

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Потапов В.П.¹, Счастливец Е.Л.¹, Ковалев В.А.¹, Харлампенков И.Е.¹, Царев Д.С.²

¹Институт вычислительных технологий СО РАН, г. Новосибирск

²ООО «Сибэнергоуголь», г. Новокузнецк

Действующая система мониторинга угольной промышленности, в том числе Кузбасса, в целом практически не использует современных подходов к мониторингу природной среды, направлена на контроль ряда экологических параметров точечного характера и не позволяет обеспечить пространственного представления оценки и прогноза геоэкологического состояния, как угледобывающего предприятия, так и района угледобычи в целом. Эффективная система мониторинга, дающая комплексную оценку геоэкологического состояния на основе интеграции данных наземного и дистанционного мониторинга, моделирования состояния окружающей природной среды может быть создана только на базе современных информационных технологий.

Ключевые слова: мониторинг, дистанционное зондирование, информационно-вычислительная система, модели, экологическая безопасность.

Интенсификация горнодобывающих, а особенно угледобывающих работ год от года в Кемеровской области возрастает. Так если в 2017 году в Кузбассе было добыто 241,5 млн. тонн угля, а в 2018 году предполагается добыть свыше 243 млн. тонн угля [1]. При этом прирост добычи предполагается за счет, преимущественно, открытого способа добычи. Несмотря на то, что любое угледобывающее предприятие наносит окружающей природной среде неоспоримо гигантский вред, особо ярко это проявляется при добыче угля открытым способом. Прежде всего, это наблюдается в изменениях рельефа местности, выносу на поверхность гигантских объемов глубинных горных пород, механических повреждениях и ликвидации почвенного покрова, изменению и уничтожению растительных и животных сообществ. Значительному воздействию подвергаются поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух и возникновение акустического давления от работающих мощных горных машин и ведения массовых взрывов [2, 3, 4].

Зачастую районы угледобычи в Кузбассе находятся либо в границах населенных пунктов, либо непосредственно недалеко от них. Существующая в угольной промышленности система экологического мониторинга, хотя внешне и соответствует действующим нормативным документам, направлена на контроль ряда экологических параметров точечного характера, но не обеспечивает эффективную оценку геоэкологического состояния территории. Это, зачастую приводит к конфликту между угледобывающими компаниями и местным населением.

Современные подходы к мониторингу геоэкологического состояния районов ведения горных работ основываются на интеграции данных наземного и дистанционного мониторинга и расчетных методов [4, 5]. Это обеспечивается современными информационными и телекоммуникационными технологиями с использованием современных геоинформационных систем, данных дистанционного зондирования и современных методов накопления, обработки и анализа неоднородных пространственных данных на основе Big Data.

В современном представлении геоэкологический мониторинг — это система регламентированного сбора, систематизации, хранения, обработки и анализа информации об антропогенных изменениях окружающей природной среды для принятия управляющих решений. В целом, система должна обеспечивать выделение антропогенной составляющей изменения природной среды на фоне происходящих природных процессов и формироваться на основе определенных типовых процедур.

Обязательной чертой информационного обеспечения систем геоэкологического мониторинга угледобывающего предприятия является их распределенность, что обеспечивает размещение отдельных блоков системы в сети Internet с удаленным доступом на основе типовых программ клиента. Такой подход позволяет расширение системы мониторинга как за счет создания новых подсистем мониторинга, так и расширять их возможности за счет внедрения конкретных видов вычислительного сервиса, определяемого средствами облачных технологий и систем искусственного интеллекта, обеспечивают возможность объединения различных направлений создания геоинформационных систем в рамках геопорталов.

Программно-технологический комплекс разработанной информационно-вычислительной системы экологической безопасности угледобывающего предприятия обеспечивает:

- наземный и дистанционный (космический) мониторинг:
 - водных ресурсов;
 - почвенного покрова;
 - растительного покрова и животного мира;
 - снегового покрова;
 - распространение и выпадение загрязняющих веществ (ЗВ) из атмосферы;
- оценку и прогноз воздействия факторов угледобычи на природную среду и человека при ведении горных работ:
 - состояния и оценку качества водных ресурсов;
 - состояния и оценку качества и загрязнения атмосферного воздуха, и выпадения ЗВ;
 - состояние и оценку качества почв и растительности;
- при взрывных горных работах расчетный мониторинг (на каждый взрыв):
 - распространения и выпадения загрязняющих веществ из атмосферы;
 - сейсмического воздействия;
 - других физических факторов.

