

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

На правах рукописи

Разумов Евгений Анатольевич

**Разработка атласа вариативности сценариев формирования
напряжённо-деформированного состояния массива
в окрестности подземных горных выработок**

Специальность 2.8.6 – Геомеханика, разрушение горных пород,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
д. т. н., профессор РАН
Еременко В. А.

Москва
2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ТРАДИЦИОННЫХ И ИННОВАЦИОННЫХ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ	13
1.1 Анализ производственного опыта обеспечения устойчивости подготовительных выработок угольных шахт.....	13
1.2 Анализ направлений исследований для геомеханического обоснования инновационных способов и средств обеспечения устойчивости подземных выработок.....	20
1.3 Актуальность разработки атласа вариативности сценариев формирования НДС массива в окрестности подготовительных выработок	22
ГЛАВА 2 КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД В ОКРЕСТНОСТИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК	25
2.1 Методика количественного прогнозирования напряжённо-деформированного состояния массива горных пород в окрестности подготовительных выработок	25
2.2 Программа вычислительного эксперимента по определению напряжённо-деформированного состояния массива горных пород в окрестности подготовительных выработок	31
2.3 Примеры калибровки моделей по результатам шахтного эксперимента	36
2.4 Выводы.....	37

ГЛАВА 3 ШАХТНЫЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД В ОКРЕСТНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК 39

3.1 Методика натурных исследований устойчивости подготовительных выработок при интенсивной подземной разработке угольных пластов.... 39

3.2 Натурные исследования структуры массива горных пород в окрестности подземных горных выработок угольных шахт умеренного климата..... 42

3.3 Натурные и лабораторные исследования структуры массива горных пород в окрестности подземных горных выработок угольных шахт криолитозоны 52

3.4 Выводы..... 56

ГЛАВА 4 АТЛАС ВАРИАТИВНОСТИ СЦЕНАРИЕВ ФОРМИРОВАНИЯ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА В ОКРЕСТНОСТИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОСВОЕНИЯ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ..... 59

4.1 Атлас вариативности НДС массива горных пород в окрестности одиночной выработки в условиях шахт умеренного климата..... 60

4.2 Атлас вариативности НДС массива горных пород в окрестности подготовительной выработки под влиянием веса зависающих пород кровли ранее отработанного выемочного столба в условиях шахт умеренного климата..... 65

4.3 Атлас вариативности НДС массива горных пород в окрестности подготовительной выработки в условиях шахт криолитозоны..... 78

4.4 Рекомендации по использованию атласа вариативности НДС массива горных пород 95

	4
4.5 Выводы.....	96
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	99
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	105
Приложение 1 Атлас вариативности сценариев формирования напряжённо-деформированного состояния массива в окрестности подземных горных выработок.....	121
П1.1 Одиночная подготовительная выработка в шахте умеренного климата	123
П1.2 Подготовительная выработка под влиянием веса зависающих пород кровли ранее отработанного выемочного столба в шахте умеренного климата.....	136
П1.3 Одиночная подготовительная выработка в шахте криолитозоны...	152
П1.4 Подготовительная выработка под влиянием веса зависающих пород кровли ранее отработанного выемочного столба в шахте криолитозоны	167
Приложение 2 Справки о внедрении результатов исследований.....	182

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы.

Интенсификация технологических процессов в подготовительных забоях современных угольных шахт привела к несоответствию критериев сложности горно-геологических и горнотехнических условий отработки угольных пластов, идентифицированных в действующих нормативных и методических документах. В этой связи необходимо разработать новую методику натурных исследований и количественного прогнозирования напряжённо-деформированного состояния неоднородного массива горных пород в окрестности подготовительных выработок и угольных целиков.

Основным недостатком традиционных направлений исследований в части создания новых способов и средств обеспечения устойчивости подземных выработок при разработке угольных пластов в сложных условиях является узкий диапазон применения полученных локальных результатов по сравнению с широким диапазоном изменения физико-механических свойств и структурных особенностей массива горных пород и угольных целиков в окрестности подготовительных выработок. В этой связи необходимо проведение исследований для выявления закономерности распределения физико-механических свойств и структурных особенностей массива горных пород и угольных целиков в окрестности подготовительных выработок.

Устойчивость подготовительных выработок в зоне совместного влияния очистных и подготовительных выработок зависит от напряжённо-деформированного состояния массива горных пород и угольных целиков, которое формируется при влиянии комплекса природных и техногенных факторов.

Отсутствует общая база данных предиктивной оценки напряженно-деформированного состояния в окрестности подготовительных выработок для выбора способов и средств поддержания подземных выработок при разработке

угольных месторождений в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях, которая обеспечит решение локальных задач горного производства.

Установлено, что проведение исследований для создания общей базы предиктивной оценки напряженно-деформированного состояния в окрестности подготовительных выработок, вероятно встречающих на своём протяжении осложняющие факторы, является актуальной научно-практической задачей.

Связь темы диссертации с научно-техническими программами. Работа выполнена в соответствии с планами научных исследований Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва» и Сибирского филиала ВНИМИ по проектам «Определение состояния горных выработок, закрепленных анкерной крепью с использованием методов георадиолокации с исследованием и обоснованием рекомендаций по сохранению в эксплуатационном состоянии участков дренажного штрека и конвейерного штрека 5210, охраняемых целиками от влияния очистных работ лав 52-12, 52-3, 5209 для ПЕ «Шахта имени В. Д. Ялевского»; «Рекомендации по определению параметров усиления анкерной крепи сопряжения вентиляционного штрека 66-09 с лавой 66-09 в условиях шахты «Талдинская-Западная-1», Документация на «Техническое перевооружение опасного производственного объекта АО «Ургалуголь» в части выработок с учетом напряженно- деформированного состояния углепородного массива в условиях пласта В-26», проект ОАО ХК «Якутуголь» Шахта «Джебарики-Хая».

Целью работы является разработка атласа вариативности сценариев формирования напряжённо-деформированного состояния массива в окрестности подготовительных выработок для различных вариантов горно-геологических и горнотехнических условий освоения угольных месторождений подземным способом.

Идея работы заключается в том, что на основе атласа при использовании выявленных по результатам численного моделирования и шахтных экспериментов закономерностей формирования напряжённо-деформированного состояния массива (НДС) в окрестности подготовительных выработок определяются возможные сценарии его состояния при подземной разработке угольных месторождений, которые систематизируются для различных вариантов горно-геологических и горнотехнических условий.

Задачи исследования:

1) Провести анализ горно-геологических и горнотехнических условий проведения и поддержания подготовительных выработок, положительных ($t+$) и отрицательных ($t-$) температур горного массива при разработке угольных месторождений подземным способом.

2) Определить закономерности формирования НДС массива на основе численного моделирования и количественные критерии оценки вариантов возможных сценариев формирования его состояния.

3) Разработать методику и провести натурные исследования НДС массива горных пород в окрестности подготовительных выработок и угольных целиков для определения критериев и параметров устойчивости массива, закономерностей формирования зон распределения коэффициента остаточной прочности вмещающих пород и калибровки численных моделей.

4) Систематизировать различные варианты горно-геологических и горнотехнических условий проведения и поддержания подготовительных выработок для условий разработки угольных месторождений подземным способом.

5) Разработать атлас вариативности сценариев формирования НДС массива в окрестности подготовительных выработок для различных вариантов горно-геологических и горнотехнических условий освоения угольных месторождений подземным способом.

