

А.А. Маммедов<sup>1</sup>, Ш.Д. Мусаев<sup>2</sup>, Я.Г. Пошивайло<sup>3</sup>, Г.С. Федотов<sup>4</sup>

## ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РУД ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

### АННОТАЦИЯ

Геоинформационные технологии применяются, без преувеличения, во всех сферах человеческой деятельности, и геологическая отрасль не является исключением. Геоинформационные системы в геологии помогают решить целый ряд практических задач. Геологи, специализирующиеся на разведке полезных ископаемых, используют для поиска новых экономически эффективных месторождений разнообразные наборы данных — от геологических карт, гиперспектральных аэрофотоснимков и мультиспектральных спутниковых снимков до баз данных различных форматов. Геоинформационная система является идеальной платформой для объединения такой разнородной информации и её последующего анализа.

В статье изложен опыт национальной горнодобывающей компании Азербайджанской республики ЗАО «AzerGold» по применению геоинформационных систем в геологоразведке месторождений руд цветных металлов на примере разработки Филизчайского и Агйохушского месторождений. Авторами рассмотрены производственные задачи, описаны проблемы, возникающие на этапе производства разведочных работ, и предложены методы их решения. Отмечается необходимость комплексного применения информационных систем в геологоразведочных работах при поисках месторождений руд цветных металлов. Разработана структура базы данных для целей обеспечения геологоразведки руд цветных металлов, включающая такие разделы, как топография, геохимия, геофизика, структурная геология. Предложена структура геоинформационного обеспечения работ при геологической разведке руд цветных металлов, которая объединяет функциональные возможности геоинформационных систем (ГИС) и горно-геологических информационных систем (ГГИС).

Иллюстрируются этапы геоинформационной обработки исходных данных, на основе которых была сформирована стратегия геологоразведочных работ на Филизчайском колчеданно-полиметаллическом месторождении, и затем оперативно и с высокой точностью определены оптимальные места и количество скважин, координаты, направления и углы падения скважин, а также уточнён ресурсный потенциал. Раскрывается роль интерполяционных методов в определении первичных геологоразведочных скважин при разведке золотоносного месторождения Агйохуш.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** геоинформационные системы, горно-геологические информационные системы, цифровая карта, база данных, каркасная модель месторождения

---

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, ул. Плеханова, д. 10, 630108, Новосибирск, Россия; *e-mail*: [alesgermammedov80@gmail.com](mailto:alesgermammedov80@gmail.com)

<sup>2</sup> Горнодобывающая компания ЗАО «Azergold», ул. Микаила Мушвига, д. 2Н, 350040, Баку, Азербайджанская Республика; *e-mail*: [shax52@mail.ru](mailto:shax52@mail.ru)

<sup>3</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, ул. Плеханова, д. 10, 630108, Новосибирск, Россия; *e-mail*: [yaroslava@ssga.ru](mailto:yaroslava@ssga.ru)

<sup>4</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Ленинский проспект, д. 4, 119991, Москва, Россия

**Alesger A. Mammedov<sup>1</sup>, Shahbeddin D. Musaev<sup>2</sup>, Yaroslava G. Poshivaylo<sup>3</sup>,  
Grigory S. Fedotov<sup>4</sup>**

## **GI SUPPORT OF GEOLOGICAL EXPLORATION OF NON-FERROUS METAL ORE DEPOSITS**

### **ABSTRACT**

Geoinformation technologies are applied, without exaggeration, in all spheres of human activity, and the geological industry is no exception. Geoinformation systems in geology help to solve a number of practical problems. Geologists specializing in mineral exploration use a variety of data sets to search for new, cost-effective deposits, from geological maps, hyperspectral aerial photographs and multispectral satellite imagery to databases of various formats. The geographic information system is an ideal platform for combining such heterogeneous information and its subsequent analysis.

The article describes the experience of the national mining company of the Republic of Azerbaijan CJSC AzerGold in the use of geographic information systems in the exploration of non-ferrous metal deposits using the example of the development of the Filizchay and Aghyokhush deposits. The authors considered production problems, described the problems that arise at the stage of exploration and proposed methods for solving them, the need for the integrated use of information systems in exploration when searching for deposits of non-ferrous metals is noted. A database structure has been developed for the purpose of geological exploration of non-ferrous metal ores, including sections such as topography, geochemistry, geophysics, structural geology. The structure of geoinformation support for geological exploration of non-ferrous metal ores is proposed, which combines the functionality of geographic information systems (GIS) and mining geological information systems (MGIS).

The stages of geoinformation processing of initial data are illustrated, on the basis of which a geological exploration strategy was formed at the Filizchay pyrite-polymetallic deposit, and then the optimal places and number of wells, coordinates, directions and angles of incidence of wells were determined quickly and with high accuracy, as well as the resource potential was specified. The role of interpolation methods in determining the primary exploration wells in the exploration of the Agyokhush gold deposit is disclosed.

**KEYWORDS:** geoinformation systems, mining geological information systems, digital map, database, wireframe deposit model

### **ВВЕДЕНИЕ**

Природные ресурсы, наряду с трудовыми и материальными, являются важнейшим фактором развития общественного производства. Природно-ресурсный потенциал мирового хозяйства и отдельной страны оказывает существенное влияние на экономику. Важной составляющей ресурсов государства является минеральное сырьё, которое по своему геологическому происхождению и назначению можно разделить на топливное, рудное, химическое, строительное и техническое.

---

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Plakhotny str., 10, 630108, Novosibirsk, Russia;  
*e-mail:* [alesgermammedov80@gmail.com](mailto:alesgermammedov80@gmail.com)

<sup>2</sup> "AzerGold" Closed Joint-Stock Company, Mikail Mushvig, 2H, 350040, Baku, The Republic of Azerbaijan;  
*e-mail:* [shax52@mail.ru](mailto:shax52@mail.ru)

<sup>3</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Plakhotny str., 10, 630108, Novosibirsk, Russia;  
*e-mail:* [yaroslava@snga.ru](mailto:yaroslava@snga.ru)

<sup>4</sup> National University of Science and Technology "MISIS", Leninsky Ave, 4, 119991, Moscow, Russia

Азербайджан был и остаётся важнейшей минерально-сырьевой базой Южного Кавказа. На этой базе созданы и успешно развиваются горнорудная промышленность благородных и цветных металлов [Musayev et al., 2016]. Путём анализа благоприятных геологических предпосылок, прямых и косвенных поисковых признаков, а также анализа закономерностей размещения выявленных месторождений для металлогенических зон Большого и Малого Кавказа прогнозируется выявление новых рудных объектов [Баба-заде и др., 2007].

По степени изученности запасы минеральных ресурсов подразделяются на четыре категории: разведанные (промышленные) — А, В, С1 и предварительно оценённые — С2<sup>1</sup>. К категории А (достоверные запасы) относят детально разведанные и изученные запасы с точным определением границ тел полезных ископаемых. На запасах этой категории уже ведётся промышленная разработка, а допустимая погрешность в оценке запасов составляет до 10 % от их объёма. К категории В относят запасы, которые разведаны и изучены с детальностью, обеспечивающей выяснение основных особенностей условий залегания, но без точного отражения пространственного положения каждого типа руды. Запасы этой категории либо ещё не разрабатываются, либо находятся в начальной стадии разработки, а допустимая погрешность в оценке не превышает 15 %. Категория С1 включает в себя запасы, которые либо находятся в стадии разведки, либо по которым была осуществлена разведка и проведена их частичная оценка, а допустимая погрешность в оценке этих запасов не должна превышать 25 %. Запасы категории С2 (потенциальные) относятся к предварительно оценённым, когда границы месторождений не определены, проведение разведочных работ только планируется, а погрешность в оценках объёма запасов может достигать 50 %.

