

УДК 622.3:504.05:628.5

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОЦЕССОВ ЛИКВИДАЦИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ СИТУАЦИЮ В РОССИЙСКОМ ДОНБАССЕ

Молев Михаил Дмитриевич¹,

2play_rnd14716@aaanet.ru.

Масленников Станислав Александрович¹,

maslennikovsa@mail.ru.

Занина Ирина Александровна¹,

zaninabzd@yandex.ru.

Илиев Алексей Георгиевич¹,

iliev-aleksejj@rambler.ru

¹ Донской государственный технический университет,
Россия, 346500, г. Шахты, ул. Шевченко, 147.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью проведения научно обоснованного технического сопровождения работ по ликвидации неперспективных угольных шахт на территории Российского Донбасса (Ростовская область) в целях минимизации негативных воздействий на окружающую природную среду и население региона.

Цель исследования: обосновать и разработать комплекс методов оценки негативного воздействия техногенных факторов на региональную экологическую систему, сопровождающих ликвидационные процессы на неперспективных угольных предприятиях.

Объекты: угленосный массив, подземные и поверхностные водоёмы в регионе, атмосфера, породные отвалы и терриконы.

Методы: интегрированный системный анализ, синтез альтернатив, методы математической статистики и теории вероятностей, математическое моделирование, методы оптимизации и исследования операций, верификация результатов.

Результаты. Разработана методология оценки воздействия ликвидационных процессов на окружающую природную среду Российского Донбасса. Предложены научно-методические подходы к решению проблемы. Выявлены ведущие факторы, которые определяют масштаб и виды негативного влияния, сопровождающего организационно-технические процессы ликвидации неперспективных угольных шахт. В частности, установлено, что характер и пространственно-временные параметры техногенного воздействия зависят от динамики подъёма уровня шахтных вод. Сформирован комплекс частных физических и математических моделей, необходимый для описания техногенных процессов. Системный подход к экспериментальным исследованиям угленосного массива на территории ликвидируемых шахт также позволил установить интегральную пространственно-временную характеристику динамики затопления выработанного пространства. Изложенная методика может быть рекомендована к применению для обоснования ликвидационных технических мероприятий в горно-геологических условиях всех угледобывающих районов России, поскольку базируется на основе фундаментальных положений физико-математической теории, геологии и экологии, при этом выявленные закономерности динамики техногенных процессов имеют универсальный характер. Важно указать, что эколого-экономическая эффективность данной разработки подтверждена практикой использования при закрытии угольных шахт на территории Ростовской области.

Ключевые слова:

Экологическая безопасность, ликвидация шахт, факторы негативного воздействия, методология оценки, системный анализ, динамика затопления.

Введение

Ликвидация неперспективных шахт в Российской Федерации является одной из стратегических, экологических и социально-экономических проблем для регионов страны, в которых развита угольная отрасль и которые требуют адекватной теории для её разрешения. Значимость темы обусловлена, во-первых, масштабом осуществляемой производственной деятельности, которую отражают следующие цифры: за период реструктуризации ликвидировано более 200 нерентабельных шахт, в том числе на территории Ростовской области – 47 предприятий, что повлияло на жизнь свыше семисот тысяч человек [1–3]. Во-вторых, ликвидационные процессы продолжаются в настоящее время во многих регионах России: в Кузбассе, на Урале и в других субъектах Федерации. В-третьих, специфика проявления негативных

экологических последствий требует существенно-го совершенствования методик оценки [4–6].

Совместное воздействие техногенных факторов, возникающих при закрытии угольных шахт, инициирует неблагоприятные для окружающей территории процессы: загрязнение атмосферы, литосферы и гидрографической сети вредными органическими и минеральными соединениями, а также рудничными газами; сдвигание горного массива. На горных отводах закрываемых предприятий расположены многочисленные поверхностные технологические объекты, в которых складированы отходы угольного производства, представляющие мощные источники загрязнения окружающей природной среды (ОПС). В этом контексте логично указать, что в терриконах и породных отвалах России накоплены миллиарды тонн твёрдых отходов [7–9]. Состояние среды обитания в угольных ре-

