

Научно-техническое обоснование системы контроля качества шахтных вод

С.И. Паскарелов, М.Д. Молев

Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) Донского государственного университета

Аннотация: В статье изложены результаты научно-исследовательских работ, обеспечивающих корректное решение задачи оценки качества дренажных вод, которые образуются в процессе добычи угля. В контексте указанной проблемы решены следующие основные задачи:

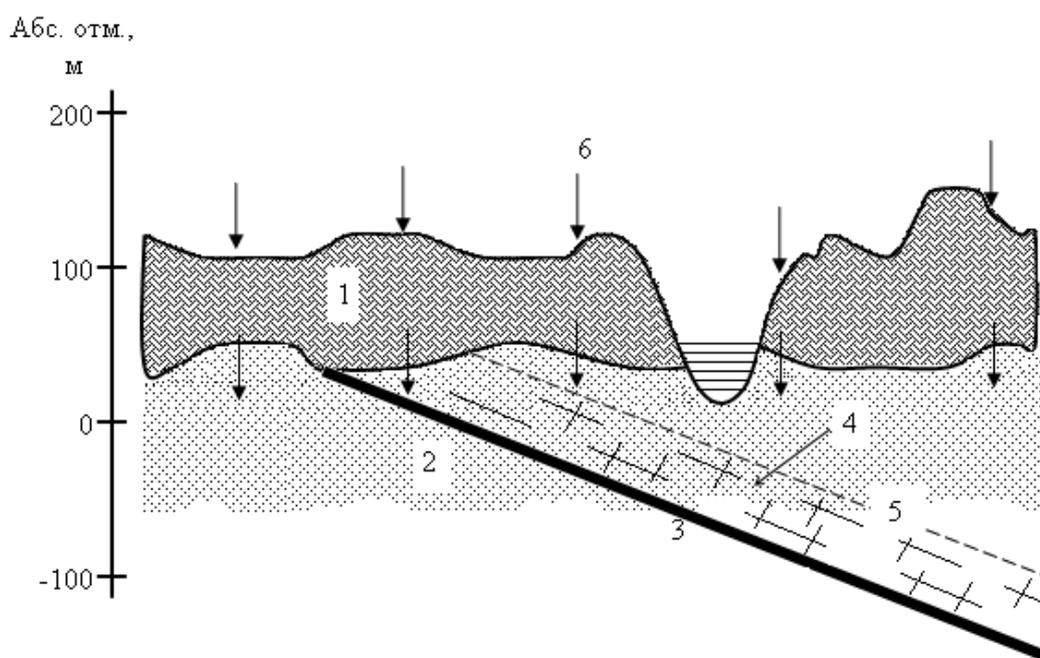
- оценка и ранжирование техногенных факторов воздействия на гидросферу региона;
- выбор основных параметров среды для разработки методики исследования;
- формирование моделей для обоснования контроля качества дренажных вод.

Авторами статьи разработаны научно-технические решения, представляющие объективную основу для интерпретации материалов исследований на территории угледобывающего региона. В статье представлены основные результаты системного анализа экспериментальных и теоретических исследований. В частности, авторами показано, что основными видами моделей должны быть модели объектов – источников загрязнения, модели техногенных воздействий и модель природно-технической системы.

Ключевые слова: угледобывающий регион, шахтные воды, контроль качества, углепородный массив, техногенные загрязнения, гидросфера, системный анализ, гидромониторинг.

Интенсивная деятельность промышленных предприятий, объектов транспортной и энергоснабжающей инфраструктуры на территории России сопровождается негативным влиянием на местное население и окружающую природную среду (ОПС), включая региональную гидросферу. Вода является одним из основных источников жизни людей на планете, флоры и фауны. Актуальность наличия и использования «чистой», то есть соответствующей требованиям нормативных документов, воды всё более возрастает в связи с недостаточной очисткой промышленных и бытовых стоков, загрязняющих региональную гидросеть. Во многих угледобывающих регионах закрыто большинство шахт – всего свыше 200 предприятий по стране [1, 2]. При этом возникающие техногенные процессы затронули не только угольные шахты, но и другие объекты, расположенные в зоне техногенного влияния угольных предприятий.