Рудное минеральное сырьё имеет за редким исключением магматическое или метаморфическое происхождение, поэтому приурочено к складчатым тектоническим структурам, к щитам и разломам земной коры. По данным Министерства экологии и природных ресурсов Азербайджанской Республики в ней разведано 12 726 000 т меди, 5 449 100 т цинка, 3 656 500 т свинца, 55 207,3 т кобальта, 164 738,1 т молибдена, 2 222,3 т ртути, 31 983,7 т алюминия.

На целом ряде технологических этапов поиска и добычи запасов минеральных ресурсов всех категорий изученности применяются геоинформационные системы, и особенно это актуально для категории С2 [Дьяконов, Жорж, 2008]. Изыскания, которые ведутся для поиска неразведанных ресурсов, требуют значительных материальных и трудовых затрат. Применение ГИС в геологоразведке позволяет проанализировать и оценить ресурсы месторождения и планировать дальнейшие работы, значительно сокращая затраты на изыскания [Botwe, Osei Jnr, 2018]. Геоинформационные технологии значительно упрощают множество сложных и рутинных работ в геологоразведке, таких как создание цифровых карт разного масштаба, проектирование геологической базы данных, применение различных методов интерполяции для построения карт геохимических аномалий, проектирование геологоразведочных скважин, создание различного вида профилей, каркасной и блочной модели месторождения и т.п. [Palka, Brodny, 2018].

Данные в ГИС имеют пространственную привязку, что позволяет наложить информационные слои, провести анализ и сделать соответствующие выводы. Оценка ресурсов производится с помощью цифровых карт и геоинформационных моделей, на которых базируется ГИС. Закономерно, что ГИС применяются практически всеми крупными горнодобывающими, геологоразведочными и консалтинговыми компаниями в горном деле.

Одно из первых применений ГИС при добыче руд цветных металлов было зафиксировано в середине 1990-х гг. на шахтах компании Brimstone Mining Inc, которая приобрела

---

<sup>1</sup> Электронный ресурс: <https://mirec.mgimo.ru/2014-02/prirodnye-resursy-mirovoj-ekonomiki> (дата обращения 18.11.2019)

шахту Mayflower в юго-западной части штата Монтана<sup>1</sup>. Шахта Mayflower была основным производителем золота в 1930-х гг., соответственно, вся информация была устаревшая (чертежи на холсте, старые бумажные карты и данные геодезической съёмки различной степени подробности и точности). Компания DTM Consulting of Bozeman перевела все исторические данные в цифровой формат для последующей визуализации в ГИС и для оценки ресурсов шахты. Всё это позволило сделать выводы о целесообразности проведения геологоразведочных работ.

Ещё одним примером является использование ГИС компанией Eaglecrest Exploration LTD, которая занималась разработкой золоторудного месторождения «Сан-Симон» на северо-востоке Боливии<sup>2</sup>. С помощью ГИС-технологий компания построила трёхмерные модели существующих буровых разрезов (модели разрезов, построенные по буровым скважинам); с помощью этих моделей была выявлена прежде не замечаемая закономерность: золото концентрировалось в вертикальных рудных телах. Немедленно были пересмотрены планы буровых работ с учётом новых данных по залеганию металла, и с тех пор, как минимум, каждая третья скважина на основных залежах позволяла добывать более 10 г золота на 1 т руды. Таким образом, 3D-моделирование показало свою эффективность при разработке месторождения. Кроме того, трёхмерные модели позволяют интегрировать данные топографии, данные полевых проб, геофизической съёмки, архивные данные, что делает модель более детальной и пригодной для анализа и планирования.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время в геологоразведке месторождений руд цветных металлов наблюдается тенденция интеграции информационных систем с целью объединения их функциональных возможностей. Причиной тому служат разнородные исходные данные и широкий круг решаемых задач. Как правило, используется тандем программного обеспечения, а именно ГГИС + ГИС:

- ГГИС (Горно-геологическая информационная система, например, MICROMINE [Басаргин, 2014; 2016], MINEFRAME [Наговицын, 2018]);
- ГИС (QGIS, ArcGis, MapInfo). Каждая система имеет свою структуру базы для хранения данных, и каждая система имеет функциональные особенности, определяющие её предназначение.

Целью настоящего исследования является изучение возможностей комплексного объединения методов ГИС и ГГИС для получения новых знаний и закономерностей.

Для целей геологоразведки необходимо создание двух баз данных: одна база данных для хранения картографической информации, другая — для хранения геологической информации (рис. 1). Каждая база данных должна описывать пространственные объекты, участвующие в процессе моделирования месторождения руд цветных металлов, но в случае картографической базы данных это пространственные объекты месторождения, а в случае геологической базы данных — пространственные объекты подземных и открытых горных выработок.

В табл. 1 и 2 представлена структура баз данных (геологической и картографической соответственно), разработанная для разведки руд цветных металлов.

<sup>1</sup> Электронный ресурс: <https://www.esri.com/news/arcnews/winter0203/articles/mining-gold.html> (дата обращения 18.11.2019)

<sup>2</sup> Электронный ресурс: [https://www.geosoft.com/media/uploads/resources/brochures/fp\\_ebook\\_feb2-11\\_web.pdf](https://www.geosoft.com/media/uploads/resources/brochures/fp_ebook_feb2-11_web.pdf) (дата обращения 10.11.2019)