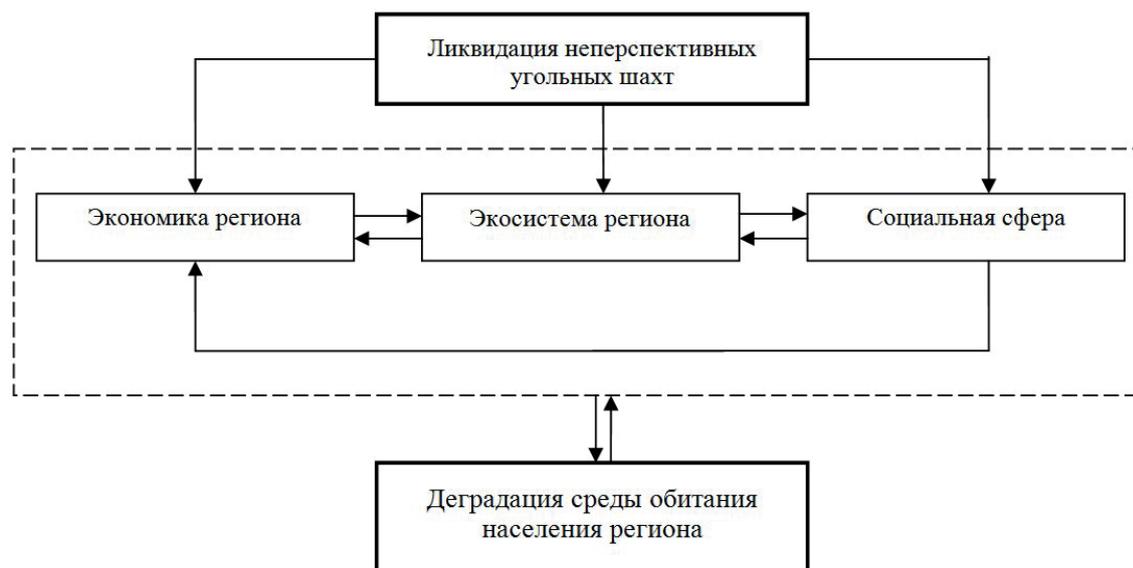


Рис. 1. Взаимосвязь элементов эколого-экономической системы региона на стадии ликвидации шахт

Fig. 1. Relationship of elements of the ecological-economic system of the region at the stage of liquidation of mines

гионах наглядно иллюстрируют следующие цифры: в гидрографическую сеть Ростовской области ежегодно поступает 37 миллионов кубометров шахтных вод, которые содержат 187 тысяч тонн загрязняющих веществ [10].

В связи с этим авторы оценивают ликвидацию как региональный негативный источник влияния на состояние ОПС и жизнедеятельность населения, что можно представить в виде логической схемы взаимосвязей, изображённой на рис. 1.

Продолжающаяся на территории Российской Федерации ликвидация убыточных предприятий обусловила необходимость обеспечить экологическую безопасность жителей регионов на основе минимизации отрицательного воздействия техногенных факторов на ОПС. Указанная цель вполне достижима, если корректно и в полном объёме решить экспериментально-теоретические задачи:

- выявить все техногенные факторы, определяющие основные параметры экологических последствий закрытия угольных шахт;
- ранжировать установленные негативные факторы по значимости влияния на протекающие процессы в ОПС;
- сформировать рациональный комплекс методов натуральных наблюдений;
- разработать критерии, позволяющие достоверно оценить параметры негативного воздействия техногенных факторов на экологическую систему в зоне влияния ликвидационных процессов.

Многофакторность и региональная специфика экологических рисков, связанных с реструктуризацией угольной отрасли, как показывает многолетняя практика, требует от специалистов, занимающихся данной проблемой, разработки корректного научно обоснованного обеспечения тех-

нических мероприятий. Оценка экологической безопасности ликвидации с использованием существующих методик привела к чрезвычайным происшествиям регионального уровня, например, в Ростовской области и Кузбассе [11, 12]. Основная причина указанных техногенных аварий состоит в том, что в результате применения существующих методических рекомендаций качество (надёжность и достоверность) полученных прогнозных данных не обеспечило оптимальность управленческих решений. Во многом недостоверная оценка экологической ситуации связана с так называемой научной неопределённостью перспективного прогноза вследствие несовершенства теоретического аппарата прогнозирования. Поэтому методы, используемые в процессе анализа ситуации, должны быть однозначно акцентированы на оценку возможных потерь в случае возникновения аварийных экологических ситуаций по схеме «затраты–выгоды» [13].

Детальный анализ российских и зарубежных публикаций показывает, что отсутствуют работы, в которых системно изложена теория обоснования организационных и технических мероприятий по ликвидации неперспективных угольных предприятий с учётом экологического риска для среды обитания населения.

В опубликованных научных работах представлены результаты исследований воздействия отдельных техногенных факторов на ОПС. Так, А.В. Мохов, А.Н. Петров, Ю.А. Норватов, Д.И. Савельев и Д. Кирнер рассматривают только гидрогеологические аспекты, что сужает круг вопросов, которые необходимо решить для получения полной объективной информации [14, 15]. Другие учёные оценивают геомеханические явления в горном массиве [16–18]. В ряде научных работ изложены

подробные исследования влияния на природную среду объектов поверхностного комплекса шахт [19, 20]. В связи с создавшейся ситуацией авторы считают целесообразным представить методику исследований и экспериментальные результаты.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований

Авторская концепция научного обоснования организационно-технических решений базируется на фундаментальных физико-математических теориях, включая системный анализ и синтез, экологическое моделирование, риск-анализ и теорию прогнозности.

Исследование проблемы обеспечения региональной экологической безопасности шахтёрских территорий, её структуры и функций с учётом многообразия объектов и явлений, связанных между собой определёнными отношениями и находящимися в перманентном взаимодействии, свидетельствует о том, что угольные шахты совместно с ОПС образуют так называемую «большую» систему, находящуюся в неустойчивом динамическом состоянии. Иерархическая структура подобной природно-технической системы состоит из множества подсистем и элементов, функционирующих как единое целое в рамках стохастического процесса [21].

Анализ публикаций по вопросу эффективности различных методов исследований показал, что для решения поставленных задач необходимо применить системный анализ в модификации «интегральный системный анализ» (ИСА). ИСА, представляющий на настоящий момент наиболее эффективный аналитический инструмент, по мнению авторов, должен включать совместный анализ исследуемой системы и системы-эталона. Интегрированный системный анализ обеспечивает объективное целеполагание на основе коренных системных свойств: синергетический эффект, открытость и адаптивность, эмерджентность, мультипликационный эффект. В предлагаемом варианте ИСА дополнен системно-динамическим и процессным подходами, а также положениям программно-целевого планирования, которые в контексте сформированной методики означают перманентный анализ процессов во времени и пространстве и их последующую оптимизацию.

