ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2019;(11):106-118

УДК 622:681.52 DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-106-118

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОСВОЕНИЮ НЕДР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

В.В. Руденко

МГИ НИТУ «МИСиС», Город, Россия, e-mail: rudenkov@bk.ru

Аннотация: Произведен обзор научных исследований по применению теории системных исследований и кибернетических методов для эффективного освоения недр начиная с 70-х годов XX-го века по настоящее время. Обобщены и изложены: методы моделирования месторождений полезных ископаемых; модели и методы построения системы «месторождение», включающие модель оптимизации параметров сети доразведки эксплуатируемого месторождения полезных ископаемых с использованием теории исследования операций и теории игр и модель оптимизации параметров сети эксплуатационной разведки, апробированную на 29 месторождениях цветных металлов. Изложены обобщающие научно-исследовательские и опытно-промышленные результаты по созданию информационной системы управления качеством полезных ископаемых при недропользовании, а также структурированный подход к управлению полнотой и качеством извлечения полезных ископаемых из недр. Обоснованы предпосылки формирования сложной системы «горное производство» и современного научного направления «Квалиметрия недр» в системе горных наук. Проанализированы результаты мониторинга ГИС-технологий для решения задач науки «Квалиметрия недр». Произведена современная оценка возможности построения многофакторной геолого-геометрической модели месторождения с использованием в будущем интеллектуальных кибернетических методов.

Ключевые слова: система, модель, теория исследования операций, теория игр, модель оптимизации управления, информационные технологии, качество, сложная система, квалиметрия недр, кибернетические методы, мониторинг, многофакторная геолого-геометрическая модель.

Для цитирования: *Руденко В. В.* Системный подход к освоению недр с использованием интеллектуальных кибернетических методов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 11. – С. 106–118. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-106-118.

System approach to subsoil management using intelligent cybernetic methods

V.V. Rudenko

Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia, e-mail: rudenkov@bk.ru

Abstract: The article reviews studies in application of the system research theory and cybernetic methods to efficient subsoil use between the 1970s and the present date. The generalization and summary encompasses: modeling methods of mineral deposits; models and methods of the «deposit» system construction, including optimization model of additional exploration pattern layout at a deposit under mining using the OR theory and theory of games, as well as the optimization

© В.В. Руденко. 2019.

model of operational exploration pattern layout trialed at 29 deposits of nonferrous metals. The generalized research findings and commercial-level results on creation of the mineral quality information system in subsoil use and the structured approach to the mineral extraction completeness and quality control are presented. The background of the complex «mining production» system formation and the modern school on the subsoil qualimetry in the mining sciences is justified. The survey results on GIS technologies to be used to solve problems of the subsoil quailimetry science are analyzed. The modern estimate of construction of a multi-factor geometrical-and-geological model of a mineral deposit using intelligent cybernetic methods in the future is carried out.

Key words: system, model, OR theory, theory of games, control optimization model, information technologies, quality, complex system, subsoil qualimetry, cybernetic methods, monitoring, multi-factor geometrical-and-geological model.

For citation: Rudenko V. V. System approach to subsoil management using intelligent cybernetic methods. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(11):106-118. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-106-118.

Введение

Во второй половине XX-го века к стратегическому направлению научных исследований недр можно отнести системный подход к изучению месторождений полезных ископаемых с применением кибернетических методов.

В системных исследованиях выделяют два направления, оперирующих едиными принципами абстрагирования при исследовании различных аспектов функционирования систем, но отличающихся по характеру подходов к решениям.

Первое направление представлено общей теорией систем, второе — теорией исследования операций и сосредотачивает прикладные аспекты исследований.

Любое месторождение полезного ископаемого представляет собой сложный природный объект, который можно считать реальной системой. Натурное изучение системы «месторождение» и постановка над ней экспериментов крайне затруднительны, а в определенных случаях невозможны из-за сложности объекта, его масштабности, высоких трудозатрат и др. Поэтому применение системного подхода в этом случае полностью оправдано и стало широко использоваться в геологии зарубежными и отечественными учеными, начиная с 70-х годов XX-го века [1—5].

В работе автора [6, 1978 г.] месторождение, представленное генеральной совокупностью значений показателя, относимых к центрам равномерно расположенных элементарных объемов, рассматривается как система, элементами которой являются выборочные совокупности значений показателя. «Подсистемы» представлены ячейками стадий геологической разведки (рис. 1).

Состояние подсистемы характеризуется совокупностью геологических, горнотехнологических и экономических показателей, отражающей пространственное размещение полезного ископаемого при соответствующей плотности разведочной сети.

Геологический процесс, рассматриваемый как элемент системы «месторождение», «поставляет» информацию о месторождении полезных ископаемых в зависимости от степени детализации геологоразведочных работ.