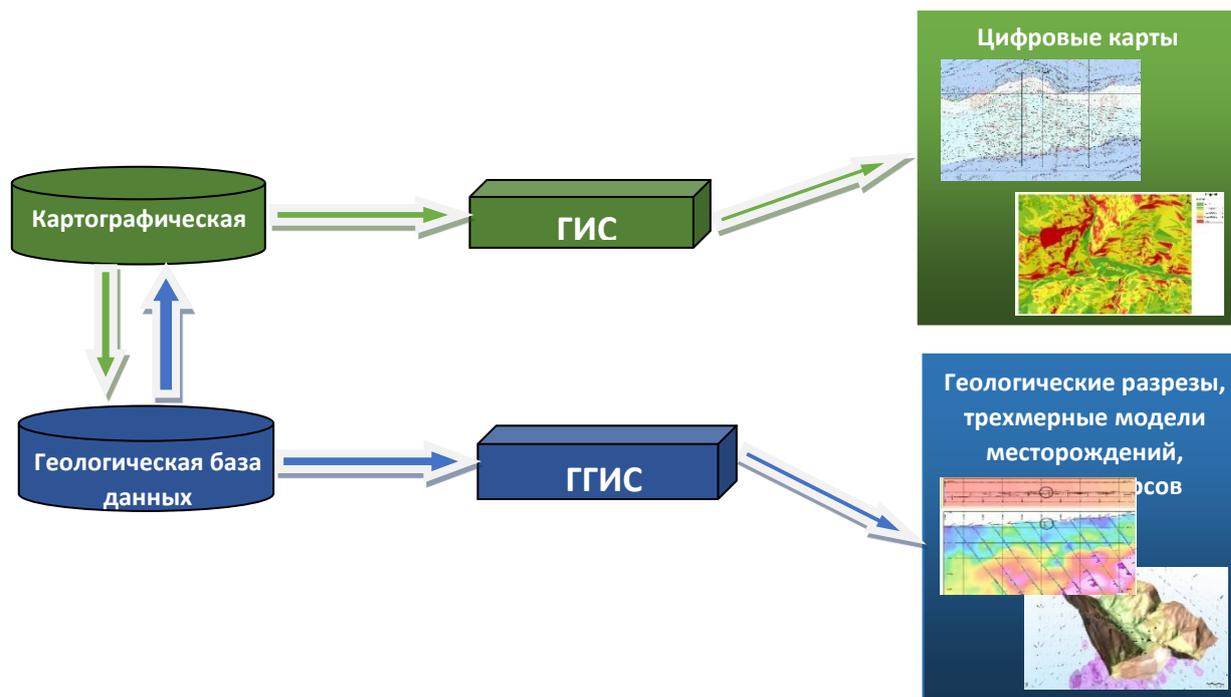


Рис. 1. Обобщённая схема процесса создания карт, геологических разрезов, трёхмерных моделей месторождений для оценки ресурсов руд цветных металлов  
 Fig. 1. Generalized flowchart for creating maps, geological sections, three-dimensional models of deposits for assessing the resources of non-ferrous metals

Табл. 1. Состав геологической базы данных разведки месторождений руд цветных металлов  
 Table 1. The composition of the geological database for exploration of non-ferrous metals ore deposits

Раздел	Источник данных	Набор объектов	Формат данных	Атрибутивная информация
Подземные горные выработки	Геологоразведочные скважины	Устья скважин	DAT файл Файловая система ГГИС Micromine для хранения атрибутивной информации в виде таблицы	Идентификационный номер скважины, координаты, глубина, дата начала бурения, дата завершения бурения
		Инклинометрия скважин		Идентификационный номер скважины, глубина, азимут, зенитный угол
		Результаты опробования скважин		Идентификационный номер скважины, идентификационный номер пробы, интервал опробования, химические элементы

		Литология скважин		Идентификационный номер скважины, идентификационный номер пробы, интервал опробования, тип породы, данные о выходе керна
	Шахты, штольни, штреки, орты	Устья подземной горной выработки	STRING Файловая система ГГИС Micromine система для хранения векторной информации	Номер подземной горной выработки, координаты, глубина, длина
		Средняя линия подземной горной выработки		Номер средней линии подземной горной выработки, глубина, длина
		Линия опробования подземной горной выработки		Номер линии опробования подземной горной выработки, длина, координаты начальной точки линии опробования, координаты конечной точки линии, зенитный угол, азимут, номер пробы, химические элементы
		Контурные горных пород		Типы горных пород, площади горных пород
Открытые горные выработки	Шурфы, канавы и т.п.	Линия опробования открытой горной выработки	STRING Файловая система ГГИС Micromine система для хранения векторной информации	<p>Номер открытой горной выработки, координаты начальной точки и последней точки, средняя глубина.</p> <p>Номер линии опробования открытой горной выработки, длина, координаты начальной точки линии опробования, координаты конечной точки линии опробования, зенитный угол, азимут, номер пробы, химические элементы</p>

Табл. 2. Состав картографической базы данных разведки месторождений руд цветных металлов  
 Table 2. The composition of the cartographic database of the exploration of non-ferrous metal ore deposits

Раздел	Источник данных	Набор объектов	Формат данных	Атрибутивная информация
Топография	Топографическая съёмка, лазерная съёмка	Рельеф, гидрология, растительность, здания, дороги, коммуникации	SHP	Название реки, тип растительности, площадь растительности, тип здания этажность, типы дорог, длина дорог, типы коммуникаций
Геохимия	Пробы, взятые с поверхности Земли	Пробы		Номера проб, координаты проб, химические элементы
Геофизика	Данные, полученные по результатам геофизических измерений	Геофизические пикеты, контуры, характеризующие геофизические аномалии		Номера, координаты пикетов, типы геофизических аномалий, показатели интенсивности аномалии
Структурная геология	Геологические архивные данные, данные актуальной геологической разведки (карты и планы)	Литология складчатых пород, разрывные структуры		Коды и описание пород, коды и описания разрывных структур, и типы минералов

Для создания цифровых карт и картографической базы данных целесообразно использовать функционал ГИС, а для решения геологических задач при геологоразведочных работах (от проектирования скважин до подсчёта ресурсов месторождения) — ГГИС. На рис. 2 представлена общая структура геоинформационного обеспечения геологической разведки руд цветных металлов с учётом применяемого программного обеспечения.

В результате комплексного использования компьютерных технологий создаются уникальные информационные продукты — горно-геологические информационные системы. Совокупность аппаратных, программных средств и хранимых моделей месторождения, карьера, отвалов, топографии и ситуации называют геоинформационным обеспечением горного производства или горно-геологической информационной системой (ГГИС) [Аленичев, Суханов, 2016].

В любой ГГИС в базе данных должны храниться информация о координатах скважин, их глубинах, инклинометрия скважины, которая определяет положение скважины в пространстве, данные опробования, данные литологии, характеризующие типы пород на определённых глубинах. При хранении данных в неспециализированных системах могут встречаться ошибки, такие как отсутствующие скважины, ошибки в данных инклинометрии, вызывающие несоответствие в глубинах скважин, ошибки в данных опробования, указывающие на отсутствующие интервалы в данных опробования. Все эти ошибки могут оказать своё фатальное влияние при оценке ресурсов. ГГИС автоматически проверяет данные на ошибки.

При привязке растровых данных (геологических карт, планов шахт) в ГГИС можно учитывать не только координаты X, Y, но и координату Z.

С помощью этой опции возможна привязка геологических разрезов с помощью координат скважин и отображение их в трёхмерном пространстве. Работа с сетью неправильных треугольников в ГГИС намного отличается от функционала, имеющегося в ГИС. В ГГИС сеть неправильных треугольников играет особую роль — с их помощью строится не только цифровая модель рельефа, но и модель рудного тела. Модель рудного тела также называют ещё каркасной моделью. С помощью каркасной модели вычисляется объём рудного тела, выполняется редактирование каркасов — разделение, объединение, вычитание и т.п. Каркасная модель строится также для визуализации старых шахт.