Необходимо отметить, что эффективным инструментом исследования, как показывает практика, является моделирование [22, 23]. Оптимальный модельный комплекс при построении экологического прогноза должен включать модели:

- объектов горного массива, атмосферы и гидросферы в пределах региона;
- техногенных процессов и явлений геомеханической и гидрогеологической направленности;
- алгоритмы, описывающие методику измерений и обработки материалов наблюдений;
- оценки эколого-экономической эффективности ликвидационных мероприятий.

Основные положения предложенной методики обеспечивают полный комплекс исследований негативного воздействия природных и техногенных процессов, сопровождающих реструктуризацию угольных предприятий: идентификацию опасных факторов, их качественную и количественную оценку, динамику состояния техносферной безопасности в перспективе.

Авторы статьи, используя сформированную методику, выполнили масштабные экспериментальные геоэкологические работы в Ростовской области, на территории которой в период проведения исследований функционировали 59 шахт и шахтоуправлений. Репрезентативность полученной информации обеспечена следующими факторами:

- представительным массивом первичных данных;
- выполнением измерений в режиме дискретно-непрерывного мониторинга;
- синхронными наблюдениями одновременно в нескольких (трёх–пяти) контрольных точках, удалённых друг от друга на расстояние до десяти километров;
- разнообразием горно-геологических и гидрогеологических условий;
- продолжительностью натуральных наблюдений, составившей в общей сложности десять лет;
- применением апробированного комплекса методов исследований и обработки полученных результатов.

Детальному анализу были подвергнуты реальные материалы геологических, геофизических и маркшейдерских служб угольных предприятий и научно-исследовательских организаций, а также обширная фактографическая база, полученная авторами при выполнении опытно-методических работ с привлечением геологических, гидрологических и геофизических методов. На основе анализа горно-геологических, гидрогеологических и горнотехнических условий на исследуемой территории был сформирован рациональный комплекс, включающий следующие методы:

- низкочастотное электропрофилеирование и электроразведывание, скважинный электрический каротаж;
- сейсмозондирование и акустическая резонансная дефектоскопия;
- гидрологические измерения уровня затопления горного массива;
- лабораторный анализ шахтных вод;
- определение физико-механических свойств горных пород.

Изучение процессов затопления в соответствии с методологией геолого-геофизических исследований включает поисковую и картировочную стадии. При этом на поисковом этапе использовались более производительные и оперативные геофизические методы (профилеирование), на стадии картирования – зондирование в так называемых «аномальных» зонах. Полевые исследования дополнялись лабораторными испытаниями образцов гор-

ных пород и химическим анализом шахтных и поверхностных вод, а также замерах атмосферного воздуха на территории горных отводов ликвидируемых шахт. По результатам поисковых работ нами обоснованы подходы к формированию оптимальной сети скважинных гидрологических измерений, которые для получения сопоставимых данных производились в режиме дискретного мониторинга. Основные сведения об объемах экспериментальных исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1. Сведения об объемах экспериментальных исследований

Table 1. Information on the volume of experimental studies

Наименование характеристики Characteristic	Единица измерения Unit	Числовое значение Numeric value
Количество исследованных шахт Number of investigated mines	единиц/units	47
Исследованная площадь горных отводов Investigated area of the mining allotment	км ² /km ²	1400
Общее количество гидрологических измерений уровня затопления Total number of hydrologic measurements of flood level	замер measurement	1220
Количество геофизических измерений Number of geophysical measurements	физическая точка physical point	450
Период наблюдений Observation period	год/year	10

В результате изучения полученных экспериментальных данных установлены факторы, кото-

рые определяют геологические, гидрогеологические и экологические процессы во времени и пространстве. На основе анализа пространственного расположения объектов горных работ в углепородном массиве была произведена оценка логистической взаимосвязи между шахтами, что позволило сформулировать первый важный вывод о формировании в выработанном пространстве двенадцати общих техногенных водоаккумулирующих горизонтов (комплексов). Так, например, шахты Несветаевского угольного района имеют общую сеть горных выработок, поэтому в результате затопления образовался подземный комплекс объемом свыше трех км³ (рис. 2).

Второй основной вывод состоит в том, что подземная гидросфера, обладающая значительным энергетическим потенциалом, во взаимодействии с другими факторами (порядка 20 источников различной физической природы) оказывает мощное негативное воздействие на объекты ОПС. К ведущим факторам, обладающим региональным масштабом негативного воздействия, по результатам детального анализа, отнесены следующие природные и техногенные источники (в порядке убывания их значимости): подземная гидросфера (динамика, объем); горно-геологические условия (литология, тектоника, глубина залегания и мощность породных слоев); физико-механические свойства горных пород (крепость, пределы прочности на сжатие и растяжение и др.); технология горных работ; гидрогеохимические условия и миграция газов. Первым высшим рангом (степенью значимости), по данным авторов, обладает подземная гидросфера. Указанные выводы находят подтверждение в работах известных отечественных специалистов в области гидрогеологии, таких как

