

УДК 550.8:004.65

Лысенко Дмитрий Евгеньевич

главный геолог,
лаборатория устойчивости бортов,
Уральский филиал ВНИМИ,
620062 г. Екатеринбург, ул. Чебышева, 6

**ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА
И СТАНДАРТИЗАЦИИ ИСХОДНОЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ И
ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
ПРИ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНОМ И
ГЕОТЕХНИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ**

Аннотация:

Данная работа посвящена раскрытию проблемы качества исходных геологических и геомеханических данных; сравнению исторических материалов, используемых для первичной оценки геологической и геомеханической обстановки с современными подходами картирования и документирования горных выработок и обнажений; рассмотрению современных классификаций для преобразования и стандартизации исторических материалов и современных исследований в единую систему.

За основу принимаются общепринятые и международные сокращения, рейтинговые классификации, такие как индекс качества выработок по системе Бартон, рейтинговая система массива горных пород Бенявского, показатель геологического индекса прочности Хоэка-Брауна. В качестве развернутого примера используется рейтинговая система RMR Бенявского, но похожая сравнительная оценка проводилась и по другим показателям.

В работе описаны основные параметры и переменные для классификации горного массива по его качественным показателям, которые встречаются в исходных исторических материалах и требуются по классификации. Приведены примеры перехода от субъективного качественного описания массива к численным рейтинговым параметрам. Переход к рейтинговым показателям численной характеристики массива обеспечивает возможность машинного расчета при интерполяции и экстраполяции в блочных моделях, проведение сравнительного анализа между участками и прогнозного анализа на зоны и области интереса с малой информационной обеспеченностью для проектирования дополнительных работ до изучения массива.

Главная цель таких преобразований – унификация всех доступных материалов в единую базу данных, быстрый пересчет между различными системами, составление программы исследований для изучения наиболее неустойчивых участков.

Ключевые слова: базы данных, рейтинги, качественный и количественный, характеристика массива, геомеханика, геология.

DOI: 10.25635/2313-1586.2025.03.119

Lysenko Dmitry E.

Chief Geologist,
Laboratory of board stability,
Ural branch of VNIMI,
6 Chebysheva Str., 620062 Ekaterinburg.

**PROBLEMS OF QUALITY AND
STANDARDIZATION OF INITIAL
GEOLOGICAL AND GEOMECHANICAL
DATA IN GEOLOGICAL-STRUCTURAL
AND GEOTECHNICAL MODELING**

Abstract:

This paper is devoted to: Disclosing the problem of quality of initial geologic and geomechanical data. Comparison of historical materials used for initial assessment of geologic and geomechanical setting with modern approaches to mapping and documentation of mine workings and outcrops. Consideration of modern classifications to convert and standardize historical materials and modern research into an unified system.

Common and internationally accepted abbreviations and rating classifications such as the Barton excavation quality index, the Bieniawski rock mass rating system, and the Hoek-Brown geologic strength index. Bieniawski's RMR rating system is used as a detailed example, but the similar comparative evaluation was carried out for other indicators.

The paper describes the main parameters and variables for classifying a rock massif according to its qualitative indicators, which are found in the source historical materials and are required for classification. Examples of transition from subjective qualitative description of the massif to numerical rating parameters are given. Transition to rating parameters of numerical characterization of the array provides the possibility of machine calculation in interpolation and extrapolation in block models, comparative analysis between sites and predictive analysis on zones and areas of interest with low information availability for the design of additional work before the study of the array.

The main goal of such conversions is to unify all available materials into a single database, to provide rapid conversion between different systems, and to draw up a research program to study the most unstable areas.

Key words: databases, ratings, qualitative and quantitative, rock mass characterization, geomechanics, geology.

Введение

Математические и статические модели сегодня являются основой для прогнозирования горно-геологических условий в период проектирования и непосредственной отработки месторождения. Геологические, геомеханические и гидрогеологические модели – это одни из частных и наиболее распространенных видов моделей, которые создавались до компьютерной эпохи в виде плоских 2D моделей на бумажных носителях, а сегодня с развитием и распространением ГГИС и в цифровом 3D формате [1, 2].