Система экологической безопасности угледобывающего предприятия является «открытой» и обеспечивает подключение новых модельных комплексов, цифровых карт, баз и банков данных, и программ автоматического формирования государственной экологической отчетности.

Предлагаемый подход к построению информационно-вычислительной системы экологической безопасности угледобывающего предприятия предполагает, что взаимодействие с пользователем осуществляется через веб-интерфейс. Поступающие запросы обрабатывает сервер приложений с установленными на нем компонентами информационной системы. Вызов вычислительных модулей осуществляется через сервис WPS, расположенный на картографическом сервере, который отвечает за отображение пространственных данных и результатов расчетов. Его масштабируемость обеспечивается за счет объединения кэширующего сервера с набором картографических серверов. Сервер данных обеспечивает решение задачи хранения данных, содержит средства загрузки и преобразования информации. Для организации взаимодействия между основными компонентами используются стандартные протоколы, разработанные OGC (WMS,

WFS, WCS, WPS и так далее). Управление картографическим сервером осуществляется через REST API.

Сервер данных. В качестве хранилища данных используется СУБД PostgreSQL, дополненная расширением PostGIS для управления пространственными данными. Данное решение обеспечивает приемлемый уровень надежности и быстродействия. Для организации доступа к базам данных применяется технология JDBC, библиотека Hibernate ORM.

Сервер приложений. В роли сервера приложений в нашем случае выступает Apache Tomcat в связке с технологией создания веб-приложений Java Servlet, языком Java и библиотекой Spring Framework. В данном компоненте сосредоточен код приложения, отвечающий за обработку пользовательских запросов, формирование интерфейса, генерацию запросов к картографическому серверу.

Вычислительный сервер. В данном компоненте сосредоточен программный код основных методов обработки геодинамических данных, используемых в информационной системе. Доступ к расчетным модулям со стороны клиента осуществляется по протоколу WPS. Реализован промежуточный слой управляющих сервисов (УС), который отвечает за обработку пользовательских запросов, формирование необходимых файлов заданий и запуск конкретных модулей с учетом форматов и архитектуры ранее созданного программного обеспечения. Программное обеспечение разработано с использованием языка программирования Java. Для операций с пространственными данными применяется библиотека GeoTools.

Картографический сервер. Его функции выполняет GeoServer. Основной задачей данного компонента является получение пространственных данных из хранилища данных и преобразование их в формат, пригодный для отображения на стороне клиента в соответствии с протоколами WMS и WFS. Выступает в роли хранилища стилового оформления для векторных слоев. Включает в себя также WPS-сервер, обрабатывающий запросы к расчетным модулям.

Клиент. Сервер построен на основе комбинации HTML и JavaScript библиотеки jQuery. В качестве средства отображения электронных карт используется OpenLayers. Для получения информации об отдельных элементах векторных слоев используется комбинация технологий Ajax и WMS/WFS. Взаимодействие с вычислительной подсистемой осуществляется через JavaScript библиотеку, реализующую протокол WPS.

Данные мониторинга о состоянии и изменениях природных ресурсов в районе работы ООО «Сибэнергоуголь» интегрируются и хранятся в базах данных.

В интегрированной информационно-вычислительной системе экологической безопасности горнодобывающего предприятия реализованы модели:

- оценки выбросов и распространения загрязняющих веществ в атмосферу;
- выпадения промышленных аэрозолей на подстилающую поверхность;
- распространения загрязняющих веществ и их выпадения на поверхность при промышленных взрывах с учетом реальной розы ветров;
- оценки качества поверхностных и подземных вод;
- сейсмического и шумового воздействия при массовых взрывах.

В настоящее время при оценке допустимости техногенного воздействия атмосферных загрязняющих веществ (ЗВ) на окружающую среду используются модельные оценки [6]. Существует целый ряд моделей расчета загрязнения атмосферы, различных по научной основе, пространственным и временным характеристикам и т.д. [7]. Однако для государственного управления выбросами промышленных предприятий в России, как и других странах, используется единая регуляторная модель [8], предназначена для вычисления максимальных разовых (осредненных за 20 минут) концентраций $C_{\text{мр}}$ загрязняющих веществ в приземном слое. Именно $C_{\text{мр}}$ не должны превышать предельно

допустимые разовые концентрации (ПДКр) при определении допустимости воздействия предприятия на атмосферный воздух.

Расчетный мониторинг концентраций ЗВ в приземном слое атмосферы, в зоне влияния горных работ горнодобывающего предприятия ведется с помощью программного комплекса (ПК) ЭРА, который обеспечивает расчеты максимально разовых и среднегодовых концентраций загрязняющих веществ (ЗВ).

