

## КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕГИОНА И ВЫБОР ПРИРОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

*М.Д. Молев, ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса», Россия*

*В.А. Меркулова, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)», Россия*

Изложены научно-методические подходы к системному изучению экологической безопасности региона и основы выбора технических мероприятий по минимизации негативных последствий масштабной ликвидации угольных шахт на окружающую среду.

Состояние промышленности во многих регионах Российской Федерации (Кемеровская обл., Ростовская обл., Республика Коми и др.) на рубеже двадцатого и двадцать первого веков можно охарактеризовать как депрессивное, что связано с масштабной ликвидацией угольных шахт, обслуживающих их производств и инфраструктуры. Так на территории Российского Донбасса в этот период было закрыто 47 из 58 угольных предприятий, ликвидировано крупнейшее в бывшем СССР производственное объединение по добыче антрацита «Ростовуголь» [1].

Масштабные изменения в структуре промышленности привели к обострению экологических проблем угледобывающих регионов за счет вовлечения в активное взаимодействие экологической среды, подземной и приповерхностной атмосферы и гидросферы. Процесс реструктуризации угольной промышленности продолжается, поэтому актуальность проблемы заключается в том, чтобы обеспечить нормальные условия жизнедеятельности населения шахтерских территорий и минимизировать негативные воздействия возникающих техногенных факторов на окружающую природную среду (ОПС).

Достижение указанных целей предполагает решение следующих задач:

- выявление природных и техногенных факторов, определяющих характер и масштабы экологических последствий ликвидации шахт;
- оценка роли выявленных факторов на протекающие в геологической среде, гидросфере и атмосфере процессы;
- разработка комплекса методов и методик геоэкологических наблюдений;
- формирование оптимального набора технических мероприятий, направленных на предотвращение (минимизацию) отрицательного воздействия ликвидационных работ.

Решение первой задачи было выполнено с использованием интегрированного системного анализа информации об угленосном массиве и применяемых технологиях подземной добычи угля [2,3]. Анализ сведений по различным регионам Российской Федерации, приведенных в специальной литературе и научно-исследовательских отчетах, позволил выделить природные и техногенные факторы, которые в основном определяют характер и масштабы экологических последствий закрытия шахт. К ним относятся:

- особенности геологического строения массива горных пород;
- гидрогеологические, гидрогеохимические и газогидрогеологические условия;
- применяемая технология добычи угля;
- параметры поверхностных и подземных производственных сооружений;
- технология ликвидации угольных шахт.

Роль перечисленных факторов, по мнению исследователей, проявляется во влиянии на следующие процессы:

- интенсивность движения подземных и поверхностных вод, баланс поверхностной и подземной гидросферы;
- минерализация, химический и газовый состав, бактериологическое состояние поверхностных вод;
- динамика формирования потоков и путей движения газовых смесей;

- изменение отметок поверхности;
- характер инженерно-геологических процессов в толще и на поверхности массива горных пород.

Развитие перечисленных процессов, как показывает анализ, во многом связано с динамикой гидросферы. Так, вследствие прекращения работы шахтных водоотливов произошло резкое ослабление дренажа водоносных горизонтов. Пути движения шахтных вод и газов определяют многочисленные техногенные каналы: горные выработки, буровые скважины, зоны литологических и тектонических нарушений.

Закрытие угольных шахт в Восточном Донбассе производится посредством затопления горных выработок и выработанного пространства. В связи с этим возникает большая потенциальная опасность нарушения режима поверхностных и подземных вод, подтопления территории и заболачивания земель сельскохозяйственного назначения, выхода на дневную поверхность так называемого «мертвого воздуха», загрязнения атмосферы выбросами породных отвалов. Весьма актуальными являются задачи рекультивации нарушенных горными работами земель и использование отходов угольного производства. На территории Восточного Донбасса имеется ряд глубинных разломов земной коры, что при гидрогеологических процессах на площади закрываемых шахт может привести к повышенным выделениям радиоактивного газа радона.