В связи с тем, что одним из основных негативных последствий закрытия угольных шахт явилось многократное увеличение притоков дренажных вод в региональную гидросеть, возникла значимая проблема охраны и восстановления качества воды. Создавшаяся гидрографическая ситуация обусловлена наличием в геологической среде угледобывающих регионов комплекса тектонических нарушений, которая вносит существенный вклад в формирование подземной гидросферы. Процесс водопритоков в угольные шахты можно схематично представить в виде рис. 1.



1, 2 – вмещающие горные породы; 3 – угольные пласты; 4 – зона трещиноватых пород; 5 – граница зоны водопроницаемых трещин; 6 – направление инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод

Рис. 1. – Схема водопритоков в углеродный массив

Верхние слои углеродного массива (УПМ), в которых сосредоточена основная часть запасов подземной гидросферы, связаны с дневной поверхностью многочисленными природными и техногенными водопроницаемыми каналами. Наличие этих каналов обусловило

загрязнение подземных водозаборов различными неочищенными стоками промышленного и бытового характера. При этом одним из основных загрязнителей гидрографической сети в угледобывающих районах страны в настоящее время являются агрессивные шахтные воды (рис.2).

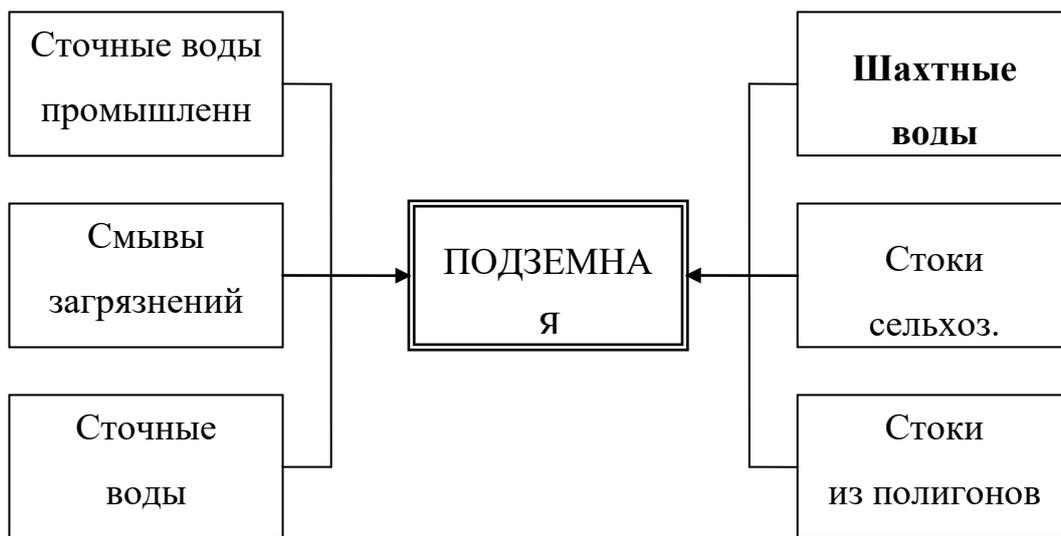


Рис. 2. – Источники техногенных загрязнений подземной гидрографической сети

По результатам объективного геолого-маркшейдерского контроля к 2007 году дренажными стоками заполнено выработанное при добыче угля подземное пространство [3]. Такое интенсивное загрязнение подземных водоносных горизонтов шахтными водами на исследуемой территории связано с ликвидацией так называемых «неперспективных» по экономическим показателям угольных шахт.