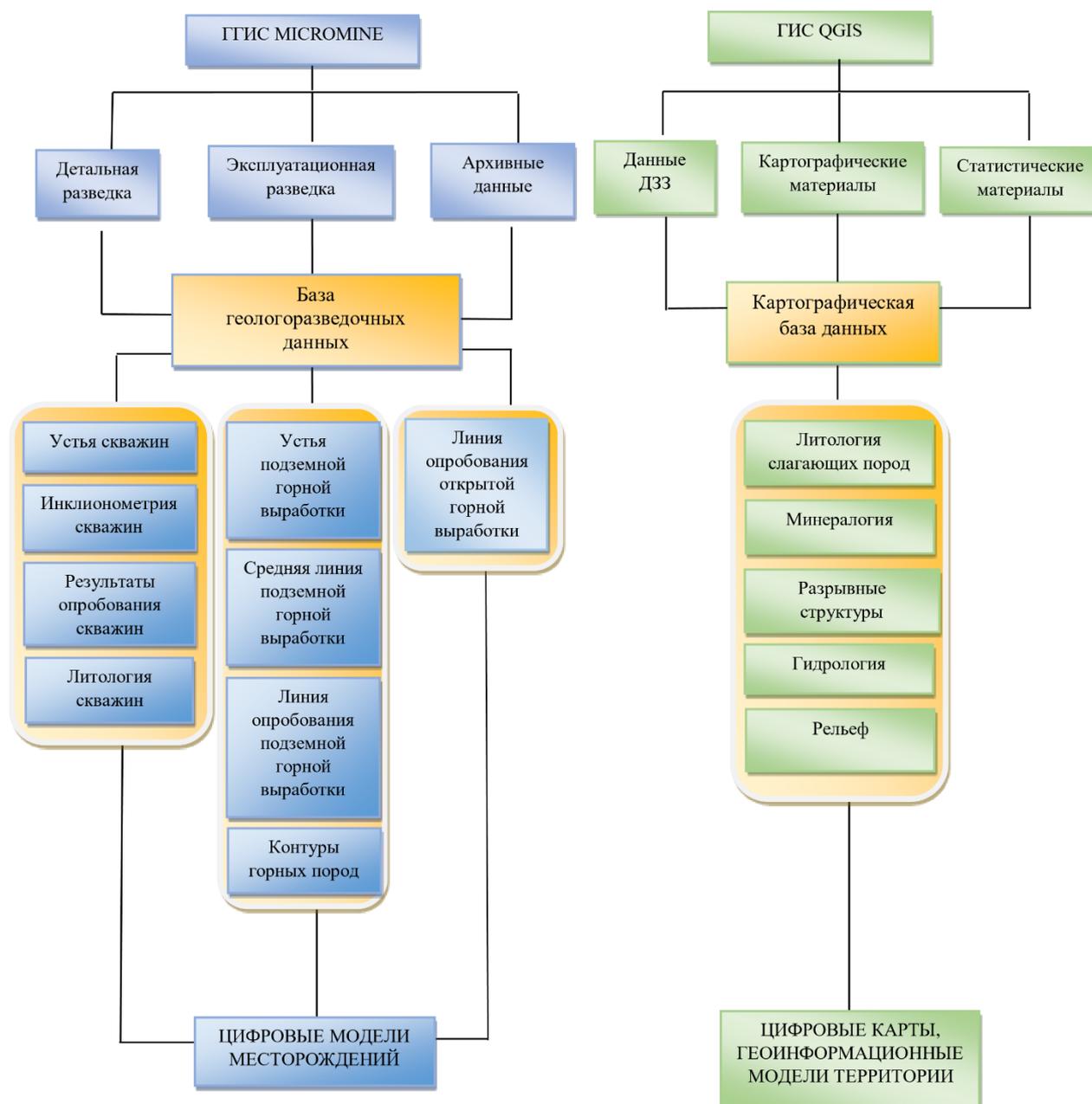
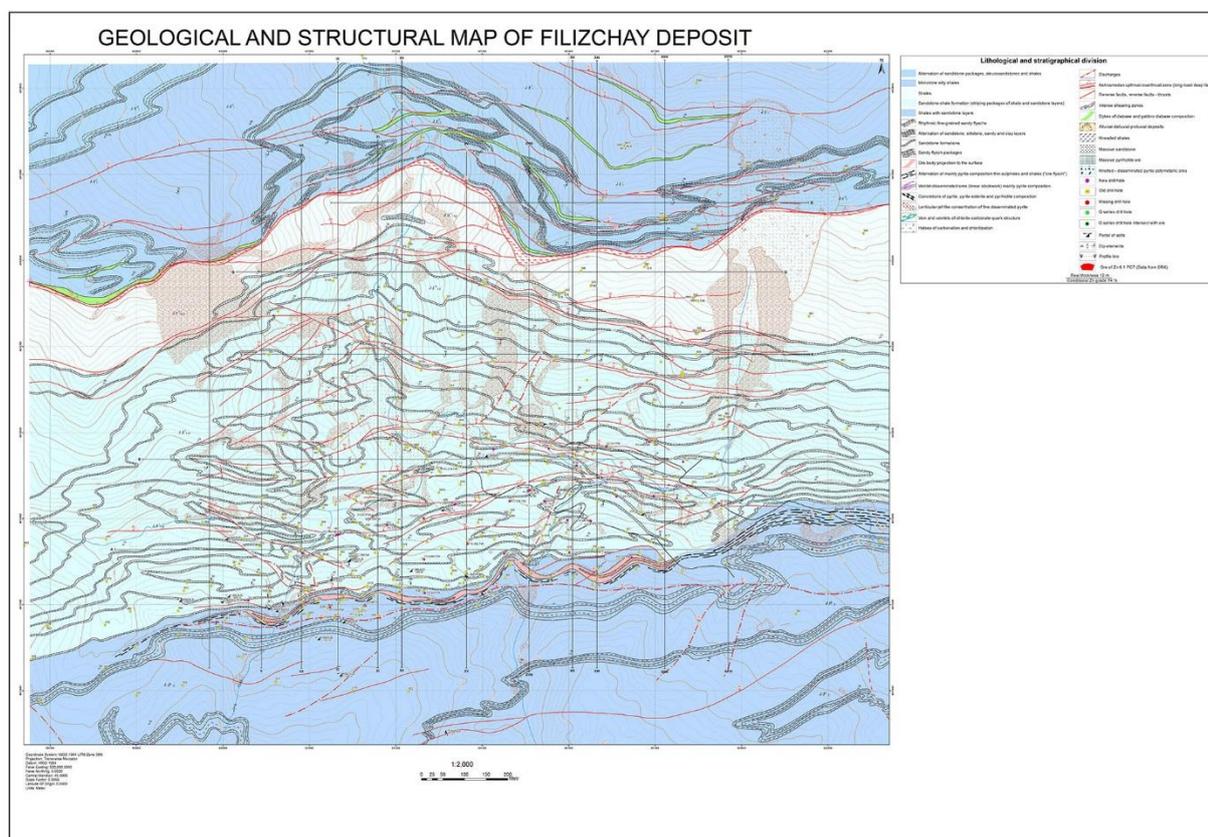


Рис. 2. Структура геоинформационного обеспечения геологической разведки месторождений руд цветных металлов

Fig. 2. The structure of GI support of the geological exploration of non-ferrous metal ore deposits

Разработка геологических карт — это сложный и трудоёмкий процесс, поскольку геологические карты имеют свою специфику, свои уникальные символы, крапы и т.п. С использованием классификаторов процесс создания символики можно полностью автоматизировать, символы кодируются, и данная кодировка применяется ко всем создаваемым геологическим картам. Возможно перемасштабировать карты, преобразовывать координаты из одной системы в другую, выполнять пространственный анализ, моделировать поверхности, используя различные интерполяционные методы. Однако комплексное применение ГИС и ГГИС сопровождается определёнными трудностями и требует разработки соответствующего научно-методического обеспечения.

На рис. 3 показана цифровая геологическая карта Филлизчайского месторождения, которое находится на северо-западе Азербайджанской Республики. Данное месторождение занимает второе место в Европе по запасам колчеданной полиметаллической руды. Карта была составлена по архивным материалам и с помощью ГИС была преобразована в систему координат WGS84 UTM 38N, что позволило наложить на неё новую информацию и провести более детальный анализ для геологической разведки.