Гидродинамические процессы, происходящие по мере затопления горных выработок ликвидируемых шахт, характеризуются большой неравномерностью, а иногда сопровождаются непрогнозируемым выбросом воды, что чревато значительными осложнениями и возможностью возникновения аварийных ситуаций. Выход шахтной воды на поверхность приводит к подтоплению сельскохозяйственных земель, проседанию поверхности под зданиями и сооружениями, а также из-за наличия токсичных веществ в шахтной воде и ее высокой минерализации (4000 мг/дм<sup>3</sup> и выше) к загрязнению ряда поверхностных водоемов. На территории ликвидируемых шахт расположено более 60 породных отвалов, в которых складированы отходы углепроизводства. В отвальной массе содержится уголь, различные вредные химические соединения (сероводород, соли тяжелых металлов), которые образуют в атмосфере и водоемах токсичные растворы и смеси в концентрациях, превышающих ПДК. В местах отработки угольных пластов на территории Шахтинско-Несветаевского горнопромышленного района отмечаются техногенные землетрясения силой до 3-4 баллов по шкале Рихтера [1]. Зарегистрировано несколько сотен подобных событий различной амплитуды. Вероятной их причиной представляется изменение физического состояния углепородного массива, изменяющегося под влиянием процессов затопления выработанного пространства. Весьма вероятно, что ликвидация шахт, которая намечается и в дальнейшем, вызовет изменения геомеханического состояния горных пород, которые, в свою очередь, спровоцируют микроземлетрясения на территории закрываемых угольных предприятий и прилегающих районах городов и поселков.

Таким образом, к основным проявлениям отрицательного воздействия процессов ликвидации угольных предприятий на окружающую природную среду следует отнести: нарушение режима подземных и поверхностных вод, их загрязнение; деформации земной поверхности; нарушение земель и загрязнение атмосферы выбросами породных отвалов.

Детальный анализ документации геологоразведочных и горно-эксплуатационных работ на месторождениях Восточного Донбасса позволил авторам оценить строение углепородной толщи с точки зрения ее влияния на развитие негативных экологических последствий при ликвидации угольных шахт. Тектоническое строение геологической среды определяется ее размещением в приосевой зоне и на крыльях Шахтинско-Несветаевской и других синклиналей. Крупные разрывные нарушения представлены сбросами, взбросами и надвигами с амплитудой смещения крыльев 2-60 м и протяженностью от нескольких сотен метров до 1-2 км. Указанные нарушения сопровождаются многочисленными апофизами («спутниками») меньшей амплитуды и протяженности, а также зонами повышенной трещиноватости горных пород. Осадочная толща также пересекается относительно небольшими по мощностям (до 6-8 м) дайками изверженных пород.

На рассматриваемой территории геологическая среда содержит несколько десятков угольных пластов. Эксплуатация угольных месторождений, в процессе которой в углепородном массиве были пройдены десятки тысяч километров горных выработок и выданы на по-

верхность миллионы тонн угля и горных пород, привели к необратимым изменениям сплошности геологической среды и образованию значимых техногенных каналов для миграции водных и газовых потоков в массиве. Характерным последствием горных работ является деформация земной поверхности, наибольшая интенсивность которой достигается на участках разработки нескольких угольных пластов и при небольших глубинах залегания угля. Таким образом, в результате совокупного воздействия природных и техногенных факторов, углепородный массив кардинально изменился, что предопределяет появление новых аспектов его поведения с точки зрения влияния на экологическую обстановку в регионе. Оценить вклад вышеуказанных факторов можно на основании глубокого и всестороннего рассмотрения вопроса. Вместе с тем, даже анализ только на основе учета физических свойств, воды и конфигурации техногенных каналов позволяет сделать вывод о значимости влияния подземной гидросферы на формирование негативных последствий ликвидации шахт.

