

ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 502.36

**АВТОМАТИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
ТЕРРИТОРИИ АЭРОПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА
МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

В.Н. ЭКЗАРЬЯН, В.В. РУКАВИЦЫН, М.В. ЗЮЛЯЕВА

*Российский государственный геологоразведочный университет
117997 Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая д.23; e-mail: vadichruk@list.ru*

Выявлены основные критерии загрязнения района аэропорта на основании изучения данных об экологическом состоянии различных аэропортов мира и проведения ряда натурных измерений, таких как анализ атмосферного воздуха, анализ грунтовых, поверхностных и сточных вод, измерения шума. Описана структура такой системы, источники данных и функциональные возможности. Представлена система формирования прогнозов состояния окружающей среды с элементами машинного обучения, включающая в себя станции автоматического мониторинга окружающей среды, информационно-аналитическую подсистему и подсистему публикации обработанной информации.

Ключевые слова: комплексный экологический мониторинг; территория аэропорта; окружающая среда; машинное обучение.

**AUTOMATION OF THE COMPLEX ECOLOGICAL MONITORING
OF THE TERRITORY OF THE AIRPORT USING THE METHOD
OF MACHINE LEARNING**

V.N. EKZARIAN, V.V. RUKAVITSYN, M.V. ZYULYAEVA

*Russian State Geological Prospecting University
117997, Russian Federation, Moscow, Miklouho-Maklay's street, 23; e-mail: vadichruk@list.ru*

The main criteria of the airport territory pollution have been revealed during both studying of the data for the ecological conditions of the various airports of the world and carrying out a number of the field measurements. They have been: atmospheric air analysis, analysis of the ground, surface and waste water, measurements of the noise. The structure of such system, the sources of its data and the functionality have been described. The system of the environmental forecasts formation with machine learning elements has been presented. It includes stations of the automatic environmental monitoring, a subsystem of the information analysis and a subsystem of the processed information publication.

Keywords: complex environmental monitoring; airport area; environment; machine learning.

Комплексный экологический мониторинг окружающей среды включает комплексную систему наблюдений за состоянием окружающей среды, её оценку и прогноз изменений состояния под воздействием природных и техногенных факторов.

Основными задачами комплексного экологического мониторинга являются:

1) выполнение требований действующего природоохранного законодательства Российской Федерации в области организации и ведения комп-

лексных экологических мониторингов окружающей среды;

2) получение и накопление информации об источниках загрязнения и состоянии компонентов природной среды в зоне влияния объекта;

3) анализ и комплексная оценка текущего состояния различных компонентов природной среды и прогноз изменения их состояния под воздействием природных и техногенных факторов;

4) информационное обеспечение руководства объекта для принятия плановых и экстренных управленческих решений;

5) подготовка, ведение и оформление отчётной документации по результатам комплексного экологического мониторинга.

Авторами проанализирована концепция системы комплексного экологического мониторинга окружающей среды и управления экологическими рисками в районе аэропорта с использованием машинного обучения в качестве прогнозного модуля. Предлагаемая система может быть использована как для аэропортов гражданской авиации, так и военной. Разница заключается лишь в степени открытости получаемой информации.

В России комплексные автоматические системы мониторинга в районе влияния аэропортов на окружающую среду не применяются. В основном проводится стандартный мониторинг шума, атмосферного воздуха и воды при помощи обычных замеров и отборов проб с последующим анализом в лаборатории. Подобная система удобна и экономична в эксплуатации, однако она не предусматривает введения автоматизации и не включает мониторинг шума в процессе эксплуатации аэропорта. В мировой практике используют элементы частичной автоматизации мониторинга атмосферного воздуха и шума, иногда поверхностных вод и вывод данной информации в режиме реального времени на сайт аэропорта [6, 8–10].