*Рис. 3. Цифровая геологическая карта Филлизчайского месторождения (северо-запад Азербайджанской Республики)*

*Fig. 3. Digital geological map of the Filizchay deposit (north-west of the Azerbaijan Republic)*

Как было сказано выше, пространственный анализ является ключевым элементом любой ГИС. Важной составляющей алгоритмов пространственного анализа в геологии являются интерполяционные методы [Капутин, 2002], которые широко применяются при создании геохимических карт аномалий. Геоинформационные системы поддерживают несколько методов интерполяции: обратно взвешенных расстояний (ОВР), сплайна,

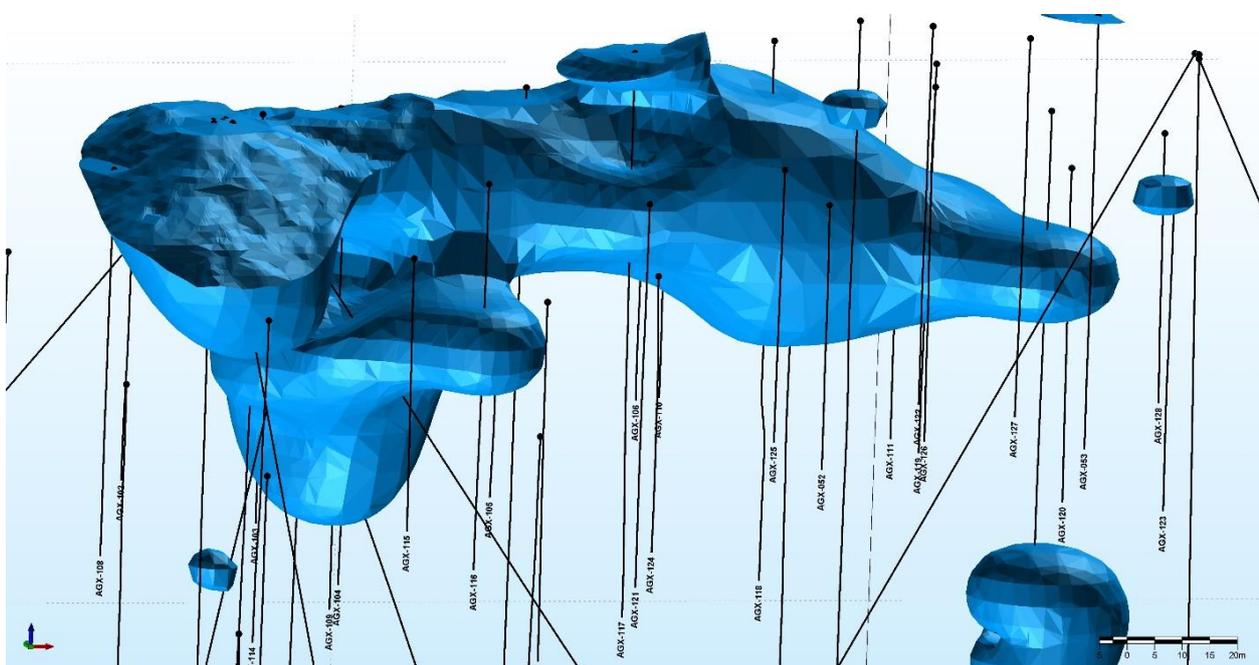


задач геологоразведки. Интерполяционный метод не выводит тренды и не будет создавать пики, ямы, рёбра или точки минимума, которые уже не представлены входящими образцами<sup>1</sup>.

Далее рассмотрим несколько практических примеров совместного использования ГИС и ГГИС.

Построенная карта геохимических аномалий является основой для проведения дальнейших геологоразведочных работ, таких как бурение геологоразведочных скважин. Это бурение является очень дорогостоящим видом работ, поэтому получение ложных высоких значений аномалий может негативно отразиться на стоимости проекта.

На рис. 4 представлена карта геохимических аномалий. По полученной в результате пространственного анализа карте геохимических аномалий было пробурено 64 равномерно распределённых скважин. Целью равномерного распределения скважин было построение каркасной модели и проведение на её основе оценки ресурсов данной территории.



*Рис. 5. Каркасная модель рудного тела Агйохушского месторождения, созданная с помощью условного моделирования*

*Fig. 5. The wireframe model of the ore body of the Agyokhush deposit created using conditional modeling*

На следующем технологическом этапе по результатам буровых работ в ГГИС MICROMINE были построены каркасные модели рудных тел двумя методами: эксплицитного (традиционный) и имплицитного (условного) моделирования. MICROMINE использует локальные и глобальные радиально-базисные функции (РБФ) для создания условных моделей разломов, литологии, содержаний, подземных выработок. Построение каркасных моделей с помощью радиально-базисных функций (РБФ) отличается от традиционного метода построения каркасов. Эксплицитный метод основывается на интерпретации данных скважин,

<sup>1</sup> Электронный ресурс: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/help/analysis/geostatistical-analyst/deterministic-methods-for-spatial-interpolation> (дата обращения 12.11.2019)

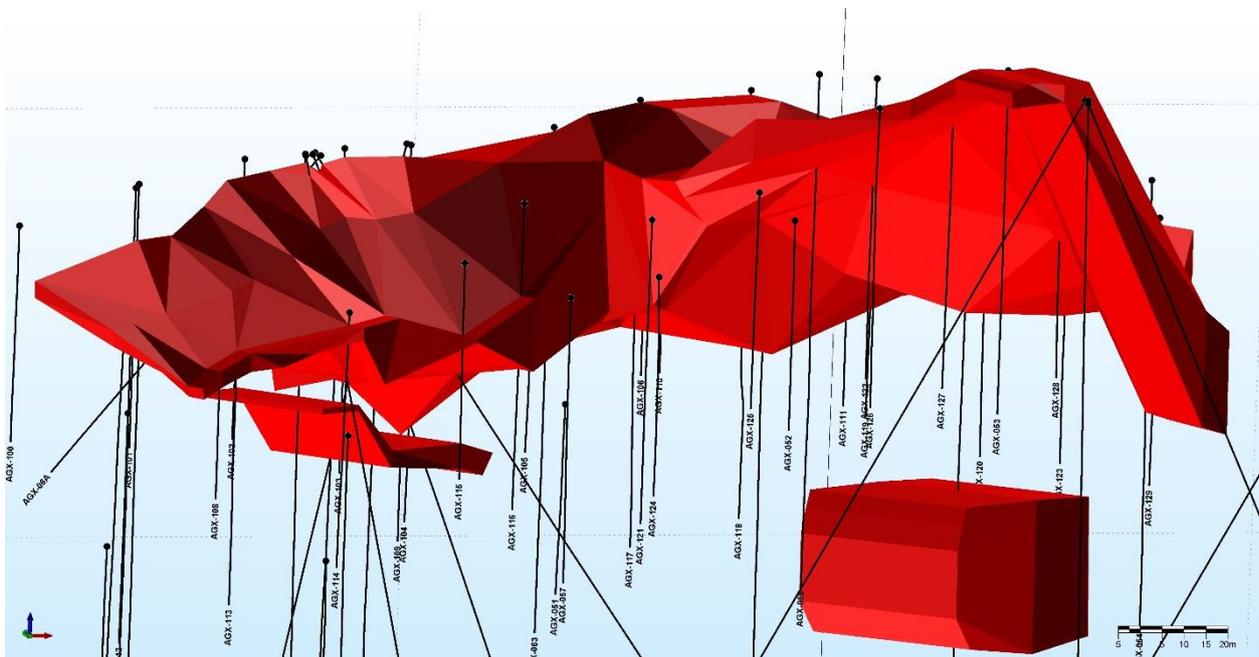
канал, точечных данных по разрезам, совпадающих с разведочными профилями. В отличие от эксплицитного моделирования, в условном моделировании при помощи интерполяции точечных данных создаётся каркасная модель рудного тела. Преимущество условного моделирования состоит в меньших временных затратах.