Анализ показывает, что минерализация шахтных вод в Донбассе колеблется от 3 г/дм³ до 13,9 г/дм³. Стоки дренажных вод из УПМ характеризуются аномально высоким содержанием таких вредных химических элементов и соединений, как сульфаты, хлориды, железо, марганец, магний, медь и другие. Перечисленные опасные вещества

попадают в водозаборы питьевых подземных вод, а затем в поверхностные водоёмы Донского региона [4-5].

Таблица № 1

Характеристика дренажных вод шахт Российского Донбасса

Наименование микроэлементов, соединений и веществ	Содержание микроэлементов, соединений и веществ, мг/лм ³
Натрий	1635
Кальций	56
Магний	490
Железо	0,40
Марганец	0,05
Медь	0,018
Цинк	0,015
Сульфаты	490,2
Хлориды	781
Взвешенные вещества	12,6
Минерализация	2345
Биологическое потребление кислорода (БПК)	2,8
Водородный показатель рН	6,6-8,4

Исходя, с одной стороны, из значимости проблемы для угледобывающих районов России и недостаточной её разработанности, судя по результатам анализа научных публикаций, с другой стороны [6-7], предлагаются научно-технические мероприятия по совершенствованию.

Основное направление развития теории и практики исследований, по мнению авторов, должно состоять в совершенствовании контроля процессов загрязнения гидросферы, потому что только достоверная информация о качестве дренажных вод, позволит разработать лицам, принимающим решения (ЛПР), адекватные ситуации руководящие документы.

Основная идея заключается в применении для получения качественных исходных данных мониторинга гидрогеологических и гидрохимических процессов на территории техногенного воздействия шахт. При этом, по мнению авторов, гидромониторинг должен представлять единую научно-исследовательскую и организационно-техническую систему. Указанный

подход обеспечивает комплексность выполнения контрольных работ, включая получение первичных данных, их обработку, анализ и перспективный прогноз развития гидросферной ситуации. Требование комплексирования выполнения и интерпретации результатов измерений вытекает непосредственно из базовых положений о строении и свойствах сложных природно-технических систем, к которым относятся углепородный массив и гидросфера [8, 9]. Важно отметить, что комплексные взаимоувязанные исследования позволяют оперативно осуществлять текущую корректировку в процесс, тем самым повышая надёжность и достоверность информации.

В контексте изложения считаем важным указать, что неотъемлемым этапом формирования методики является моделирование объектов – «участников» процесса загрязнения и всех его стадий. Моделирование распространения загрязняющих веществ (ЗВ) по УПМ включает в себя следующие этапы:

- создание 3D модели гидрогеологического объекта;
- моделирование движения дренажных вод и загрязнений в УПМ;
- моделирование движения воды и ЗВ в поверхностной гидросфере.

На основании информации создаётся модель гидрогеологического объекта. При этом определяются границы моделируемого пространства и количество исследуемых горизонтов в пределах объёма УПМ. Для получения достоверных результатов выбор указанных характеристик выполняется так, чтобы для каждой существенной области был известен уровень грунтовых вод или значение потока. Применяя базовую физико-математическую теорию движения жидкостей в ненасыщенных средах, специалисты-гидрогеологи рассчитывают изменения параметров водотока в рассматриваемом объёме. На основании изложенных теоретических и практических результатов

исследований специалисты предлагают выполнять имитационное моделирование (ИМ) в соответствии со схемой, приведённой на рис. 3.

