

- 1) в полях параметров деформации (главные значения ϵ_{r1} и ϵ_{r2} , дилатация, коэффициент μ_e , удельные работы A_v и A_f) интрузивные массивы картируются более отчетливо и однозначно, чем в локальном поле силы тяжести даже при самых неблагоприятных условиях, когда массивы контактируют между собой. Каждому массиву присущ свой набор параметров деформации;
- 2) наиболее сильным концентратом напряжений в районе г. Екатеринбурга является Уктусский массив.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Сейсмические события Уральского региона за 1914-2002 гг.** М.: ЦСГНЭО РАО "ЕЭС РОССИИ", 2002. 86 с.
2. **Трубицын А.П.** Неровность плотностных границ раздела как источник напряжений в коре и мантии // Изучение Земли как планеты методами астрономии, геодезии и геофизики. Киев: Наукова думка, 1982. С.39-46.
3. **Филатов В.В.** Теория и практика геодинамического анализа гравитационного поля (на примере рудных районов Урала): Дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Свердловск, 1990. 376 с.
4. **Болотнова Л.А., Гуськов С.И.** Методика тектонофизического анализа гравитационного поля (на примере территории г. Екатеринбурга) // Пятая Уральская молод. научная школа по геофизике. Екатеринбург, 22-26 марта 2004 г. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. С. 7-9.
5. **Николаев П.Н.** Методика тектонодинамического анализа. М.: Недра, 1992. 293 с.

УДК 622.02:550.3:556.33

Е.И. Пономарев

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГОРНОГО МАССИВА В ОТЧЕТНЫЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕСЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Проектирование и строительство крупных горно-технических комплексов – карьеров, шахт, хвостохранилищ, горно-обогатительных предприятий и т. д. - связаны с необходимостью учета гидрогеологической и геомеханической ситуации в районе проектируемого строительства.

Анализ результатов эксплуатации горных комплексов на примере месторождений Восточной Сибири (Коршуновский ГОК) и Оренбургской области (Гайский ГОК, Ормет и т. д.) показывают, что большинство осложнений, связанных с устойчивостью бортов карьеров, вызвано недоучетом исходного комплекса взаимосвязанных гидрогеологических и геомеханических параметров и мелкомасштабной гидрогеологической и геомеханической ситуации в районе строительства горных предприятий.

Взаимосвязь геомеханических, гидрогеологических и геоэлектрических полей, явлений и параметров основана на фактическом структурно-вещественном совпадении (пространственном и вещественном) элементов геомеханических, гидрогеологических и геоэлектрических неоднородностей. Если в композитной среде наблюдается совпадение структурно-вещественных элементов геомеханических, гидрогеологических и геоэлектрических неоднородностей, то связь между параметрами (геомеханическими, гидрогеологическими и геоэлектрическими) имеет место. Если элементы не совпадают, то связи нет. Совпадение структурно-вещественных элементов неоднородностей свидетельствует только о наличии связи.

Величина и особенности сочетания неоднородностей определяют вид и контрастность взаимосвязей геомеханических, гидрогеологических и геоэлектрических полей, явлений и параметров.

Методика трансформации диагностических геоэлектрических полей, явлений и параметров в отчетные геомеханические, гидрогеологические и структурно-вещественные модели горных пород и массивов

Полевые, лабораторные и скважинные геоэлектрические методы при различной ориентировке возбуждаемых электрических полей относительно изучаемого горного массива позволяют выбрать такое направление электрического поля, при котором искажения, связанные со структурно-тектоническими особенностями строения горного массива, будут линейными.

Такие условия создаются при ориентировке электрического поля поперек структурно-вещественных элементов. В этом случае измеренные геометрические параметры структур и величина их удельного сопротивления будут близки к истинным.

На основании геоэлектрических измерений получаем геоэлектрическую модель горного массива, представленную структурно-вещественным сочетанием геоэлектрических неоднородностей, которые на основе лабораторных и натуральных эмпирических и теоретических зависимостей пересчитывают в совокупность геомеханических и гидрогеологических неоднородностей, в дальнейшем использующихся для расчета геомеханической и гидрогеологической моделей композитных сред.