При детальном рассмотрении полученных данных с учетом объемов выработанного пространства в массиве, составляющих для каждой шахты от 5 до 20 млн. м<sup>3</sup>, можно сделать вывод о масштабности формирования подземного техногенного водоаккумулирующего горизонта. Так, например, шахты Несветаевского угольного района имеют объединенную сеть горных выработок, что в результате затопления привело к образованию единого техногенного водоносного горизонта общим объемом около 25 млн. м<sup>3</sup>. Негативный характер процесса усиливается качеством выходящей шахтной воды, которая характеризуется следующими параметрами: рН – 5-6, железо – 50-270 мг/л, сухой остаток – 4800-12200 мг/л.

Применительно к условиям Восточного Донбасса справедливы следующие выводы:

– под влиянием перераспределения статических запасов подземных вод и вторичного техногенного изменения их режима происходит подтопление мульд сдвижения, выражающееся в появлении на наиболее пониженных участках сезонных или постоянных водоемов и болот, окруженных обширными зонами с высокими уровнями грунтовых вод;

- факторами, определяющими размеры и форму зон подтопления, являются литологический состав подрабатываемой толщи, условия питания и разгрузки подземных вод, рельеф земной поверхности, гидрографическая сеть, климат;

- подъем уровня подземных вод и их интенсивное испарение в приповерхностных горизонтах приводят к сокращению зоны аэрации, защищающей приповерхностные воды от увеличения минерализации и загрязнения, а также к снижению продуктивности земель, выводу из строя коммуникаций, заглубленных в грунт, ухудшению условий эксплуатации фундаментов зданий, сооружений и источников водопользования.

Динамический режим подземных вод определяет условия переноса твердых и газообразных веществ в подземной среде. В частности, при монотонном продолжительном подъеме шахтных вод происходит практически полное вытеснение из горных выработок на поверхность земли и в водоемы больших объемов шахтного воздуха (до 1000 м<sup>3</sup>/сут). Шахтная атмосфера значительно отличается от обычного воздуха пониженным содержанием кислорода (15-19%) и повышенной концентрацией вредных газов (метана, окиси углерода, углекислого газа).

Неконтролируемое развитие описанных выше гидравлических процессов в выработанном пространстве ликвидируемых шахт может привести к таким экологически опасным последствиям на территории Восточного Донбасса, как: -

- загрязнение высокоминерализованными и токсичными шахтными водами подземных и поверхностных источников водоснабжения;

- заболачивание сельскохозяйственных земель;

- вытеснение газовых смесей, поставляющих подземную атмосферу на дневную поверхность;

- деформация земной поверхности.

Параметры возможных негативных экологических событий будут определять, прежде всего: объем подземных вод, скопившихся на конкретной территории, скорость подъема уровня затопления, концентрация химических элементов в шахтной воде и вредных газов в подземной атмосфере, размеры горных выработок и геологических нарушений.

Таким образом, результаты исследований убедительно показывают, что ведущим фактором,

определяющим характер и масштабы негативных экологических последствий ликвидации угольных шахт Восточного Донбасса, является затопление подземного выработанного пространства. Следовательно, приоритетным направлением экологических исследований должны стать наблюдения за динамикой затопления шахт и связанными с ним процессами в режиме мониторинга[4].

В рамках отслеживания данного процесса необходимо выполнять систематические наблюдения, оценку и прогноз следующих изменений состояния техносферы:

- подъема уровня шахтных и грунтовых вод;
- изменения химического состава подземных вод;
- загрязнения поверхностной водной среды и источников водоснабжения при восстановлении уровня подземных вод;
- образования искусственных подземных или поверхностных водоемов;
- выделения загрязненного шахтного воздуха из горных выработок закрываемых шахт;
- миграции и накопления вредных газовых смесей из шахт в подвалах жилых домов и административных зданий;
- подтопления отдельных участков поверхности вследствие оседания земной толщи над выработанным пространством шахт;
- засоления и загрязнения токсичными элементами плодородных почв.