Выявление приоритетных загрязнителей

Для создания системы автоматического мониторинга аэропорта необходимо пользоваться технологиями, позволяющими проводить постоянные измерения требуемых параметров без участия человека. В связи с этим для анализа были выбраны атмосферный воздух, поверхностные, грунтовые и сточные воды, а также шум. Анализ почвы на данный момент не может осуществляться при помощи стационарных автоматических станций мониторинга, поэтому он не был включен в данный список. Однако данные по загрязнению грунтовых и поверхностных вод должны восполнить этот пробел. В итоге будут получены данные о комплексном состоянии природной среды в районе аэропорта.

Радиолокационные станции (РЛС) и различные антенны, имеющиеся в каждом аэропорте, инду-

цируют электромагнитное излучение (ЭМИ), радиус действия которых составляет от 5 до 100 км. Диапазоны излучения 300–300000 МГц. Однако постоянный мониторинг ЭМИ на границе аэропорта не целесообразен, поскольку оборудование уже существует и проходит проверку на излучение при установке. Далее излучение не изменяется при условии отсутствия внедрения новых радиолокационных установок. При вводе в эксплуатацию здания проходят экспертизу на ЭМИ и экспертное заключение свидетельствует о соответствии значений высокочастотного излучения нормативным значениям.

Загрязнение атмосферного воздуха. Исходя из проведённых авторами исследований, включающими анализ всех источников выбросов в атмосферу аэропорта Домодедово, проведения натурных измерений, а также анализа ежегодных отчётов о состоянии окружающей среды в районе иностранных аэропортов [6, 8–10], основным источником загрязнения приземного слоя воздуха в районе аэропортов является эмиссия авиационных двигателей во время взлётно-посадочного цикла воздушных судов. За счёт эмиссии в нижние слои атмосферы поступает около 77% общего количества вредных веществ, загрязняющих воздух в зоне аэропортов.

Измеряемые компоненты в атмосферном воздухе были выбраны из числа оказывающих наибольший вклад в общий выброс в районе аэропорта.

При измерении параметров воздушной среды анализируются диоксид азота, диоксид серы, суммарные углеводороды и оксид углерода. В результате проведённых исследований было установлено, что данные компоненты содержатся в выбросах воздушных средств (ВС) и оказывают наибольшее воздействие на окружающую среду. Пробы атмосферного воздуха отбираются на высоте 2 м от поверхности земли в соответствии с требованиями нормативной документации.

Одновременно с измерениями проводятся наблюдения на метеостанциях, за атмосферным давлением, температурой, влажностью, скоростью и направлением ветра. Измерения ведутся автоматически 24 ч ежедневно.

Загрязнение воды. Наряду с загрязнением атмосферы в зоне аэропорта происходит значительное загрязнение поверхностных вод. К этому приводит главным образом сброс производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод, содержащих различные вредные примеси, такие как этиленгликоль, нефтепродукты, нитраты, а также осаждение на поверхности водоёмов токсичных веществ, поступающих в атмосферу при авиатранспортных процессах.

Отбор проб воды следует проводить из организованных выпусков сточных вод; водоёмов, расположенных ниже по течению после попадания сточ-

ных вод аэропорта в поверхностные воды; специально организованных пьезометров для отбора проб из первого водоносного горизонта.

Анализ сточных, поверхностных и грунтовых вод осуществляется автоматически при помощи стационарной станции комплексного экологического мониторинга окружающей среды, которая анализирует поверхностные воды каждые 15 мин. Предлагаемая система комплексного экологического мониторинга позволяет постоянно оценивать степень загрязнения и его распространение на территории исследований. Контроль состояния сточных, поверхностных и грунтовых вод с указанной частотой даёт возможность оценить скорость и ареал распространения загрязнения от сбросов аэропорта. Системой автоматически фиксируются следующие компоненты: биологическое потребление кислорода; минерализация; растворенный кислород; взвешенные вещества; температура; содержание аммония; pH; количество хлоридов (Cl^-); железа общего; нитратов; нефтепродуктов; этиленгликоля.

Данные вещества были выбраны в результате анализа комплексных экологических мониторингов окружающей среды на территориях различных аэропортов. Эти вещества контролируются в ведущих аэропортах и вносят наибольший вклад в загрязнения воды в процессе функционирования аэропорта.