Таким образом, можно утверждать, что система «месторождение» — не множество, а репрезентант множества.

Репрезентативность (от франц. representatif — показательный) — соответствие характеристик, полученных в результате выборочного наблюдения, показателям, характеризующим всю генеральную совокупность.

Рис. 1. Структурная схема системы
Fig. 1. Structural layout of system

Изучение «системы» возможно только путем рассмотрения формального описания тех ее особенностей, которые необходимы для целей исследования. Формальное описание характеристик системы, по сути, является ее моделью.

Основная часть

Моделирование — основной метод изучения процессов и явлений, которые не имеют строго определенной организации систем показателей. Модель должна отражать с возможно большей достоверностью объект или отдельные его свойства и используется: для изучения закономерностей показателей объекта (процесса); получения новой информации; решения различных задач. Использование системного подхода при моделировании дает возможность не только построить модель, но и найти с ее помощью оптимальный, с точки зрения поставленной задачи, вариант функционирования системы-оригинала.

При работе с моделью основным методом исследований остается эксперимент.

В основе моделирования лежит теория подобия, согласно которой абсолютное подобие возможно лишь при замене одного объекта другим, точно таким же. На практике абсолютное подобие при моделировании не достижимо, поэтому необходимо стремиться к тому, чтобы модель возможно более достоверно отражала исследуемую сторону функционирования объекта, была адекватна объекту.

Метод моделирования и вид создаваемой модели будут зависеть от целей исследования. Общая схема классификации видов моделирования представлена на рис. 2.

При математическом моделировании применяются: многомерный статистический анализ; корреляционный анализ; теория случайных функций; факторный и регрессионный анализ и др. [9].

Практическим выходом от научно-исследовательских работ в области математического моделирования в 80-х годах XX-го века являются цифровые модели месторождений полезных ископаемых.

Исходная информация, вводимая в ЭВМ, представляется в виде дискретных

чисел. Месторождение полезных ископаемых представляется в виде дискретных чисел или в виде ряда числовых матриц каждого показателя. Каждый из показателей имеет свое пространственное размещение, т.е. свою геометрию. Составлению цифровой модели месторождения должна предшествовать геометризация и оценка представительности [7, 9].

Геометрия недр, как метод пространственного размещения геологических и других показателей, является научным фундаментом для построения геолого-геометрической модели месторождения полезных ископаемых [1, 9—12, 14, 17].

В 80÷90 годы XX-го века для построения геолого-геометрической модели месторождения полезных ископаемых использовались: автоматизированная система информационного графического моделирования СИГМА (МГИ, кафедра геологии); пакет программ (НИГРИ, г. Кривой Рог); пакет программ (Ассоциация развития информационных технологий и ИГНМ АН СССР, г. Москва; система «АСОД-ПРОГНОЗ» (КазВИРГ, КазПТИ, КазИМС, ЦЭМИ СССР); пакет программ (ЦНИИ ОЛОВО, г. Новосибирск, лаборатория автоматизации научных исследований и вычислительной техники); пакет программ (КГРИ, г. Кривой Рог); пакет программ (КазПТИ, г. Алма-Ата); пакет программ (ИГД Каз.ССР, г. Алма-Ата); программы (МГИ, кафедра исследования операций, Гипроцветмет, г. Москва); пакет программ (ИГД АН Каз.ССР, ВЗПИ, Гипроцветмет);

Рис. 2. Общая схема классификации видов моделирования
Fig. 2. General scheme of classification of modeling types

система управления базами данных «Квант-М» (МГРИ, г. Москва); программа (ВЗПИ, Гипроцветмет, г. Москва); подсистема «РУДА» в «ГЕОС-МЕТ» (НПО «Сибцветметавтоматика», ВИОГЕМ, Гипроруда, Гипроцветмет, Читинский филиал Гипроцветмет). Уровень перечисленных программных продуктов в данный период довольно высокий, соблюдался принцип системности формирования пакета программ.

При изучении месторождения полезных ископаемых постоянно возникают условия неопределенности, а снятие неопределенности является целью системных исследований. Оно может достигаться применением методов теории информации, теории исследования операций.

Методы теории информации позволяют на математической основе проанализировать информативность геологической разведки. Методы теории исследования операций способствуют оптимизации параметров разведочной сети и опробования.

Теория исследования операций, в общем смысле, может быть представлена как применение научных принципов, методов и средств к задачам, связанным с функционированием организационных систем, с целью предоставить тем, кто управляет этими системами оптимальные решения.

Научно-технический аспект теории исследования операций состоит в разработке достаточно общих моделей принятия оптимальных решений, с одной стороны, и математического аппарата, обеспечивающего их методами анализа, с другой стороны. В этом проявляется двойственность теории исследования операций, являющейся одновременно разделом прикладной математики и самостоятельной прикладной наукой.

