

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2021, №3, Том 13 / 2021, No 3, Vol 13 <https://esj.today/issue-3-2021.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/34NZVN321.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Молев М.Д., Армейсков В.Н., Голодов М.А. Научно-методические подходы к геоэкологическому моделированию воздействия горных работ на угледобывающий регион // Вестник Евразийской науки, 2021 №3, <https://esj.today/PDF/34NZVN321.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Molev M.D., Armeyskov V.N., Golodov M.A. (2021). Scientific and methodological approaches to geoecological research modeling the impact of mining operations on the coal mining region. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(13). Available at: <https://esj.today/PDF/34NZVN321.pdf> (in Russian)

Молев Михаил Дмитриевич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»
Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал), Шахты, Россия
Профессор кафедры «Строительство и техносферная безопасность»
Доктор технических наук
E-mail: mikhail.molew@yandex.ru

Армейсков Виталий Николаевич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»
Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал), Шахты, Россия
Доцент кафедры «Строительство и техносферная безопасность»
Кандидат технических наук
E-mail: doc_zamdirahr@sssu.ru

Голодов Максим Александрович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»
Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал), Шахты, Россия
Доцент кафедры «Строительство и техносферная безопасность»
Кандидат технических наук
E-mail: doc_zamdirvr@sssu.ru

Научно-методические подходы к геоэкологическому моделированию воздействия горных работ на угледобывающий регион

Аннотация. Цель: обоснование комплекса работ по моделированию, обеспечивающих корректное решение задачи оценки и прогнозирования экологических параметров среды на территории угледобывающих регионов.

Авторами в контексте указанной проблемы решены следующие основные задачи:

- оценка и ранжирование техногенных факторов воздействия на окружающую среду;
- выбор основных параметров среды и опасностей для разработки геоэкологических моделей;
- обоснование методов моделирования;
- формирование комплекса моделей для решения задач оценки техногенных воздействий на горный массив.

Методы: в статье показано, что для достижения поставленной цели необходимо использовать методы интегрированного системного анализа, агрегирование и оптимизация параметров, методы математической статистики, синтез и обобщение полученных материалов, верификация теоретических положений.

Результаты: авторами разработаны научно-методические подходы, представляющие объективную основу для комплекса геоэкологических моделей и интерпретации материалов геолого-геофизических работ на территории угледобывающего региона. В статье представлены основные результаты системного анализа экспериментально-теоретических исследований. В частности, авторами показано, что основными видами моделей должны быть модели объектов — источников загрязнения, модели техногенных воздействий и модель природно-технической системы.

Выводы: представленные в статье исследования позволили авторам:

- обосновать методику разработки геоэкологических моделей, являющихся необходимым и надёжным инструментом для достоверной интерпретации при изучении состояния окружающей среды;
- разработать алгоритм формирования рационального комплекса моделей;
- обосновать систему индикаторов полезности геоэкологической модели.

Ключевые слова: геоэкологические модели; углепородный массив. угледобывающий регион; окружающая среда; интегрированный системный анализ; геолого-геофизические исследования; оптимизация; интерпретация

Введение

Актуальность эффективной геоэкологической оценки территории для современной России существенно возросла в связи с многофакторными техногенными последствиями производственно-хозяйственной деятельности. Особенно неблагоприятная экологическая обстановка сложилась в угледобывающих районах страны, что связано с вовлечением в региональный техногенно-экологический процесс углепородного массива (УПМ).

Весьма неудовлетворительное состояние окружающей (ОС), с одной стороны, и поступательное промышленное развитие страны, с другой стороны, настоятельно обуславливают проведение дальнейших научных исследований по разработке инновационных методик и технологий в целях снижения антропогенной нагрузки на природу и население регионов.