Методы исследований включают определение прочности горных пород в шахтных и лабораторных условиях, эндоскопические и геофизические шахтные исследования строения и напряжённого состояния углепородной толщи, измерения деформаций пород и элементов крепи в окрестности выработок на подземных наблюдательных станциях, математическое моделирование численным методом конечных элементов напряжённо-деформированного состояния углепородного массива в окрестности горных выработок.

Научные положения, выносимые на защиту:

1) Параметры крепи подготовительных выработок в различных условиях подземной разработки угольных месторождений выбираются с учётом определения НДС массива из атласа вариативности возможных сценариев состояния на основе численного расчёта коэффициента остаточной прочности вмещающих пород и натурных исследований местоположения зон его критических значений.

2) На основе численного моделирования и калибровки моделей рассчитывается коэффициент остаточной прочности вмещающих пород, который определяет их устойчивость. При $K_{оп} \leq 0,5$ происходит разрушение пород, при $0,5 < K_{оп} \leq 0,7$ формируется зона предразрушения (трещины, блоки с вывалами), при $0,7 < K_{оп} \leq 1$ уголь или порода находятся в упругом состоянии без нарушения сплошности.

3) В окрестности подготовительной выработки при её охране угольным целиком в условиях положительных (t^+) и отрицательных (t^-) температур высота зоны разгрузки в кровле выработки при t^+ и t^- увеличивается прямо пропорционально глубине разработки и обратно пропорционально увеличению мощности угольного пласта в пределах 1,2-3,5 м, а коэффициент концентрации вертикальных напряжений при t^+ в 1,2-1,4 раза больше по сравнению с аналогичными участками вблизи выработки при t^- .

Научная новизна заключается:

- в методике количественного прогнозирования напряжённо-деформированного состояния неоднородного массива горных пород, отличающейся алгоритмами настройки входных параметров численной модели по результатам натурных измерений смещений контура выработки и автоматической корректировкой смещений всех вершин конечных элементов;

- в синтезе методов эндоскопической съёмки породных слоёв, георадиолокационных измерений временных интервалов между импульсами, отражёнными от границ раздела сред с разными электрофизическими характеристиками, оценки показателя напряжённости массива горных пород, определении прочностных свойства горных пород, мониторинге смещений пород с помощью реперных станций для формирования информационной базы данных, обеспечивающей настройку входных параметров математической модели геомеханических процессов и выбор крепи выработок;

- в разработке атласа вариативности сценариев формирования НДС массива в окрестности подготовительных выработок для различных вариантов горно-геологических и горнотехнических условий освоения угольных месторождений подземным способом.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается:

- корректным применением комплекса методов научных исследований, включающих численные, лабораторные и шахтные эксперименты;

- представительным объёмом лабораторных, аналитических и шахтных исследований в широком диапазоне горно-геологических условий шахт умеренного климата и в криолитозоне;

- удовлетворительной сходимостью расчётных и измеренных напряжений и деформаций в окрестности подготовительных выработок вне и в зоне влияния

зависающих пород кровли подготовительной выработки от очистного выработанного пространства;

- результатами практического применения атласа вариативности при проведении и поддержании подземных выработок в сложных условиях шахт умеренного климата и в криолитозоне.

Научное значение работы состоит в теоретическом обосновании и внедрении в производство атласа вариативности при разработке угольных пластов в сложных условиях, в том числе в зоне вечной мерзлоты.

Практическая значимость результатов исследований состоит в разработке и реализации атласа вариативности сценариев формирования НДС массива в окрестности подготовительных выработок для различных вариантов горно-геологических и горнотехнических условий освоения угольных месторождений подземным способом при совокупном влиянии природных и техногенных факторов в условиях шахт умеренного климата и криолитозоне.

Отличие от ранее выполненных работ заключается в разработке атласа вариативности, расширении диапазона применения разработанных универсальных способов и средств обеспечения устойчивости подземных выработок в сложных природных и техногенных условиях умеренного климата и криолитозоны.

Реализация работы. Разработка атласа вариативности проводилась на базах 12 предприятий Кузбасса, АО «Ургалуголь», ОАО ХК «Якутуголь» Шахта «Джебарики-Хая», актуальность и достоверность атласа подтверждается геотехническими службами предприятий.

Личный вклад автора заключается в:

- обобщении и анализе отечественного и зарубежного опыта современных способов и средств обеспечения устойчивости подземных выработок в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях умеренного климата и криолитозоны;

- создании базы данных о количественных и качественных параметрах и характеристиках массива горных пород, достаточной для настройки входных параметров математической модели геомеханических процессов и выбора крепи выработок;

- адаптации методики количественного прогнозирования напряжённо-деформированного состояния неоднородного массива горных пород к сложным природным и техногенным условиям;

- организации и проведении шахтных и лабораторных экспериментов прочностных и деформационных характеристик массива горных пород в зонах умеренного климата и криолитозоне;

- калибровке каждого из вариантов атласа по шахтным и лабораторным экспериментам;

- разработке и реализации атласа вариативности, способов, средств и рекомендаций по обеспечению устойчивости подготовительных выработок в зонах умеренного климата и криолитозоне.

Апробация результатов. Основные научные и практические результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: I, X, XII Международных научно-практических конференциях «Научоёмкое технологии разработки и использования минеральных ресурсов», проводимых в рамках специализированных выставок технологий горных разработок «Уголь России и майнинг» (г. Новокузнецк, СибГИУ, 2010, 2018 и 2021 гг.); VI Международной научно-практической конференции «Перспективы инновационного развития угольных регионов России» (г. Кемерово, КузГТУ, 2018 г.); VI всероссийской, 59-й научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая» (г. Кемерово, КузГТУ, 2014 г.); IX и X Международной научно-практической школы молодых учёных и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (г. Москва, ИПКОН РАН, 2012 и 2013 г.).

Публикации. Результаты научных исследований по теме диссертации опубликованы в 12 работах, из них 8 в изданиях, рекомендуемых ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, списка литературы из 124 наименований, изложена на 119 страницах машинописного текста, содержит 35 рисунков, 8 таблиц, 2 приложения.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю д. т. н. В. А. Ерёменко, развитие идей которого, постоянное внимание и помощь способствовали успешному выполнению работы; сотрудникам Сибирского филиала ВНИМИ за помощь при проведении исследований.

Примечания:

- зона умеренного климата – это районы с умеренным многолетним режимом погоды, изменяющейся по периодам года;

- криолитозона – это часть верхнего слоя земной коры, характеризующаяся наличием отрицательных температур и возможностью существования подземных льдов.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ТРАДИЦИОННЫХ И ИННОВАЦИОННЫХ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ

1.1 Анализ производственного опыта обеспечения устойчивости подготовительных выработок угольных шахт

По результатам анализа за последние 10 лет производственного опыта проведения и поддержания подземных выработок установлено, что в подготовительных выработках по разным шахтам коэффициент использования современного дорогостоящего оборудования составляет 0,2-0,6. Причинами внеплановых простоев подготовительных забоев являются отдельные природные и техногенные факторы или их сочетание. Интенсивность и последствия проявления этих факторов принято оценивать критерием сложности природных и техногенных условий проведения выработок [5, 6, 13, 41, 45, 56, 86, 103]. Понятие сложности горно-геологических и горнотехнических условий изменяется в соответствии с развитием подземной геотехнологии, способов и технических средств проведения и крепления очистных и подготовительных выработок, совершенствования систем управления горным производством, в том числе согласно требованиям основных положений информационных и промышленных платформ [25, 43]. Сложность на современных высокопроизводительных шахтах рассматривается как мера несоответствия горно-геологических характеристик массива горных пород и реальной техногенной ситуации, возникающей в процессе ведения горных работ. Сложные горно-геологические условия являются объективными факторами, так как проявляются при сочетании условий залегания угольных пластов, прочностных и деформационных параметров угольных пластов и вмещающих их пород и др.