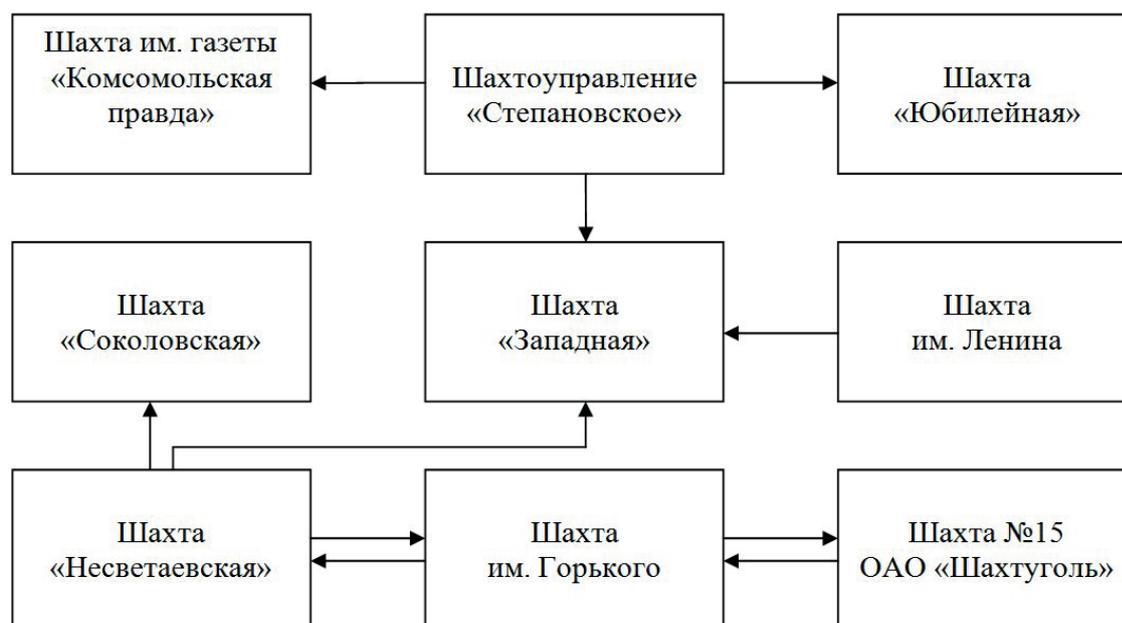


Рис. 2. Схема гидравлической связи между шахтами г. Новошахтинска

Fig. 2. Diagram of hydraulic relation between the mines in the city of Novoshakhtinsk

Ю.А. Норватов, А.Е. Агапов, Д.И. Савельев, В.А. Мохов, А.М. Навитный [2, 11, 15].

Именно динамика шахтных вод в процессе затопления выработанного пространства определяет условия переноса вредных и токсичных веществ, содержащихся в подземной геологической среде, а также миграции газов, составляющих подземную атмосферу. В подтверждение этого приведём результаты анализа. Так, во-первых, ежегодно водоотливными комплексами ликвидируемых шахт сбрасывается в речную сеть Донского региона без очистки около трех с половиной миллионов кубометров загрязнённой воды. Во-вторых, шахтные воды, по данным Шахтинской санэпидстанции (г. Шахты Ростовской обл.), значительно минерализованы, содержат цинк, хром, свинец, концентрации которых значительно превышают ПДК [24], что отражено в табл. 2, 3.

Таблица 2. Загрязнённость дренажных вод ликвидируемых шахт компании «Ростовуголь»

Table 2. Pollution of drainage waters of the liquidated mines of the company «Rostovugol»

Шахта Mine	Содержание микроэлементов, мг/дм ³ Content of microelements, mg/dm ³							
	Pb	Li	Mo	Mn	Cr	Sr	Ti	Zn
«Глубокая» «Glubokaya»	0,005	0,455	0,03	1,35	0,025	6,8	0,05	0,05
им. Красина im. Krasina	0,003	2,6	0,02	2,8	0,02	5,0	0,06	0,1
«Майская» «Mayskaya»	0,003	0,34	0,035	0,02	0,013	9,5	0,1	0,1
«Наклонная» «Naklonnaya»	0,003	0,34	0,01	0,02	0,01	8,5	0,04	0,08
«Аютинская» «Ayutinskaya»	0,003	0,22	0,009	0,1	0,01	4,5	0,02	0,1
«Южная» «Yuzhnaya»	0,004	1,3	0,015	0,02	0,015	8,4	0,02	0,22

Таблица 3. Химический состав шахтных вод ликвидируемых шахт Новошахтинского угольного района

Table 3. Chemical composition of mine waters of the liquidated mines of Novoshakhtinsk coal district

Шахта/Mine	Содержание микроэлементов, мг/дм ³ Content of microelements, mg/dm ³						Минерализация, pH Mineralization, pH
	Na	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	
им. Ленина im. Lenina	920	276	209	245	2680	503	4880
«Западная» «Zapadnaya»	1085	291	206	327	3090	317	5370
им. Кирова im. Kirova	663	316	212	242	2611	500	4880
«Несветаевская» «Nesvetaevskaya»	997	135	114	551	1172	445	4050
«Самбековская» «Sambekovskaya»	1280	154	114	1100	1625	354	4740

Для обоснования комплекса мероприятий по снижению негативных воздействий, сопровождающих ликвидацию шахт, авторами были проведены экспериментальные исследования гидро-