К математическим методам, которые нашли применение в теории исследования операций, относятся:

1. Теория полезности — математические методы описания связи объективных (физических) количественных характеристик цели с ее субъективными (полезными) характеристиками.

2. Теория игр (групповых решений и арбитражных схем) — определяются оптимальные стратегии, максимизирующие или минимизирующие некоторую целевую функцию (функцию полезности платежей игроку). «Качество» стратегии определяется, в свою очередь, выбором целевой функции. Исследуются неопределенные ситуации. Цель применения теории игр — преобразование неопределенной ситуации в детерминированную на основании ряда допущений.

3. Оптимальное программирование — чисто математическая задача о нахождении экстремума функции нескольких переменных при некоторых ограничениях, наложенных на эти переменные. В оптимальное программирование входят:

- линейное программирование, теория которого сводится к теории двойственности и симплекс — методу;
- выпуклое программирование;
- динамическое программирование;
- дискретное программирование;
- параметрическое программирование;
- стохастическое программирование;
- неопределенное (теоретико-игровое) программирование.

В работе автора [7] изложен апробированный теоретико-игровой метод определения оптимальных параметров сети детальной разведки в период разработки месторождений полезных ископаемых с позиции системных исследований. Дано обоснование применяемому теоретико-игровому методу, раскрыты понятия теории игр применительно к геологическому процессу.

Используются байесовские стратегии для нахождения оптимальных стратегий геолога.

При построении модели оптимизации детальной разведки использован экономический критерий — «горный риск», в котором нашли отражение геологические, горнотехнические, технологические и экономические факторы, влияющие на эффективность разведки и промышленное освоение месторождения полезных ископаемых. Поэтому модель оптимизации параметров сети детальной разведки называется геолого-экономической.

При построении модели оптимизации детальной разведки приходится рассматривать не только измеряемые параметры, но и такие, как категория разведанности, состав пород и т.д., а также необходимо знать закономерности размещения полезных компонентов, которые выявляются в результате геометризации месторождения полезных ископаемых, поэтому применим метод формализованного построения модели.

Так как задача оптимизации параметров сети детальной разведки является многофакторной и многовариантной, для ее решения применялась ЭВМ. Базой исходной информации в модели оптимизации параметров сети детальной разведки являлась геометризация месторождения, выполненная по результатам предшествующей стадии разведки на исследуемом участке месторождения и эксплуатационной разведки на представительном участке месторождения, который принят за эталон.

Для геологических и горно-геометрических исследований разложение конечного результата на составляющие, каждую из которых можно было бы связать с действием определенного геологического процесса, представляется одним из инструментов познания.

Методы расщепления информации требуют предварительного представления ее в компактном и легко обозримом виде, позволяющем определить, какие именно составляющие являются доминирующими. Поэтому методам разложения часто сопутствуют методы свертки информации. В основе этих методов лежат определенные математические модели.

Методы разложения и свертки исходной информации, как правило, используют язык математической статистики. Статистика дает возможность лишь формально расщепить исходную информацию на отдельные составные элементы, но не позволяет вскрыть причинно-следственные связи, что возможно с использованием факторного анализа [8].

Он приспособлен для исследования сложных (диффузных) природных систем, формирующихся под воздействием и влиянием разнообразных факторов. Предполагается при этом, что действие указанных факторов вызывает взаимосвязанное изменение показателей, характеризующих изучаемую природную систему. При этом каждый показатель представляет собой случайную величину распределенную нормально с конечной дисперсией. При интерпретации каждый фактор соотносится с определенным геологическим процессом.

Предпосылкой применения метода служит представление о том, что корреляция между показателями, характеризующими природную систему, является следствием их линейной зависимости от определенного числа других неизвестных «простых» характеристик, не коррелированных между собой. Эти «простые» (неразложимые) характеристики можно считать «причинами», а наблюдаемые характеристики (показатели) — «следствиями». Суть применения факторного анализа сводится к поиску этих неизвестных «простых» линейно независимых (ортогональных) показателей, которые и носят название главных компонентов или факторов.

При разработке месторождений полезных ископаемых важное значение имеет обоснование параметров сети эксп-

луатационной разведки в соответствии со сложностью участков месторождения. Для этого решается задача прогнозирования сложности геологического строения разведуемых участков месторождения полезных ископаемых с использованием факторного анализа.

Автором разработана методика определения оптимальных параметров сети эксплуатационной разведки, которая включает комплексирование моделей:

1. Прогнозная модель сложности участков месторождения полезных ископаемых с использованием факторного анализа.

2. Модель оптимизации параметров сети эксплуатационной разведки на основе экономического критерия — минимального суммарного ущерба, представляющего собой сумму отрицательных экономических последствий, вызванных погрешностями: оконтуривания рудных тел; определения среднего содержания полезных компонентов; оконтуривания технологических сортов руд, — и затрат на эксплуатационную разведку.