В зависимости от формата мониторинга и стадии наблюдений определяется комплекс решаемых оперативных задач и объем работ для каждого вида. Перечень решаемых задач формируется также с учетом требований к регистрации основных процессов в горном массиве, которые определяют геоэкологическую обстановку на изучаемой территории. Каждое из негативных последствий определяется комплексом характеристик, выбор которых проводился на основе принципов полноты извлечения информации и значимости каждой компоненты для формирования явления, а также оценки влияния различных вредных веществ на среду обитания. Для надежной оценки экологической обстановки в зонах влияния ликвидируемых шахт необходимо контролировать:

- динамические параметры шахтных вод (абсолютный уровень, скорость подъема);
- химический и бактериологический состав подземных вод, их загрязненность;
- температурный режим;
- химический и бактериологический состав поверхностных вод;
- температура;
- содержание эманаций радона;
- содержание в почве тяжелых металлов;
- содержание нефти и других углеводородов;
- процесс эрозии почв и оползневые процессы.

Показатели, определяемые в режиме гидромониторинга, являются экологическими индикаторами процесса ликвидации шахт, поскольку они характеризуют такие значимые для окружающей среды и здоровья населения загрязнения, как сбросы и другие виды эмиссий. Для решения задачи управления с помощью системы поддержки принятия решения, какой, в сущности, является система мониторинга, необходим комплекс технических средств. К комплексу предъявляются следующие технико-экономические требования:

- эффективное решение задач гидромониторинга;
- программная и техническая совместимость;
- реализуемость;
- соотношение качества работ и затрат на их выполнение.

Все виды гидромониторинга, выходной информацией которого являются параметры состояния земной и водной среды: уровень воды, химический состав и т.п. – должны осуществляться путем непосредственных (прямых) или косвенных (геофизических) измерений. Оперативность, экономичность, полнота и надежность получаемых данных достигается применением:

- оптимальных методик и технологий измерений;
- современных линий связи (электронная почта, радиосвязь, факс, аудио-почта);
- мобильных периферийных групп, включающих высококвалифицированных специалистов по смежным вопросам (например, геологи и геофизики), которые снабжены малогабаритными

быстродействующими компьютеризованными приборами для измерения соответствующих параметров, их первичной обработки и передачи в прогнозно-аналитический центр.

Детальный анализ научно-исследовательских работ по проблеме экологического мониторинга показывает, что при построении региональной мониторинговой системы за основу следует взять принципы организации геофизических дискретно-непрерывных наблюдений массива горных пород, который хорошо зарекомендовал себя на практике. Научной основой регионального геомониторинга, использующего современные технологии, может служить методология шахтной геофизики, которая на базе системного подхода к изучению углепородного массива и приповерхностной среды устанавливает методы, средства и порядок исследований [5]. Сущность указанного подхода применительно к данной проблеме состоит в том, что сложные природные и техногенные объекты, различающиеся пространственно-временной изменчивостью геометрических характеристик, физических и химических свойств, трудно выявить или описать по данным одного геофизического метода. В частности, при исследовании объекта или процесса одним методом имеет место неопределенность решения. В связи с этим необходимо использовать комплексирование методов с различной физической основой.

Оптимальным считается комплекс методов, применяемых в определенной последовательности, который позволяет наиболее полно решить поставленную геоэкологическую задачу с наименьшей затратой времени и средств. В комплекс могут быть включены следующие виды работ: геофизические исследования геологического строения массива, гидрогеологическое обследование, литогеохимическое опробование.

Важным методическим условием эффективного проведения комплексного мониторинга является требование, чтобы точки измерений различными методами были совмещены. Это достигается за счет одновременного выполнения работ несколькими методами, последовательной отработки профилей с небольшим временным разрывом и использованием топографически разбитой сети наблюдений.

В соответствии с перечнем решаемых задач нами определены следующие технические средства для их осуществления:

- система автоматических сейсмических и электрических датчиков для оценки явлений;
- геофизические аппаратные комплексы для дискретных наблюдений за строением геологической среды;
- мобильные и стационарные (автоматические) приборы для измерения уровня шахтных вод и контроля за техногенным режимом подземной атмосферы;
- лабораторные анализаторы с устройствами пробоотбора и пробоприготовления (стационарные, передвижные, переносные);
- дистанционные автоматизированные системы контроля параметров изливающихся на поверхность шахтных вод;
- посты размещения различных анализаторов и других приборов с системами электропитания, жизнеобеспечения, защиты от несанкционированного доступа;
- комплексы автоматической связи.