Шумовое загрязнение. По результатам измерений населённые пункты, расположенные в радиусе 15 км от крупных аэропортов, находятся в дискомфортных акустических условиях [3]. В некоторых населённых пунктах первое место среди всех источников шума, таких как автомобили, промышленные предприятия и коммунальное хозяйство, занимает воздушный транспорт.

При круглосуточной интенсивной эксплуатации аэропортов уровни звукового давления в прилегающих населённых районах достигают 80 дБ в дневное время, а в ночное — 78 дБ. Максимальные уровни звукового давления колеблются в пределах 92—108 дБ. [3]

Уровень авиационного шума в окрестностях аэропорта зависит от направления взлётно-посадочных полос и трасс полётов самолетов, интенсивности полётов в течение суток, сезонов года, от типов самолетов, базирующихся на аэродроме, и других факторов.

Посты комплексного экологического мониторинга окружающей среды располагаются с учётом загруженности взлетно-посадочных полос и маршрутов взлетов и посадок на расстоянии 1,5 и 4 км от края взлётно-посадочной полосы. Измерения шума проводятся 24 ч в сутки. Круглосуточный контроль обеспечивает регистрацию всех случаев нарушения установленных ограничений, обеспечивая тем самым максимальную эффективность применяемых в аэропорту методов снижения шума.

При фиксации шумового воздействия в ночное время на уровне более 80 дБ система будет выдавать предупреждение. При фиксировании превышений звукового давления в систему заносятся также данные о действиях, производимых самолётом, типе самолёта и времени суток. Каждый пункт мониторинга шума должен быть оборудован микрофоном. Одновременно с проведением должны фиксироваться метеопараметры. Каждый такой пункт должен быть связан с диспетчерской базой аэропорта.

Автоматизация системы комплексного экологического мониторинга

Структура автоматизированной системы. Разрабатываемая автоматизированная система комплексного экологического мониторинга должна состоять из подсистем сбора информации о состоянии атмосферы, шумового загрязнения, поверхностных вод, грунтовых вод, сточных вод, информационно-аналитической подсистемы и подсистемы публикации сведений комплексного экологического мониторинга окружающей среды (рис. 1).

Планируется, что структура современной автоматизированной системы комплексного экологического мониторинга должна быть многоуровневой [1]. Верхним уровнем будет являться территориальный информационно-аналитический центр, выполняющий следующие функции:

- 1) получение информации от информационно-аналитических центров среднего уровня и от части автоматизированных (стационарных и мобильных) систем комплексного экологического мониторинга окружающей среды;
- 2) постоянный анализ экологической информации, выявление тенденций и экологически опасных участков;
- 3) моделирование и прогнозирование различных чрезвычайных ситуаций, оценка их последствий;
- 4) выработка рекомендаций для принятия управленческих решений в чрезвычайных ситуациях;
- 5) формирование банка данных об экологическом состоянии отдельных городов и районов, а также региона в целом;
- 6) моделирование и долгосрочное прогнозирование экологического состояния окружающей среды.

На среднем уровне системы будут расположены информационно-аналитические центры, собирающие информацию об экологическом состоянии территории.

Нижний уровень системы образуют автоматизированные узлы контроля окружающей среды, включающие автоматизированные стационарные посты и передвижные контрольно-измерительные лаборатории, выполненные на базе автомобиля.