Схему решения задачи составления структурно-вещественной, геомеханической и гидрогеологической моделей горного массива можно пояснить рис. 1.

Представляется возможным разработка решения прямых и обратных задач для более сложных случаев неоднородных в геомеханическом и гидрогеологическом отношениях моделей геологических сред.

Методы трансформации и пересчетов позволят в самом ближайшем будущем в автоматическом диалоговом режиме на основании исходной инженерно-геологической информации и геоэлектрического моделирования горных массивов получать детальные структурно-вещественные, геомеханические и гидрогеологические модели распределения геомеханических и гидрогеологических неоднородностей, максимально приближенных к их истинным значениям.

В современном фундаментальном научном подходе исходный масштаб исследования сопоставляется с объективным уровнем организации вещества (материал, породы, массив, район, регион, провинция и т.д.). Переход от одного исходного уровня организации вещества к более масштабному осуществляется путем расчета гидрогеологических, геомеханических или геофизических параметров композитных сред. Исходным для расчета является структурное сочетание неоднородностей геомеханических, гидрогеологических или геофизических параметров которые можно считать однородными на исходном уровне организации вещества. Такие неоднородности целесообразно называть элементами неоднородностей горной породы или массива. В практике геомеханических исследований их называют "элементами разупрочнения", в гидрогеологических моделях – элементами водопроницаемости или проницаемости, в геоэлектрических моделях – элементами электропроводности.

Структура и этапы комплексного геоэлектрического, структурно-вещественного, геомеханического и гидрогеологического моделирования горных пород и массивов

На первом этапе осуществляется подбор основных сведений о геологии, гидрогеологии, геомеханике исходного горного массива на основе анализа результатов горно-геологических и геолого-геофизических работ прошлых лет.

На втором этапе выполняется комплекс рекогносцировочных маршрутных съемок, в результате которых выполняются зарисовки, фотографии, описания обнажений, выходы подземных вод, особенности проявления гидрогеологических и геомеханических явлений и т. д. На этом этапе разрабатывается проект геоэлектрического диагностирования горного массива, в котором задается объем глубинных и площадных методов исследования горного массива с целью надежной расшифровки основных элементов его геоэлектрического строения.