Обобщение результатов научных исследований, экспериментов, опыта апробации и внедрения методики определения оптимальных параметров сети эксплуатационной разведки на 29 месторождениях цветных и благородных металлов изложено в работе автора [10].

Многообразие геологических условий разработки месторождений полезных ископаемых, способов и систем разработки, способов выемки, технологий переработки, а также жестких условий мировой рыночной экономики, в совокупности, влияют на уровень потерь и разубоживания полезных ископаемых при добыче.

По результатам обобщения методического опыта по определению потерь и разубоживания твердых, россыпных, жидких и газообразных полезных ископаемых при добыче за период с 70-х годов XX-го века по настоящее время[1] автором разработаны «Теоретические основы управления полнотой и качеством извлечения полезных ископаемых из недр [10—15].

Блок-схема структуры управления полнотой и качеством извлечения полезных ископаемых из недр приведена на рис. 3.

В геолого-экономической модели управления полнотой и качеством извлечения полезных ископаемых из недр (рис. 3) используется экономический критерий — стоимостная оценка полноты и качества извлечения 1 т балансовых запасов полезных ископаемых из недр.

Современный структурированный подход к управлению полнотой и качеством извлечения полезных ископаемых из недр должен учитывать:

1. Виды полезных ископаемых.

2. Конкретные геологические условия разработки месторождений полезных ископаемых.

3. Современные горные технологии освоения месторождений твердых, рос-

[1] Отчет «Проект порядка определения нормативов потерь при добыче твердых полезных ископаемых» (Дополнительное соглашение № 1 от 06 марта 2008 г. к Государственному контракту от 31 октября 2007 г. № ВБ-05-34/57), кн. 1, МГГУ, ВИОГЕМ, ВНИМИ, РИСИ, отв. исп. д.т.н. Руденко В.В. — М., 2008. — 30 с.
Отчет «Проект порядка определения нормативов потерь при добыче цветных и благородных металлов», кн. 2. — М., 2008. — 238 с.
Отчет «Проект порядка определения фактических потерь при добыче цветных и благородных металлов», кн. 3. — М., 2008. — 169 с.
Отчет «Проект порядка определения нормативов потерь черных металлов при добыче», кн. 4. — М., 2008. — 85 с.
Отчет «Проект порядка определения фактических потерь черных металлов при добыче», кн. 5. — М., 2008. — 101 с.
Отчет «Проект порядка определения нормативов потерь редкоземельных металлов при добыче», кн. 6. — М., 2008. — 71 с.
Отчет «Проект порядка определения фактических потерь редкоземельных металлов при добыче», кн. 7. — М., 2008. — 80 с.
Отчет «Проект порядка определения нормативов потерь угля при добыче», кн. 8. — М., 2008. — 76 с.
Отчет «Проект порядка определения фактических потерь угля при добыче», кн. 9. — М., 2008. — 86 с.