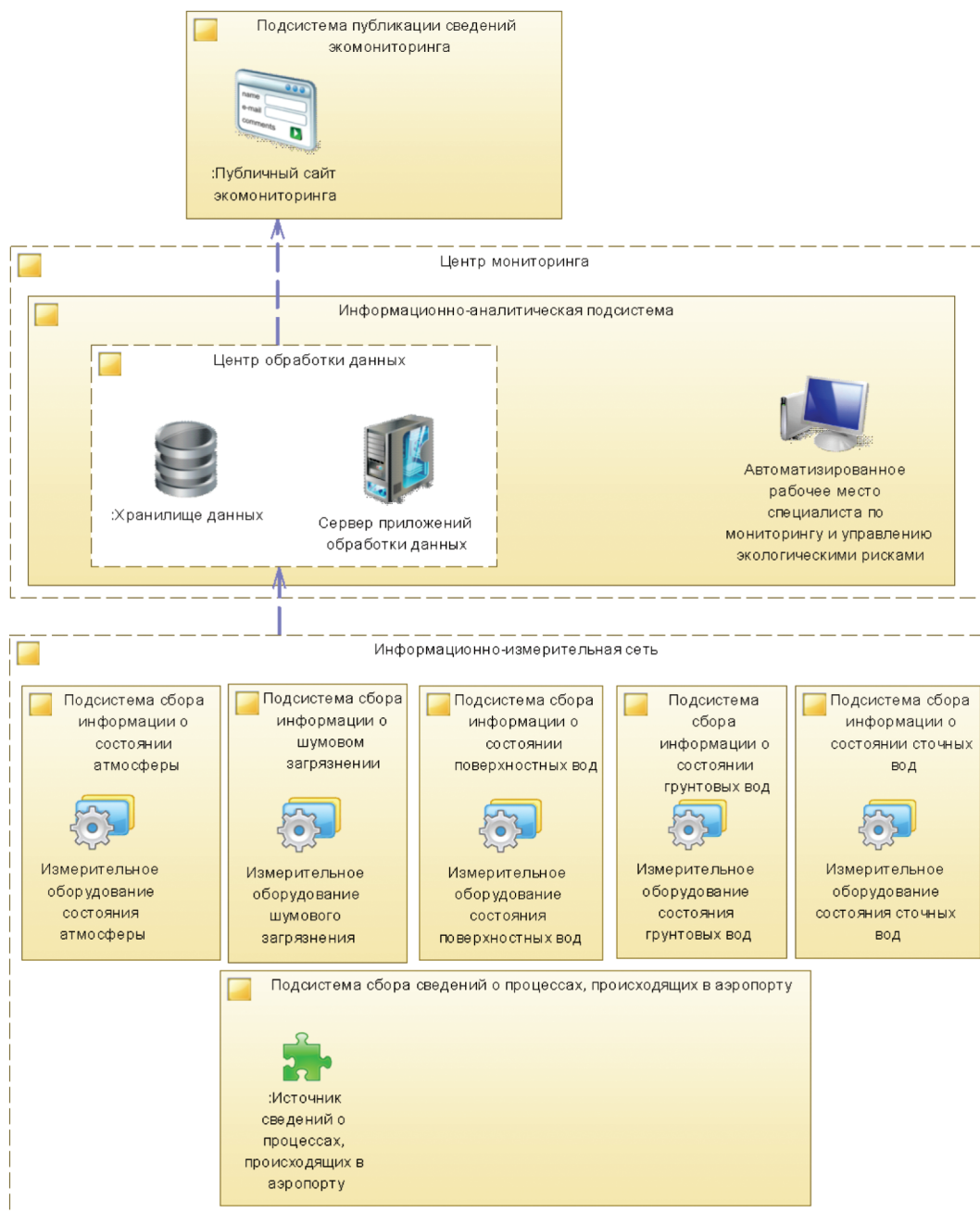


Рис. 1. Функциональная структура системы комплексного экологического мониторинга окружающей среды

Информация с метеорологических станций, локальных информационно-аналитических центров, передвижных постов по проводным и беспроводным линиям связи в режиме реального времени будет поступать в автоматизированную систему комплексного экологического мониторинга окружающей среды, позволяя оперативно отслеживать происходящие изменения и вырабатывать решения, направленные на нормализацию экологической обстановки.

Источники данных для автоматизированной системы. Измерительное оборудование, которое устанавливается на автоматических станциях комплексного экологического мониторинга окружа-

ющей среды и проводит анализ по выявленным параметрам [4].

Источниками данных для центра комплексного экологического мониторинга окружающей среды является информационно-измерительная сеть.

Источником данных для публичного сайта комплексного экологического мониторинга окружающей среды является хранилище данных его центра.