Литературный обзор

Отечественными и зарубежными учёными выполняются разноплановые научно-исследовательские работы по созданию методического обеспечения, позволяющего объективно оценить и прогнозировать состояние экологической безопасности на территории индустриальных областей [1, с. 4036; 2, с. 6788; 3, с. 185]. Одним из современных эффективных инструментов анализа состояния ОС является моделирование, в процессе которого широко используются компьютерные технологии. Вместе с тем, обзор публикаций по рассматриваемой проблеме показывает, что при решении модельных задач экологической направленности практически отсутствует системный подход или используется не в полной мере. Усилия большинства учёных сосредоточено на создание частных моделей, характеризующих загрязнение отдельных объектов окружающей среды под воздействием

различных вредных веществ или процессов. Так, например, Иофис М.А., Комиссаров А.А., Renner J. и Rummel F. рассматривают геомеханические процессы, в том числе в УГП [4, с. 37; 5, с. 155]. Известные специалисты в области шахтной гидрогеологии Гавришин А.И., Елохина С.Н., Мохов А.В., Норватов Ю.А., Потапов В.П. и Савельев Д.И. детально оценивают аспекты влияния производственных процессов на гидросферу и литосферу [6, с. 198; 7, с. 25]. В публикациях по результатам научных исследований таких учёных, как Голик В.И., Белодедов А.А. и Логачёв А.В. отражены вопросы моделирования техногенных воздействий на ОС, источниками которых выступают породных отвалы и другие объекты размещения отходов горного производства [8, с. 93].

Описанные исследования, несомненно, имеют большое значение для развития теории и практики моделирования в рамках оценки негативного воздействия производственных объектов на население и окружающую среду региона. В то же время выводы, полученные на основе изучения моделей отдельных факторов, как показывает практика, снижают качество общего представления о состоянии региональной экологической безопасности.

В связи с изложенными результатами анализа публикаций по проблеме, авторы считают, что разработка геоэкологических моделей, учитывающих весь комплекс техногенных воздействий, является актуальной научной задачей. При этом формирование набора моделей, охватывающих полный спектр реальных ситуаций, должно базироваться на детальном системном анализе участвующих объектов, негативных техногенных факторов и их связей.

Материалы и методы исследований

Объекты среды в угледобывающих регионах, определяющие экологическую безопасность, представляют собой сложную систему, которая характеризуется множеством разнообразных взаимосвязей. Указанная ситуация обуславливает использование соответствующей стратегии, тактики и методов, обеспечивающих корректное решение задач экологического моделирования. Прежде всего, авторы считают необходимым шагом изложить концепцию оценки воздействия горных работ на экологическое состояние природно-технической системы. Основная мысль состоит в том, что по результатам исследований участка в пределах территории, окружающей горнодобывающее предприятие, определяется геолого-геофизический разрез и последствия воздействия горных работ на УПМ с использованием геоэкологических моделей. Затем производится интерпретация полученных материалов.

Согласно авторской концепции, предполагается, что в результате анализа и обобщения полученных результатов будут разработаны научно-методические подходы, которые представляют объективную основу для создания геоэкологических моделей. Использование моделирования позволит провести обоснованную интерпретацию геолого-геофизических материалов, чтобы получить достоверную информацию для принятия управленческих решений в сфере экологии. Авторы считают, что в качестве основного аналитического инструмента при выполнении всех процедур моделирования необходимо применить интегрированный системный анализ (ИСА), обеспечивающий реализацию таких свойств сложной системы, как синергетический эффект, открытость и адаптивность, эмерджентность. Моделирование воздействия техногенных факторов на ОС должно предусматривать решение следующих задач: определение размеров объектов, разработка структурных характеристик и их совместная оценку. В рамках реализации системного подхода к построению моделей авторы предлагают использовать три основных аналитических процедуры:

- анализ и оценка исходных данных о системе и внешней среде;

- проведение экспериментов в ограниченном объёме непосредственно на реальном объекте;
- детальный анализ функционирования системы.

Обязательным элементом процедуры построения модели должно стать математическое описание, которое является отражением сущности объекта (явления, процесса) с учётом его особенностей и ограничений. При этом главная задача состоит в отыскании оптимального решения, которое достигается путём компромисса между степенью сложности формулируемой модели объекта и её адекватности реальной системе. Адекватность модели ОС достигается апробированным на практике способом, суть которого состоит в выделении из всего спектра факторов только главных составляющих, которые определяют существование и поведение изучаемого объекта. Модель формируется для решения обусловленного круга задач, поэтому необходимо, чтобы каждой задаче соответствовала своя модель. Данный тезис определяет смысл моделирования и направления решения дилеммы (сложность и адекватность). С этими принципами связано требование о соответствии между точностью моделирования и сложностью модели. На практике уменьшение сложности моделей необходимо выполнять с использованием специальных методов таких, как:

- агрегирование;
- придание переменным величинам статуса постоянных для некоторого диапазона изменения значений;
- изменение функциональной зависимости одного вида на другую;
- ограничение точности модели.