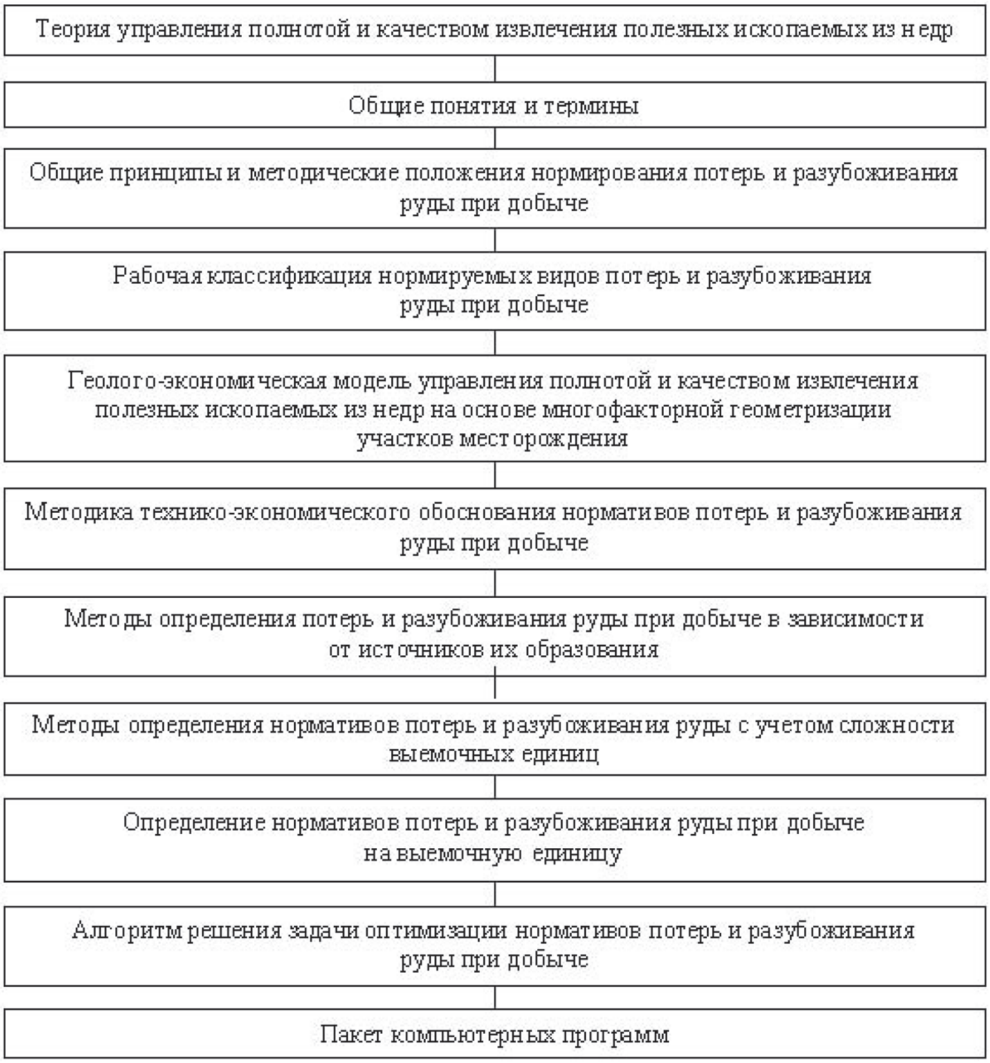

Рис. 3. Блок-схема структуры управления полнотой и качеством извлечения полезных ископаемых из недр

Fig. 3. Block diagram of mineral extraction completeness and quality control

сыпных, жидких и газообразных полезных ископаемых.

4. Инновационные технологии переработки добытого полезного ископаемого до ассортимента конечной продукции.

5. Совершенствование законодательно-нормативной базы по недропользованию.

6. Методы и технологии стабилизации качества добытого полезного ископаемого для технологий переработки до ассортимента конечной горной продукции.

7. Разработку программных продуктов по методическому обеспечению определения оптимальных нормативных величин потерь и разубоживания различных видов полезных ископаемых при добыче с учетом специфических геолого-горно-технологических условий разработки месторождений. Мониторинг зару-

Рис. 4. Структурная схема управления качеством полезных ископаемых на основе информации

Fig. 4. Structure diagram of mineral quality control based on information

бежных и отечественных программных продуктов с 90-х годов XX-го века по настоящее время показал отсутствие в них методик по определению потерь и разубоживания полезных ископаемых при добыче [17—19].

8. Государственный аудит полноты и качества извлечения полезных ископаемых из недр.

Управление качеством полезных ископаемых является традиционной задачей горнодобывающих предприятий и является многопрофильной.

В связи с традиционным назначением геолого-маркшейдерского обеспечения управления качеством полезных ископаемых и возможностью использования современных компьютерных технологий автором введено понятие «информационные технологии систем управления качеством руд» [10].

Под информационной технологией понимают совокупность знаний, методов, способов и средств получения, обработки, хранения, передачи и интерпретации информации о качестве полезных ископаемых для принятия оптимальных решений по его управлению при недропользовании.

Структурная схема управления качеством полезных ископаемых на основе информации представлена на рис. 4.

Структурная схема основных информационных технологий в системе управления качеством полезных ископаемых представлена на рис. 5

Качественно новое развитие получило управление качеством полезных ископаемых в связи с разработкой и широким применением автоматизированных технических средств оперативного контроля качества и сортировки полезных ископаемых непосредственно на карьерах и рудниках.

Обобщая опыт применения автоматизированных систем управления качеством полезных ископаемых за последнее десятилетие XX-го века [10] можно утверждать, что их внедрение стало концепцией эффективности горнообогатительного производства.

К концу XX-го века масштабное использование компьютерных технологий в горном производстве привело к усилению процесса взаимопроникновения геологии, горного дела, геометрии недр на основе квалиметрии недр в условиях глобализации мирового рынка минерального сырья, что неизбежно привело к изменению структуры построения сложной системы «горное производство» (недропользование).

Современное горное производство с позиции системных исследований [10] является сложной системой, представляющей «объект» (месторождение полезного ископаемого) + «процесс» (технологические процессы разведки, добычи, обогащения, металлургического передела), где взаимосвязь отдельных элементов системы базируется на количественной оценке качества полезных ископаемых.