Для предотвращения потенциально опасных ситуаций или снижения их отрицательного воздействия необходимо:

- в рамках прогнозирования динамики подземной гидросферы проводить детальные геолого-геофизические исследования строения углепородного массива с целью выявления природных и техногенных пустот и каналов;
- предусматривать в проектах ликвидации резервные технические мероприятия, направленные на стабилизацию процесса;
- разработать механизм корректировки проектных решений в случае возникновения «внештатной» ситуации;
- при подготовке аналитических материалов разрабатывать «пессимистические» и «оптимистические» сценарии развития событий, что позволит минимизировать риски ошибочного принятия решений из-за субъективных оценок ЛПР.

Во избежание аварийных экологических ситуаций имеет смысл проводить специальные

наблюдения на шахтных полях с использованием дистанционных (геофизических) методов в целях выявления и картирования нарушенных зон. Выполнение площадных наблюдений указанными методами обосновывается их более высокими технико-экономическими характеристиками по сравнению с другими способами измерений.

Подсистема проведения наблюдений включает в себя наблюдения за параметрами гидрогеологических процессов на объектах. Основным источником текущей информации о состоянии подземной гидросферы являются наблюдательные сети, которые формируются из пунктов наблюдений (скважин, стволов, шурфов и т.п.). Количество и схема расположения наблюдательных пунктов, периодичность (квантование) измерений определяются на основе системного анализа горно-геологических, горнотехнических и технико-экономических условий проведения исследований загрязнения подземных и поверхностных вод.

Основные принципы формирования наблюдательных сетей сводятся к следующим:

- в результате анализа горно-геологических и гидрогеологических условий устанавливаются характерные точки территории горного отвода шахты, измерения в которых позволят получить необходимую и достаточную информацию о состоянии гидросферы;
- рассчитывается оптимальная сеть наблюдений с учетом горнотехнических условий и финансовых затрат на оборудование пунктов наблюдений (бурение новых или ремонт старых скважин);
- на основе оценки гидравлических связей между отдельными горизонтами, а также соседними шахтами разрабатывается порядок изменения конфигурации наблюдательной сети во времени по мере подъема уровня подземных вод;
- выбор участков для дистанционных геофизических исследований угленосного массива в целях получения дополнительной информации о сплошности среды осуществляется на основе анализа данных геологической разведки о тектонической нарушенности.

Количество точек наблюдений определяется, исходя из оценки параметров информации, получаемых о них, а также их географического положения. При расчете сети наблюдений нужно стремиться к тому, что количество контрольных точек было минимально, а информативность сведений – максимальной. Так, в число контрольных постов необходимо включать преимущественно стволы и скважины, имеющие минимальные абсолютные отметки поверхности на данной площади, т.е. расположенные на участках первоочередного подтопления территории. Периодичность измерений уровня затопления выбирается, исходя из двух условий: минимизации затрат на выполнение работ; обязательной фиксации изменений скорости подъема воды, приводящей к экстремальной (технологически опасной для данного объекта) ситуации. Второе условие следует понимать так, что при большом временном отрезке между двумя последующими измерениями (периоде квантования), можно пропустить момент подъема шахтной воды до критической отметки выхода на поверхность.

Важным элементом проектирования работ по гидромониторингу является определение даты начала сбора информации (начала гидрофизических наблюдений). Такой расчет можно выполнить, основываясь на прогнозной модели, по которой оценивается время наступления критического события (например, выхода шахтных вод на дневную поверхность), и примерного сетевого графика работ, определяющего максимальное время («критический путь») подготовки и проведения мероприятий, направленных на предупреждение негативного явления. При этом необходимо также определиться с резервом, связанным с возможной ошибкой прогнозного расчета времени выхода вод на поверхность и временем, потребным на ретроспективный анализ и установление тенденций динамики затопления.