Модельные исследования, исходя из анализа практических результатов, авторы предлагают осуществлять по апробированному алгоритму, который включает следующие основные этапы: постановка задачи моделирования, предварительный («предмодельный») анализ, построение модели, отыскание решения, проверка модели, оценка результатов. В процессе так «предмодельного» анализа выполняются аналитические исследования существующего объекта и технических средств.

Основной этап — построение модели — включает стадии:

- формирование структуры и состава модели (перечень частных моделей);
- разработка операционного алгоритма;
- компоновка модели из множества частных моделей;
- формирование связей;
- системная организация модели сложного объекта;

Этап отыскания решения представляет определение целевой функции. При этом, согласно известным фундаментальным положениям, формулируются показатели, исходя операций моделирования — в качестве составляющих комплексного решения. На этапе проверки модели, прежде всего, оценивается адекватность разработанной модельной конструкции.

Для оценки соответствия сформированной модели реальной системе целесообразно использовать следующие методы:

- сопоставление модельных результатов с экспериментальными данными;
- сравнение с моделями — аналогами;

- сопоставление структуры и функционирования разработанной модели с характеристиками оригинала.

Результаты всесторонней проверки модели на практике обуславливают дальнейший процесс:

- решение о возможности использования построенной модели в практике работы;
- потенциальная корректировка модели.

В связи с изложенным тезисом о верификации результатов моделирования укажем, что в процессе научно-исследовательской работы была проведена геофизическая съёмка на 137 участках, расположенных в пределах 19 шахтных полей Ростовской области. На изучаемых площадях расположены следующие природные и техногенные объекты, нарушающие сплошность и нормальное исходное залегание горных пород в УПМ:

- вертикальные и наклонные горные выработки (стволы, шурфы, бремсберги);
- технические скважины различного назначения;
- зоны тектонических и карстовых нарушений.

Выбор участков для геолого-геофизических исследований и последующего моделирования определялся, исходя из потенциальной негативной роли указанных объектов.

Результаты исследований по разработке системы геоэкологического моделирования

Анализ полученных материалов позволил установить, что через определённое время после отработки угольных пластов (от нескольких недель до нескольких месяцев) нарушенные зоны образуют так называемые «пустоты», то есть трещиноватые участки в массиве. Эти пустоты становятся каналами в УПМ, через которые на дневную поверхность и подземную гидрографическую сеть поступают загрязняющие вещества, образовавшиеся в процессе подземных горных работ: соли тяжёлых металлов, органические вещества, минеральные масла, вредные газы. В таблице, составленной авторами, по результатам анализа материалов химической лаборатории угледобывающей компании «Ростовуголь» (Ростовская область) представлены металлы, содержащиеся в дренажных водах.

Таблица

Загрязнённость дренажных вод ликвидируемых шахт компании «Ростовуголь»

Шахта / Mine	Содержание микроэлементов, мг/дм ³ / The content of microelements, mg/dm ³							
	Pb	Li	Mo	Mn	Cr	Sr	Ti	Zn
«Глубокая»	0,005	0,455	0,03	1,35	0,025	6,8	0,05	0,05
«Майская»	0,003	0,34	0,035	0,02	0,013	9,5	0,1	0,1
«Наклонная»	0,003	0,34	0,01	0,02	0,01	8,5	0,04	0,08
«Аютинская»	0,003	0,22	0,009	0,1	0,01	4,5	0,02	0,1
«Южная»	0,004	1,3	0,015	0,02	0,015	8,4	0,02	0,22

Разработано авторами

Укажем, что описанное переформатирование строения УПМ представляет одно из основных направлений воздействия горных работ на экологию региона. Достаточно привести только одну цифру: ежегодно водоотливными комплексами ликвидируемых шахт сбрасывается в речную сеть Донского региона без очистки 3566 тысяч кубометров загрязнённой минерализованной воды [9, с. 150].