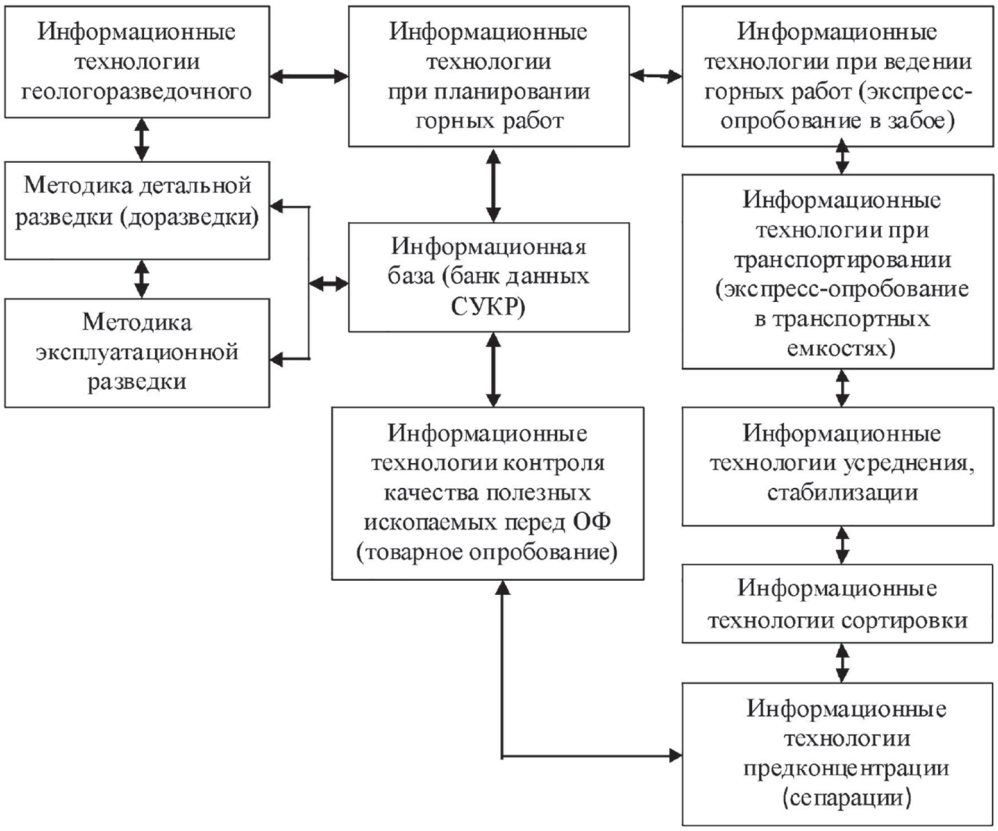

Рис. 5. Структурная схема информационных технологий системы управления качеством полезных ископаемых
Fig. 5. Structure diagrams of information technologies in mineral quality control

Квалиметрия недр, как совокупность методов измерения и оценки качества продукции недропользования, является одной из самых древних и в тоже время самых современных и актуальных областей науки, сформировалась как область горной науки в конце XX-го века, включена в классификацию горных наук, ут-

Рис. 6. Структура содержания квалиметрии недр
Fig. 6. Structural content of subsoil qualimetry

верженную Бюро отделения геологии, геохимии и горных наук РАН, в группу «Горное недропользование».

Теоретические основы, методология, модели и методики науки «Квалиметрия недр» сформированы с позиции системных исследований и апробированы по результатам научных исследований в работах автора [10—13, 18, 19].

С позиции «Квалиметрии недр» оценка качества полезного ископаемого производится в сквозной технологической цепи: «недра — рудник (карьер) — склады — отвалы — обогатительная фабрика — хвостохранилища — металлургический передел».

В зависимости от вида полезного ископаемого, его физического состояния, ассортимента конечной продукции, звенья сквозной технологической цепи будут изменяться.

Содержание «Квалиметрия недр» состоит из взаимосвязанных научных направлений, структура представлена на рис. 6, которые коротко изложены выше по результатам научных исследований автора.

По результатам мониторинга программных продуктов для решения задач «Квалиметрии недр», проводящегося в течение последних 25 лет, было установлено, что из более чем 200 зарубежных программных продуктов можно выделить лишь порядка двадцати геоинформационных систем горно-геологического профиля, кроме того в настоящее время отечественные геоинформационные системы обладают большим количеством модулей для решения задач «Квалиметрии недр» [17—19].

К наиболее популярным программным продуктам для решения задач «Квалиметрии недр» при разработке месторождений твердых полезных ископаемых можно отнести: K-mine, Datamine, Geovia (GEMCOM), Mine Sight, Micromine, Geomix, BRGM, MineFrame, Самара, GEOL_DH, Geostatistical Software Tool, ГИС INTEGRO, Minesight, Techbase, Carlsonmining, Vulcan, Lynx, MineScap, Surpac Vision.