Сложные техногенные условия возникают при выполнении процессов и операций персоналом.

Возможность возникновения негативных техногенных ситуаций тесно связана с влиянием природных факторов.

Другим примером негативного влияния сложности горно-геологических условий на эффективность и безопасность горного производства являются сезонные изменения физико-механических свойств пород в криолитозоне [8, 9, 48]. В монографии [48] приведены сведения о том, что при снижении температуры пород от нуля до минус 10 градусов Цельсия прочность грунтов увеличивается в 4 раза. Для поддержания выработок в зоне вечной мерзлоты и обеспечения несущей способности пород на контуре выработок в криолитозоне возникает необходимость использования тепловой защиты и теплоизоляции пород на контуре выработок синтетическими материалами.

Как следует из рис. 1.1, показатели очистных и подготовительных забоев характеризуются неравномерностью, связанной с влиянием осложняющих факторов. О негативном влиянии изменчивости горно-геологических условий в пределах шахтных полей отмечается также в работах [6, 40, 41].

На рис. 1.1 представлена диаграмма темпов подвигания подготовительного забоя вентиляционного штрека 16-15 пласта 16 шахты «Юбилейная», подготовительного забоя вентиляционного штрека 4-6-33 пласта 6 шахты «Распадская», подготовительного забоя конвейерного штрека 449 пласта 4 шахты «Чертинская-Коксовая».

Согласно полученным графикам на рис. 1.2 максимальное влияние на темпы подвигания подготовительных забоев в большей степени оказывают негативное влияние зона куполения и геологическое нарушение.

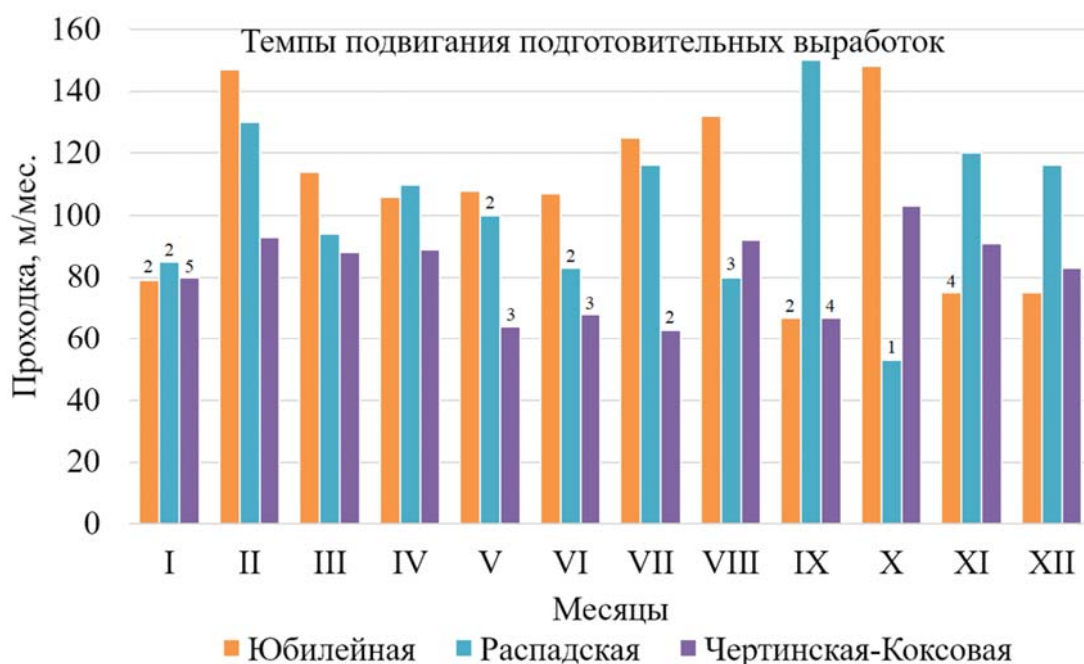
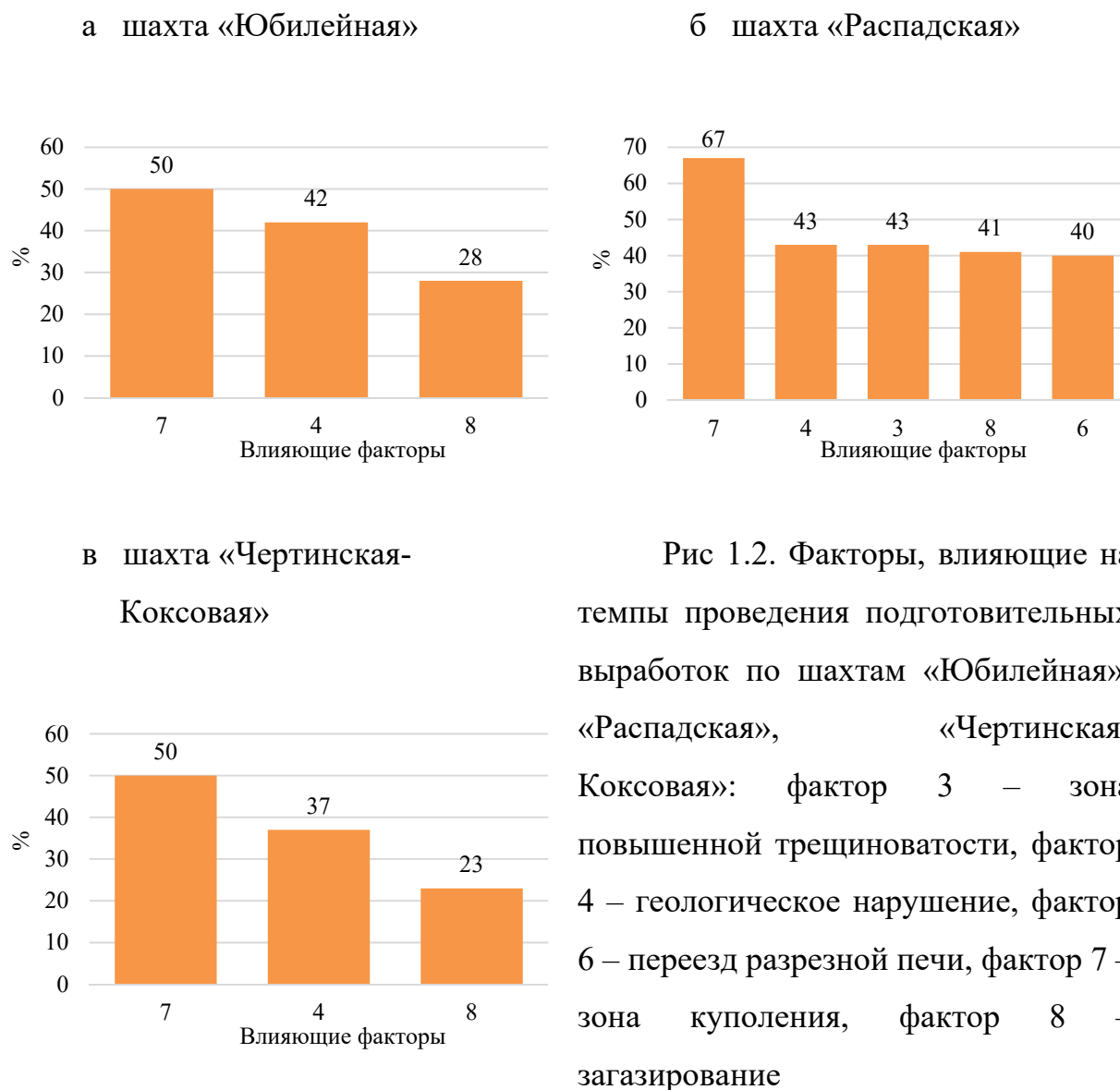


Рис. 1.1. Причины отклонения темпов продвижения подготовительного забоя: 1 – геологическое нарушение, 2 – переезд сбойки; 3 – повышенное газовыделение, 4 – зона повышенной трещиноватости, 5 – зона куполения пород

По шахте «Юбилейная» влияние негативных факторов на темпы продвижения подготовительных забоев в зоне образования куполов составило 50 %, в зоне геологического нарушения – 42 %, в зоне повышенного газовыделения – 28 %.