Способы получения информации и оповещения оператора. Система обеспечивает максимально возможную автоматизацию всех этапов комплексного экологического мониторинга.

Посты контроля метеопараметров, состояния атмосферы, воды и шумового воздействия оснаща-

ются специальной аппаратурой, с помощью которой все измерения производятся автоматически. Это значит, что с установленной периодичностью результаты измерений загрязняющих веществ автоматически передаются в информационно-аналитический центр. При обнаружении превышения ПДК система автоматически генерирует сигналы оповещения.

Если с контрольного поста поступили результаты измерений, показывающие превышения допустимого уровня воздействия на окружающую среду, то этот пост обязательно обратит на себя внимание оператора. Система предоставит сведения о месте измерения, степени превышения и сравнит результат с расчётными характеристиками.

Генерация изображений, надписей и заголовков производится автоматически, что позволяет исключить вероятность случайных ошибок, неизбежных при участии человеческого фактора.

Также при превышении ПДК происходит сопоставление измеренных параметров с данными о процессах, происходящих в аэропорту, и типе самолёта, совершающего передвижения, взлёт или посадку.

Все полученные системой комплексного экологического мониторинга окружающей среды данные должны выкладываться в режиме он-лайн на специально созданный сайт. На том же сайте необходимо предоставление данных расчёта рассеивания загрязнения атмосферного воздуха и карт общего экологического загрязнения. Шумовое загрязнение также будет отображаться в режиме он-лайн. Создание сайта позволяет представлять информацию об экологическом состоянии в режиме реального времени всем, у кого будет доступ к

этому сайту, в том числе и удаленно. Такие технологии делают систему более открытой, удобной в использовании, а также позволяют облегчить её контроль со стороны лиц, принимающих решения.

Формирование прогнозов состояния окружающей среды

На основе получаемых данных от постов комплексного экологического мониторинга окружающей среды формируется база данных. При этом во время фиксации превышений ПДК по каждому компоненту природной среды производится комплекс мер, и принимается ряд решений для минимизации ущерба. Все эти решения также должны заноситься в базу данных системы комплексного экологического мониторинга.

При составлении базы данных на основе предоставленной информации возможно формирование автоматическую систему прогнозирования с постоянным повышением точности прогноза по мере увеличения объёма данных. Такую систему можно создать при помощи машинного обучения.

Современная наука предоставляет широкий спектр алгоритмов в области машинного обучения. Предполагается использование набора доступных данных, подготовленных экспертами, в качестве обучающих примеров, чтобы «научить» машину, что и как делать в каждой конкретной ситуации. Этот метод называется «обучением с учителем». При этом исходные данные обрабатываются и разбиваются на две выборки: обучающую и тестовую.

Детальная схема машинного обучения, при решении задачи классификации, представлена на рис. 2.

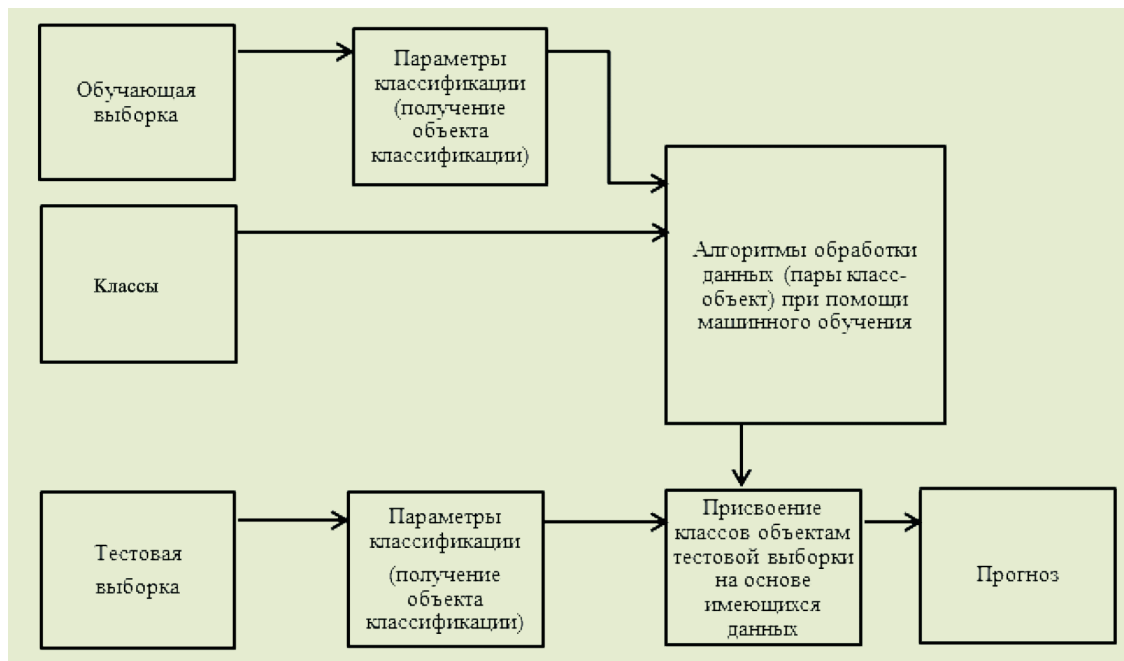


Рис. 2. Схема машинного обучения

Обучающая выборка — выборка, по которой осуществляется оптимизация параметров модели. Они оптимизируются (обучаются) таким образом, чтобы модель могла наиболее точно проводить классификацию входящих данных.

Если модель зависимости построена по обучающей выборке, то оценка качества этой модели, сделанная по той же выборке, оказывается, как правило, слишком завышенной. Это называется «переобучением». На практике оно встречается очень часто. Хорошую эмпирическую оценку качества построенной модели даёт её проверка на независимых данных, которые не использовались для обучения [7].

Для этого применяется тестовая выборка. Если обучающая и тестовая выборки независимы, то оценка, сделанная по тестовой выборке, является достоверной.

При обучении с учителем значение по каждой точке представляет собой пару объект—класс. Требуется найти функциональную зависимость классов от описаний объектов и найти алгоритм, на входе дающий описание объекта, состоящее из формализованного списка параметров, и выдающий на выходе определение класса объекта с достаточной точностью для каждого объекта. Критерий качества, как правило, определяется как средняя ошибка в определении классов, выданных алгоритмом по всем объектам выборки. Под учителем понимается либо сама обучающая выборка, либо тот, кто указал на заданных объектах правильные классы.

После получения информации при обучении машина может предложить решение, основанное на определённом сходстве с одним или более обобщёнными случаями, известными из проведённых моделирований. Такой подход в обучении машин пытается подражать поведению человека — «учителя» машины.

Таким образом, каждое измерение, заносимое в базу данных, будет сравниваться с текущей экологической обстановкой в районе исследования и с данными, полученными от предыдущих измерений. Благодаря этому компьютер сможет найти закономерности и спрогнозировать развитие неблагоприятной экологической ситуации в случае её возникновения и предложить оптимальное решение проблемы, основываясь на имеющемся опыте решения проблемы. Чем дольше будет работать такая система, тем точнее будут прогнозы и вернее советы по решению проблемы в связи с ростом базы данных и числа «выученных» машиной примеров поведения в различных ситуациях.

Машинное обучение позволяет решать даже самые сложные задачи классификации оперативно, а в случае построенной модели является продуктивным методом для решения задач проектирования и принятия решений.

Заключение

Авторами описана концепция автоматизации комплексного экологического мониторинга аэропорта с использованием машинного обучения.

Подобная система позволит:

1) осуществлять непрерывно в круглосуточном режиме комплексный экологический мониторинг уровней загрязнения атмосферного воздуха (физического и химического), водного бассейна, шумового воздействия на подконтрольной территории;

2) установить географическое месторасположение источников загрязнения и шума и оценивать их вклад и влияние на текущую экологическую обстановку (формирование профиля выбросов, график шумового воздействия);

3) сформировать и перманентно вести карту загрязнённости атмосферного воздуха (физического и химического), водного бассейна, подконтрольной территории;

4) сформировать и перманентно вести карту шумового воздействия на подконтрольной территории;

5) выявить неблагоприятные метеорологические условия, при которых на определенное время увеличивается концентрация загрязняющих веществ;

6) осуществлять прогнозирование изменений состояния окружающей среды;

7) служить инструментом контроля превышений предельно допустимых концентраций загрязнителей в режиме реального времени;

8) использовать режимы оповещения и предупреждения о возможном повышении загрязнённости в связи с неблагоприятными метеорологическими условиями;

9) обмениваться данными с автоматизированными источниками, в том числе:

вести приём измерительных данных от: стационарных экологических постов контроля загрязнения атмосферного воздуха; передвижных экологических постов контроля загрязнения атмосферного воздуха; стационарных постов измерения уровня шума; передвижных постов измерения уровня шума; с результатами выполненных в экологической лаборатории инструментальных измерений и лабораторных анализов от лабораторной информационной менеджмент-системы;

10) контролировать, обрабатывать, накапливать и хранить оперативные и справочные данные, результаты расчётов и служебную информацию;

11) отображать результаты измерений и расчётов на экране монитора/вывод на печать, в том числе в картографической среде;

12) сигнализировать о возникновении ситуаций с превышением предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ на подконтрольной территории;

13) проводить архивирование, копирование и восстановление информационных массивов;

14) вести базы данных, реализацию запросов на поиск и извлечение информации.

15) предоставить доступ по запросу заинтересованных лиц к информации по экологической ситуации, сформировав имидж «экологической открытости».

В состав автоматизированной системы комплексного экологического мониторинга окружающей среды должны входить: стационарные экологические

посты; оборудование для сбора и передачи данных; серверное оборудование; программное обеспечение; автоматизированное рабочее место специалиста.

Автоматизация системы комплексного экологического мониторинга с использованием машинного обучения позволит выполнять наблюдения за загрязнением окружающей среды более качественно и прогнозировать изменение ситуации с постоянно возрастающей точностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бушмелева К.И., Плюснин И.И., Сысоев С.М., Бушмелев П.Е., Ельников А.В. Концепция автоматизации экологического мониторинга загрязнения окружающей среды на территории ханты-мансийского автономного округа // Современные наукоемкие технологии. 2007. № 3. С. 41–43.
2. Горшков М.В. Экологический мониторинг. М.: ТГЭУ, 2010. 313 с.
3. Ененков В.Г. и др. Защита окружающей среды при авиатранспортных процессах. М.: Транспорт, 1984. 198 с.
4. Информационно-аналитическая система экологического мониторинга. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.airsoft-bit.ru/programecologs/115-eco-monitoring> — дата обращения: 01.09.16.
5. Рукавицын В.В., Экзарьян В.Н. Методика оценки уровня устойчивости экосистем при помощи машинного обучения // Известия вузов. Геология и разведка. 2015. № 1. С. 38–42.
6. Airport environment monitoring [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bksv.com/en/products/environment-management/airport-environment-monitoring> — дата обращения: 01.09.16.
7. Aha D., Kibler D. Instance-based learning algorithms // Machine Learning. 1991. No. 6. P. 37–66.
8. Copenhagen Airports A/S Environmental Report [Электронный ресурс]. URL: https://www.cph.dk/contentassets/fe47a2fb90bd4688a72aa2987119d645/miljo2001_uk.pdf — дата обращения: 01.09.16.
9. Madrid-Barajas Airport Environmental Management Report [Электронный ресурс]. URL: http://www.aena.es/csee/ccurl/54/66/barajas_M_A_WEB_ingok.pdf — дата обращения: 01.09.16.
10. Water Quality Monitored Continuously at Heathrow's T5 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ysi.com/File%20Library/Documents/Application%20Notes/A535-Water-Quality-Monitored-Continuously-at-Heathrow-Airport.pdf> — дата обращения: 01.09.16.