намического режима выработанного пространства. Установление тенденций затопления выполнено с использованием результатов анализа 1220 измерений в характерных точках, расположенных на горных отводах ликвидируемых шахт. С этой целью были построены графики подъёма уровня шахтных вод в зависимости от времени. Сравнительный анализ фактических данных показал, во-первых, подобие всех графиков по форме. Во-вторых, экспериментальное распределение значений уровней шахтных вод удовлетворительно аппроксимируется параболической регрессией, как, например, для шахты «Наклонная»:

$$y = -873,1 + 31x - 0,271x^2.$$

С учётом экспериментальных коэффициентов динамика затопления выразится следующим уравнением, выведенным по результатам обобщения (табл. 4),

$$y = h_{нач} + 26,04x - 0,383x^2,$$

где $h_{нач}$ – начальная глубина затопления, м; x – нормированное время.

Таблица 4. Зависимость динамики затопления выработанного пространства от времени (обобщенная кривая)

Table 4. Time dependence of flooding dynamics of the mined-out space (generalized curve)

№ замера Measure- ment no.	Уровень за- топления, м Flooding level, m	№ замера Measure- ment no.	Уровень за- топления, м Flooding level, m	№ замера Measure- ment no.	Уровень за- топления, м Flooding level, m
1	-396,34	11	-174,27	21	-28,86
2	-370,68	12	-156,28	22	-18,54
3	-345,79	13	-139,05	23	-8,98
4	-321,67	14	-122,60	24	-0,18
5	-298,31	15	-106,91	25	7,84
6	-275,72	16	-91,98	26	15,1
7	-253,90	17	-77,82	27	21,59
8	-232,84	18	-64,43	28	27,32
9	-212,55	19	-51,81	29	32,27
10	-193,03	20	-39,95	30	36,46

Полученная интегральная зависимость изображена на рис. 3.

Установленная тенденции позволяет специалистам научно обоснованно провести выбор вариантов (альтернатив) организационно-технических ликвидационных мероприятий, опираясь на математическую оценку техногенного риска их реализации. При этом целесообразно применить логическую схему «событие (мероприятие) – воздействие на ОПС – негативный отклик системы». По известным формулам рассчитываются вероятности всех видов риска [25].

Важным этапом обоснования плана мероприятий по ликвидации убыточных шахт является расчёт временного критерия, определяющего дату начала подготовки информации (гидрофизического контроля) для принятия управляющего решения. Основная идея данной процедуры состоит в использовании системного и процессного подходов к оценке комплекса природных и техногенных факторов,

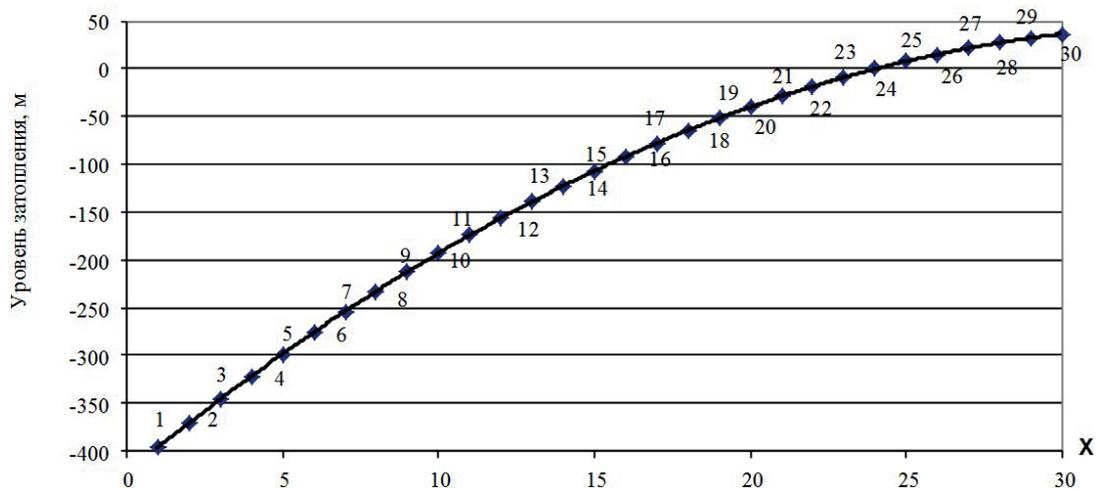


Рис. 3. Зависимость уровня затопления выработанного пространства от времени: X – нормированное время

Fig. 3. Time dependence of the flooding level of the mined-out space: X is the normalized time

сопровождающих технические ликвидационные работы. Для вычисления основных параметров используются следующие исходные данные: объём выработанного подземного пространства, физико-механические свойства горных пород, геологическое строение углеродного массива, глубина разработки угольных пластов, схема гидравлических связей между горными выработками, поверхностными водоёмами и дневной поверхностью. Комплекс вычислительных процедур предлагается производить исходя из гидроэкологической модели затопления горного массива и сетевого графика, определяющего так называемый «критический путь», то есть максимальное время для производства необходимых в каждом конкретном случае ликвидационных работ. В рамках расчёта определяется время выхода шахтных вод на дневную поверхность и максимальное время, необходимое для выполнения технических мероприятий, направленных на предупреждение негативного явления. Одновременно оценивается так называемый «резервный» период, обусловленный потенциальной ошибкой прогнозирования в отношении времени полного затопления выработанного пространства.

Заключение

Системный подход к исследованию углеродного массива на территории ликвидируемых шахт – интегрированный анализ геологического строения, гидравлической связи между объектами техносферы, влияния затопления выработанного пространства с привлечением авторской методологии – позволил:

- определить основные факторы негативного воздействия на окружающую природную среду

при реализации программы организационных мероприятий по ликвидации;

- установить интегральную пространственно-временную характеристику динамики затопления выработанного пространства;
- вывести расчётную формулу для оценки времени начала инструментальных наблюдений за процессом затопления углеродного массива ликвидируемой шахты.

Важно указать, что эколого-экономическая эффективность данной разработки подтверждена практикой использования при закрытии угольных шахт на территории Ростовской области [21].

В рамках дальнейшего развития исследований проблемы, рассмотренной в данной статье, планируется совершенствование методического аппарата анализа техногенных процессов и повышение качества перспективного прогнозирования. В частности, авторы считают насущной необходимостью обоснование и разработку комплекса компьютерных программ для оперативной и эффективной оценки процессов, сопровождающих ликвидацию угольных шахт.

Учитывая, что выявленные закономерности динамики техногенных процессов в углеродном массиве имеют общезначимый характер, логично сделать вывод, согласно которому изложенная методика может быть рекомендована к применению не только для обоснования ликвидационных технических мероприятий, но и при обосновании планов строительства новых шахт во всех угледобывающих регионах России.

Результаты исследования получены в рамках выполнения инициативного научного проекта по государственному заданию № 7.9213.2017/БЧ (7.9213.2017/8.9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Страданченко С.Г., Плешко М.С., Армейсков В.Н. О необходимости проведения комплексного мониторинга подземных объектов на различных стадиях жизненного цикла // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1994 (дата обращения 30.09.2017).
2. Норватов Ю.А., Савельев Д.И., Яшина А.В. Гидрогеологическое обеспечение горных работ при разработке угольных месторождений подземным способом // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 8. – С. 23–28.
3. Restructuring results of Donbass coal mining enterprises / A.A. Belodedov, V.I. Golik, V.B. Zaalishvili, Z.M. Khasheva, L.P. Shulgaty // The Social Sciences. – 2016. – V. 11. – № 16. – P. 4035–4039.
4. Molev M.D., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. Theoretical and experimental substantiation of construction regional security monitoring systems technospheric // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2015, September. – № 16. – P. 6787–6792.
5. Golik V., Komashenko V., Morkun V. The economic efficiency of ore fields development technology combination // Metallurgical and Mining Industry. – 2016. – № 4. – P. 111–115.
6. Harris J.M., Roach B. Environmental and Natural Resource Economics. A Contemporary Approach. – New York; Armonk: M.E. Sharpe Inc., 2013. – P. 246–256.
7. Hibbs B.J., Sharp J.M. Hydrogeological impact of the urbanization // Environmental and engineering geoscience. – 2012. – № 18 (1). – P. 3–24.
8. Экономический ущерб от реструктуризации горных предприятий Донбасса / В.И. Голик, Ю.И. Разоренов, А.А. Белодедов, А.В. Логачев // Социально-экономические проблемы развития южного макрорегиона. – Сборник научных трудов. – Краснодар, 2017. – С. 37–45.
9. Golik V.I., Khasheva Z.M., Shulgaty L.P. Economical efficiency of utilization of allied mining enterprises waste // Journal of the Social Sciences. – 2015. – V. 10. – № 6. – P. 750–754.
10. Лисутина Л.А., Ганичева Л.З. Оценка состояния природных ресурсов Восточного Донбасса // Инженерный вестник Дона. – 2012. – Вып. 3. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/997> (дата обращения 11.10.2017).
11. Агапов А.Е. Эколого-экономический мониторинг ликвидации последствий закрытия особо убыточных угольных шахт (разрез) // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 5. – С. 15–31.
12. Bieda B. Stochastic Analysis in Production Process and Ecology under Uncertainty. – Berlin, New York: Springer, 2012. – 189 p.
13. Молев М.Д., Масленников С.А. Техногенные риски населения больших городов: монография. – Шахты: ИСОиП (филиал) ДГТУ, 2016. – 118 с.
14. Scientific and methodological principles of the analysis and prediction of hydrogeological conditions of mine abandonment / Y.A. Norvatov, I.B. Petrova, D.I. Kotlov, D.I. Saveliev // International mining conference. – Vietnam, 2010. – P. 597–600.
15. Kvrner J., Snilsberg P. Groundwater hydrology of boreal peatlands above a bedrock tunnel–drainage impacts and surface water groundwater interactions // J. Hydrol. – 2011. – № 403. – P. 278–291. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169411002460> (дата обращения: 27.10.2017).
16. Jing L. A review of techniques advances and outstanding issues in numerical modelling for rock mechanics and rock engineering // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2003. – № 40. – P. 283–353.
17. Wang Li, Zhang Xiu Feng. Correlation of ground surface subsidence characteristics and mining disasters under super-thick overlying strata // Journal of China Coal Society. – 2009. – V. 34. – № 8. – P. 1048–1051.
18. Повышение полноты использования недр путем глубокой утилизации отходов обогащения угля / В.И. Голик, В.И. Комащенко, С.Г. Страданченко, С.А. Масленников // Горный журнал. – 2012. – № 9. – С. 91–95.
19. Golik V.I., Razorenov Y.I., Polukhin O.N. Metal extraction from ore beneficiation codas by means of lixiviation in a disintegrator // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – V. 10. – № 17. – P. 38105–38109.
20. Vrancken C., Longhurst P.J., Wagland S.T. Critical review of real time methods for solid waste characterisation: Informing material recovery and fuel production // Waste Management. – 2017. – V. 61. – P. 40–57.
21. Молев М.Д., Страданченко С.Г. Использование синергетических возможностей геофизических методов при прогнозировании результатов техногенных воздействий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 3. – С. 306–313.
22. Anderson M.P., Woessner W.W. In Applied Groundwater Modeling. – San Diego: Academic Press, 2015. – 564 p.
23. Yu Q., Wang Y.X., Ma R. Monitoring and Modeling the Effects of Groundwater Flow on Arsenic Transport in Datong Basin // Journal of Earth Science. – 2014. – № 25 (2). – P. 386–396.
24. О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2012 году. URL: <http://www.eecca-water.net/file/ecodon.pdf>. (дата обращения 18.10.2017).
25. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятности и математической статистике. – М.: Юрайт, 2011. – 231 с.