При разработке углеводородного сырья нефтегазовые компании отдают предпочтение: БАСПРО, Techlog, Petrel, GeoTIGG, Isoline GIS, Сфера, Roxar, DV-GEO, АТЛАС, TimeZYX.

Выводы

По результатам мониторинга установлено, что при построении геолого-геометрической модели месторождения твердых, россыпных, жидких и газообразных полезных ископаемых с применением современных ГИС-технологий, не учитывается интегрированное влияние:

- физического состояния полезных ископаемых;
- генезиса;
- морфологии;
- структуры и тектоники;
- физико-механических свойств полезного ископаемого и вмещающих пород;
- комплексного изучения свойств качества полезных ископаемых;
- минералогического состава полезных ископаемых;
- технологических типов и сортов полезного ископаемого;
- ассортимента конечной горной продукции;
- конъюнктуры рынка (обоснование плавающих кондиций).

В настоящее время актуальным вопросом является формирование интегрированного пакета программных продуктов для решения задач квалиметрии недр.

Очевидно, что для создания эффективной автоматизированной сложной системы «Горное производство» требуются интеллектуальные кибернетические методы, и что это под силу высококвалифицированным специалистам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гермейер Ю. Б.* Методологические и математические основы исследования операций и теории игр. Вып. 1. — М.: МГУ, 1967. — 80 с.

2. *Садовский В. И.* Некоторые принципиальные проблемы построения общей теории систем / Системные исследования. Ежегодник. 1971. — М.: Наука, 1972. — 280 с.

3. *Buttner Peter I. R.* Systems analysis and model building // Geol. Soc. Amer. Spec. pap. No 416, 1972, pp. 69—86.

4. *Park Richard A., Wilkinson John W.* System's analysis: multidisciplinary ecosystem model // Geol. Soc. Amer. Spec. pap. No 416, 1972, pp. 47—48.

5. *Четвериков Е. М.* Статистические методы прогнозирования. — М.: Статистика, 1975. — 184 с.

6. *Гренъ Е.* Статистические игры и их применение. — М.: Статистика, 1975. — 176 с.

7. *Руденко В. В.* Геометризация с применением метода исследования операций при разработке полиметаллических месторождений: Дисс. ... канд. техн. наук. — М., 1978.

8. *Иберла К.* Факторный анализ. — М.: Статистика, 1980. — 398 с.

9. *Букринский В. А.*, *Руденко В. В.* Маркшейдеры — «Кто есть кто». Справочник. — М.: изд-во «Hebatura, Ltd», 1993. — 243 с.

10. *Руденко В. В.* Информационные технологии управления качеством руд на основе геометризации месторождений: дис. д-ра тех. наук. — М., 1996. — 385 с.

11. *Попов В. Н.*, *Руденко В. В. и др.* Квалиметрия недр: учебное пособие для вузов. — М.: Академия горных наук, 2000. — 295 с.

12. *Попов В. Н.*, *Руденко В. В. и др.* Оценки недропользования: учебное пособие для вузов. — М.: Академия горных наук, 2001. — 296 с.

13. *Попов В. Н.*, *Руденко В. В.*, *Бадамсурэн Х.*, *Даваадорж Ц.* Методы оценки полноты и качества извлечения запасов золота при разработке россыпей Монголии // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2003. — № 4. — С. 97—99.

14. *Попов В. Н.*, *Руденко В. В.*, *Ганжаргал С.*, *Ахмедов А. М.* Методы геолого-горно-технологической оценки запасов медно-молибденовых руд, повышающие полноту и качество их извлечения из недр // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2006. — № 6. — С. 5—14.

15. *Технический* регламент по определению нормативных и фактических потерь и разубоживания руды при открытой разработке месторождения «Эрдэнэтийн-Овоо» (договор № 6/112-7 от 10.08.2007 г., этап 1), Центр научно-исследовательских, проектных и опытно-конструкторских работ «Геотехника» при МГГУ, научн. рук., отв. исп., д.т.н. *Руденко В. В.* — М., 2007. — 69 с.

16. *Руденко В. В.*, *Павлова Ю. А.* Мониторинг интегрированных программных продуктов для решения задач квалиметрии недр // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № 11. — С. 215—219.

17. *Калинченко В. М.*, *Руденко В. В.* Геометрия недр. Ч. 3. Руденко В. В. Прикладные задачи геометрии недр. — Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2014. — 347 с.

18. *Руденко В. В.* Концепция развития науки «Квалиметрия недр» // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 6. — С. 5—12. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-6-0-5-12.