На шахте «Распадская» влияние негативных факторов на темпы продвижения подготовительных забоев в зоне куполения достигло 67 %, в зоне геологического нарушения и повышенной трещиноватости составило 43 %, в зоне повышенного газовыделения – 41 %, в зоне переезда сопряжения – 40 %.

По шахте «Чертинская-Коксовая» влияние негативных факторов на темпы продвижения подготовительных забоев в виде куполения составило 50 %, зоны геологического нарушения – 37 %, в зоне переезда сопряжения – 40 %, в зоне повышенного газовыделения – 23 %.



Степень негативного влияния d факторов определялась по формуле

$$d = 100 \frac{d_{max} - d_i}{d_{max}}, \quad (1.1)$$

где d_{max} – максимальное значение показателя в выборке;

d_i – i -тое значение показателя в выборке.

Анализ проведённых исследований показывает следующее:

- устойчивость горных выработок определяется влиянием комплекса горно-геологических и техногенных факторов;

- по результатам выполненных исследований произведено ранжирование горно-геологических и техногенных факторов по степени их влияния на подготовительные работы;

- на темпы проведения подготовительных выработок оказывают влияние: снижение устойчивости кровли (образование вывалов, куполов, повышенная трещиноватость), переход геологических нарушений, зоны повышенного горного давления, зоны газовыделения.

В криолитозонах существенным влияющим фактором является температурный режим в выработках.

Таким образом, на основе результатов анализа количественного влияния сложных горно-геологических и горнотехнических условий на проведение, крепление и поддержание подготовительных забоев установлено, что проведение исследований для создания общей базы предиктивной оценки напряженно-деформированного состояния в окрестности подготовительных выработок, вероятно встречающих на своём протяжении указанные осложняющие факторы, является актуальной научно-практической задачей.

В развитие технологии проведения, крепления подготовительных горных выработок, в разработку методов и способов повышения устойчивости горных выработок вложен труд многих учёных.

Следует отметить работы Борисова А. А. по вопросам геомеханики пород и геомеханических процессов при отработке угольных пластов, по технологии подготовки и отработки пластовых месторождений, по созданию методов прогноза геомеханических процессов в отрабатываемых угольных пластах.

Значительный вклад в развитие методов и задач решения вопросов горной геомеханики внесли учёные ВНИМИ Иофис М. А., Турчанинов И. А., Кузнецов Г. Н., Фисенко Г. Л.

Большой вклад в развитие теоретических основ оценки напряжённо-деформированного состояния массивов в окрестности подземных выработок внесли Баклашов И. В., Ржевский В. В., Картозия Б. А., Руппенейт К. В., Докукин А. В., Шемякин Е. И.

Заслуга указанных учёных состоит в создании основ прогнозирования проявления геомеханических процессов в подготовительных и очистных выработках, методов расчёта средств крепления горных выработок и управления горным давлением. Благодаря исследованиям геомеханических процессов в отрабатываемых углепородных массивах созданы различные методы исследования геомеханических процессов при отработке угольных пластов.

Негативное влияние сложности горно-геологических и горнотехнических условий изучено при отработке угольных месторождений в криолитозоне. Установлено, что физико-механические свойства пород в зоне вечной мерзлоты существенно отличаются от соответствующих свойств и параметров пород в умеренном климате. Согласно [8] в условиях криолитозоны происходит существенное изменение прочностных свойств массива горных пород под влиянием тепловых режимов машин и механизмов. Это обусловлено возникновением в породах мёрзлых пород переходных процессов, связанных с многофазным состоянием воды: твёрдым, жидким и парообразным. Основными компонентами многолетнемёрзлых пород, определяющими их физико-механические свойства в окрестности горных выработок, являются лёд, вода, твёрдые минеральные частицы, пары воды и газа. На деформации вмещающих выработку пород существенно влияет изменяющийся температурный режим, при котором происходят теплообменные процессы между мёрзлыми породами и шахтной атмосферой.

По результатам аналитических исследований в статье [48] доказано, что при изменении температуры теплового потока в зимний и летний периоды в породах на боках выработки соответственно возникают растягивающие и

сжимающие напряжения ± 2 МПа, вследствие чего происходит растрескивание и ослабление пород.

Следует отметить огромную работу, проведённую Институтом мерзлотоведения Сибирского Отделения Академии наук СССР, которым руководил академик, доктор геолого-минералогических наук, профессор Мельников П. И. Институтом выполнены важнейшие исследования по инженерной и региональной геокриологии, по тепло- и массообмену в минеральных таящих толщах земной коры, по изучению природы прочности и геологических свойств мерзлых горных пород, по разработке геофизических и геохимических методов исследования мёрзлых горных толщ.

Большой вклад в развитие способов проведения, крепления горных выработок и отработки угольных пластов в зонах вечной мерзлоты внесли учёные: Войтковский К. Ф., Дядькин Ю. Д., Изаксон В. Ю., Скуба В. Н., Ельчанинов Е. А., Сенук Д. П., Розенбаум М. А., Громов Ю. В., Курилко А. С.

Основные исследования были направлены на изучение свойств пород в зоне вечной мерзлоты и их поведения при влиянии различных факторов: неоднородных температурных и силовых полей, влияние циклов знакопеременных температур, влажности, механических воздействий, горно-геологических условий (мощности пласта, глубины горных работ, прочностных свойств пород). Определялись закономерности разрушения мёрзлых и оттаявших пород. На основе исследований разработаны способ регулирования теплового режима глубоких шахт, способы перехода геологических нарушений, способ открыто-подземной разработки пластов, а также технические и технологические решения по проведению и креплению подготовительных выработок, возможность применения для крепления выработок анкерной крепи.

Оценка выполненных исследований показывает, что устойчивость подготовительных выработок определяется влиянием многих факторов, в условиях зон вечной мерзлоты в число основных влияющих факторов

добавляются дополнительные факторы, зависящие от температуры пород. Однако исследований по оценке влияния комплекса факторов на устойчивость подготовительных выработок не проводилось, хотя для условий шахт, расположенных в зонах вечной мерзлоты, это является одной из важнейших задач.