Поступила 08.02.2018 г.

Информация об авторах

Молев М.Д., доктор технических наук, профессор кафедры строительства и техносферной безопасности Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) Донского государственного технического университета.

Масленников С.А., кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительства и техносферной безопасности Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) Донского государственного технического университета.

Занина И.А., кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и техносферной безопасности Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) Донского государственного технического университета.

Илиев А.Г., кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и техносферной безопасности Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) Донского государственного технического университета.

UDC 622.3:504.05:628.5

ASSESSMENT OF COAL MINES LIQUIDATION IMPACT ON ECOLOGICAL SITUATION IN THE RUSSIAN DONBASS

Mikhail D. Molev¹,
2playrmd14716@aaanet.ru

Stanislav A. Maslennikov¹,
maslennikovsa@mail.ru

Irina A. Zanina¹,
zaninabzd@yandex.ru

Aleksey G. Iliev¹,
iliev-aleksejj@rambler.ru

¹ Institute of Service Sector and Entrepreneurship (branch) Don State Technical University,
147, Shevchenko street, Shakhty, 346500, Russia.

The relevance of the research is caused by the necessity of carrying out of scientifically grounded technical accompaniment of works on liquidation of unviable coal mines in the Russian Donbass (Rostov region) to minimize negative impact on the environment and people of the region.

The aim of the research is to justify and develop a set of methods for assessment of negative impact of technogenic factors on regional environmental system, accompanying liquidation at the unpromising coal mines.

Objects of researches are coal-bearing rock massif, underground and surface waters in the region, the atmosphere, the waste rock dump and piles.

Methods: integrated system analysis, synthesis of alternatives, methods of mathematical statistics and probability, mathematical modeling, optimization methods and operations research, verification of results.

Results. The authors have developed the methodology to assess the liquidation impact on the environment of the Russian Donbass and proposed scientific-methodical approaches to solving the problem. The main factors that determine the scale and types of negative effects accompanying the organizational and technical processes of unviable coal mines were identified. In particular, it was found that the nature and spatial temporal parameters of technogenic impacts depend on the dynamics of the rise of mine water. A complex of private physical and mathematical models required to describe industrial processes was formed. A systematic approach to experimental studies of coal-rock mass in the territory of the liquidated mines allowed as well setting the integrated spatial-temporal characteristics of the dynamics of flooding of mined-out space. The technique can be recommended for being used to substantiate the liquidation of technical measures in mining and geological conditions of all coal-mining areas of Russia, since it is based on the fundamental points of the physico-mathematical theory, geology and ecology, while the regularities of the dynamics of industrial processes have a universal character. It is important to specify that the environmental and economic efficiency of this development is confirmed by the practice at the closure of the coal mines in the Rostov region.

Key words:

Environmental safety, elimination of mines, negative impact factors, evaluation methodology, system analysis, dynamics of flooding.

The investigation results were obtained within the initiative scientific project on the state task no № 7.9213.2017/БЧ (7.9213.2017/8.9).

REFERENCES

1. Stradanchenko S.G., Pleshko M. S., Armeyskov V.N. O neobkhodimosti provedeniya kompleksnogo monitoringa podzemnykh ob'ektov na razlichnykh stadiyakh zhiznennogo tsikla [The need for comprehensive monitoring of underground facilities at different stages of the life cycle]. *Inzhenerny vestnik Dona*, 2013, no. 4. Available at: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1994 (accessed 30 September 2017).
2. Norvatov Yu.A., Saveliev D.I., Yashin A.V. Hydrogeological provision of mining operations in development of coal deposits by underground mining. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2014, no. 8, pp. 23–28. In Rus.
3. Belodedov A.A., Golik V.I., Zaalishvili V.B., Khasheva Z.M., Shulgaty L.P. Restructuring results of Donbass coal mining enterprises. *The Social Sciences*, 2016, vol. 11, no. 16. pp. 4035–4039.
4. Molev M.D., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. Theoretical and experimental substantiation of construction regional security monitoring systems technospheric. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2015 September, no. 16, pp. 6787–6792.
5. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. The economic efficiency of ore fields development technology combination. *Metallurgical and Mining Industry*, 2016, no. 4, pp. 111–115.
6. Harris J.M., Roach B. *Environmental and Natural Resource Economics. A Contemporary Approach*. New York; Armonk, M.E. Sharpe Inc., 2013. pp. 246–256.
7. Hibbs B.J., Sharp J.M. Hydrogeological impact of the urbanization. *Environmental and engineering geoscience*, 2012, no. 18 (1), pp. 3–24.
8. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Belodedov A.A., Logachev A.V. Ekonomicheskiy usherb ot restrukturalizatsii gornyykh predpriyatiy Donbassa [Economic losses from restructuring Donbass mining enterprises]. *Sotsialno-ekonomicheskie problemy razvitiya yuzhnogo makroregiona. Sbornik nauchnykh trudov*. Krasnodar, 2017. pp. 37–45.