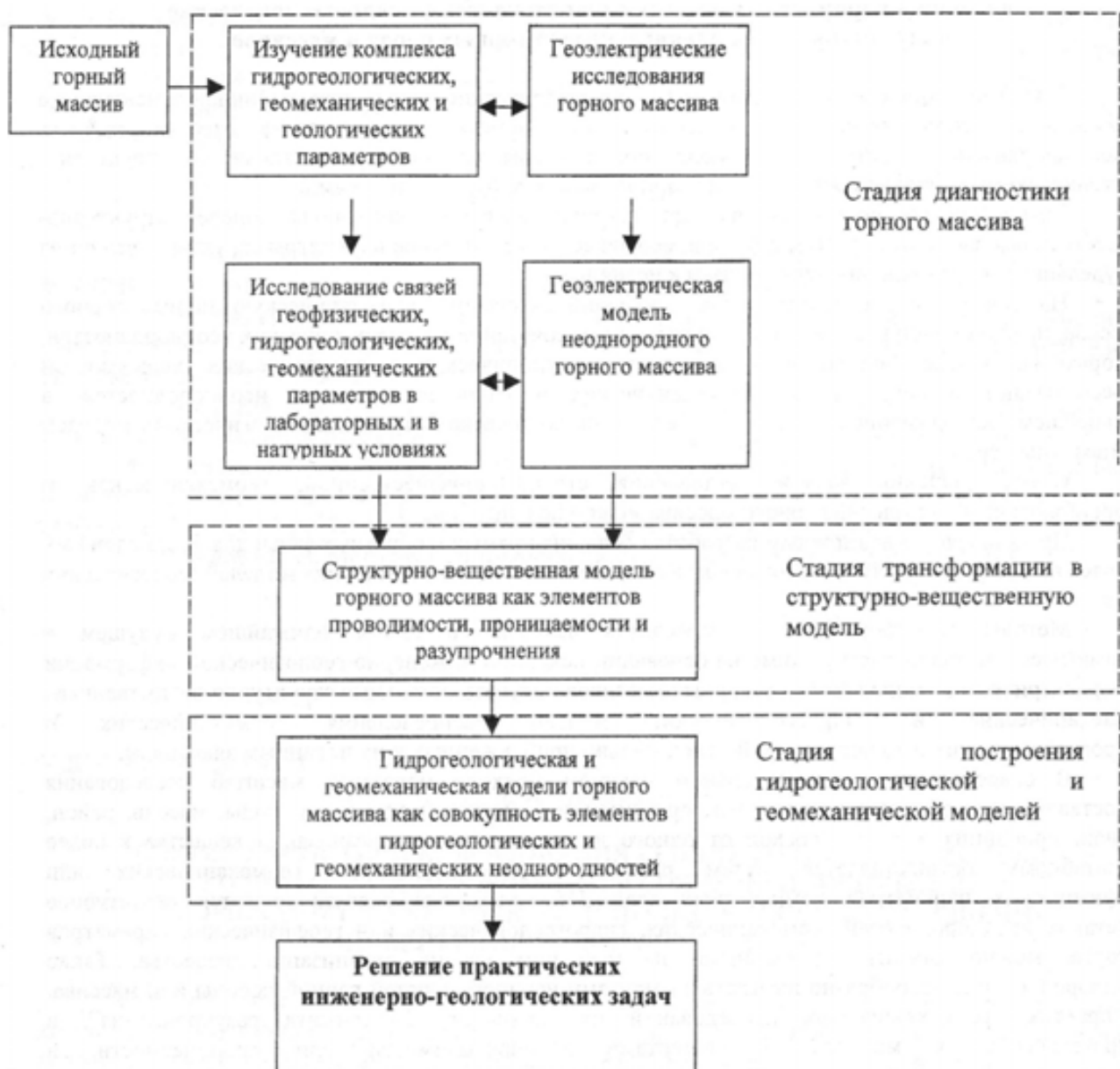


Рис. 1. Схема трансформации диагностических геозлектрических моделей в отчетные геомеханические и гидрогеологические модели горных пород и массивов

На третьем этапе выполняется необходимый и достаточный комплекс площадных и глубинных геозлектрических исследований, которые включают формирование геодезической сети и топоосновы для выполнения электроразведочных работ, выполнение комплекса площадных и глубинных электроразведочных работ методами ВЭЗ (вертикальное электрическое зондирование), МСГ (метод срединных градиентов), ЕП (метод естественного поля).

Полевые, лабораторные и скважинные геозлектрические методы при различной ориентировке возбуждаемых электрических полей относительно изучаемого горного массива позволяют выбрать такое направление электрического поля, при котором искажения, связанные со структурно-тектоническими особенностями строения горного массива, будут линейными.

Такие условия создаются при ориентировке электрического поля поперек структурно-вещественных элементов. В этом случае измеренные геометрические параметры структур и величина их удельного сопротивления будут близки к истинным.

Ориентировка электрического поля в процессе проведения опытных работ в окончательном виде выбирается путем подбора поперек естественных (природных) структурно-вещественных

неоднородностей, одновременно являющихся геоэлектрическими, гидрогеологическими и геомеханическими неоднородностями.

На четвертом этапе по результатам выполненных геоэлектрических исследований оконтуриваются на местности и на топооснове границы основных структурно-вещественных элементов (компонентов), условно однородных по величине удельного электрического сопротивления. Сочетание численных характеристик удельного электрического сопротивления, размеры, форма и ориентировка этих элементов относительно действующей системы координат собственно и являются геоэлектрической моделью изучаемого участка горного массива. На этом этапе составляется расчет удельного сопротивления изучаемого горного массива при различных ориентировках геоэлектрического поля относительно выявленных геоэлектрических структур. Этот метод в геофизике получил название "решение прямой задачи электроразведки". (Расчет параметров композитной среды по параметрам ее структурно-вещественных элементов – компонентов).