1.2 Анализ направлений исследований для геомеханического обоснования инновационных способов и средств обеспечения устойчивости подземных выработок

По результатам анализа современных достижений горной науки в части создания способов и средств обеспечения устойчивости подземных выработок при разработке угольных пластов в сложных условиях [4, 6, 8, 9, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 33, 39, 44, 45, 56, 57] установлено, что перспективными являются следующие направления исследований:

- стандартизация и расширение области применения типов и конструкций крепи в подготовительных забоях для исключения аварийных ситуаций при изменчивости горно-геологических условий в пределах выемочного столба;
- разработка методики расчёта параметров крепи с учётом влияния геотектонического поля напряжений;
- разработка рекомендаций при ведении горных работ в зонах влияния геологических нарушений;
- разработка рекомендаций по повышению безопасности горных работ при проведении и поддержании подготовительных выработок;
- адаптация традиционных способов и средств крепления горных выработок к условиям растепления пород при буровзрывных работах.

Основным недостатком указанных направлений исследований, в части создания новых способов и средств обеспечения устойчивости подземных выработок при интенсивной разработке угольных пластов в сложных условиях, является узкий диапазон применения полученных локальных результатов. Для каждого выемочного столба, панели, блока требуется определённый набор технологических и геомеханических решений, адаптированных к конкретному структурному элементу шахтного поля.

Одним из направлений снижения негативного влияния на устойчивость подготовительных выработок горного давления, возникающего вследствие зависания над очистным выработанным пространством пород кровли, принято искусственное сокращение длины консоли породной плиты основной кровли. Для этого применяются специальные способы передового торпедирования, гидромикроторпедирования, направленного гидроразрыва [20, 57]. Однако эти способы не всегда приводят к положительным результатам, так как не обеспечивают равномерное изменение механических свойств пород по длине всей выработки. Наличие неразрушенных участков пород, как правило, приводит к формированию концентраторов напряжений в окрестности подготовительных выработок и снижению их устойчивости. Одной из причин неравномерного разрушения пород является отсутствие системы управления процессами искусственного снижения горного давления.

К новым для российских шахт за последние 10-15 следует отнести способы и средства крепления выработок анкерами разной конструкции, которые включены в действующие методики и инструкции [19, 21, 22]. Отсутствуют надёжные методики расчёта параметров анкерной крепи и положительный опыт применения анкерной крепи в условиях вечной мерзлоты.

Таким образом, перспективным направлением исследований является создание общей базы предиктивной оценки напряжённо-деформированного состояния в окрестности подготовительных выработок для выбора способов и

средств поддержания подземных выработок при разработке угольных месторождений в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях, которая обеспечит решение локальных задач горного производства.

1.3 Актуальность разработки атласа вариативности сценариев формирования НДС массива в окрестности подготовительных выработок

По результатам проведённого анализа традиционных способов и средств обеспечения устойчивости подземных выработок при интенсивной разработке угольных пластов в сложных условиях обоснованы следующие выводы:

1. Интенсификация технологических процессов в подготовительных забоях современных угольных шахт привела к несоответствию критериев сложности горно-геологических и горнотехнических условий отработки угольных пластов, идентифицированных в действующих нормативных и методических документах. В этой связи необходимо разработать новую методику натурных исследований и количественного прогнозирования напряжённо-деформированного состояния неоднородного массива горных пород в окрестности подготовительных выработок и угольных целиков.

2. Основным недостатком традиционных направлений исследований в части создания новых способов и средств обеспечения устойчивости подземных выработок при разработке угольных пластов в сложных условиях является узкий диапазон применения полученных локальных результатов по сравнению с широким диапазоном изменения физико-механических свойств и структурных особенностей массива горных пород и угольных целиков в окрестности подготовительных выработок. В этой связи необходимо проведение исследований для выявления закономерности распределения физико-

механических свойств и структурных особенностей массива горных пород и угольных целиков в окрестности подготовительных выработок.

3. Устойчивость подготовительных выработок в зоне совместного влияния очистных и подготовительных выработок зависит от напряжённо-деформированного состояния массива горных пород и угольных целиков, которое формируется при влиянии комплекса природных и техногенных факторов.

4. Отсутствует общая база данных предиктивной оценки напряженно-деформированного состояния в окрестности подготовительных выработок для выбора способов и средств поддержания подземных выработок при разработке угольных месторождений в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях, которая обеспечит решение локальных задач горного производства.

Согласно обоснованной актуальности **целью работы** является разработка атласа вариативности сценариев формирования напряжённо-деформированного состояния массива в окрестности подготовительных выработок для различных вариантов горно-геологических и горнотехнических условий освоения угольных месторождений подземным способом.

В соответствии с актуальностью, результатами анализа и целью работы обоснованы **следующие задачи исследования**:

1. Провести анализ горно-геологических и горнотехнических условий проведения и поддержания подготовительных выработок, положительных (t^+) и отрицательных (t^-) температур горного массива при разработке угольных месторождений подземным способом.

2. Определить закономерности формирования НДС массива на основе численного моделирования и количественные критерии оценки вариантов возможных сценариев формирования его состояния.

3. Разработать методику и провести натурные исследования НДС массива горных пород в окрестности подготовительных выработок и угольных целиков для определения критериев и параметров устойчивости массива,

закономерностей формирования зон распределения коэффициента остаточной прочности вмещающих пород и калибровки численных моделей.

4. Систематизировать различные варианты горно-геологический и горнотехнических условий проведения и поддержания подготовительных выработок для условий разработки угольных месторождений подземным способом.

5. Разработать атлас вариативности сценариев формирования НДС массива в окрестности подготовительных выработок для различных вариантов горно-геологических и горнотехнических условий освоения угольных месторождений подземным способом.

ГЛАВА 2 КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД В ОКРЕСТНОСТИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

В настоящей главе изложены методика количественного прогнозирования напряжённо-деформированного состояния массива и натурных исследований процессов деформирования горных пород в окрестности подземных выработок и угольных целиков, программа вычислительного эксперимента, показан пример калибровки модели в соответствии и полученными результатами шахтных экспериментов.

2.1 Методика количественного прогнозирования напряжённо- деформированного состояния массива горных пород в окрестности подготовительных выработок

Количественное прогнозирование геомеханических параметров в неоднородном массиве горных пород при изменчивости их свойств и интенсивной подготовке и отработке выемочных участков угольных шахт предлагается осуществить с применением методики, включающей численное моделирование геомеханических процессов.

Сущность методики количественного прогнозирования геомеханических процессов в неоднородном массиве горных пород, предназначенной для оценки совместного влияния горно-геологических и горнотехнических условий на устойчивость подземных горных выработок, состоит в формировании цифровой модели геомассива и топологии горных выработок, численном моделировании

геомеханических процессов, создании базы данных результатов шахтных измерений, оценке соответствия расчётных и измеренных геомеханических параметров, корректировке входных параметров расчётной модели по результатам натурных измерений, прогнозе вариантов технологических решений по обеспечению устойчивости горных выработок (рис. 2.1).