9. Golik V.I., Khasheva Z.M., Shulgatyi L.P. Economical efficiency of utilization of allied mining enterprises waste. *Journal of the Social Sciences*, 2015, vol. 10, no. 6, pp. 750–754.
10. Lisutina L.A., Ganicheva L.Z. Otsenka sostoyaniya prirodnykh resursov Vostochnogo Donbassa [Assessment of natural resources of the Eastern Donbass]. *Inzhenernyy vestnik Dona*, 2012, Iss. 3. Available at: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/997> (accessed 18 October 2017).
11. Agapov A.E. Ecological and economic monitoring the aftermath of the closure of particularly unprofitable coal mines (mines). *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2008, no. 5, pp. 15–31. In Rus.
12. Bieda B. *Stochastic Analysis in Production Process and Ecology Under Uncertainty*. Berlin, New York, Springer, 2012. 189 p.
13. Molev M.D., Maslennikov S.A. *Tekhnogennyye riski naseleniya bolshikh gorodov: monografiya* [Technological risks the population of the big cities: monograph]. Shahty, ISOiP (filial) DGTU Publ., 2016. 118 p.
14. Norvatov Y.A., Petrova I.B., Kotlov D.I., Saveliev D.I. Scientific and methodological principles of the analysis and prediction of hydrogeological conditions of mine abandonment. *International mining conference*. Vietnam, 2010. pp. 597–600.
15. Kvrner J., Snilsberg P. Groundwater hydrology of boreal peatlands above a bedrock tunnel–drainage impacts and surface water groundwater interactions. *J. Hydrol.*, 2011, no. 403, pp. 278–291. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169411002460> (accessed 27 October 2017).
16. Jing L. A review of techniques advances and outstanding issues in numerical modelling for rock mechanics and rock engineering. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2003, no. 40, pp. 283–353.
17. Wang Li, Zhang Xiu-feng. Correlation of ground surface subsidence characteristics and mining disasters under super-thick overlying strata. *Journal of China Coal Society*, 2009, vol. 34, no. 8, pp. 1048–1051.
18. Golik V.I., Komashenko V.I., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. Povyshenie polnoty ispolzovaniya nedr putem glubokoy utilizatsii otkhodov obogashcheniya uglia [Increase in completeness of using subsoil by deep disposal of waste coal]. *Gornyy zhurnal*, 2012, no. 9, pp. 91–95.
19. Golik V.I., Razorenov Y.I., Polukhin O.N. Metal extraction from ore beneficiation codas by means of lixiviation in a disintegrator. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol. 10, no. 17, pp. 38105–38109.
20. Vrancken C., Longhurst P.J., Wagland S.T. Critical review of real-time methods for solid waste characterisation: Informing material recovery and fuel production. *Waste Management*, 2017, vol. 61, pp. 40–57.
21. Molev M.D., Stradanchenko S.G. Use of synergetic possibilities of geophysical methods in predicting the results of anthropogenic impacts. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2016, no. 3, pp. 306–313. In Rus.
22. Anderson M.P., Woessner W.W. *In applied groundwater modeling*. San Diego, Academic Press, 2015. 564 p.
23. Yu Q., Wang Y.X., Ma R. Monitoring and Modeling the Effects of Groundwater Flow on Arsenic Transport in Datong Basin. *Journal of Earth Science*, 2014, no. 25 (2), pp. 386–396.
24. *O sostoyanii okruzhayushchey sredy i prirodnykh resursov Rostovskoy oblasti v 2012 godu* [On the state of the environment and natural resources of the Rostov region in 2012]. Available at: <http://www.eecca-water.net/file/ecodon.pdf>. (accessed 18 October 2017).
25. Gmurman V.E. *Rukovodstvo k resheniyu zadach po teorii veroyatnosti i matematicheskoy statistike* [A guide to decision the tasks of the theory of probability and mathematical statistics]. Moscow, Yurayt Publ., 2011. 231 p.

Received: 8 February 2018.

Information about the authors

Mikhail D. Molev, Dr. Sc., professor, Institute of Service Sector and Entrepreneurship (branch) Don State Technical University.

Stanislav A. Maslennikov, Cand. Sc., head of the department, Institute of Service Sector and Entrepreneurship (branch) Don State Technical University.

Irina A. Zanina, Cand. Sc., associate professor, Institute of Service Sector and Entrepreneurship (branch) Don State Technical University.

Aleksey G. Iliev, Cand. Sc., associate professor, Institute of Service Sector and Entrepreneurship (branch) Don State Technical University.