На пятом этапе производится отбор необходимого объема образцов из выявленных геоэлектрических структурно-вещественных элементов с целью выявления комплекса сопоставительных гидрогеологических, геомеханических и геоэлектрических лабораторных исследований и компьютерного моделирования. На этом же этапе выполняется комплекс сопоставительных исследований, производится их обработка и интерпретация. Конечным продуктом этих работ являются числовые статистические значения характеристики геоэлектрических, геомеханических, гидрогеологических и структурно-вещественных параметров выявленных компонентов изучаемого горного массива в границах геоэлектрических неоднородностей. Материалы могут быть представлены как в табличной форме, так и в виде разрезов, планов, карт и другого вида масштабных моделей горного массива. Основная задача этого этапа работ - получить контраст геоэлектрических, геомеханических, гидрогеологических параметров выявленных структурно-вещественных элементов горного массива.

На шестом этапе с использованием зависимостей, описанных в главах 1.4.-1.5, приводится расчет геомеханических (прочностных) и гидрогеологических (проницаемость) параметров горного массива в целом при различной ориентировке техногенного (вторичного) гидрогеологического и геомеханического полей относительно выявленной структуры неоднородностей – компонентов и составных частей геомеханической и гидрогеологической моделей горного массива.

На завершающем этапе выполняют сопоставления прочностных и фильтрационных параметров композитного горного массива, с выявленным положением его составных частей, контрастно отличающихся друг от друга по прочности и фильтрации.

По результатам этих сопоставлений намечаются наиболее опасные участки горного массива, сочетание прочностных и фильтрационных параметров которых обеспечивает потенциальную неустойчивость этих участков и склонность их к обрушению и оползанию. Намечаются мероприятия, способные привести участок неустойчивого горного массива в устойчивое состояние.

Проиллюстрируем структуру и этапы комплексного геоэлектрического, структурно-вещественного, геомеханического и гидрогеологического моделирования горных пород и массивов на примере выбора площадки хвостохранилища.

Этап 1.

Участок, на котором предполагалось проектирование и строительство хвостохранилища, расположен в Новоорском районе Оренбургской области.

В геоморфологическом отношении для исследования предложено три участка, геоморфология которых одинаково благоприятна для формирования чаши хвостохранилища (рис. 2).

Все участки предполагаемого строительства хвостохранилища расположены в пределах развития гранитоидов позднепалеозойского возраста. Граниты среднезернистые массивные, розовато-красного цвета со следующими показателями физических свойств: плотность – 2,55-2,61 г/см³; водопоглощение – 0,3-0,6 %; предел прочности на одноосное сжатие в сухом состоянии – 136-300 МПа, в водонасыщенном – 145-280 МПа.

В геотектоническом отношении участки относятся к окраинной части гранитного массива, претерпевшего в разные исторические периоды интенсивные дислокации, выразившиеся в виде дизъюнктивной тектоники, в пределах которых значительным развитием пользуются коры выветривания (линейные) и участки окварцевания.

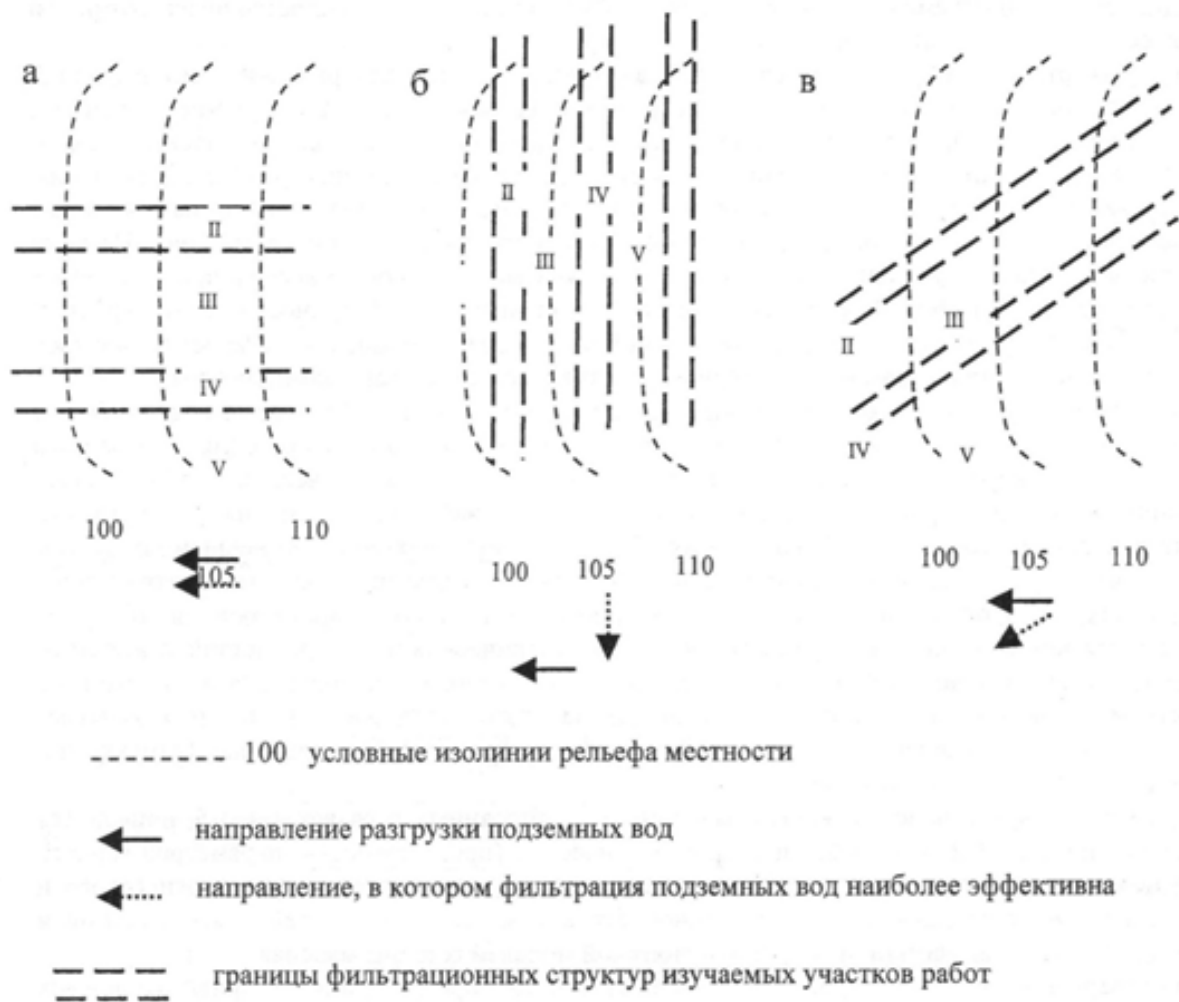


Рис. 2. Соотношение рельефа местности с ориентировкой фильтрационных структур на трех участках предполагаемого строительства хвостохранилища:

а - фильтрующие структуры совпадают с уклоном рельефа местности; б - фильтрующие структуры находятся под углом 90° к наклону рельефа местности; в - фильтрующие структуры находятся под углом 45° к наклону рельефа местности

Этап 2.

В результате рекогносцировочных исследований по маршрутным съемкам и описанию обнажений установлены следующие фактические данные, которые необходимо использовать при производстве геофизических работ:

1. В обнажениях отмечается преимущественное развитие слоистости, трещиноватости и линейных зон выветривания на участке а вдоль уклона местности, на участке б - поперек уклона местности, на участке в - в секущем направлении к уклону местности.