Значимым условием наблюдений является синхронное (в течение ограниченного периода) производство измерений в большинстве пунктов исследуемой площади. Выполнение данного условия позволяет получить объективную картину затопления на региональном уровне и создать в первом приближении постоянно действующую модель затопления, которая является наиболее совершенным инструментом, позволяющим оценить гидрогеологическую ситуацию в режиме реального времени. Одновременно с замерами уровня затопления должен производиться отбор проб на химический анализ, что дает возможность регулярного контроля степени загрязненности подземных вод, прошедших определенное расстояние по массиву горных пород.

Главная цель регионального управления экологической безопасностью в период реструктуризации угольной отрасли состоит в минимизации негативных воздействий, связанных с ликвидацией шахт, на окружающую среду. Инструментом управления служит разработка и реализация комплексного регионального экологического проекта, который утверждается ЛПР на основе обсуждения и анализа альтернативных вариантов управляющих воздействий.

Управленческое решение должно содержать следующие элементы:

- прогноз развития экологической ситуации;
- комплексный план управляющих воздействий;
- программу мероприятий по выполнению управляющих воздействий;
- перечень процедур по контролю за ходом реализации принятых планов действий;
- методы, средства и ресурсное обеспечение осуществления проекта.

Кроме того, для реализации задачи управления экологической безопасностью на территории шахтерского региона необходимо создание полноценной организационной структуры.

Технология принятия решения объединяет процедуры: разработка и выбор управляющих воздействий, экспертная оценка вариантов решения, собственно принятие решения ЛПР, разработка программы мероприятий.

Плановая экологическая задача является оптимизационной и связанной определенным образом с экономическими вопросами, поскольку в процессе планирования определяются затраты на осуществление природоохранных проектов и издержки в случае наступления негативных экологических событий. При этом, как показывает опыт, необходимо использовать многокритериальный подход. В рамках разработки плана действий рассчитываются производственные программы, включая затраты труда, производственных фондов, материальных, природных и финансовых ресурсов, требующихся для осуществления технических мероприятий.

Затем на основании анализа выбирается наилучший вариант плана с использованием кортежа принятых критериев (объема работ, себестоимости работ, объема финансовых средств, уровня критериев безопасности).

Таким образом, в данной статье на основании анализа научно-технической литературы по проблеме и материалов собственных исследований изложены авторские подходы к решению следующих задач:

- выявление и оценка значимости факторов, определяющих характер и масштабы экологических последствий ликвидации шахт;
- разработка комплекса методов и методик геоэкологических наблюдений;
- формирование оптимального набора технических мероприятий, направленных на предотвращение отрицательного воздействия ликвидационных работ.

Предложенные решения, как показывает практика [6], позволяют обеспечить на должном уровне безопасность жизнедеятельности населения угледобывающих регионов.

#### Список литературы

1. Молев М.Д., Молев А.М. Теория и практика управления региональной экологической безопасностью: монография. – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2006. – 84 с.
2. Кузнецов О.Л., Никитин А.А. Принципы и методы интегрированного системного анализа геоинформации //Разведка и охрана недр. – 1991. – №2. – С. 30-37.
3. Системный анализ в управлении: учеб. пособие /Под ред. В.М. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
4. Молев М.Д. Оценка условий затопления угленосного массива геофизическими методами //Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – №9. – С. 110-112.
5. Молев М.Д. Геофизическое прогнозирование горно-геологических условий подземной разработки угольных пластов / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2000. – 138 с.
6. Молев М.Д., Меркулов А.В., Меркулова В.А. Экологическая безопасность региона и оценка воздействия производственных комплексов на окружающую среду / Техносферная безопасность, надежность, качество, энергосбережение (Ростов-на-Дону – Новомихайловский, 3-5сент. 2009 г.): материалы науч.- практич. конф. – Ростов-на-Дону: РГСУ, 2009. – С. 143-147.