Для задания граничных элементов, структурных особенностей и свойств массива требуются экспериментальные (лабораторные) данные и фактические наблюдения (картирование) земной поверхности, естественных обнажений, горных выработок и, в частности, скважин различного назначения. Документируемая информация должна обладать пространственной привязкой, методической преемственностью и повторяемостью, сохранять единую оценочную шкалу, легенду и перечень описываемых параметров [3].

С учетом активного исследования геологии в период существования СССР и накопления большого количества полевого материала в этот период изучение и анализ практически всех действующих или проектирование новых объектов горной промышленности начинается с изучения этих наработок. Материалы советского периода преимущественно представлены (передаются заказчиками или имеются в свободном доступе и архивах) графическими материалами, текстовыми отчетами [4]. Исходные полевые журналы или таблицы лабораторных исследований являются недоступными по различным причинам. Материалы эти характеризуют геологическое строение с описанием пород и геологических пачек, структурные особенности, такие как складки, разрывные нарушения с указанием их характеристик, оценку трещиноватости массива, физико-механические свойства вмещающих пород и руд.

Цель данной работы – выделение единой логики для преобразования геологических и геомеханических исторических данных и ведение современного документирования, согласно актуальным общепринятым и международным классификациям.

За теоретическую основу принимаются следующие подходы: система Бартон [5], рейтинговая система Бенявского [6], индекс Хоека-Брауна [7]. Эти методы основаны на практических наблюдениях, были неоднократно апробированы и откалиброваны на множестве месторождений по всему миру и сегодня активно используются для систематизированного описания характеристик горного массива и дальнейших расчетов.

Методы эти базируются на учете факторов, которые приводят к ослаблению массива и близки по своей применимости с коэффициентом ослабления для пересчета лабораторных испытаний образца на прочность массива. Все эти системы и индексы учитывают качество пород, через степень трещиноватости массива характеризующихся рейтингом RQD, характеристики трещин, такие как длина, частота, раскрытие, шероховатость, заполнитель и выветривание, а также влияние воды. Дополнительно могут учитываться факторы прочности пород, напряжение в породном массиве, направление трещин относительно горных выработок (табл. 1).

Анализ проведен на примере рейтинговой системы Бенявского RMR и аналогичен по методике для других рейтинговых систем.

Прочность пород на одноосное сжатие UCS (Ja1) часто встречается в исторических материалах и является числовым значением, что обеспечивает его легкий пересчет в условные единицы используемого рейтинга. Но в случае только полевого описания по косвенным признакам возможно применение справочных значений для описанной породы или применение пересчетной таблицы для полевой оценки.

Таблица 1

Определение коэффициента для RMR

Прочность породы на одноосное сжатие							
Интервал значений	>250 МПа	100-250 МПа	50-100 МПа	25-50 МПа	5-25 МПа	1-5 МПа	<1МПа
Оценка (A1)	15	12	7	4	2	1	0
Показатель качества массива по выходу керна RQD							
Интервал значений	90-100 %	75-90 %	50-75 %	25-50 %	25 %		
Оценка (A2)	20	17	13	8	3		
Расстояние между трещинами							
Интервал значений	>2 м	0,6-2 м	200-600 мм	60-200 мм	<60 мм		
Оценка (A3)	20	15	10	8	5		
Шероховатость трещин							
Интервал значений	Очень шероховатые	Слегка шероховатые раскрытие <1 мм, слегка выветрелые стенки	Слегка шероховатые раскрытие <1 мм, сильно выветрелые стенки	Гладкие поверхности	Следы скольжения		
Оценка (A41)	6	5	3	1	0		
Длина трещин							
Интервал значений	<1 м	1-3 м	3-10 м	10-20 м	>20 м		
Оценка (A42)	6	4	2	1	0		
Раскрытие трещин							
Интервал значений	Нет	<0,1 мм	0,1-1,0 мм	1-5 мм	>5 мм		
Оценка (A43)	6	5	4	1	0		
Заполнитель трещин							
Интервал значений	Нет	Твердый заполнитель <5 мм	Твердый заполнитель >5 мм	Мягкий заполнитель < 5 мм	Мягкий заполнитель > 5 мм		
Оценка (A44)	6	4	2	2	0		
Измененность стенок трещин							
Интервал значений	Нет	Слегка выветрелые	Средне выветрелые	Сильно выветрелые	Раздробленные		
Оценка (A45)	6	5	3	1	0		
Обводненность пород выработки							
A4=A41+A42+A43+A44 +A45	30	25	20	10	0		
Интервал значений	Полностью сухая	Влажная	Мокрая	Капез	Водоприток		
Оценка (A5)	15	10	7	4	0		
Ориентация трещин							
Интервал значений	Очень благоприятные	Благоприятные	Средние	Неблагоприятные	Очень неблагоприятные		
Оценка (JB)	0	-2	-5	-10	-12		