Условное моделирование может использоваться при густой или редкой сети скважин. Оно также хорошо работает с данными нерегулярной сети бурения или там, где в пределах рудного тела было проведено бурение и опробование с использованием различных методов (каналы, подземное опробование).

На рис. 5 показана модель, созданная с помощью условного моделирования.

Несмотря на то что построение каркасных моделей с помощью условного моделирования происходит намного проще и быстрее (для построения каркасной модели рудного тела Агйохушского месторождения методом условного моделирования потребовалось несколько минут, моделирование классическим методом заняло около 2 часов), у условного моделирования есть один существенный недостаток — отсутствие ручного контроля за процессом построения. Другими словами, геолог не может, руководствуясь своим видением геологической ситуации, получить модель рудного тела. Модель строится путём интерполяции и может не учитывать ряд важных факторов. В построенную модель можно затем внести ряд корректировок, но это нивелирует эффект, полученный от автоматического построения.

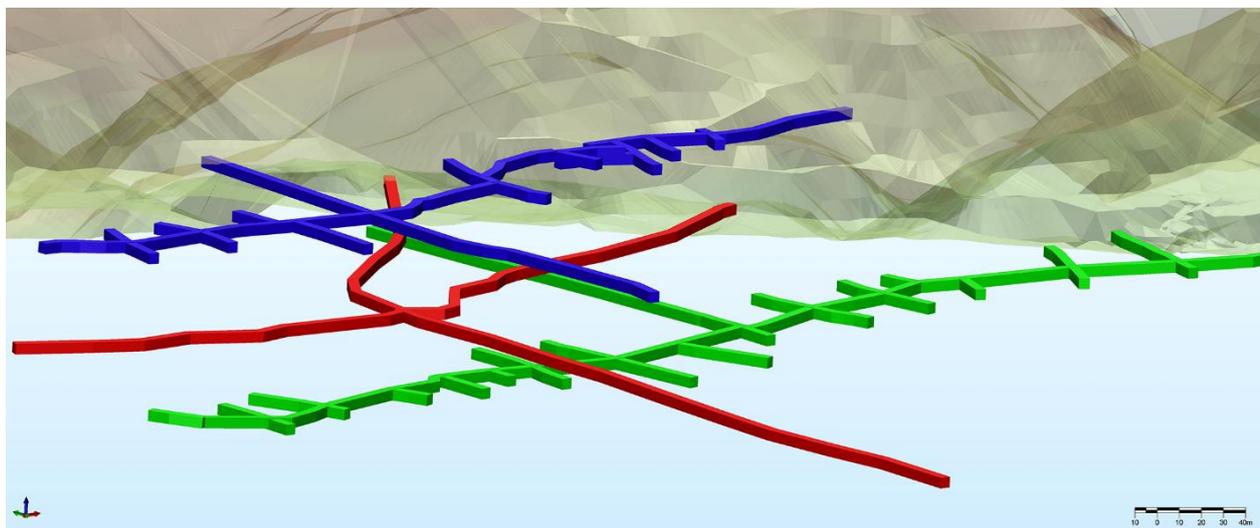
Каркасная модель рудного тела, которая была построена с помощью эксплицитного метода, показана на рис. 6. Сопоставление двух моделей показало, что оценка ресурсов с помощью эксплицитного метода даёт более точные результаты. Результат подсчёта ресурсов с помощью условного моделирования был завышен на 17,5 % по сравнению с моделью, построенной классическим методом. В итоге для дальнейших разработок были приняты результаты каркасной модели, построенной с помощью классического метода.



*Рис. 6. Каркасная модель рудного тела Агйохушского месторождения, созданная с помощью эксплицитного моделирования*

*Fig. 6. The wireframe model of the ore body of the Agyokhush deposit created using explicit modeling*

Рассмотрим другую производственную работу, связанную оцифровкой архивных планов шахт Филизчайского месторождения. Необходимо было произвести расчёт ресурсов Филизчайского месторождения по архивным данным. Поставленная задача была непростой, поскольку архивные планы штолен были выполнены в локальной системе координат. Кроме того, предстояло подготовить данные для вычисления ресурсов, значит, нужно было выполнить нужные вычисления для представления планов шахт в ГГИС. На первом этапе данные были оцифрованы в локальной системе координат, далее по опорным точкам оцифрованные данные были переведены в координатную систему WGS84 UTM38N. Для импорта данных в ГГИС нужно оцифрованные пробы представить как скважины, а для этого нужно будет обязательно вычислить начальные координаты (X, Y, Z) оцифрованных проб. Здесь, конечно, возникает проблема с нахождением координаты Z, зенитного угла и азимута оцифрованных проб. Данную проблему можно решить с помощью маркшейдерских замеров, которые были сделаны в шахте. По маркшейдерскому замеру строится сеть неправильных треугольников, далее оцифрованные пробы на основе построенной сети неправильных треугольников конвертируются в трёхмерные полилинии (3D polyline), на основе которых можно вычислить координату Z, зенитный угол. Для вычисления азимута пробы не принципиально, чтобы оцифрованная проба была трёхмерной полилинией. На рис. 7 представлена цифровая модель шахты.



*Рис. 7. Трёхмерная цифровая модель подземных горных выработок Филизчайского месторождения*

*Fig. 7. The three-dimensional digital model of underground mining of Filizchay deposit*

Для проектирования в кратчайшие строки новых скважин на Филизчайском месторождении с целью увеличения добычи цинка, меди, свинца и серебра было необходимо построить цифровую модель рельефа. Филизчайское месторождение находится на труднодоступной территории в высокогорной и скалистой местности. Задача была решена с использованием архивных геологических и топографических данных (была построена карта уклонов в ГГИС QGIS). Критериями для выбора местоположения новых геологоразведочных скважин являются близость к дорожной сети, минимальные уклоны и пересечение с рудой. На первом этапе на основе цифровой модели рельефа строится карта уклонов (рис. 8). Далее на основе карты уклонов выбираются потенциальные места для скважин. На построенную цифровую модель рельефа был добавлен слой дорожной сети, что позволило из множества потенциальных скважин отобрать те, что расположены ближе к дорогам. Далее с помощью

ГГИС MICROMINE были определены координаты скважин, глубина, зенитный угол и азимут. Пересечение скважин с рудой было определено также с помощью ГГИС MICROMINE.