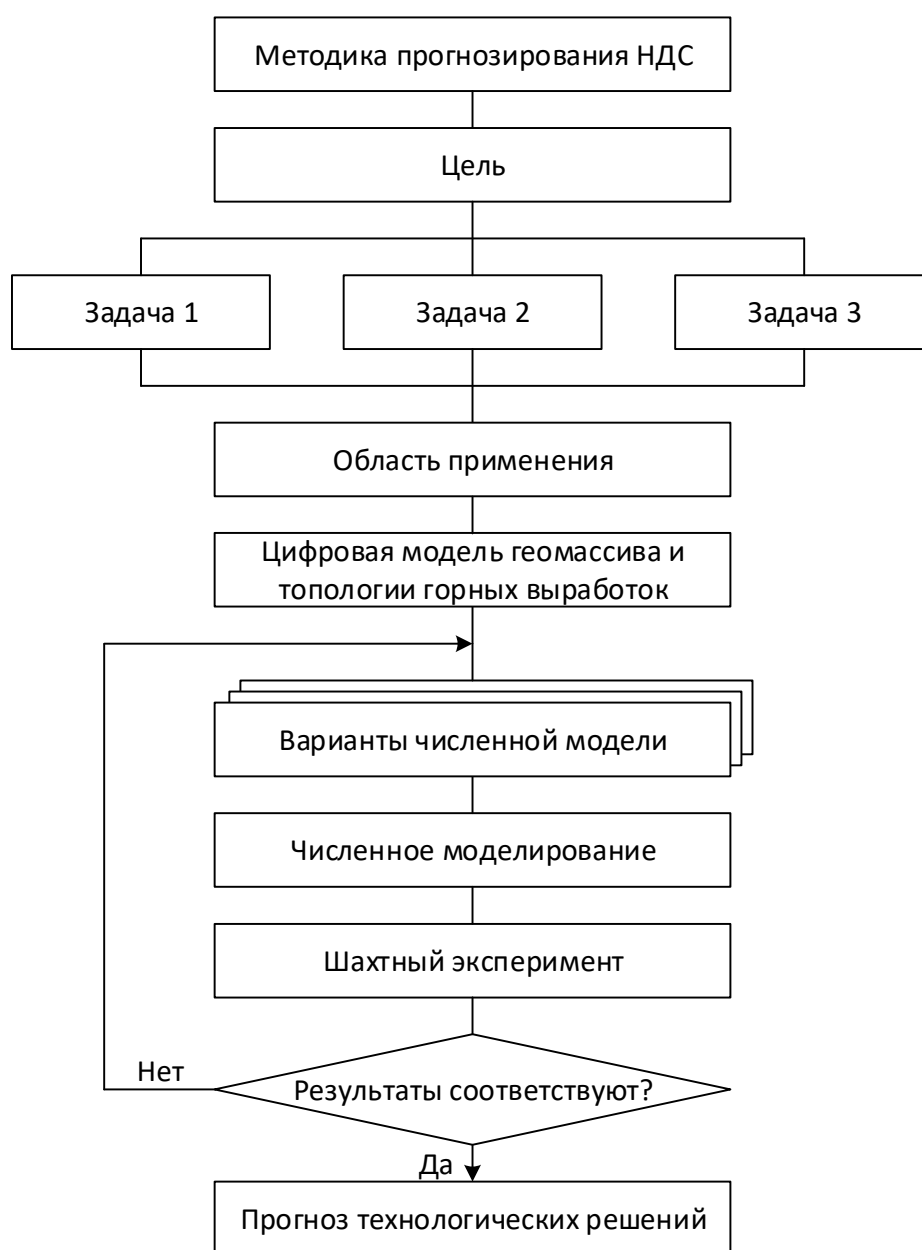


Рис. 2.1. Структурная схема модели количественного прогнозирования геомеханических параметров

В соответствии с концепцией цифровизации и индустриализации [25, 43] для количественного описания пространственно-временного состояния сложных объектов, одним из которых является угольная шахта, предлагается создание и использование информационной и технологической базы предприятия, обеспечивающей принятие решений по обеспечению устойчивости подземных горных выработок при отработке угольных месторождений в сложных условиях.

Структура, функции и направления развития информационной и технологической базы предприятия в виде геоинформационных систем (ГИС) неоднократно излагались в работах ВНИМИ и других научно-исследовательских организациях [12, 13, 23, 26-29, 36, 46, 84].

Использование в разрабатываемой методике информационной базы угольной шахты позволило осуществить постановку задачи для численного моделирования геомеханических процессов в окрестности одиночной или группы взаимовлияющих выработок с учётом влияния комплекса природных и техногенных факторов.

При постановке задачи в качестве объекта исследований принят вертикальный разрез, в сечении которого расположены геологические объекты в виде свиты угольных пластов и вмещающих пород, горные выработки, зоны повышенной трещиноватости угля и пород в запредельном состоянии. Для построения геометрической модели массива горных пород и горных выработок, представленной на рис. 2.2, использована документация угольной шахты, представленная в виде планов горных выработок по пластам, геологические разрезы по разведочным линиям, геологические отчёты по физико-механическим свойствам горных пород.

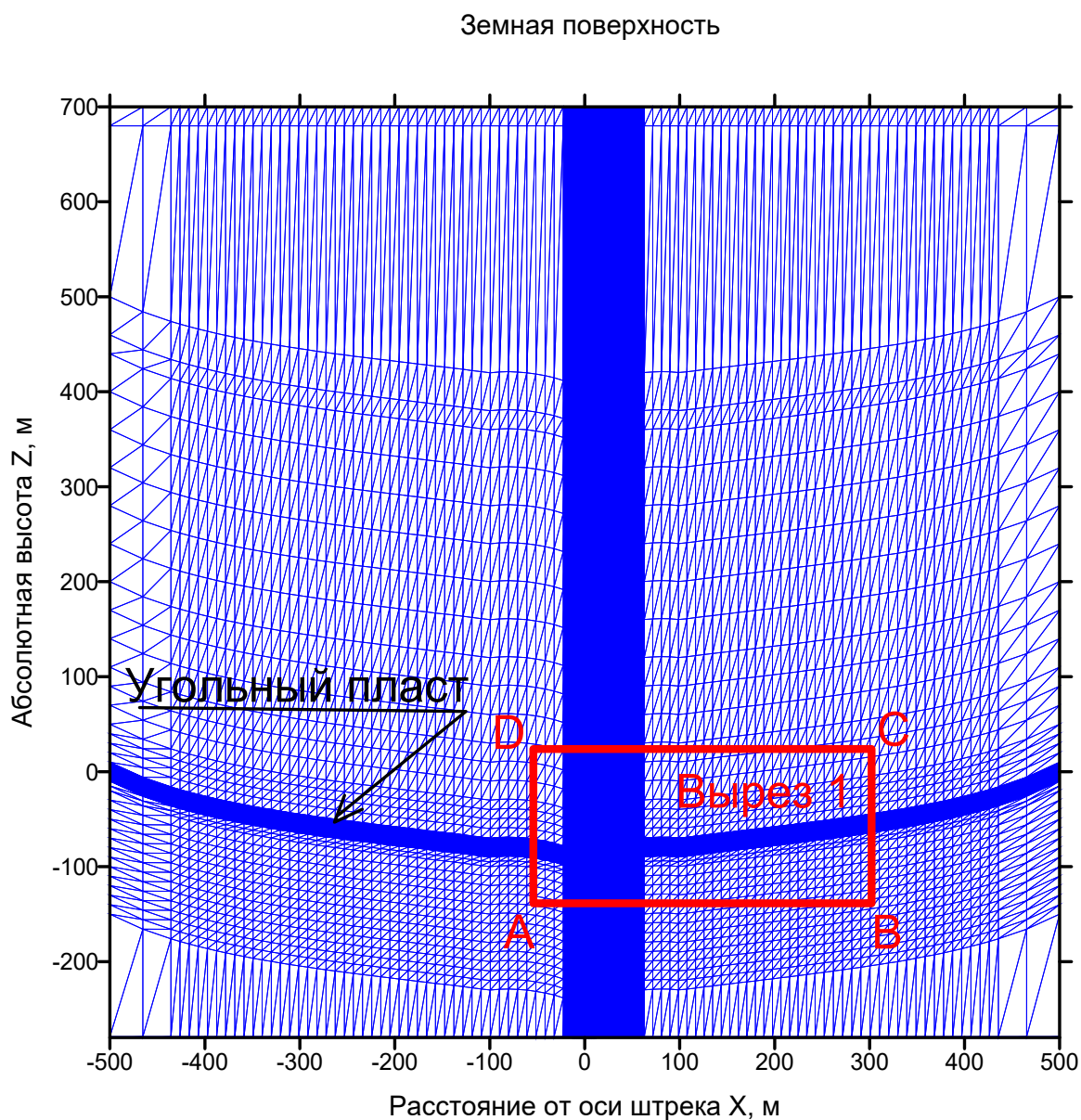


Рис. 2.2. Общая схема дискретизации на конечные элементы сложной геологической структуры в виде геосинклинальной складки

Дискретизация геометрической модели на конечные элементы осуществлялась с использованием пакета проблемно-ориентированных программ [49]. Фрагменты модели представлены на рис. 2.3. Область применения пакета программ [49] следующая:

- длина модели до 5 км;

- глубина разработки до 1000 м;
- количество породных слоёв и угольных пластов 100;
- мощность пластов в свите 0,10-10,00 м;
- природное поле напряжений: гравитационное, гидростатическое, геотектоническое;
- количество выработок в пределах модели до 100;
- формы залегания углепородной толщи: синклинальные, антиклинальные, комбинированные;
- угол падения свиты пластов 0-45 градусов;
- изменчивость основных геологических параметров в пределах модели по мощности и углам падения пластов $\pm 30\%$;
- количество конечных элементов в пределах геометрической модели 40400, площади треугольных конечных элементов переменные от 0,1 до 100 м².

С помощью пакета программ [49] можно моделировать сложные формы залегания свиты угольных пластов при различном сочетании форм и размеров выработок различного назначения.

На рис. 2.3 представлены фрагменты геометрической модели с дискретизацией угольного пласта в виде синклинали, очистного выработанного пространства, подготовительной выработки и угольного целика между ними.

Обязательным требованием при постановке задачи является выполнение условий плоского напряжённо-деформированного состояния массива горных пород. Такое сечение можно рассматривать в виде вертикального разреза геомассива с симметричными граничными условиями по бокам модели, например, перпендикулярно оси протяжённой выработки.

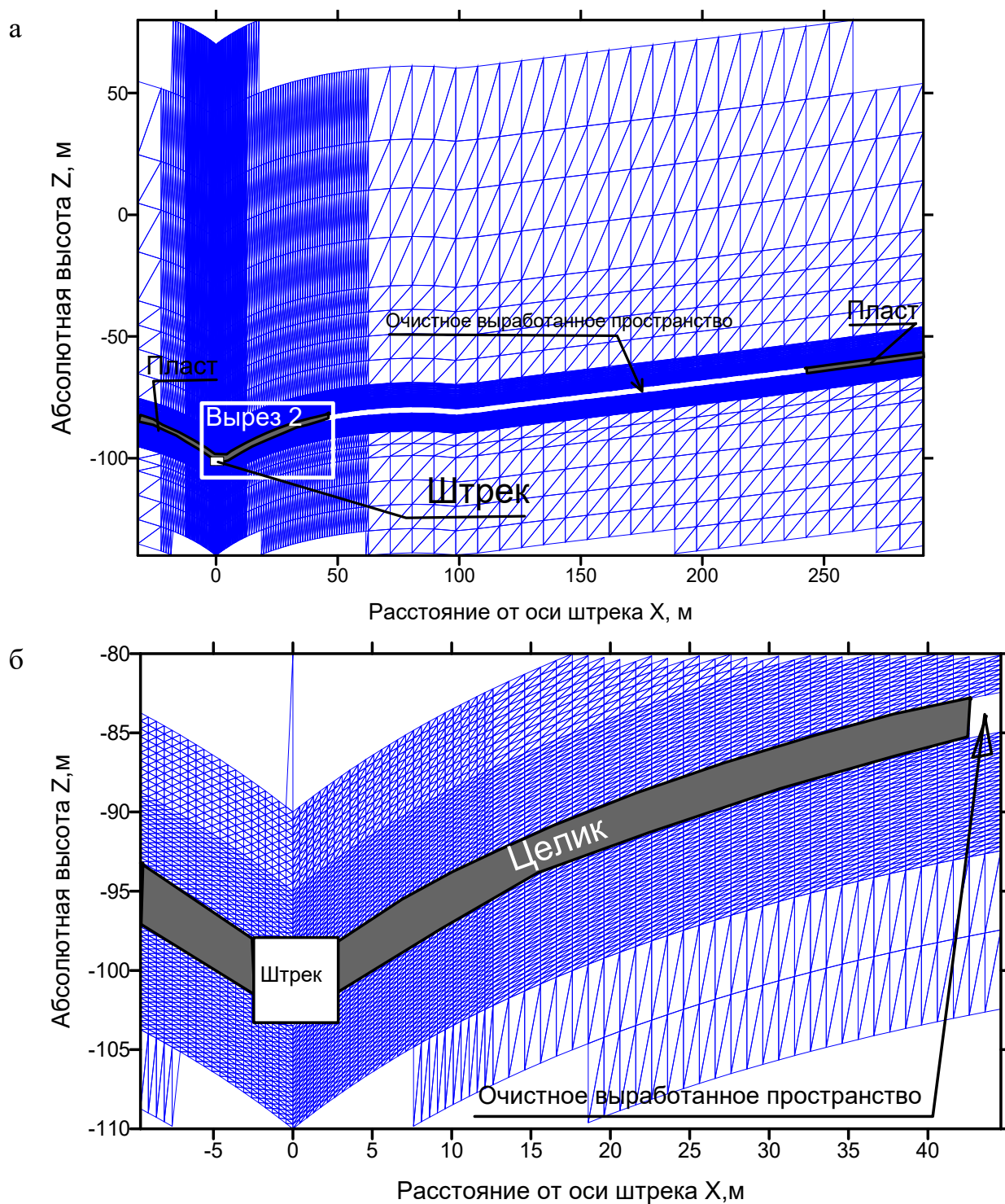


Рис. 2.3. Схема дискретизации на конечные элементы участка геологической структуры в пределах выреза 1, указанного на рис. 2.4: а – вырез 1 с указанным вырезом 2; б – вырез 2

2.2 Программа вычислительного эксперимента по определению напряжённо-деформированного состояния массива горных пород в окрестности подготовительных выработок

В качестве базового варианта геометрической модели массива горных пород приняты горно-геологические и горнотехнические условия ООО «ММК Уголь» «Шахта «Чертинская-Коксовая». Шахта «Чертинская-Коксовая» расположена в центральной и северо-западной частях Чертинского каменноугольного месторождения, в Беловском геолого-экономическом районе Кузбасса. Тектоническое строение шахтного поля простое.

Остальные варианты основаны на горно-геологических и горнотехнических условиях следующих шахт Кузбасса: «Алардинская», «Ерунаковская-VIII», «Осинниковская», «Полосухинская», «Распадская», «Сибиргинская», «Талдинская-Западная», «Шахта им. С. Д. Тихова», «Шахта им. В. Д. Ялевского», «Шахта им. В. И. Ленина», «Юбилейная», а также шахты «Северная» в Хабаровском крае, шахты «Джебарики-Хая» в Якутии.

Программа численного эксперимента включает формирование моделей массива горных пород с изменением в каждой модели одного из горно-геологических или горнотехнических параметров. Всего было исследовано 84 модели (табл. 2.1), из них 6 использованы для настройки.