2. Размеры ожидаемых зон трещиноватости, окварцевания и линейных зон выветривания от 1-5 до 20-40 метров. Переходы к зоне дезинтеграции и химического выветривания от резких до постепенных.

3. Поверхностные воды на участке а, несмотря на благоприятную геоморфологическую обстановку, отсутствуют. Уровень подземных вод на участке а составляет 6-12 м. Не выявлены поверхностные воды в виде ручьев и рек и на участке в, уровень грунтовых вод 3-6 м. На участке б в пределах тальвега наблюдается поверхностная разгрузка в виде ручья с расходом 2,5 л/с. Уровень грунтовых вод от 0,0 до 2,5 м.

4. На участке б развиты местами солончаковые участки, местами со следами болотной растительности (осоки).

5. В обнажениях всех участков зафиксированы все виды перехода от массивных красноцветных гранитов к продуктам их физического и химического выветривания.

Этап 3.

Выполнен комплекс геоэлектрических исследований, включающий глубинные и площадные электроразведочные методы ВЭЗ, МСГ, ЕП. Ориентировка поля формировалась в основном поперек ожидаемых геоэлектрических неоднородностей. В процессе работ ориентировка поля корректировалась. В результате выполненных работ построена геомеханическая модель всех трех участков (см. рис. 2), геоэлектрические параметры выявленных условно однородных структурно-вещественных элементов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Геоэлектрические параметры выявленных структурно-вещественных элементов горных массивов

Участок работ	Номер выявленной структуры	Интервал глубины, м	Мощность зоны, м	Удельное сопротивление, Ом·м	Состав грунтов
а	I	0,0-3,0	60,0	250,0	Зона дезинтеграции гранитоидов, супесь, гранитный сапролит
а	I	3,0-40,0	60,0	1700,0	Массивный гранит, слабыветрелый, красного цвета
а	II	0,0-8,0	3,0	250,0	Зона дезинтеграции и окварцевания гранитоидов, гранитный сапролит, суглинок, супесь
а	II	8,0-40,0	3,0	700,0	Гранит сильнотрещиноватый, участками окварцованный, с глинисто-песчаным заполнителем по открытым трещинам
а	III	0,0-30,0	25,0	250,0	Зона выветривания и дезинтеграции, представленная продуктами химического и физического выветривания гранитоидов
а	IV	0,0-8,0	3,0	250,0	Зона дезинтеграции и окварцевания гранитоидов, гранитный сапролит, суглинок, супесь
а	IV	8,0-40,0	3,0	700,0	Гранит сильнотрещиноватый, местами окварцован
а	V	0,0-3,0	60,0	250,0	Зона дезинтеграции гранитоидов, супесь, гранитный сапролит
а	V	3,0-40,0	60,0	1700,0	Гранит массивный слаботрещиноватый
б	I	0,0-4,0	70,0	300,0	Зона дезинтеграции гранитоидов
б	I	4,0-40,0	70,0	1900,0	Гранит массивный слаботрещиноватый
б	II	0,0-12,0	2,0	200,0	Кора выветривания гранитоидов
б	II	12,0-40,0	2,0	900,0	Гранит сильнотрещиноватый, местами окварцован
б	III	0,0-35,0	20,0	350,0	Кора выветривания гранитоидов, суглинки, супесь, сапролиты
б	IV	0,0-10,0	2,5	280,0	Гранит сильнотрещиноватый
б	IV	10,0-40,0	2,5	850,0	Гранит слаботрещиноватый
б	V	0,0-4,0	80,0	400,0	Кора выветривания гранитоидов
б	V	4,0-40,0	80,0	2100,0	Гранит слаботрещиноватый
в	I	0,0-2,0	55,0	400,0	Кора выветривания гранитоидов
в	I	2,0-40,0	55,0	1600,0	Гранит слаботрещиноватый
в	II	0,0-9,0	2,0	300,0	Кора выветривания гранитоидов
в	II	9,0-40,0	2,0	850,0	Граниты трещиноватые
в	III	0,0-33,0	22,0	400,0	Кора выветривания гранитоидов
в	IV	0,0-12,0	2,5	300,0	Кора выветривания гранитоидов
в	IV	12,0-40,0	2,5	900,0	Граниты трещиноватые
в	V	0,0-2,5	75,0	400,0	Кора выветривания гранитоидов
в	V	2,5-40,0	75,0	2500,0	Граниты неизменные слаботрещиноватые

Этап 4.