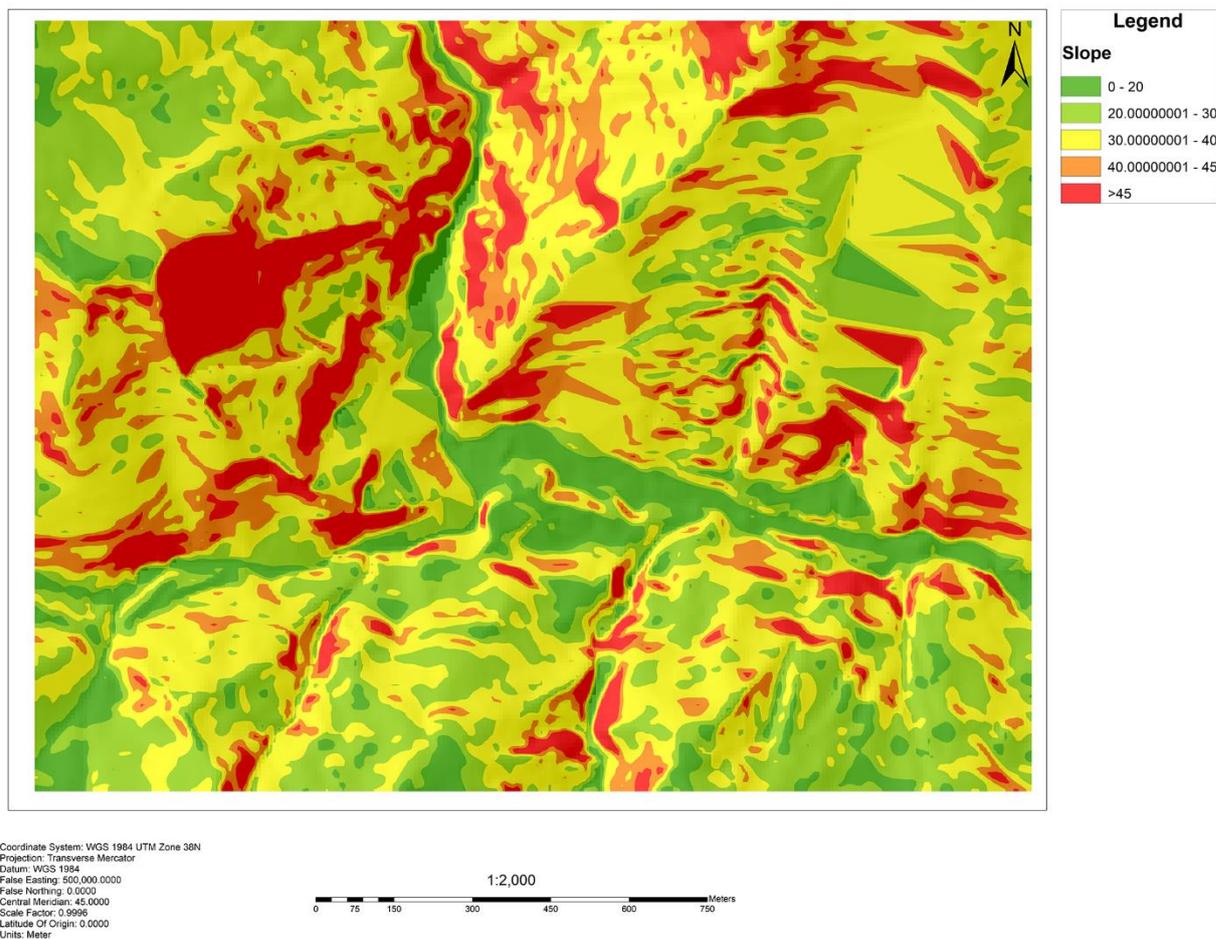


Рис. 8. Карта уклонов территории Фелизчайского месторождения  
 Fig. 8. The terrain slope map of the Filizchay deposit

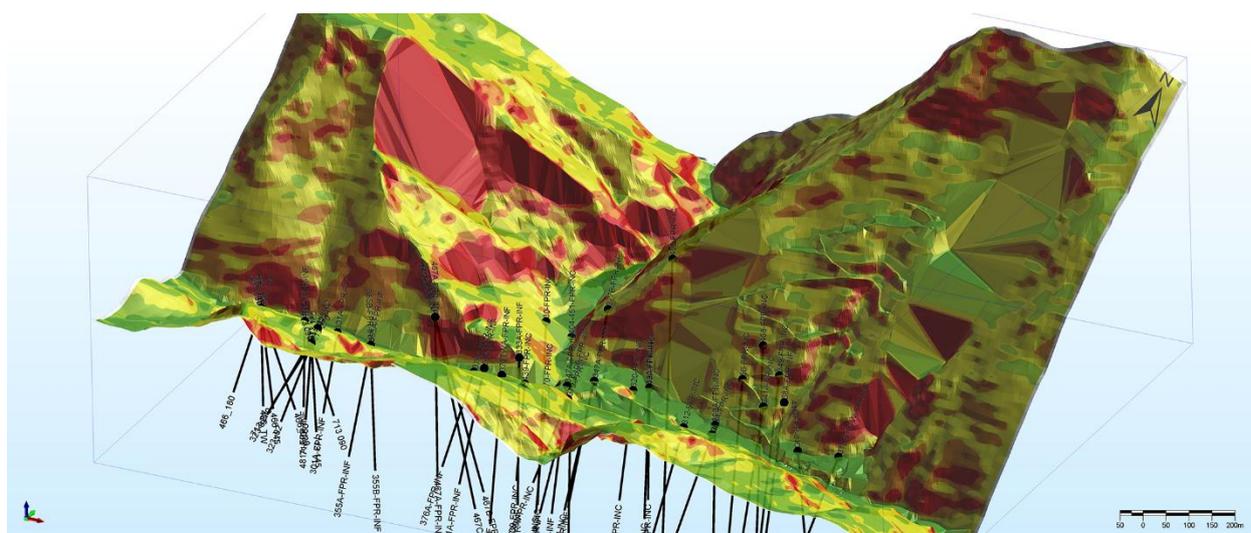


Рис. 9. Трёхмерная цифровая модель Фелизчайского месторождения  
 Fig. 9. The three-dimensional digital model of the Filizchay deposit

На рис. 9 показана трёхмерная цифровая модель Филизчайского месторождения, где чёрными точками показаны проектируемые скважины.

Важно отметить, что геологоразведочные скважины являются важнейшими элементами в геологоразведочных работах. Можно сказать, что от них зависит судьба будущего месторождения. Проектируемые скважины также продлевают жизнь эксплуатируемого месторождения. С помощью ГГИС автоматизированным способом создаются профили геологоразведочных скважин.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

В результате комплексного применения геоинформационных систем и горно-геологических информационных систем в геологоразведке руд цветных металлов на предприятиях ЗАО «AzerGold» были автоматизированы многие технологические процессы в геологоразведке рудных залежей, что значительно сократило затраты времени и повысило точность геологоразведочных работ. Была разработана структура картографической и геологической баз данных. С помощью пространственного ГИС-анализа была определена стратегия геологоразведочных работ на Филизчайском месторождении, оперативно и с высокой точностью определены оптимальные места и количество скважин, координаты, направления и углы падения скважин.

Предложенная методика оцифровки архивных планов шахт дала возможность уточнить ресурсы Филизчайского месторождения. С помощью ГИС QGIS создание геологических карт было намного упрощено: применение классификатора позволило в автоматизированном режиме оформлять сложные условные обозначения; послойная структура проекта дала возможность создания мультимасштабных геологических карт; структура атрибутивных данных позволяет хранить полную информацию о пространственных объектах и выполнять сложные запросы и аналитические операции.

Был выбран оптимальный метод для интерполирования поверхности по пробам, взятым на поверхности Земли, для построения карт геохимических аномалий, где на основе интерполированной поверхности были определены первичные геологоразведочные скважины. Получив положительный результат по первичным геологоразведочным скважинам, было принято решение дополнительно пробурить ещё 64 геологоразведочные скважины. По дополнительным пробуренным скважинам с помощью ГГИС MICROMINE была выполнена оценка ресурсов, которая показала положительный результат. Таким образом было открыто новое золотоносное месторождение Агйохуш.