Выбросы угледобывающего предприятия, а тем более угледобывающего района, характерны тем, что содержат большой процент пылевых частиц разнообразного химического состава, обладающих эффектом оседания на подстилающую поверхность. При этом не исключена ситуация, когда промышленные выбросы, даже будучи допустимыми с точки зрения максимального разового загрязнения атмосферы, могут привести к весьма существенному накоплению вредных веществ на дневной поверхности.

Для проведения количественной оценки осаждения промышленной пыли на заданную территорию разработана модель расчета потока аэрозольных частиц на подстилающую поверхность. Модель численно реализована как дополнительный модуль программного комплекса (ПК) ЭРА, который согласован на соответствие нормативным документам и широко используется для выполнения проектных работ в Сибирском регионе. Она дает возможность по данным о параметрах источников, фракционному составу выбрасываемых загрязняющих веществ (ЗВ) и климатическим характеристикам территории оценить мокрый поток частиц на подстилающую поверхность (вымывание) P_m , сухой поток (осаждение) P_c и полный поток P , представляющий собой сумму двух названных составляющих $P = P_m + P_c$ [3, 4]. Реализация модели с использованием данных снеговой съемки представлена на рис.

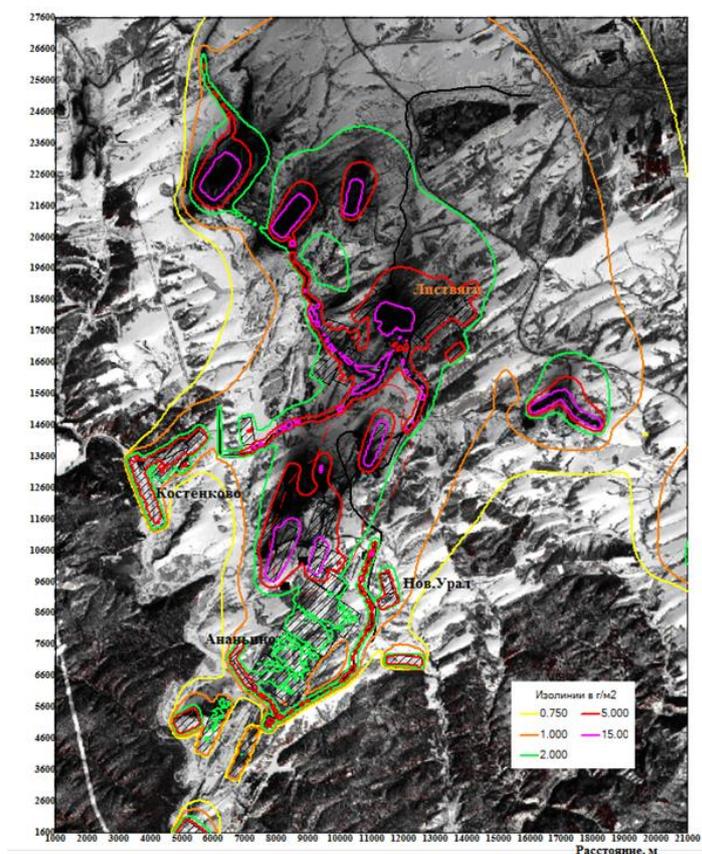


Рис. Изолинии расчетного выпадения ($\text{г}/\text{м}^2$) пылевых частиц в снег за зимний период 2016-2017 годов от всех групп источников, влияющих на район ведения горных работ ООО «Сибэнергоуголь»

В рамках информационной системы разработан модельный комплекс по моделированию оценки сотрясаемости в баллах по шкале MSK-64 от промышленного взрыва. Расчеты основаны на формуле макросейсмического поля, отображаемого изосейстами от очага возможного землетрясения или взрыва и характеризующего степень опасности землетрясения на поверхности Земли. Изосейсты – изолинии, разделяющие области с различной силой (интенсивностью, балльностью) сейсмических сотрясений.

Оценка шумового воздействия при массовых взрывах законодательно не определена, однако есть общие правила, устанавливающие уровень шумового воздействия в зонах жилой застройки. Поэтому, в основу модуля расчетного мониторинга шумового воздействия при массовых взрывах положен метод расчета затухания звука вследствие поглощения его при распространении в атмосфере при различных метеорологических условиях представленный в ГОСТ 31295.1-2005 и [9]. Рассматриваемый алгоритм позволяет вычислять коэффициенты затухания, зависящие от частоты тона, температуры и относительной влажности воздуха, атмосферного давления. Многолетний эксперимент показывает высокий уровень совпадения расчетов с результатами замеров в точках мониторинга.