Этот этап был выполнен параллельно с этапом № 3, геоэлектрические неоднородности околонуры в плане и на местности.

Этап 5.

Отбор монолитов на лабораторные испытания фильтрационных и прочностных параметров из выявленных зон I, II, III, IV, V в сопоставлении с лабораторными испытаниями геоэлектрических

параметров. Исследования дополнены необходимым объемом натуральных испытаний фильтрационных параметров путем наливов в шурфы и скважины.

В табл. 2 приведены результаты лабораторных и натуральных испытаний отобранных образцов.

Таблица 2

Результаты комплексных лабораторных и натуральных исследований фильтрационных, электрических и геомеханических параметров образцов, отобранных из выявленных зон I-V участков а, б и в

Участок работ	Номер структуры	Удельное электро-сопротивление, Ом·м	Проницаемость, м/сут	Предел прочности на сжатие, МПа	Объем выбора	Характеристика образцов	
а, б, в	I	2400	0,1	300,0	20	Массивный слаботрещиноватый гранит	
а, б, в	II	840	12,0	100,0	10	Сильнотрещиноватый, местами окварцованный гранит со следами лимонитизации	
а, б, в	III	Монолит рассыпается в песок					Кора выветривания гранитов
а, б, в	IV	940	10,0	120,0	10	Сильнотрещиноватый гранит, окварцованный, местами лимонитизирован	
а, б, в	V	2200	0,1	300,0	10	Массивный слаботрещиноватый гранит	

Этап 6.

Комплексируя геоэлектрическую модель с результатами определения комплекса геоэлектрических, геомеханических и фильтрационных параметров (см. табл. 1, 2, рис. 2), произведем расчет гидрогеологических (фильтрационных), геомеханических и геоэлектрических параметров композитной среды при различной ориентировке структур относительно соответствующих полей (геомеханических, гидрогеологических, геоэлектрических). Результаты расчетов сведены в табл. 3.

Таблица 3

Геомеханические, фильтрационные и геоэлектрические параметры площади предполагаемого строительства хвостохранилища

Участок работ	Ориентировка поля относительно выявленных структур I-V	Расчетное удельное электрическое сопротивление участка по склону, Ом·м	Расчетное значение предела прочности на сжатие участка по склону рельефа, МПа	Расчетное значение проницаемости участка по склону рельефа местности, м/сут	Степень благоприятности для проектирования хвостохранилища
а	Вдоль структур	1000,0	160,0	1,01	Неблагоприятное
б	Поперек структур	2500,0	270,0	0,11	Благоприятное
в	Под углом к структурам	1200,0	190,0	0,8	В целом неблагоприятное

В нашу задачу входил поиск наименее водопроницаемых участков. Такие естественные условия сложились на участке б, где фильтрующие структуры направлены поперек стока грунтовых вод, в связи с чем общая проницаемость чаши хвостохранилища уменьшилась по сравнению с участком а в 10 раз, хотя оба этих участка сложены одинаковым объемным сочетанием фильтрующих и водоупорных слоев. Уменьшение проницаемости чаши в 10 раз связано только с особым сочетанием напряженности гидрогеологического поля, направленной поперек фильтрующих структур. Определяющим является структурный фактор.

Если отсутствуют лабораторные данные о фильтрационных и прочностных свойствах элементов структур, то ориентировочные расчеты можно сделать исходя из контраста сред по удельному электрическому сопротивлению.

В данном случае отчетными параметрами явились гидрогеологические поля и параметры. В других примерах отчетными могут быть прочностные или совокупность прочностных и гидрогеологических полей, явлений и параметров горных массивов.