## **ВЫВОДЫ**

Применение геоинформационных технологий в геологоразведочных работах можно считать свершившимся фактом. Здесь хотелось бы привести слова, сказанные Юлианом Мисьевичем — геологом-консультантом по Африке и в Европе компании Gold Fields International, которая является крупнейшим поставщиком золота ЮАР: «В геологоразведке требуется программное обеспечение базы данных, пакет ГИС, и, разумеется, решение для обработки скважинных данных. Все три совершенно незаменимы».

Геологоразведочные компании всё больше концентрируются на сборе данных и их анализе для выбора стратегии дальнейших геологоразведочных работ.

Архивные данные о геологоразведочных работах после их перевода в цифровой формат обретают новые информационные качества. По этим данным не только оцениваются ресурсы старых месторождений, но и выбирается стратегия дальнейших геологоразведочных работ по данному месторождению, которые определяют целесообразность дальнейших работ.

Интеграция ГИС с ГГИС даёт новый толчок для геологоразведочных работ, т.к. с помощью геологических ГИС решается множество задач, которые не входят в инструментарий ГИС. Расположение трубопроводов, линий электропередачи, дорог, пандусов и др.

сооружений горнодобывающих предприятий часто меняется. Инженерный и оперативный персонал использует ГИС в приложениях планирования инфраструктуры. Отслеживание изменений существующей инфраструктуры и внесение их в план и блок-модели рудника можно производить с помощью ГИС. ГИС можно также использовать для интеграции последних данных геодезической съёмки с блок-моделями или проектными данными рудника из других ГГИС пакетов программного обеспечения для горного дела, таких как GeoSoft, Vulcan, MineSight, SURPAC Range или Mining Visualization System (MVS). В горном деле большая часть информации, в т.ч. финансовые показатели и информация об активах, имеет определённый пространственный компонент, который может быть представлен в виде карты. Управляющие и экономисты предприятий отрасли используют ГИС для оценки активов собственной организации и конкурентов. С помощью ГИС горнодобывающие компании ведут также активный мониторинг воздействия их деятельности на окружающую среду и работу с претензиями. В ГИС можно одновременно отображать, запрашивать и анализировать разнообразные наборы геологических данных, таких как геофизические изображения, геохимические данные, геологические карты, данные радиометрических измерений и информация о скважинах и месторождениях.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Хотим выразить свою благодарность руководству компании ЗАО «AzerGold» за предоставленные данные и условия для проведения вышеописанных работ.

### ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to express our gratitude to the management of AzerGold CJSC for the provided data and conditions for conducting research.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аленичев В.М., Суханов В.И.* Перспективы внедрения горно-геологических информационных систем на отечественных горных предприятиях. Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: Горная книга, 2016. № 8. С. 5–15.
2. *Баба-заде В., Рамазанов В., Мусаев Ш., Джафарли М.* Минерально-сырьевые ресурсы Азербайджана и перспективы их использования. Горный журнал. М.: ИД «Руда и металлы», 2007. № 10. С. 14–19.
3. *Басаргин А.А.* Моделирование месторождений рудных полезных ископаемых с использованием геоинформационной системы MICROMINE. Интерэкспо ГЕО-Сибирь 2016: XII Междунар. науч. конгр., 18–22 апр. 2016 г.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 2 т. Новосибирск: СГУГиТ, 2016. Т. 2. С. 151–155.
4. *Басаргин А.А.* Создание цифровых моделей месторождений полезных ископаемых с применением современных технологий. Вестник СГГА, 2014. Вып. 1 (25). С. 34–39.
5. *Дьяконов В.В., Жорж Н.В.* Геоинформационные технологии разведки и поиска месторождений полезных ископаемых неосвоенных территорий: Учеб. пособие. М.: Издательско-полиграфический комбинат РУДН, 2008. 163 с.
6. *Капутин Ю.Е.* Горные компьютерные технологии и геостатистика. СПб.: Недра, 2002. 494 с.
7. *Наговицын О.В.* Концепция и методы формирования горно-геологической информационной системы (ГГИС MINEFRAME). Дисс. докт. техн. н. Екатеринбург: Институт горного дела УрО РАН, 2018. 339 с.
8. *Botwe T., Osei Jnr E.M.* Gold potential mapping using remote sensing and GIS at the Prestea Concession of Golden Star Bogoso/Prestea Ltd, Ghana. International Journal of Engineering Science and Computing, 2018. V. 8. Iss. 1. P. 15891–15897.

9. *Musayev Sh., Abdullayeva Sh., Babazade V., Akhmedov A.* The material composition and technological characteristics of ores in Chovdar gold-ore deposit (lesser Caucasus). *IJSET-International of Innovative Science, Engenering & Tecnology*, 2016. V. 3. Iss. 7. P. 132–160.
10. *Palka D., Brodny J.* The concept of using the GIS system in underground mining. 18<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, July 2018. V. 18. P. 607–614.

#### REFERENCES

1. *Alenichev V.M., Sukhanov V.I.* Prospects for the implementation of mining and geological information systems in domestic mining enterprises. *Mining information and analytical bulletin*. Moscow: Mining Book, 2016. No 8. P. 5–15 (in Russian).
  2. *Baba-zade V., Ramazanov V., Musaev S., Jafarli M.* Mineral resources of Azerbaijan and the prospects for their use. *Gornyi Zhurnal (Mining Journal)*. Moscow: “Ore and Metals” Publishing House, 2007. No 10. P. 14–19 (in Russian).
  3. *Basargin A.A.* Creation of digital models of mineral deposits using modern technologies. *Bulletin of the SSAG*, 2014. Iss. 1 (25). P. 34–39 (in Russian).
  4. *Basargin A.A.* Modeling of ore mineral deposits using the geographic information system MICROMINE. *Interexpo GEO-Siberia 2016: XII International scientific Congr.*, April 18–22, 2016: International scientific conf. “Geodesy, geoinformatics, cartography, mine surveying”: Proceeding in 2 v. Novosibirsk: SSUGT, 2016. V. 2. P. 151–155 (in Russian).
  5. *Botwe T., Osei Jnr E.M.* Gold potential mapping using remote sensing and GIS at the Prestea Concession of Golden Star Bogoso/Prestea Ltd, Ghana. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 2018. V. 8. Iss. 1. P. 15891–15897.
  6. *Dyakonov V.V., Georges N.V.* Geoinformation technologies of exploration and search for mineral deposits of undeveloped territories: Textbook. Moscow: Publishing and Printing Combine of RUDN University, 2008. 163 p. (in Russian).
  7. *Kaputin Yu.E.* Mountain computer technologies and geostatistics. St. Petersburg: Nedra, 2002. 494 p. (in Russian).
  8. *Musayev Sh., Abdullayeva Sh., Babazade V., Akhmedov A.* The material composition and technological characteristics of ores in Chovdar gold-ore deposit (lesser Caucasus). *IJSET-International of Innovative Science, Engenering & Tecnology*, 2016. V. 3. Iss. 7. P. 132–160.
  9. *Nagovitsyn O.V.* The concept and methods of forming a mining and geological information system (MGIS MINEFRAME): D diss. tech. sc. Ekaterinburg: The Institute of Mining of Ural Branch of RAS, 2018. 339 p. (in Russian).
  10. *Palka D., Brodny J.* The concept of using the GIS system in underground mining. 18<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, July 2018. V. 18. P. 607–614.
-