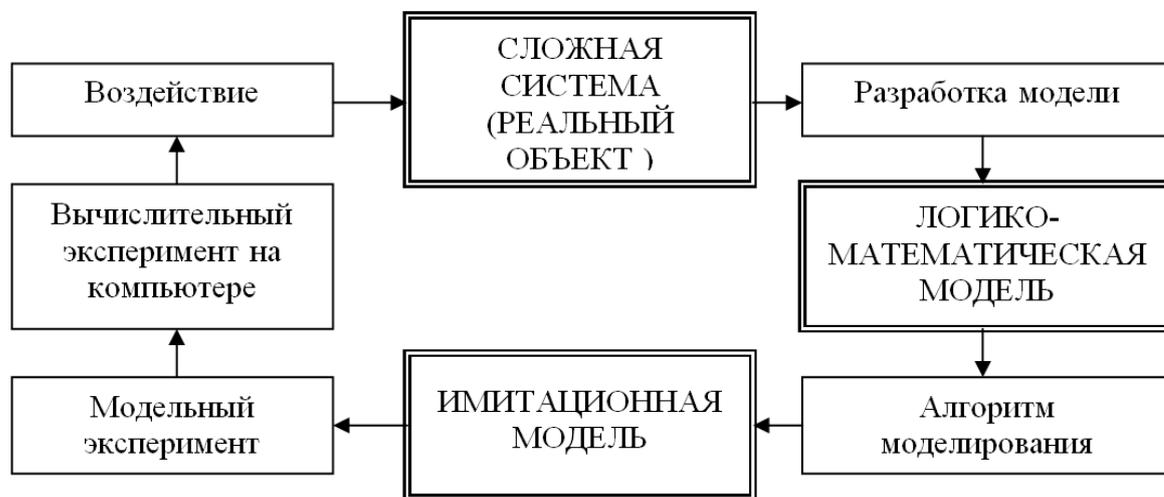


Рис. 3. – Блок-схема имитационного моделирования

Моделирование погоризонтной миграции загрязняющих веществ, принимая условия вариативности в его пределах фильтрационных параметров, позволяет получить массив вероятностных значений нахождения ЗВ в конкретном месте УПМ. Как показывает анализ фактических результатов, такой методический подход обеспечивает необходимую для практики надёжность оценки риска попадания загрязняющих веществ, исследуемый источник воды, например, реку или водозаборную скважину.

Опираясь на изложенные результаты анализа исследуемой проблемы, представляется обоснованным сформировать алгоритм разработки методики гидромониторинга в виде схемы, изображённой на рис. 4.

Формирование рационального комплекса методов исследований производится на основании фундаментальных положений математики, информатики и геофизики, обуславливающих выполнение таких функций, как:

- обнаружение объекта исследования (вещества, процесса);

- получение новой информации об объекте;
- возможность выдвижения альтернативных решений;
- согласование метода с объектом по возможностям его исследования (объёмы и экономические затраты).

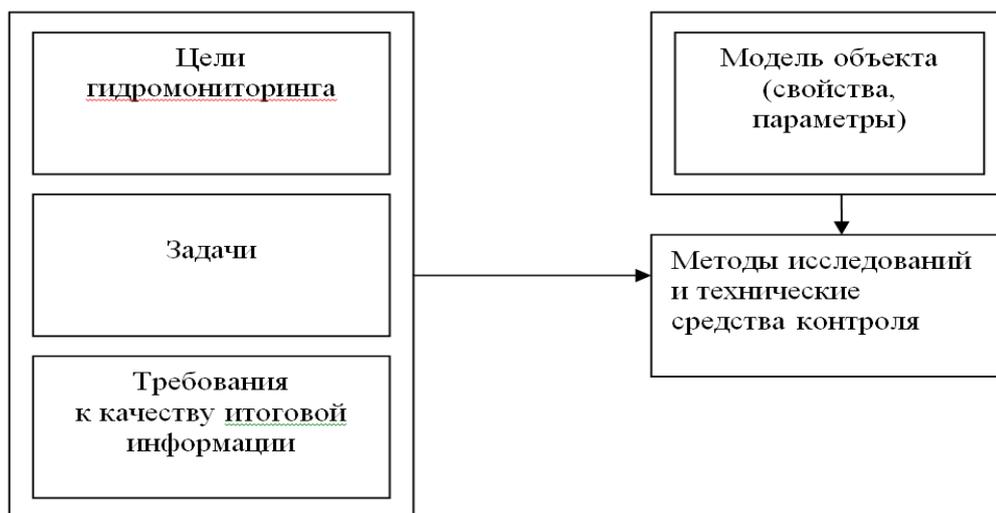


Рис. 4. – Алгоритм разработки методики мониторинга гидросферы на территории угледобывающего региона

Выбор метода контроля также производится, исходя из качественных и количественных характеристик и стоимости информации (1):

$$G = \frac{C_j}{I_i}, \quad (1)$$

где C_j – стоимость единицы вида работ; I_i – количество информации [10].