Оценку «пустотности» (объём техногенных пустот) можно произвести по формуле

$$V_{\Pi} = \left(1 - \frac{\eta}{m}\right) \times m \times S / \cos \alpha,$$

где η — оседание земной поверхности после выемки угольного пласта;

α — угол падения пласта;

m — вынимаемая мощность одиночного угольного пласта;

S — площадь обрабатываемого участка.

Коэффициент пустотности определяется из выражения

$$K_{\Pi} = V_{\Pi} / V_{y}$$

где V_y — объём извлеченного угля.

Процесс корректировки построенной модели объекта, как правило, включает следующие операции:

- уточнение параметров;
- пересмотр ограничений на числовой диапазон характеристик модели;
- уточнение показателей прогноза поведения системой;
- углублённый анализ связей между компонентами объекта;
- уточнение критерия эффективности.



Рисунок 1. Схема взаимосвязи моделирования с процессами геолого-геофизического контроля состояния геосреды (разработан авторами)

Важной стадией на этапе анализа результатов моделирования является оптимизация построенной модели, которая заключается в максимально возможном упрощении моделей при обусловленном техническим заданием уровне адекватности. Примерная схема формирования модели изображена на рисунке 1.

На основании анализа результатов моделирования делается вывод о соответствии (несоответствии) полученных параметров модели реальному ходу явлений и процессов.

Результаты теоретических исследований были использованы для моделирования экологической безопасности угледобывающего района, территориально расположенного в Ростовской области. Природно-техническая система, которая формируется на территории промышленного региона представляет довольно сложный объект для изучения. Сложность ПТС обусловлена её характеристиками и поведением в пространственно-временных координатах. Первый фактор, определяющий сложное строение ПТС, заключается в том, что она состоит из множества разнородных по размерам и свойствам объектов как природного, так и технического характера. Второй аспект, обуславливающий сложность исследования, связан с первым фактором и определяется тем, что множественность свойств и многочисленность связей между частями ПТС порождает новые свойства системы. Данный процесс можно проиллюстрировать с помощью модели, изображённой на рисунке 2.

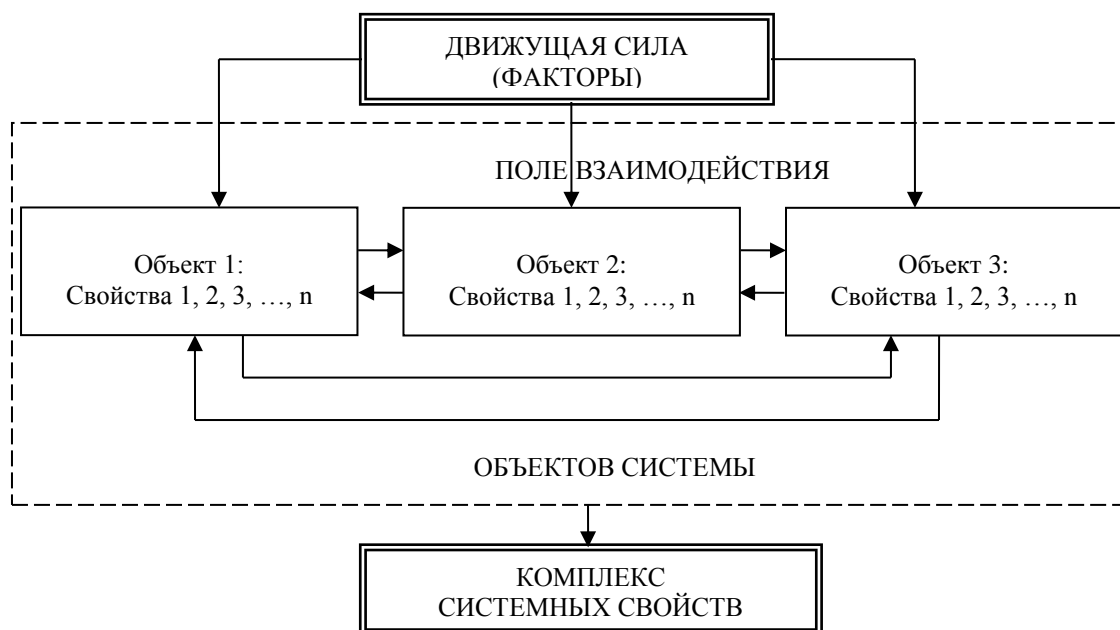


Рисунок 2. Графическая модель взаимодействия объектов и процессов в УПМ (разработан авторами)

Третья особенность природно-технической системы заключается в том, что она находится в постоянном развитии, то есть представляет собой динамическую систему. При этом динамический характер ПТС дополняется наличием обратной связи у объектов, что обуславливает возвращение эффектов взаимодействия обратно к их источнику. В результате видоизменённые эффекты процесса усиливаются или ослабляются и суммарное воздействие развивается во времени по весьма сложному нелинейному закону [10, с. 168].

Необходимо указать, что сложным аспектом моделирования в данном случае является вопрос о введении параметра времени в характеристику модели. Удовлетворительные результаты получаются при использовании рядов наблюдений, скомпонованных в хронологической последовательности (при быстротекущих процессах), или статических приближений (в случае медленного развития процесса). ПТС представляет собой открытую

систему, характеризующуюся наличием таких процессов, как переносы потоков веществ, энергии и информации, а, следовательно, входов и выходов. В то же время некоторая часть вещества является потенциально многократным участником взаимодействия, реализуя принцип обратной связи. Вследствие реализации подобного сценария формирование так называемых «сквозных» моделей, которые отражают все функции ПТС, не представляется возможным.

Для моделирования природно-технической системы предлагается методика, в основе которой лежит альтернативная идея использования комплекса индикаторов и модернизированной модели ПТС. Данная модель является синтезом модели технической системы и модели окружающей среды. Двухкомпонентная модель ПТС, позволяет с необходимой степенью достоверности решить ряд теоретических и практических задач, связанных с оценкой антропогенных воздействий на урбанизированную территорию. Модель воздействия технической подсистемы на ОС можно представить в виде блок-схемы, изображённой на рисунке 3.

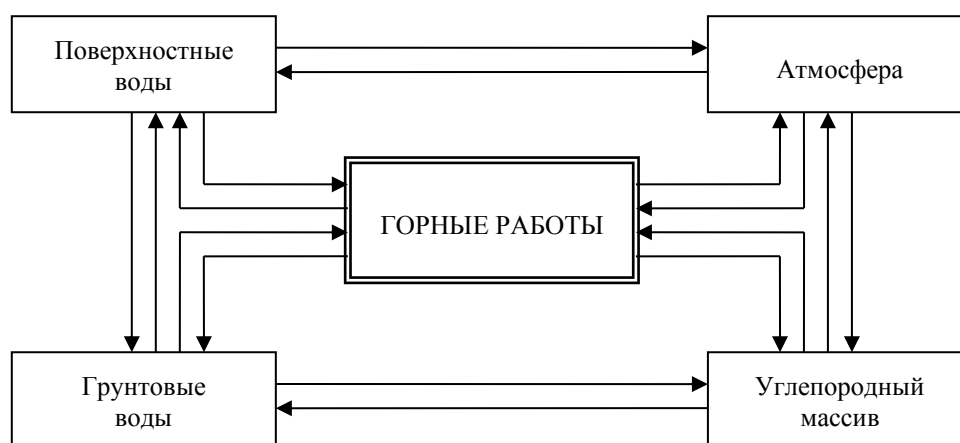


Рисунок 3. Схема техногенного воздействия горных работ на окружающую среду (разработан авторами)

Главными компонентами модели ОС являются вода, воздух, горные породы, а также ресурсы и отходы производства и потребления. Затем в модель должны быть введены три компонента, в том числе физическая, химическая и биотическая. В рамках описания компонент определяются индексы и индикаторы. В качестве индикаторов используются следующие характеристики:

- индикаторы антропогенного воздействия;
- индикаторы состояния.

При этом необходимо сформулировать общие критерии выбора индикаторов в системах принятия управляющих решений:

- значимость показателя для территории;
- пригодность для использования в базах (банках) данных;
- возможность совместимости с системой принятия решений.