Табл. 2 позволяет легко переводить описательные данные исторической документации об обводненности в числовые значения, что позволяет повысить исходную изученность территории и в итоге улучшает эффективность работ по доизучению, повышает точность геомеханических расчетов и моделирования.

Таблица 2

Переход от качественного описания массива к численным рейтингам

Jw	JA5(89)	Бенявский				Бартон		
Обводненность		JA5(89)		JA5(76)		Jw		
Код	Описание							
D	Полностью сухая – без признаков влаги на поверхности	15	Полностью сухая	10	Полностью сухая	(А) Сухая выработка или незначительный водопристок, т.е. местный приток < 5 л / мин	1	A
M	Слегка влажная – поверхность трещины влажная	10	Влажная	7	Влажная	(В) Средний водопристок или давление, эпизодическое вымывание трещин	0.66	B
W	Влажная – поверхность трещин сырая	7	Мокрая	4	Мокрая	(С) Большой водопристок или высокое давление в крепкой породе с трещинами без заполнения	0.5	C
DR	Мокрая – присутствует вода	4	Капез	0	Водопристок	(D) Большой водопристок или значительное вымывание заполнения трещин	0.33	D
F	Течет вода	0	Водопристок	0	Водопристок	(Е) Исключительно высокий водопристок или давление воды при взрывах, ослабевающие значения с течением времени	0.2-0.1	E
SF	Течет вода под давлением	0	Водопристок	0	Водопристок	(F) Исключительно высокий водопристок или давление воды, продолжающиеся без заметного ослабления	0.1-0.05	F
-1	Не описано							
-2	Не требуется							

Далее представлена таблица перевода качественных характеристик прочности пород, полученных в полевых условиях, в количественные значения, что обеспечивает их дальнейшее использование в геомеханических расчетах и моделях (табл. 3). Это

позволяет стандартизировать данные, особенно при отсутствии возможности проведения лабораторных испытаний в реальных условиях.

Таблица 3

Оценка прочности породы при наглядном (описательном) подходе [4]

Код	Описание	$\sigma_{сж}$ (МПа)	Полевая оценка
SCvs	Очень мягкая глина	<0,025	Легко продавливается кулаком на несколько сантиметров
SCs	Мягкая глина	0,025–0,05	Легко продавливается большим пальцем на несколько сантиметров
SCf	Плотная глина	0,05–0,1	На несколько сантиметров продавливается пальцем при умеренном усилии
SCst	Загрязненная глина	0,1–0,25	Зазубрины легко оставляются большим пальцем, но материал продавливается с большим усилием
SCvst	Сильно затвердевшая глина	0,25–0,5	Зазубрины легко оставляются ногтем
SC	Камень	0,5–1	Зазубрины с трудом оставляются ногтем
R0	Почвенная	0,25–1	Крошится ногтем
R1	Очень слабая	1–5	Материал крошится от крепкого удара геологическим молотком, ему можно придать форму ногтем
R2	Слабая	5–25	Материал режется ножом, но с большим усилием, чтобы резать его на цилиндрические образцы
R3	Средней прочности	25–50	Крепкий удар геологического молотка оставляет отметины до 5 мм, нож царапает поверхность (оценка около 35 МПа)
R4	Прочная	50–100	Образец, удерживаемый в руке, можно разбить одним ударом геологического молотка
R5	Очень прочная	100–250	Для того чтобы сломать образец ненарушенной породы, требуется несколько ударов геологического молотка
R6	Крайне прочная	>250	Материал только откалывается под повторяющимися ударами геологического молотка, звенит при ударах

Параметр RQD (Ja2) является численным значением и требует только перевода под конкретную рейтинговую систему. Однако в исторических материалах RQD обычно не фигурирует, и его учет возможен по косвенному признаку через TCR и поправочный коэффициент, рассчитанный по современным геомеханическим наблюдениям.

Характеристики трещиноватости массива включают в себя сразу группу параметров: число систем трещин (Ja3) и условие трещиноватости (Ja4), состоящее из длины трещин (Ja41), раскрытия трещин (Ja42), заполнителя трещины (Ja43), измененности стенок трещин (Ja44). Показан пересчет из качественных значений полевого документирования в количественные значения рейтинговой системы Бенявского. В исторических материалах чаще всего отсутствует структурное описание керна с выделением геомеханических интервалов, однако встречается описание систем трещин. Каждую систему описывают отдельно с возможностью выделить большинство из перечисленных параметров трещиноватости и с разделением по породным разностям [5, 8].

Обводненность (Ja5) принимается на основании гидрогеологических наблюдений. Пространственно в блочную модель вносится как разграничивающая поверхность, выше которой водный фактор максимально позитивный с минимальным воздействием, а ниже массив учитывается как обводненный с постоянным присутствием воды. При сложном гидрогеологическом строении и резких изменениях несущих способностей горной породы в зависимости от обводнения требуется уделять повышенное внимание этому фактору. Дополнительно требуется оценивать зону вблизи разрывных нарушений и зоны дезинтеграции, которые могут быть обводнены.

Ориентацию трещин относительно горных выработок (JB) можно оценить, опираясь на исторические данные по основным системам трещин и розам диаграмм (стереорограммам) и проектной документации, а также по геодинамическому районированию исследуемого участка месторождения [10].

Заключение

Главной особенностью данного исследования стал пример адаптации существующих международных классификаций на примере рейтинговой системы Бенявского с отечественной практикой полевого документирования. Предложенный подход базируется на создании шкал для качественных характеристик массива с их последующим переводом в числовые рейтинговые показатели. Это позволяет выполнить интерполяцию и экстраполяцию параметров массива на объемы, не охваченные детальными полевыми исследованиями. Важным вкладом также является применение корреляционных таблиц, основанных на косвенных признаках для пересчета параметров массива. Практическая значимость исследования заключается в возможности повторного использования данных исторических изысканий в современных программных продуктах и методах, для разработки полезных ископаемых и обеспечения промышленной безопасности. Предложенный алгоритм интеграции данных предоставляет полезный инструмент для решения прикладных задач, таких как проектирование горных выработок, оптимизация углов уклона бортов карьеров и прогнозирование устойчивости массива [11].

По итогу проведенной работы сформирована сводная табл. 4 на примере системы Бартон RMR, с помощью которой возможно выполнить перевод качественных характеристик массива по историческим материалам в количественные рейтинговые показатели для дальнейшей интерполяции и экстраполяции на требуемый объем массива. Полученная блочная модель позволяет проводить оценку качества массива в любой точке моделирования и проводить множественные проектные расчеты [12].

В дальнейшем возможно составить программу для детализации и наработки недостающих данных с оперативным внедрением в имеющуюся базу данных новых параметров и актуализации модели. Машинными методами возможен оперативный пересчет под другие рейтинговые системы в зависимости от поставленных задач.

Таблица 4

Перевод качественных характеристик массива по системе Бартона (RMR)

Параметр	Качественная характеристика	Количественное значение (RMR)	Комментарий
Прочность на UCS (Ja1)	1. Высокая (более 250 МПа)	15	Используется для пород с высокой прочностью, обычно граниты, габбро
	2. Средняя (100–250 МПа)	10	Песчаники и известняки со средней прочностью
	3. Низкая (менее 100 МПа)	5	Типичные примеры: глинистые сланцы и слабые метаморфические породы
RQD (Ja2)	1. Превосходный (90–100 %)	20	Прочная, практически монолитная порода
	2. Хороший (75–90 %)	17	Порода с незначительным содержанием трещин
	3. Посредственный (50–75 %)	13	Средняя трещиноватость
	4. Плохой (25–50 %)	8	Частые трещины, значительное обрушение структур
	5. Очень плохой (< 25 %)	3	Очень высокая степень трещиноватости, непригодные условия для горных работ без укрепления
Трещиноватость (Ja3)	1. Одна система трещин	25	Одиочная система трещин, минимальный риск разрушения массива
	2. Две системы	15	Скрещивающиеся системы, вероятны сдвиги
	3. Три системы или более	7	Пересечения трещин формируют зоны высокой неустойчивости
Обводненность (Ja5)	1. Сухая порода	15	Вода отсутствует, устойчивые условия
	2. Умеренно влажная	10	Периодические протоки воды, частичная гидрогенизация массива
	3. Постоянная влажность, проточная вода	5	Вода существенно влияет на стабильность породного массива
Ориентация трещин (JB)	1. Благоприятная	10	Трещины располагаются под углом, не влияющим на общую устойчивость массива
	2. Умеренно неблагоприятная	7	Возможны локальные обрушения
	3. Неблагоприятная	3	Максимально неблагоприятные условия из-за пересечения оси выработки и систем трещин

Шероховатость трещин (Ja4.1)	1. Гладкие	15	Породы с низкой шероховатостью трещин, минимальная нестабильность
	2. Умеренно шероховатые	10	Шероховатость умеренная, возможно местное разрушение
	3. Шероховатые	5	Высокая шероховатость, увеличивает вероятность разрушений
Длина трещин (Ja4.2)	1. Короткие (менее 1 м)	15	Короткие трещины, слабое влияние на общую стабильность массива
	2. Средние (1–3 м)	10	Средняя длина, возможно влияние на локальные области
	3. Длинные (более 3 м)	5	Длинные трещины, высокое влияние на устойчивость
Раскрытие трещин (Ja4.3)	1. Незначительное (< 1 мм)	15	Меньшее раскрытие, слабое влияние на механические свойства массива
	2. Умеренное (1–5 мм)	10	Умеренное раскрытие, возможно локальное воздействие
	3. Значительное (> 5 мм)	5	Значительное раскрытие, значительное воздействие на стабильность
Заполнитель трещин (Ja4.4)	1. Без заполнителей	15	Трещины без заполнителей, минимальное влияние на прочность
	2. Минеральные или органические заполнители	10	Частичное заполнение трещин, влияет на прочностные характеристики
	3. Водные или глинистые заполнители	5	Заполнение трещин водой или глиной, значительно снижает прочность
Измененность стенок трещин (Ja4.5)	1. Нет изменений	15	Стенки трещин не изменены, стабильность массива высока
	2. Умеренные изменения	10	Незначительные изменения стенок, возможность локальных нарушений
	3. Значительные изменения	5	Значительные изменения стенок, возможные разрушения и обрушения

Список литературы

1. Раимжанов Б.Р., Хасанов А.Р., 2020. Оценка структурной нарушенности массива горных пород по рейтинговым классификациям для рудников зармитанской золоторудной жилы. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 5, С. 115-127. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-0-115-127.
2. Gregory Paul Dyke, 2006. *A research report submitted to the Faculty of Engineering and the Built Environment, University of the Witwatersrand, Johannesburg*,

in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science in Engineering. Johannesburg. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/39665059.pdf> (дата обращения 22.09.2025)

3. Стандарт «Геомеханическое обеспечение горных работ на месторождениях АО «Серебро Магадана» СП 01-2016. URL: <https://companion.ru/id/1024900957070-serebro-magadana?ysclid=mg> (дата обращения 22.09.2025)

4. Методические указания по изучению массива горных пород для обеспечения устойчивости бортов и уступов карьера, разрезов и откосов отвалов. Москва: ИПКОН РАН, 2022.