Примерная структурная схема предлагаемого измерительного комплекса изображена на рис. 5.

Необходимое качество информации для ЛПР обеспечивается посредством режимных наблюдений и последующим перспективным прогнозированием таких техногенных процессов в УПМ и поверхностной гидросфере, как:

- повышение в массиве вертикальных отметок грунтовых вод;

- изменение физического и химического состава дренажных вод на исследуемой территории;
- формирование техногенных водоносных горизонтов.

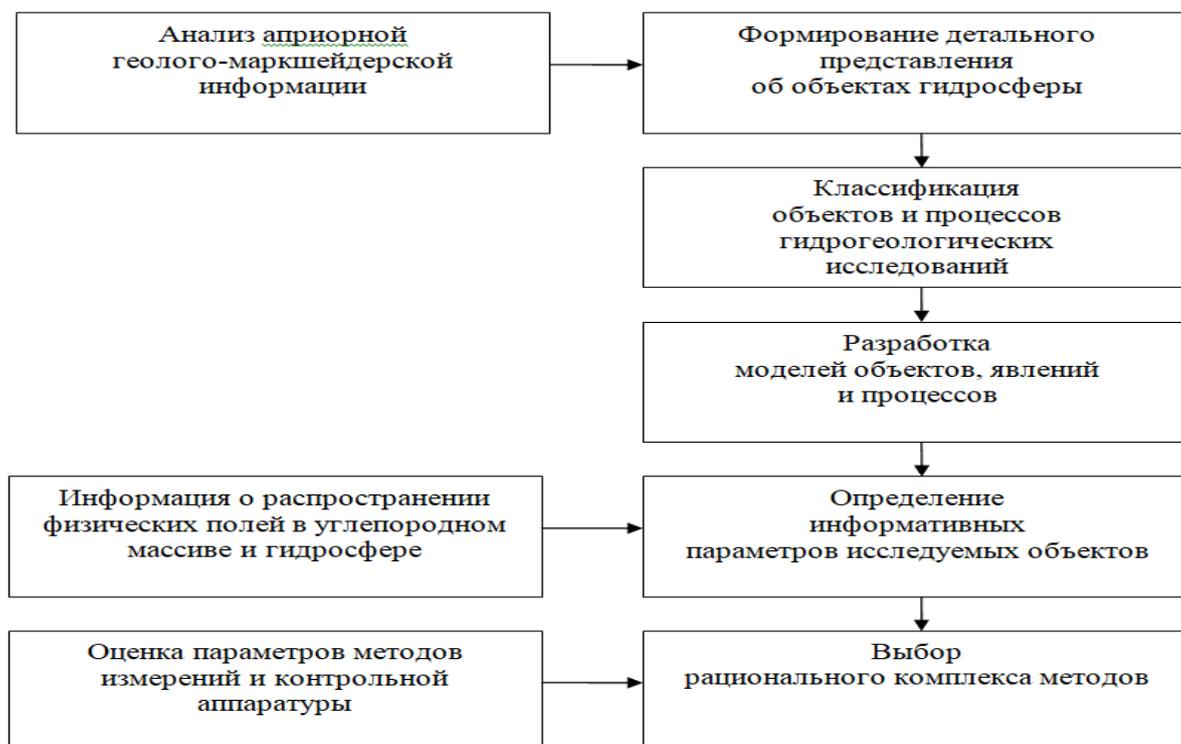


Рис. 5. – Структурная схема формирования измерительного комплекса

Выбор комплекса требуемых характеристик объекта проводится на основе соблюдения принципов полноты извлечения информации и значимости каждой компоненты для формирования явления, а также оценки влияния различных вредных веществ на среду обитания.

Важнейшим элементом гидромониторинга являются обработка, анализ и обобщение результатов измерений.

Процесс обработки складывается из последовательности операций. Начальная ступень – первичная обработка, назначение которой состоит в документации полевых записей, контроле достоверности и подготовке к основному процессу. Целесообразно создать и регулярно вести

гидрогеологический банк данных в бумажно-документном и компьютерных вариантах. Документация должна содержать общие сведения (горно-геологические, гидрогеологические, горнотехнические и природные условия объекта) и оформлена в виде стандартных таблиц.

В обязательном порядке производится оценка точности измерений и расчётов, а также сопоставление данных по результатам различных методов исследований (например, геофизических и гидрогеологических). Указанными способами достигается сближение различных видов информации при изучении водно-физических параметров и, в конечном итоге, повышается достоверность оценок и надежность прогнозирования.

На основании анализа результатов исследований предлагается эффективный алгоритм оценки состояния подземной гидросферы, включающий научно обоснованные и взаимосвязанные в логическую цепь следующие организационно-технические мероприятия:

- а) построение работы систем в дискретно-непрерывном режиме;
- б) использование информационно-компьютерных технологий;
- в) применение физико-математических методов интерпретации и обобщения полученных результатов наблюдений.

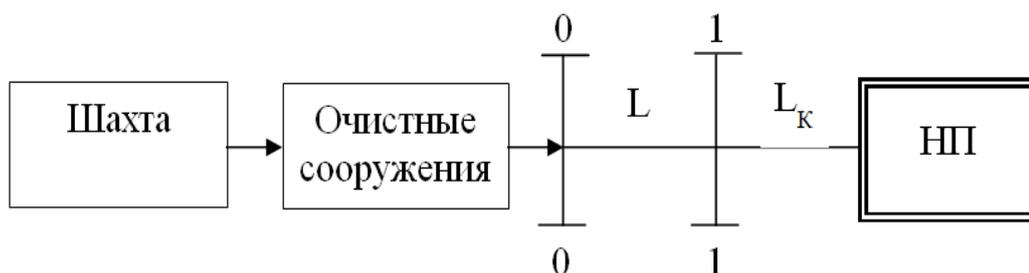
Измерительно-аналитический комплекс должен на практике обладать такими характеристиками, как:

- эффективность решения поставленных задач;
 - гибкость и оперативность реформатирования структур при изменениях условий;
 - программная и техническая совместимость;
 - реализуемость;
 - надёжность блоков;
 - максимальная технико-экономическая эффективность.
-

Оптимальная сеть формируется на основе анализа горно-геологических и гидрогеологических условий, характеризующих УПМ, в том числе, гидравлические связи между водоносными горизонтами. Расчёт количества контрольных постов (точек) должен исходить из условия получения максимального объёма фактической информации при минимально возможном числе пунктов наблюдения. Периодичность измерений уровней затопления определяется по установленным для данного района тенденциям затопления УПМ с учётом обязательной фиксации экстремальных изменений скорости подъёма шахтных вод [11].

Процесс разбавления сточных вод производится в два этапа: сначала определяется начальное n_n , затем – основное разбавление n_o . Общая кратность разбавления представляется в виде произведения $n = n_n \times n_o$.

Расчётная ситуационная схема изображена на рис. 6.



0-0 – нулевой створ; 1-1 – расчетная точка (расчетный створ); НП – населенный пункт;

L – длина участка разбавления дренажных вод, м;

L_k – контрольное расстояние до населённого пункта, м.

Рис. 6. – Расчётная ситуационная схема

Начальное разбавление принято рассчитывать по методике учёного-гидрогеолога Ф. Г. Майрановского. Алгоритм расчёта следующий:

- 1) Определяется кратность начального разбавления.
- 2) Рассчитывается кратность основного разбавления:

3) Величина допустимой концентрации загрязняющего вещества для консервативного вещества, определяется по формуле (3):

$$C_{\text{ндс}} = n \cdot (C_{\text{пдж}} - C_{\text{ф}}) + C_{\text{ф}}, \quad (3)$$

где СПДК – предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в воде водотока, г/м³; С_ф – фоновая концентрация загрязняющего вещества в водотоке выше выпуска сточных вод, г/м³.

Изложенная в статье методика гидромониторинга дренажных вод обоснована представительными научными исследованиями и верифицирована в процессе экспериментальных работ на угольных шахтах Ростовской области.

Литература

1. Мохов А. В. Оценка прорывоопасности очистной выемки каменноугольных пластов с обрушением кровли под водными объектами (по материалам подработки затопленных выработок) // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 2. С. 47-54.

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. Агапов А. Е. Эколого-экономический мониторинг ликвидации последствий закрытия особо убыточных угольных шахт (разрезов) // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 5. С. 15-31.

4. Экологический мониторинг ликвидации неперспективных шахт Восточного Донбасса / Под ред. В. М. Еремеева. Шахты: Изд-во ЮРО АГН, 2001. 280 с.

5. 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/ru/magazine/archive/n4y2013/1994.

6. Серпокрылов Н.С., Петренко С.Е., Борисова В.Ю. Повышение эффективности и надежности очистки сточных вод на разных стадиях эксплуатации очистных сооружений // Инженерный вестник Дона, 2013, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1602.

7. Рыльцева Ю.А., Лысов В.А. Имитационное моделирование взаимосвязи инициаторов высокотехнологичных инноваций // Инженерный вестник Дона, 2012, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/1011.

8. Gattinoni P., Pizzarotti E., Scesi L. Engineering Geology for Underground Works. Heidelberg, Springer, 2014. 312 p.

9. May R. and McLean A. Theoretical Ecology. Principles and Applications / Oxford University Press Inc., New York. 2007. 268 pp. URL: arxiv.org/pdf/1207.5371.pdf.

10. Молев М.Д., Масленников С.А., Занина И.А. Экологическая безопасность угледобывающих регионов: монография. Шахты: ИСОиП (филиал) ДГТУ, 2018. 113 с.

11. 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. №. 16, September. Pp. 6787-6792.

References

1. Mokhov A. V. Gornyj informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2011, no 2, pp. 47-54.
2. Norvatov Yu. A., Savel'ev D. I., Yashina A. V. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2014, no 8, pp. 23-28.
3. Agapov A. E. Gornyj informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2008, no 5, pp. 15-31.



4. Ekologicheskiy monitoring likvidatsii neperspektivnykh shakht Vostochnogo Donbassa. Pod red. V. M. Eremeeva [Environmental monitoring of liquidation of unpromising mines of Eastern Donbass. Eremeev V. M. (Ed.)]. Shakhty, Izd-vo YURO AGN, 2001, 280 p.
5. Stradanchenko S.G., Pleshko M.S., Armeyskov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1994.
6. Serpokrylov N.S., Petrenko S.E., Borisova V.Yu. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, № 2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1602
7. Ryl`ceva Yu.A., Lysov V.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/1011.
8. Gattinoni P., Pizzarotti E., Scesi L. Engineering Geology for Underground Works. Heidelberg, Springer, 2014, 312 p.
9. May R. and McLean A. Theoretical Ecology. Principles and Applications. Oxford University Press Inc., New York. 2007. 268 pp. URL: arxiv.org/pdf/1207.5371.pdf.
10. Molev M.D., Maslennikov S.A., Zanina I.A. Ekologicheskaya bezopasnost' ugedobyvayushchih regionov: monografiya. [Ecological safety of coal-mining regions: monograph]. Shakhty: ISOiP DSTU. 113 p.
11. Molev M. D., Stradanchenko S. G., Maslennikov S. A. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015.No. 16, September. Pp. 6787–6792