниципальная ГИС должна включать в свой состав подсистему автоматизированного принятия решений, обеспечивающую анализ сложных экологических ситуаций, возникающих на контролируемой территории, оценку возможных последствий различных сценариев их развития и выработку рекомендаций природоохранным органам для принятия обоснованных решений по минимизации наносимого ущерба окружающей среде;

7. Муниципальная ГИС должна быть способной к быстрому интегрированию в автоматизированные информационные системы более высокого уровня (от регионального до общегосударственного или даже глобального уровней).

Структура и функциональные возможности ГИС данного класса рассматриваются в статье [30], представленной в настоящем сборнике.

Таким образом, использование геоинформационной технологии при разработке систем экологического мониторинга атмосферы ограниченных территорий (например, в масштабах города) позволяет обеспечить единый комплексный подход к решению указанных проблем и создать научную основу для интеллектуальной поддержки решения задач по охране окружающей среды и обеспечения экологической безопасности.

1. Белов П. Н. // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 1990. N 5. С. 16–24.
2. Владимиров А. М., Ляхин Ю. А., Матвеев Л. Т. Охрана окружающей среды. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 424 с.
3. Рыбальский Н. Г., Жакетов О. Л., Ульянова А. Е. Справочник эксперта и изобретателя. Ч. 1. Экологические аспекты экспертизы изобретений. М.: ВНИИПИ, 1989. 356 с.
4. Зуев В. Е., Зуев В. В. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1992. 231 с.
5. Герман М. А. Космические методы исследования в метеорологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 351 с.
6. Malebranche H. // Int. J. Syst. Sci. 1988. V. 19. N 8. P. 1387–1395.
7. Kubrusly C. S., Malebranche H. // Automatics. 1985. V. 21. N 2. P. 117–181.
8. Гайтман Н. С., Богданов В. О., Кнеллер Д. В. // Автоматика и телемеханика. 1982. N 6. С. 5–17.
9. Корбич Ю., Уцински Д. // Труды четвертой Международной научно-технической конф. Киев, 1990. С. 101–107.
10. Rafajowicz E. // IEEE Trans. AUT. Control. 1983. V. AC–28. N 7. P. 806–817.
11. Ажогин В. В., Згуровский М. З., Корбич Ю. С. Методы фильтрации и управления стохастическими процессами с распределенными данными. Киев: Высшая школа, 1988. 447 с.
12. Бримкулов У. Н., Круг Т. К., Саванов В. Л. Планирование экспериментов при исследовании случайных полей и процессов. М.: Наука, 1986. 351 с.

13. Пененко В.В., Алоян А.Е. Модели и методы в задачах охраны окружающей среды. Новосибирск: Наука, 1985. 256 с.
14. Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 200 с.
15. Зуев В.Е., Кауль Б.В., Самохвалов И.В. и др. Лазерное зондирование промышленных аэрозолей. Новосибирск: Наука, 1986. 188 с.
16. Schultink G. // Can. J. Remote Sens. 1984. V. 9. N 1. P. 4–18.
17. Shore W.G., Paulson R.W. // IAHS Publ. 1986. N 160. P. 13–21.
18. Nadal M. // Rev. gen. sceng. 1987. N 66. P. 62–64.
19. Туманова Н.А. Автоматизированные системы контроля качества окружающей среды. М.: ВНИИЦ, 1989. 107 с.
20. Примак А.В. // Автоматизация контроля загрязнения окружающей среды. М.: Наука, 1985. С. 14–21.
21. Федеративная целевая комплексная научно-техническая программа Экологическая безопасность России (1993–1995 гг.). М.: Зеленый мир. Спецвыпуск, декабрь 1992 г. С. 3–14.
22. Балин Ю.С., Разенков Н.А. // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. N 2. С. 169–188.
23. Барышников В.Ф., Земляновский Л.Д., Ивакин Ю.А. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 2. С. 177–181.
24. Белан Б.Д. // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. N 1. С. 5–32.
25. Белан Б.Д. // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. N 2. С. 205–222.
26. Балин Ю.С., Белан Б.Д., Надеев А.Н., Панченко М.В. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 2. С. 163–176.
27. Хромов С.П., Мамонтова Л.Н. Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 568 с.
28. Зуев В.В., Зуев В.Е. // Лазерный экологический мониторинг газовых компонент атмосферы. Итоги науки и техники. Серия метеорология и климатология. Т. 20. М.: ВИНТИ. 1992. 182 с.
29. Pс ARC/INFO, ESPI, California. USA. 1991.
30. Зуев В.Е., Комаров В.С., Калинин А.Н., Михайлов С.А. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 2. С. 132–145.

Институт оптики атмосферы
СО РАН, Томск

Поступила в редакцию
15 ноября 1993 г.

V. S. Komarov. Some Problems of the Ecological Monitoring over Limited Areas.
Some problems concerning ecological monitoring of the atmosphere over limited areas (on the scale of a city or an industrial district) are discussed. The problems are related to optimizing the nets of ecological observations and creation of automated systems for *in situ* control of air pollutions. Some aspects of the methodology of arranging municipal information system of intellectual support for solving the problems on atmospheric ecology are also discussed in the paper.