5. Barton N., Lien R., Lunde J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol. 6, P.189-236.

6. Bieniawski Z.T. 1973. *Engineering classification of rock masses*. URL: https://www.researchgate.net/publication/335059897_Engineering_classifications_of_rock_masses (дата обращения 20.09.2025)

7. Hoek, E., & Brown E.T., 1980. Empirical Strength Criterion for Rock Masses. URL: <https://www.rocsience.com/assets/resources/learning/hoek/1980-Empirical-Strength-Criterion-for-Rock-Masses.pdf> (дата обращения 23.09.2025)

8. Hoek E., Brown E.T., 1997. Practical estimates of rock mass strength. *Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 34, N. 8, P.1165-1186.

9. Kopránov I.V., Stolyarov M.M., Tamakhin A.S., Zhavoronkin O.V., 2024. Automation of support system design in underground mines using rock mass rating. *Gornyi Zhurnal*, № 1.

10. Basalaeva P.V., Kuranov A.D., 2024. Influence of dip angle of lithologically nonuniform interburden on horizontal mine opening stability during driving. *MIAB*, № 3, P. 17-30.

11. Trushko V.L., Baeva E.K., 2023. Substantiation of rational parameters of mine support system for underground roadways in difficult geological conditions. *MIAB*, №12, P. 55-69.

12. Sidorov D.V., Ponomarenko T.V., 2020. Estimation methodology for geodynamic behaviour of nature-and-technology systems in implementation of mineral mining projects. *Gornyi Zhurnal*, № 1.

References

1. Raimzhanov B.R., Khasanov A.R., 2020. Otsenka strukturnoi narushennosti massiva gornyx porod po reitingovym klassifikatsiyam dlya rudnikov zarmitanskoi zolotorudnoi zhily [Assessment of the structural disturbance of the rock mass according to the rating classifications for the mines of the Zarmitan gold mine]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 5, P. 115-127. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-0-115-127.

2. Gregory Paul Dyke, 2006. A research report submitted to the Faculty of Engineering and the Built Environment, University of the Witwatersrand, Johannesburg, in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science in Engineering. Johannesburg. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/39665059.pdf> (дата обращения 22.09.2025)

3. Standart "Geomekhanicheskoe obespechenie gornyx rabot na mestorozhdeniyakh AO "Serebro Magadana" SP 01-2016 [Standard "Geomechanical support of mining operations at the sites of JSC "Silver Magadan" SP 01-2016]. URL: <https://companion.ru/id/1024900957070-serebro-magadana?ysclid=mg> (дата обращения 22.09.2025)

4. Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu massiva gornyx porod dlya obespecheniya ustoichivosti bortov i ustupov kar'era, razrezov i otkosov otvalov [Methodological guidelines for studying the rock mass to ensure the stability of the sides and ledges of the quarry, sections and slopes of the dumps]. Moscow: IPKON RAN, 2022.

5. Barton N., Lien R., Lunde J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol. 6, P.189-236.
6. Bieniawski Z.T. 1973. *Engineering classification of rock masses*. URL: https://www.researchgate.net/publication/335059897_Engineering_classifications_of_rock_masses (data obrashcheniya 20.09.2025)
7. Hoek, E., & Brown E.T., 1980. Empirical Strength Criterion for Rock Masses. URL: <https://www.rocscience.com/assets/resources/learning/hoek/1980-Empirical-Strength-Criterion-for-Rock-Masses.pdf> (data obrashcheniya 23.09.2025)
8. Hoek E., Brown E.T., 1997. Practical estimates of rock mass strength. *Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 34, N. 8, P.1165-1186.
9. Koprانov I.V., Stolyarov M.M., Tamakhin A.S., Zhavoronkin O.V., 2024. Automation of support system design in underground mines using rock mass rating. *Gornyi Zhurnal*, № 1.
10. Basalaeva P.V., Kuranov A.D., 2024. Influence of dip angle of lithologically nonuniform interburden on horizontal mine opening stability during driving. *MIAB*, № 3, P. 17-30.
11. Trushko V.L., Baeva E.K., 2023. Substantiation of rational parameters of mine support system for underground roadways in difficult geological conditions. *MIAB*, №12, P. 55-69.
12. Sidorov D.V., Ponomarenko T.V., 2020. Estimation methodology for geodynamic behaviour of nature-and-technology systems in implementation of mineral mining projects. *Gornyi Zhurnal*, № 1.