Дистанционное зондирование обеспечивает надежный мониторинг загрязнения снегового покрова, нарушенных горными работами земель, растительного покрова, поверхностных вод, рекультивации нарушенных горными работами земель и земель с самозаращением и т.д.

Таким образом, Система экологической безопасности ООО «Сибэнергоуголь» обеспечивает сбор, хранение и оценку данных наземного, дистанционного и вычислительного мониторинга состояния техноприродных комплексов в районах ведения горных работ. В базах системы хранятся данные об источниках техногенного воздействия и состояния окружающей природной среды как по данным наземного, так и дистанционного (космического) мониторинга.

Расчетные сервисы системы обеспечивают оценку и управление воздействием негативных техногенных факторов, как на природные комплексы, так и население, проживающее в районах горных работ.

Литература

1. Хлебунов Е.В. Состояние и перспективы развития угольной промышленности Кузбасса // Уголь. 2018. № 5. С. 14-16.
2. Геоэкология угледобывающих районов Кузбасса / В.П. Потапов, В.П. Мазикин, Е.Л. Счастливцев, Н.Ю. Вашлаева. Новосибирск : Наука, 2005. 660 с.
3. Мониторинг состояния природной среды угледобывающих районов Кузбасса / В.А. Ковалев, В.П. Потапов, Е.Л. Счастливцев; отв. редактор А.М. Федотов; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т вычислительных технологий; М-во образования и науки, Кузбас. гос. техн. ун-т. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2013. 312 с.
4. Моделирование геоэкологических систем угледобывающих районов / В.А. Ковалев, В.П. Потапов, Е.Л. Счастливцев, Ю.И. Шокин; отв. Ред. А.М. Федотов; Рос. Акад. наук, Сиб. Отд-ние, Ин-т выч. технологий; Ин-т водн. и экол. проблем; М-во образования и науки, КузГТУ. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2015. 298 с.
5. Мониторинг, оценка и прогноз состояния окружающей природной среды на основе современных информационных технологий / Н.Ю. Вашлаева, В.П. Потапов, Е.Л. Счастливцев, В.А. Андроханов и др.; Отв. редактор Куприянов А.Н. Кемерово : ИД «Азия», 2013. 112 с.
6. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. СПб. : НИИ Атмосфера, 2005. 211с.

7. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л. : Гидрометеоздат, 1985. 272 с.
8. Методика расчета полей концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: ОНД-86 / Госкомгидромет. Л. : Гидрометеоздат, 1987. 93 с.
9. Ганопольский М.И. Результаты экспериментальных исследований ударных воздушных волн при взрывах на земной поверхности // Отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня, 2011. № 5. 38 с.

УДК 614.84

ОЦЕНКА, НОРМИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Резников Д.О.

Институт машиноведения имени А.А. Благонравова РАН, г. Москва

Ключевые слова: сложная техническая система, оценка риска, нормирование риска, управление риском

К сложным техническим системам (далее СТС) относятся такие объекты как атомные и электростанции химические нефтеперерабатывающие заводы, объекты транспортной инфраструктуры, аварии на которых могут повлечь за собой значительное число жертв и серьезные экономические ущербы. СТС характеризуются сложным поведением и сложными взаимодействиями между протекающими в них событиями и процессами. Вследствие наличия высокого уровня неопределенностей, обусловленных естественной вариативностью параметров системы и внешней среды (разбросом механических свойств материалов, геометрических размеров, режимов нагружения, в том числе возможностью реализации экстремальных нагрузок), а также недостатком знаний о системе, эволюция системы является многовариантной и должна описываться в вероятностной постановке с помощью разветвленных сценарных деревьев, в структуру которых должны обязательно включаться аварийные и катастрофические сценарии.

В этой связи эксплуатация СТС оказывается невозможной без: (1) проведения комплексной оценки рисков; (2) выработки критериев приемлемости рисков с учетом затрат, которые государство и общество готово нести ради тех выгод, которые обеспечиваются благодаря функционированию рассматриваемой системы; а также (3) выработки и согласования процедур снижения риска до приемлемого уровня.

В докладе будут представлены принципы оценки, нормирования и управления риском, принятые в различных странах мира; сформирована система индексов риска, которые могут быть использованы для сопоставления уровня безопасности при различных вариантах системы, рассмотрено применение принципа практической целесообразности (принципа ALARP) при реализации защитных мероприятий, направленных на снижение индивидуальных и социальных рисков, связанных с функционированием сложных технических систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант РФФИ 16-29-09575).