В процессе моделирования важно сформулировать обобщённые (агрегированные) индикаторы, представляющие сумму простых индикаторов одного типа. Так, для атмосферного воздуха вводится интегрированный показатель загрязнения атмосферы. В комплекс

индикаторов включаются показатели, характеризующие качество сбрасываемых шахтных вод. Сформулированные индикаторы будут представлять в модели критерии оценки качества ОС.

Анализ, выполненный авторами, показал, что оценки, проведенные с использованием индикаторов, являются достаточно объективными. При этом фиксируются все возникающие эффекты негативного воздействия промышленных объектов, что, в свою очередь, позволяет оценить техногенные риски для населения угледобывающих регионов.

Обсуждение результатов

Научно-методические разработки, представленные в данной публикации, позволяют произвести корректную интерпретацию материалов геолого-геофизических исследований. При этом формируется логически взаимосвязанная цепочка интерпретационных процедур, включая технолого-экологическую интерпретацию.

Изложенные аспекты моделирования позволяют рекомендовать данную методику для внедрения в практику. Суть состоит в том, что её основные положения актуальны для любого угледобывающего региона и удовлетворительно согласуются как с фундаментальными принципами теории моделирования и экологии ОС, так и исследованиями Ю.А. Норватова, А.Д. Рубана, В.Л. Шкуратника. Подтверждаются также результаты исследований А.В. Мохова. В то же время разработанная методика, основанная на ИСА всех объектов, процессов и взаимосвязей ПТС, позволяет устранить ряд неопределённостей, которые возникают при реализации известных ранее методик. При этом повышается надёжность и достоверность решений по управлению экологической безопасностью региона. Высокая эффективность моделирования достигается:

- использованием многостадийной логически увязанного процесса моделирования;
- применением имитационных моделей, корректно описывающих процессы с нечётко формализуемыми процессами и объектами;
- выбором оптимальной модели на основе синтеза альтернатив;
- возможностью формирования рационального комплекса моделей в зависимости от конкретных горно-геологических условий;
- использованием количественных характеристик и критериев.

Значимой и неотъемлемой процедурой авторам представляется предварительная оценка полезности той или иной модели в общем процессе моделирования и использования при интерпретации результатов.

Использование предложенной методики формирования геоэкологических моделей обеспечивает разработку программы оптимальных решений, направленных на стабилизацию и улучшение экологической ситуации в угледобывающих регионах. При этом открывается возможность сформировать систему управления ПТС на основе результатов единого геолого-эколого-технологического процесса. Верификация прогнозов, построенных с использованием изложенной методики, показывает корректность принятой рабочей гипотезы. В указанном плане можно указать, что надёжность прогнозных данных на 137 участках шахтных полей по результатам ретроспективного анализа составила 87 % [11, с. 70].

В рамках дальнейшего развития исследований по проблеме, рассмотренной в данной статье, планируется совершенствование методического аппарата анализа негативных процессов, воздействующих на экологию ОС и повышение качества перспективного

прогнозирования. В частности, авторы считают насущной необходимостью разработку комплекса компьютерных программ для комплексного моделирования.

Заключение

Теоретические и экспериментальные исследования с привлечением авторской концепции позволили:

- обосновать научно-методические подходы к разработке геоэкологических моделей объектов и техногенных воздействий при изучении состояния региональной ОС;
- разработать методику формирования рационального комплекса моделей;
- обосновать систему индикаторов (критериев) полезности геоэкологической модели для оценки техногенных воздействий на ПТС региона.

Важно указать, что эколого-экономическая эффективность научно-исследовательской работы подтверждена при реализации основных положений разработки в процессе проведения производственных геофизических работ на территории Российского Донбасса [15].