19. *Руденко В. В.*, *Шевчук С. В.* Структурированный подход к выбору ГИС-технологий для решения задач квалиметрии недр // Горный вестник Узбекистана. — 2018. — № 2. ГИАБ

REFERENCES

1. Germeyer Yu. B. *Metodologicheskie i matematicheskie osnovy issledovaniya operatsiy i teorii igr*. Vyp. 1 [Methodological and mathematical framework of the OR theory and theory of games. Issue 1], Moscow, MGU, 1967, 80 p.

2. Sadovskiy V. I. Some principal problems of construction of a general system theory. System research. Annuary. Sistemnye issledovaniya. Ezhegodnik. 1971 [System research. Yearbook. 1971], Moscow, Nauka, 1972, 280 p.

3. Buttner Peter I. R. Systems analysis and model building. *Geol. Soc. Amer. Spec. pap*. No 416, 1972, pp. 69—86.

4. Park Richard A., Wilkinson John W. System's analysis: multidisciplinary ecosystem model. *Geol. Soc. Amer. Spec. pap*. No 416, 1972, pp. 47—48.

5. Chetverikov E.M. *Statisticheskie metody prognozirovaniya* [Statistical methods of prediction], Moscow, Statistika, 1975, 184 p.

6. Gren' E. *Statisticheskie igry i ikh primenenie* [Statistical games and application], Moscow, Statistika, 1975, 176 p.

7. Rudenko V.V. *Geometrizatsiya s primeneniem metoda issledovaniya operatsiy pri razrabotke polimetallicheskikh mestorozhdeniy* [Geometrization using the OR method in development of complex deposits], Candidate's thesis, Moscow, 1978.

8. Iberla K. *Faktornyy analiz* [Factor analysis], Moscow, Statistika, 1980, 398 p.

9. Bukrinskiy V.A., Rudenko V.V. *Marksheydery — «Kto est' kto»*. Spravochnik [Surveyors—Who is Who, Reference Book], Moscow, izd-vo «Hebatura, Ltd», 1993, 243 p.

10. Rudenko V.V. *Informatsionnye tekhnologii upravleniya kachestvom rud na osnove geometrizatsii mestorozhdeniy* [Information technologies of ore quality control based on deposit geometrization], Doctor's thesis, Moscow, 1996, 385 p.

11. Popov V.N., Rudenko V.V. *Kvalimetriya nedr*: uchebnoe posobie dlya vuzov [Subsoil qualimetry: Higher educational aid], Moscow, Akademiya gornykh nauk, 2000, 295 p.

12. Popov V.N., Rudenko V.V. *Otsenki nedropol'zovaniya*: uchebnoe posobie dlya vuzov [Subsoil use estimates: Higher educational aid], Moscow, Akademiya gornykh nauk, 2001, 296 p.

13. Popov V.N., Rudenko V.V., Badamsuren Kh., Davaadorzh Ts. Methods of estimating quality and completeness of gold extraction in placer mining in Mongolia. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2003, no 4, pp. 97—99. [In Russ].

14. Popov V.N., Rudenko V.V., Ganzhargal S., Akhmedov A.M. Methods of geological–geotechnical appraisal of copper–molybdenum reserves to increase the extraction quality and completeness. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2006, no 6, pp. 5—14. [In Russ].

15. *Tekhnicheskiy reglament po opredeleniyu normativnykh i fakticheskikh poter' i razubozhivaniya rudy pri otkrytoy razrabotke mestorozhdeniya «Erdenetiyn-Ovoo»* (dogovor № 6/112-7 ot 10.08.2007 g., etap 1) [Technical regulations on determination of rated and actual loss and dilution in open pit mining of the Erdenetiin Ovoo deposit (Contract No. 6/112-7 as of 10.08.2007, stage 1], Tsentr nauchno-issledovatel'skikh, proektnykh i opytno-konstruktorskikh rabot «Geotekhnika» pri MGGU, nauchn. ruk., otv. isp., d.t.n. Rudenko V.V., Moscow, 2007, 69 p. [In Russ].

16. Rudenko V.V., Pavlova Yu.A. Monitoring of integrated program products for solving problems in the subsoil qualimetry. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 11, pp. 215—219. [In Russ].

17. Kalinchenko V.M., Rudenko V.V. *Geometriya nedr* [Subsoil geometry]. Part 3. Applied problems in the subsoil geometry. Novocherkassk, YuRGPU (NPI), 2014, 347 p.

18. Rudenko V.V. Concept of development in the science of qualimetry of subsoil. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2018, no 6, pp. 5—12. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-6-0-5-12. [In Russ].

19. Rudenko V.V., Shevchuk S.V. Structured approach to selection of GIS technologies for solving problems in the subsoil qualimetry. *Gornyy vestnik Uzbekistana*. 2018, no 2. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Руденко Валентина Владимировна — д-р техн. наук, профессор,
МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: rudenkov@bk.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

V.V. Rudenko, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: rudenkov@bk.ru,
Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia.