



II ГЕОМЕХАНИКА И ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.25558/VOSTNII.2020.53.38.004

УДК 622.1:744:004.92

© Ю.М. Игнатов, А.А. Гагарин, Г.Н. Роут, М.Ю. Игнатов, 2020

Ю.М. ИГНАТОВ

канд. техн. наук, доцент
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: mnoc@mail.ru



А.А. ГАГАРИН

главный маркшейдер
АО «СУЭК-Кузбасс», г. Ленинск-Кузнецкий
e-mail: gagarinaa@suek.ru



Г.Н. РОУТ

канд. техн. наук, доцент
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: lmm.mdg@kuzstu.ru



М.Ю. ИГНАТОВ

инженер
ГБУ «Главное Строительное Управление
Кузбасса», г. Кемерово
e-mail: ignatov1980@mail.ru



ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КУЗНЕЦКОГО УГОЛЬНОГО БАСЕЙНА ДЛЯ СОЗДАНИЯ МЕТОДИКИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛАСТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В статье приведены результаты исследований по установлению закономерностей в структуре Кузнецкого угольного бассейна для совершенствования методики компьютерного моделирования пластовых месторождений. При выполнении работы в единой геоинформационной среде в границах Кузнецкого угольного бассейна были совмещены объекты: горные отводы угледобывающих предприятий; дизъюнктивные нарушения и водные объекты (речная сеть). Произведена оценка их взаимного расположения и влияния.

В ходе исследования цифровые картографические файлы и базы атрибутивных горно-геологических данных интегрированы в геоинформационную систему (ГИС) с последующей обработкой встроенными пакетами программ и прикладными модулями решения производственных задач [1].

Для определения влияния строения горного массива угольного бассейна на волновую структуру полей геообъектов в границах горных отводов угледобывающих предприятий выделены закономерности и связи между объектами и установлен их характер:

- 1) выделены системы глобальной трещиноватости, зоны и аномалии региональной трещиноватости и азимуты простирания дизъюнктивной нарушенности;
- 2) установлено, что размещение в пространстве и конфигурации русел рек соответствует простиранию дизъюнктивных зон;
- 3) подтверждено, что дизъюнктивы обеспечивают связь поверхностных водотоков с подземными водами.

Произведена оценка влияния увеличения площадей отработки угледобывающими предприятиями Кузнецкого угольного бассейна на экологические последствия.

Ключевые слова: КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА, ТРЕЩИНОВАТОСТЬ ГОРНОГО МАССИВА.

Современное развитие геоинформационной системы (ГИС) привело к изменению подхода в формировании структуры пространственных данных при их хранении и обработке. Это важно, потому что объем пространственной информации разного содержания и назначения, представленной в той или иной цифровой модели, растет в геометрической прогрессии и все более заполняет цифровые планы горнодобывающих предприятий. Результаты разведочных и исследовательских работ, в том числе пространственное размещение дизъюнктивов, отображают на тектонических, геологических и геолого-промышленных картах, и в геоинформационных проектах необходимо сводить их в цифровую форму. Геоинформационный анализ позволяет эффективно выявлять пространственные закономерности и аномалии, т. е. типичные, устойчивые, широко распространенные структуры и отклонения от них. Карты, обладающие большой обзорностью, позволяют выявлять общие закономерности глобального и регионального уровней. В значительной степени этому способствует и векторизация, освобождающая изображение от мелочей, деталей и выпукло проявляющая главные, наиболее существенные его черты.

Нами проводятся исследования, цель которых — создание цифровой модели гор-

ного массива (ЦМГМ), являющейся частью методики компьютерного моделирования пластовых месторождений. Производилась обработка цифровых карт с использованием геоинформационных технологий для моделей горного массива для создания новых методов изучения и прогноза горно-геологических условий.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ

Из разрабатываемой нами методики цифрового описания горного массива в виде геоинформационных полей [1] для исследования структуры Кузнецкого бассейна используем следующие положения:

1. Современные пространственные данные. Геоданные, используемые для решения пространственных задач, получают из различных карт, документов и отчетов о результатах геологоразведочных работ. В результате обработки и анализа этих данных создают цифровое пространственное представление объектов — это растровые изображения, векторные карты (далее — цифровые карты — ЦК), векторные планы (далее — цифровые планы — ЦП), цифровые модели рельефа (ЦМР) и местности (ЦММ) и ГИС-

проекты (растровые, векторные и растрово-векторные). Преобладающее количество цифровых карт и планов представляют реальные дискретные объекты в двумерной векторной модели. Объекты каждого отдельного сечения образуют однотипный набор, который является векторным слоем цифрового плана.

2. Тип дискретной локализации объектов. Для определения типа дискретной локализации объектов в качестве основных критериев, нами используются физические размеры моделируемых объектов, соотнесенные с размерами других объектов и с масштабом отображения в плане. В методике применяются четыре базовых типа векторных объектов: точечный, линейный, площадной и трехмерный (блочная модель).

Точечный (0-мерный) цифровой объект моделирует реальный пространственный объект, форму и площадь которого трудно отобразить на цифровом плане, например, маркшейдерские пункты.

Линейный (1-мерный) цифровой объект моделирует объект, имеющий ярко выраженную протяженность, форму и площадь которого невозможно отобразить, например, штрек.

Площадной (2-мерный) цифровой объект, моделирующий объект, площадь которого важна и может быть представлена в данной цифровой модели, например, подвигание лавы за месяц.

Трехмерный (3-мерный) цифровой объект, объем которого важен, например, блочная модель.

3. Непрерывный характер локализации. Непрерывный характер отличается от дискретного тем, что характеристики объекта распределены по всей области представления пространственных данных (двухмерной или трехмерной). Так представляют поля характеристик горного массива, например, прочность пород кровли на конкретном выемочном участке и т. п. В разрабатываемой методике за упорядоченную форму хранения и представления объектов с непрерывной локализацией принят регулярно-ячеистый принцип организации данных. Для описания данных за ми-

нимальную единицу площади принимается ячейка правильной геометрической формы, а пространственно-распределенные признаки объектов хранятся в узлах регулярной сетки из ячеек, далее ее будем называть матрицей. Значения показателя из точки замера с помощью интерполирования, аппроксимации или экстраполяции передаются в узлы сетки. Сетка представлена набором прямоугольных ячеек с перечнем значений показателей в узлах, и для ее построения в ГИС есть прикладная программа. Размеры ячеек для матрицы устанавливаются одинаковыми для всех показателей с целью их последующего объединения в единую таблицу.

4. Цифровая модель горного массива. Для создания цифровой модели горного массива на ЦМП нанесены геологические данные со структурно-формационных, литолого-фациальных, тектонических, гидрогеологических и других видов карт. Все базы данных первичной информации, справочников и пространственных данных реализованы в виде связанных групп реляционных таблиц формата Microsoft Excel. Таблицы размещаются в отдельных директориях, что позволяет упорядочить информацию и облегчить работу пользователя с большим разнообразием генерируемых сеток. Такое цифровое описание горно-геологических условий путем построения прогнозных матриц позволяет отразить распределение свойств горного массива [2]. База данных в ГИС состоит из графических и атрибутивных таблиц, жестко связанных между собой. Для их обработки в ГИС используются встроенные системы управления. Вся введенная информация используется для выводов о закономерностях в изменениях свойств и для решения прогнозных задач.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ КОНФИГУРАЦИИ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ

Геоинформационный анализ конфигурации — это изучение геометрического рисунка изображения при изменении масштабов изображения по внешнему облику объекта. Та-

кой анализ позволяет судить о морфологии, генезисе, о факторах, сформировавших тот или иной объект.

Для поиска закономерностей в структуре горного массива выполнялся геоинформационный анализ дизъюнктивной нарушенности Кузнецкого бассейна. Были объединены табличные, текстовые и картографические данные в ГИС и произведена их совместная обработка. Произведен поиск особенностей и взаимосвязей, которые не видны из таблиц, диаграмм и графиков, и созданы новые данные. При исследованиях произведены следующие работы:

- предварительная обработка базовых пространственных данных;
- векторизация дизъюнктивных нарушений, речной сети и горных отводов горнодобывающих предприятий;
- совмещение пространственных данных и векторных моделей в единой геоинформационной среде;
- геоинформационный анализ близости

дизъюнктивных дислокаций к водным объектам и горнодобывающим предприятиям.

Дизъюнктивные дислокации линейного и площадного типа (разломы, взбросы, надвиги и зоны дробления горных пород) Кузнецкого угольного бассейна были векторизованы по растровой геологической карте Кемеровской области М 1:500 000 (официальное издание; составлена Г.А. Бабиным по материалам Федерального государственного унитарного геологического предприятия (ФГУП) «Запсибгеолсъемка» в 2007 г.) (твёрдая копия). Разрывные нарушения геоструктуры Кузбасса были представлены в узло-дуговой векторной модели (рис. 1). Далее согласно геологической энциклопедии будем их называть линеаментами. (линеамент — линейные или дугообразные структурные элементы планетарного значения, обусловленные глубинными разломами, связанными с расколами, возникающими в условиях более или менее однотипных напряжений, которые охватывают огромные участки земной оболочки).

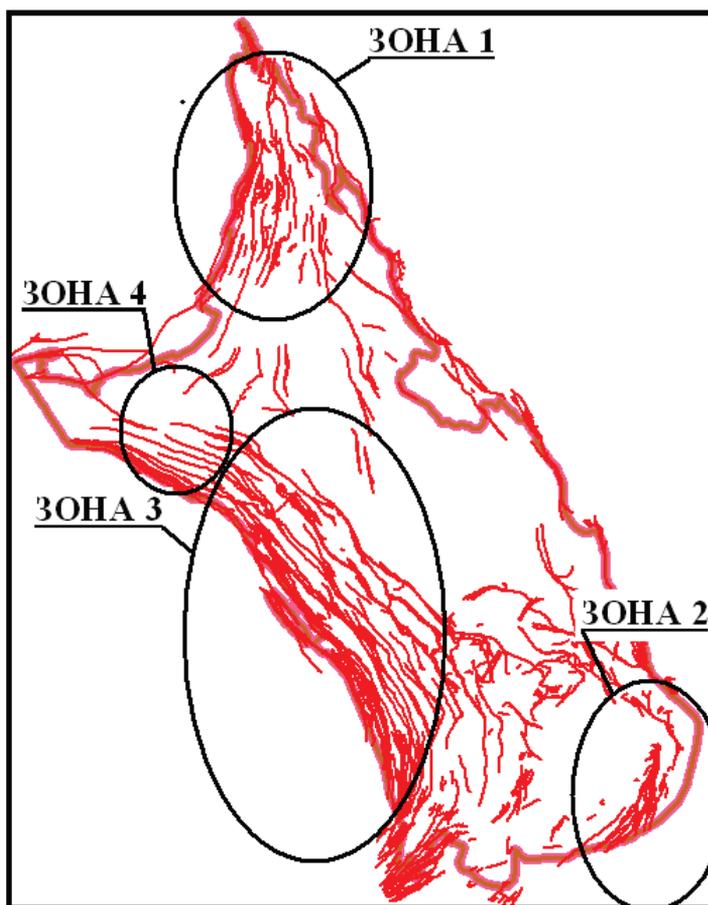


Рис. 1. Разрывные нарушения геоструктуры Кузнецкого угольного бассейна

Зональность и глобальные системы линейных элементов для Кузнецкого бассейна проявляются при анализе цифровой карты на рис. 1. В зонах 1 и 2 отчетливо проявлена система линейных элементов северо-восточного направления. В зоне 3 — северо-западных. Это отражение системы трещиноватости, охватывающей всю планету и обусловленной своим происхождением ротационными напряжениями, возникающим на земном шаре. Аналогичные системы северо-западных и северо-восточных линейных элементов можно видеть и на картах других районов планеты. Это общая, глобальная закономерность планетарного рельефа.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ БЛИЗОСТИ ИЗУЧАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

При компьютерном моделировании для создания прогнозных планов важным фактором геологических условий является блочность горного массива [3, 4]. Развитие неотектонических движений вызывает приот-

крывание древних трещин и образование новых. Для выделения границ блоков в методике компьютерного моделирования используются признаки: речная сеть, разности высот рельефа, конфигурация горизонталей, наклоны рельефа и др. Для выполнения геоинформационного анализа пространственной близости разрывных дислокаций и границ блоков к водным объектам и горнодобывающим предприятиям производится наложение одной карты на другую, выполняется их сопряженный анализ. Вводятся атрибутивные данные, разрезы, сечения, фотоизображения и создаются в электронном виде новые карты. Целью является создание цифровой тектонофизической модели Кузнецкого бассейна, и часть такой модели в виде карты тектоно-гидрологической сети и отводов горных предприятий представлена на рис. 2.

Речная сеть и горные отводы горнодобывающих предприятий были векторизованы по растровым материалам топографических карт М 1:200 000.

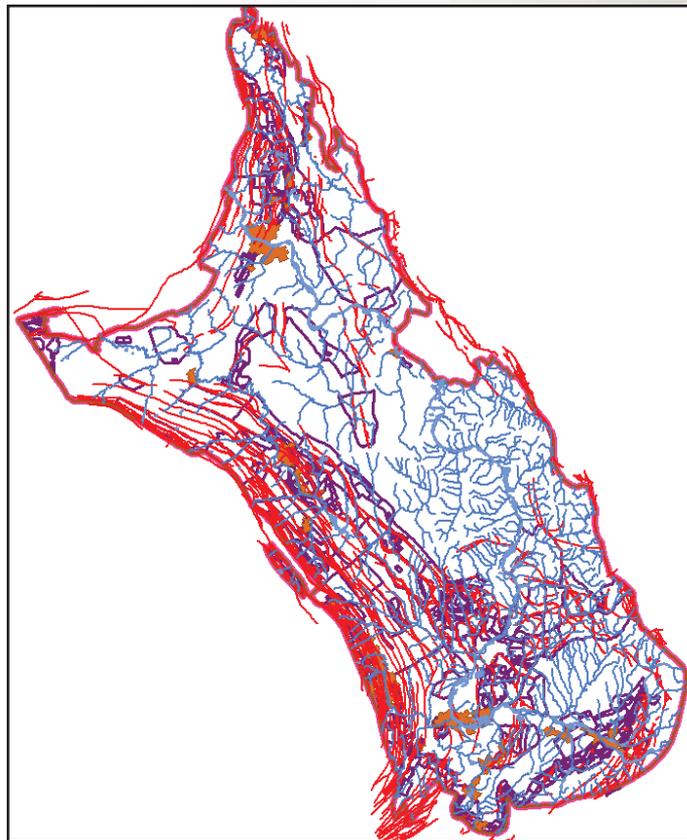


Рис.2. Цифровая тектоно-гидрологическая модель с горными отводами шахт и разрезов Кузнецкого бассейна

Проведены исследования взаимосвязи между данными группами объектов. Из литературных источников, документов и отчетов о результатах геологоразведочных работ известно, что дизъюнктивы обеспечивают связь поверхностных водотоков с подземными водами и соединение между водоносными горизонтами происходит по зонам дизъюнктивов с разной активностью.

По результатам разведки и разработки месторождений выделяют разные зоны водообмена. В зоне активного водообмена в окислительной обстановке доминируют воды гидрокарбонатно-кальциевого состава. В зонах замедленного водообмена — гидрокарбонатно-натриевого, щелочные хлоридно-натриевого и др. При ведении горных работ происходит накопление в воде металлов (ртуть, свинец, цинк, медь, кадмий и др.), которые с подземными водами попадают в речные системы и загрязняют их.

В Кузнецком угольном бассейне ведутся работы по освоению новых участков месторождений, что приводит к увеличению площадей воздействия угледобывающей промышленности. Анализ цифровой тектоно-гидрологической модели с горными отводами шахт и разрезов Кузнецкого бассейна позволил оценить влияние работы горнодобывающих предприятий на экологическую ситуацию. Нами рассмотрено состояние «малых» рек Кемеровской области в районах воздействия угледобывающей промышленности, являющихся притоками основной водной артерии Кузбасса, реки Томь, вода из которой используется населением области для питьевых и рыбохозяйственных целей. В табл. 1 приведены показатели качества «малых» рек (Доклад <http://ecokem.ru/wp-content/uploads/2020/06/gd2019.pdf>) [5]. Нормативы ПДК указаны в соответствии с Гигиеническими нормативами ГН 2.1.5.1315-03 [6].

Таблица 1

Показатели качества воды «малых» рек Кемеровской области, протекающих в районах угледобычи

| Водный объект | Взвешенные вещества, мг/л | ХПК | БПК ₅ | Азот аммонийный | Азот нитратный | Цинк | Медь | Железо общее | Фенол | Нефтепродукты |
|---|---------------------------|-------------|------------------|-----------------|----------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Предельно допустимые концентрации (мг/л) | | | | | | | | | | |
| | 7,55 | 30,0 | 4,0 | 0,4 | 0,02 | 0,01 | 0,001 | 0,3 | 0,001 | 0,05 |
| р. Тагрыш | 3,0 | 15,0 | 3,0 | 0,41 | 0,2 | - | - | 0,18 | Н. д | 0,05 |
| р. Кыргай | 18,2 | 19,2 | 3,47 | 0,18 | 0,033 | 0,07 | 0,002 | 0,08 | 0,002 | 0,06 |
| р. Маганак | 12,0 | 8,4 | 3,8 | 0,05 | 0,02 | 0,055 | 0,0078 | 0,25 | 0,002 | 0,063 |
| р. Ускат | 45,4 | 20,5 | 1,71 | 0,41 | 0,04 | - | 0,1 | 0,09 | 0,002 | 0,08 |

Показатели качества воды «малых» рек обладают высокой вариабельностью. Наблюдаются превышения ПДК по взвешенным веществам, нитратам, цинку, меди, фенолам, нефтепродуктам. Проведенный анализ показывает неоднозначность ситуации, сложившейся в области водопользования угледобывающих районов Кемеровской области. С одной стороны, «малые» реки Кузбасса, протекающие в районах угледобычи, являются местом отдыха населения, имеют рыбохозяйственное значение, с другой стороны,

являются приемниками сточных вод горнодобывающих предприятий, оказывающих значительное воздействие на их состояние.

АНАЛИЗ ЦИФРОВОЙ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КУЗНЕЦКОГО БАСЕЙНА

В целом, строение горной толщи ряда районов бассейна характеризуется умеренными пликативными изменениями. Это объясняется главенствующей ролью дизъюнктивной тектоники. На фоне глобальных закономерностей

системы трещиноватости, охватывающей бассейн на рис. 1, с учетом рис. 2, обнаружены аномалии.

Аномалия 1. Анализ показывает, что в зоне 3 граница между Салаиром и Кузнецким бассейном представляет дугу, обращенную своей выпуклостью к центру бассейна. Складки и крутые продольные разрывы располагаются параллельно указанной границе и испытывают такой же изгиб, при этом наибольшая амплитуда смещений по крупным разрывам совпадает с участками прогибания указанной дуги. Это обстоятельство свидетельствует о формировании граничной тектонической зоны бассейна за счет тангенциальных движений со стороны Салаирского кряжа. В данном случае в зоне 4 северо-восточное направление линеаментов меняется на западное.

Аномалия 2. Развитие неотектонических движений вызывает приоткрывание древних трещин и образование новых. Такие движения существуют со стороны Колывань-Томской складчатой зоны, и это видно по гидрографической сети Кузбасса. На карте этой сети (рис. 2) видно, что все крупные притоки рек Томи и Ини, а также их крупные изгибы расположены параллельно плоскости Томского надвига.

ВЫВОДЫ

1. Геоинформационный анализ структуры Кузнецкого бассейна позволил выявить про-

странственное размещение свойств горного массива (система глобальной трещиноватости), размещение в пространстве и конфигурации дизъюнктивной нарушенности (зонирование и аномалии). Установлены системы трещин для разных зон Кузнецкого бассейна.

2. С учетом цифровой тектоно-гидрологической модели установлены предприятия, которые для уменьшения попадания воды в горные выработки должны делать новые искусственные русла для рек, выполненные в железобетонном коллекторе, и очистные сооружения.

3. Следует усилить государственный контроль над использованием водных ресурсов в зоне выявленных горнодобывающих производств, а предприятиям внедрять передовые научно-технические разработки в области охраны окружающей среды.

4. Описываемые методы исследований и полученные результаты являются частью разрабатываемой методики компьютерного моделирования пластовых месторождений, создание которой позволит выполнять реконструкцию полей напряжений, определять господствующие системы трещин для каждого участка территории бассейна и осуществлять прогноз горно-геологических условий для отдельного горнодобывающего предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Игнатов Ю.М., Гагарин А.А., Мякишева Л.Е. Создание цифровой модели массива горных пород и результаты ее использования для решения задач // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2019. № 1. С. 90–100.

2. Игнатов Ю.М., Гагарин А.А., Роут Г.Н. Метод построения прогнозных планов трещиноватости горного массива при компьютерном моделировании пластовых месторождений // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2018. № 2. С. 83–92.

3. Батугин А.С. Тектонофизическая модель горно-тектонических ударов с подвижками крыльев крупных тектонических нарушений // ГИАБ, «Труды научного симпозиума «Неделя Горняка — 2010». 2010. С. 252–264.

4. Batugin A., Myaskov A., Ignatov Y., Khotchenkov E. and Krasnoshtanov D. Re-using of data on rockbursts for up-to-date research of the geodynamic safety problem // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science (vol. 1) 221. 2018. Doi:10.1088/17551315/221/1/012089 (дата обращения 28.08.2020).

5. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области–Кузбасса в 2019 г. Кемерово, 2020. URL: <http://ecokem.ru/wp-content/uploads/2020/06/gd2019.pdf>.

6. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования // Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03. – 15.06.2003. URL: <http://www.dioxin.ru/doc/gn2.1.5.1315-03.htm> (дата обращения 25.08.2020).

DOI: 10.25558/VOSTNII.2020.53.38.004

UDC 622.1:744:004.92

© Yu.M. Ignatov, A.A. Gagarin, G.N. Rout, M.Yu. Ignatov, 2020

Yu.M. IGNATOV

Candidate of Engineering Sciences, Assosaiate Professor
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo
e-mail: mnoc@mail.ru

A.A. GAGARIN

Chief surveyor
SUEK, Leninsk-Kuznetsk
e-mail: gagarinaa@suek.ru

G.N. ROUT

Candidate of Engineering Sciences, Assosaiate Professor
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo
e-mail: rgn23.12.47@gmail.com

M.Yu. IGNATOV

Engineer
SBI «Main Construction Department of Kuzbass», Kemerovo
e-mail: ignatov1980@mail.ru

RESEARCH OF KUZNETSK COAL BASIN STRUCTURE FOR CREATION OF COMPUTER SIMULATION METHOD OF RESERVOIR DEPOSITS

The article presents the results of research on establishing patterns in the structure of the Kuznetsk coal basin to improve the methodology of computer modeling of reservoir deposits. When performing work in a single geographic information environment within the borders of the Kuznetsk coal basin, objects were combined: mining rocks of coal mining enterprises; disjunctive disturbances and water bodies (river network). Their mutual location and influence were assessed.

During the research, digital cartographic files and databases of attributive mining and geological data are integrated into the geoinformation system (GIS) with subsequent processing by built-in software packages and application modules for solving production problems [1].

To determine the influence of the structure of the coal basin massif on the wave structure of fields of geo-objects within the boundaries of mountain branches of coal mining enterprises, patterns and connections between objects are identified and their nature is established:

1) global fracture systems, zones and anomalies of regional fracture and azimuths of disjunctive disturbance propagation are identified;

2) it was established that the placement in space and configuration of river channels corresponds to the stretching of disjunctive zones;

3) it is confirmed that disjunctivities provide the connection of surface watercourses with groundwater.

The impact of the increase in mining areas by coal mining enterprises of the Kuznetsk coal basin on environmental consequences was estimated.

Keywords: COMPUTER FORECASTING. GEOINFORMATION SYSTEM, ROCK MASS FRACTURE.

REFERENCES

1. Ignatov Yu.M., Gagarin A.A., Myakisheva L.E. Creation of a digital model of a rock mass and the results of its use for solving problems // Bulletin of the VostNII Scientific Center for Industrial and Environmental Safety [Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti]. 2019. No. 1 P. 90–100. [In Russ.].

2. Ignatov Yu.M., Gagarin A.A., Route G.N. A method for constructing predictive plans for rock mass fracturing in computer modeling of stratal deposits // Bulletin of the VostNII Scientific Center for Industrial and Environmental Safety [Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti]. 2018. No. 2. P. 83–92. [In Russ.].

3. Batugin A.S. Tectonophysical model of rock-tectonic impacts with movements of the wings of large tectonic faults // GIAB, «Proceedings of the scientific symposium. Miner's week–2010». 2010. P. 252–264. [In Russ.].

4. Batugin A., Myaskov A., Ignatov Y., Khotchenkov E. and Krasnoshtanov D. Re-using of data on rockbursts for up-to-date research of the geodynamic safety problem // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science (vol. 1) 221. 2018. Doi: 10.1088/17551315/221/1/012089.

5. Report on the state and protection of the environment of the Kemerovo region-Kuzbass in 2019 Kemerovo, 2020. URL: <http://ecokem.ru/wp-content/uploads/2020/06/gd2019.pdf> (date of the application 28.08.2020)[In Russ.].

6. Maximum permissible concentration (MPC) of chemical substances in water of water bodies of household, drinking and cultural and household water use // Hygienic standards GN 2.1.5.1315-03. – 15.06.2003. URL: <http://www.dioxin.ru/doc/gn2.1.5.1315-03.htm> ((date of the application 25.08.2020). [In Russ.].