ЛИТЕРАТУРА

1. Belodedov, A.A. 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. — Vol. 11. — No. 16. — Pp. 4035–4039.
2. Molev, M.D. Theoretical and experimental substantiation of construction regional security monitoring systems technospheric / M.D. Molev, S.G. Stradanchenko, S.A. Maslennikov // *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. — 2015. — No. 16, September. — pp. 6787–6792.
3. Опарин, В.Н. Мониторинг загрязнений водного бассейна районов активной угледобычи с использованием данных дистанционного зондирования» / В.Н. Опарин, В.П. Потапов, О.Л. Гиниятуллина, Н.В. Андреева // *ФТПРПИ*. — 2012. — № 5. — С. 181–188.
4. Иофис, М.А. Развитие методологии расчётов деформации земной поверхности при освоении недр / М.А. Иофис, Е.Н. Есина // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. — 2016. — № 4. — С. 35–42.
5. Renner, J. Rock mechanical characterization of an argillaceous host rock of a potential radioactive waste repository / J. Renner, T. Hettkamp, F. Rummel // *Rock Mechanics and Rock Engineering*. — 2000. — 33(3). — pp. 153–178.
6. Мохов, А.В. Оценка прорывоопасности очистной выемки каменноугольных пластов с обрушением кровли под водными объектами (по материалам подработки затопленных выработок) / А.В. Мохов // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2011. — № 2. — С. 47–54.

7. Норватов, Ю.А. Гидрогеологическое обеспечение горных работ при разработке угольных месторождений подземным способом / Ю.А. Норватов, Д.И. Савельев, А.В. Яшина // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 8. — С. 23–28.
8. Голик, В.И. 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.
9. Молев, М.Д. Оценка воздействия процессов ликвидации угольных шахт на экологическую ситуацию в Российском Донбассе / М.Д. Молев, С.А. Масленников, И.А. Занина, А.Г. Илиев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2018. — Т. 329. — № 7. — С. 148–156.
10. Merkulova, V.A. Analysis and estimation of the ecological risk resulting from negative man-made activities by means of end-to-end modeling / V.A. Merkulova, A.A. Bogoliubova // Man in India. — 2017. — Vol. 97. — No. 3. — Pp. 163–173.
11. Молев, М.Д. Геофизическое прогнозирование экологической безопасности угледобывающих регионов на основе решения многокритериальных задач / М.Д. Молев, В.Н. Армейсков, М.А. Голодов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2019. — № 3. — С. 63–73.

Molev Mikhail Dmitrievich

Don State Technical University
Institute of Service and Entrepreneurship (branch), Shakhty, Russia
E-mail: mikhail.molew@yandex.ru

Armeyskov Vitaly Nikolayevich

Don State Technical University
Institute of Service and Entrepreneurship (branch), Shakhty, Russia
E-mail: doc_zamdirahr@sssu.ru

Golodov Maxim Alexandrovich

Don State Technical University
Institute of Service and Entrepreneurship (branch), Shakhty, Russia
E-mail: doc_zamdirvr@sssu.ru

Scientific and methodological approaches to geocological research modeling the impact of mining operations on the coal mining region

Abstract. Objective: to substantiate a set of modeling works that provide a correct solution to the problem of assessing and predicting environmental parameters of the environment on the territory of coal-mining regions.

The authors have solved the following main tasks in the context of this problem:

- assessment and ranking of technogenic factors of environmental impact;
- selection of the main environmental parameters and hazards for the development of geocological models;
- justification of modeling methods;
- formation of a complex of models for solving the problems of assessing man-made impacts on the mountain range.

Methods: The article shows that in order to achieve this goal, it is necessary to use methods of integrated system analysis, aggregation and optimization of parameters, methods of mathematical statistics, synthesis and generalization of the obtained materials, verification of theoretical propositions.

Results: The authors have developed scientific and methodological approaches that provide an objective basis for a complex of geocological models and interpretation of materials of geological and geophysical works on the territory of a coal-mining region. The article presents the main results of the system analysis of experimental and theoretical studies. In particular, the authors show that the main types of models should be models of objects-sources of pollution, models of man-made impacts and a model of a natural-technical system.

Conclusions: The research presented in the article allowed the authors:

- to substantiate the methodology for the development of geocological models, which are a necessary and reliable tool for reliable interpretation when studying the state of the environment;
- to develop an algorithm for the formation of a rational set of models;
- to justify the system of indicators of the utility of the geocological model.

Keywords: geocological models; coal-bearing massif. coal mining region; environment; integrated system analysis; geological and geophysical research; optimization; interpretation