Таблица 2.1. Номера и характеристика вариантов моделей при вычислительном эксперименте исследования влияния усложняющих факторов на напряжённо-деформированное состояние массива горных пород

Характеристика вариантов моделей массива горных пород	Номера вариантов при вычислительном эксперименте			
	шахты в зоне умеренного климата		шахты в криолитозоне	
	одиночная выработка	влияние очистного выработанного пространства	одиночная выработка	влияние очистного выработанного пространства
Глубина 500 м; мощность пласта 2 м; угол падения -10 град; целик 32,5 м; структурное ослабление 0,5; высота выработки 3,3 м; ширина выработки 4,5 м; присечка почвы и кровли поровну по 0,65 м	9 базовый	10 базовый	43 базовый	44 базовый
Дизъюнктив: угол наклона 90°; ширина 10 м; расположен в целике	11	12	45	46
Дизъюнктив: угол наклона 45°; ширина 10 м; расположен в целике	13	14	47	48
Глубина 200 м, ширина целика 20 м	3	4	77	78
Глубина 1000 м, ширина целика 37,5 м	15	16	49	50
Мощность пласта 1,2 м	17	18	51	52
Мощность пласта 2,2 м, ширина целика 35 м	19	20	53	54
Мощность пласта 3,5 м, ширина целика 42,5 м	21	22	55	56
Коэффициент крепости угля $f=0,75$, упрочнение целика клеевым составом на 5 м от штрека до $f=1,125$	23	24	57	58
Коэффициент структурного ослабления пород $k_{ст.осл.}=0,4$	25	26	59	60
Коэффициент структурного ослабления пород $k_{ст.осл.}=0,7$	27	28	61	62
Коэффициент структурного ослабления пород $k_{ст.осл.}=0,9$	29	30	63	64
Посредине пласта прослоек породы $m=0,5$ м, коэффициент крепости $f=2$	31	32	65	66
Посредине пласта прослоек породы $m=0,5$ м, коэффициент крепости $f=3$	41	42	75	76
Посредине пласта прослоек породы $m=0,5$ м, коэффициент крепости $f=4$	33	34	67	68
На высоте 4 м от кровли пласта слой аргиллита, $m=1$ м, $f=1,2$	35	36	69	70
На высоте 8 м от кровли пласта слой аргиллита, $m=1$ м, $f=1,2$	37	38	71	72
На высоте 12 м от кровли пласта слой аргиллита, $m=1$ м, $f=1,2$	39	40	73	74
Ширина зоны оттаивания 0,5 м			79	80
Ширина зоны оттаивания 1 м			81	82
Ширина зоны оттаивания 1,5 м			83	84

Количественное прогнозирование геомеханических процессов для оценки влияния осложняющих природных и техногенных факторов на напряжённо-деформированное состояние массива горных пород в сложных условиях шахт умеренного климата и в криолитозоне осуществлялось поэтапно:

1 этап: прогнозирование геомеханических параметров в окрестности одиночной выработки;

2 этап: прогнозирование геомеханических параметров в окрестности подготовительной выработки под влиянием веса зависающих пород кровли ранее отработанного выемочного столба;

3 этап: прогнозирование геомеханических параметров в окрестности одиночной выработки, но с имитацией её расположения в криолитозоне;

4 этап: прогнозирование геомеханических параметров в окрестности подготовительной выработки под влиянием веса зависающих пород кровли ранее отработанного выемочного столба, но с имитацией её расположения в криолитозоне.

На каждом этапе исследований проводилось определение и сравнение для всех вариантов моделей следующих геомеханических параметров и характеристик:

- коэффициент концентрации вертикальных напряжений как отношение напряжений в окрестности горных выработок к напряжениям в нетронутом массиве горных пород K_σ ;

- коэффициент остаточной прочности пород $K_{оп}$.

Расчёт вертикальных напряжений производится по формуле

$$\sigma_v = K_\sigma \gamma H, \quad (2.1)$$

где σ_v – вертикальные напряжения, МПа;

γ – объёмный вес пород, Н/м³;

H – глубина разработки, м;

K_σ – коэффициент концентрации вертикальных напряжений.

Коэффициент остаточной прочности пород вычисляется по паспорту прочности Мора:

$$K_{оп} = \frac{\tau_{пасп}}{\tau_{рассч}}, \quad (2.2)$$

где $\tau_{пасп}$ – касательные напряжения, вычисленные по паспорту прочности пород, МПа [19];

$\tau_{рассч}$ – касательные напряжения, вычисленные методом конечных элементов для реальной горнотехнической ситуации, МПа [49].

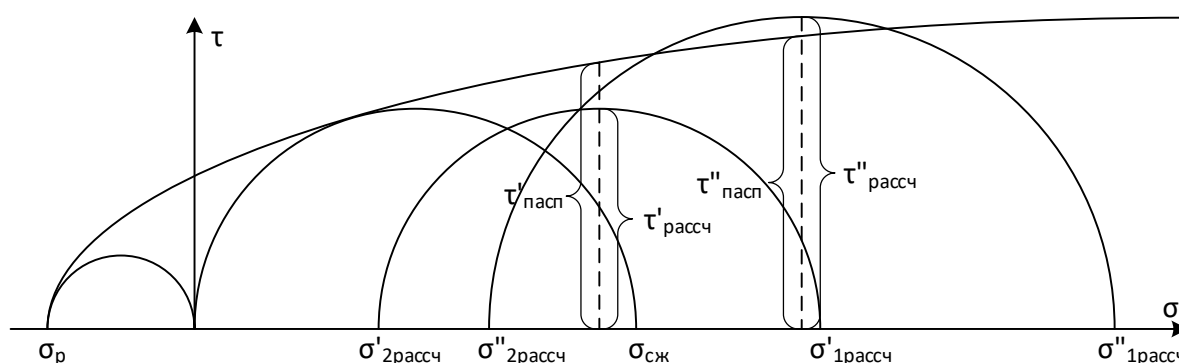


Рис. 2.4. Схема определения коэффициента остаточной прочности угля и пород: σ , τ – нормальные и касательные напряжения в массиве горных пород, МПа; $\sigma_{сж}$, σ_p – пределы прочности породных образцов при одноосном сжатии и растяжении, определяемые в лабораторных условиях, МПа; $\sigma'_{1рассч}$, $\sigma'_{2рассч}$ – минимальные нормальные напряжения, вычисленные для реальной горнотехнической ситуации, МПа; $\sigma''_{1рассч}$, $\sigma''_{2рассч}$ – максимальные нормальные напряжения, вычисленные для реальной горнотехнической ситуации, МПа; $\tau'_{рассч}$, $\tau''_{рассч}$ – касательные напряжения, вычисленные для реальной горнотехнической ситуации, МПа; $\tau'_{пасп}$, $\tau''_{пасп}$ – касательные напряжения, вычисленные по паспорту прочности пород при известных главных нормальных напряжениях, МПа [118]

Коэффициент остаточной прочности определяется как отношение касательных напряжений, вычисленных по паспорту прочности при известных главных нормальных напряжениях к касательным напряжениям, вычисленным методом конечных элементов для реальной горнотехнической ситуации [118].

По результатам шахтных исследований, представленных в главе 3, установлено, что при коэффициенте $K_{оп} \leq 0,5$ происходит разрушение пород и угля в виде кусков с высыпанием в выработку, наблюдается интенсивный отжим. При $0,5 < K_{оп} \leq 0,7$ формируются крупные трещины, формируются блоки, возможны вывалы, далее по тексту эта область рассматривается как зона предразрушения. При $0,7 \leq K_{оп} < 1$ – уголь или порода находятся в блочном состоянии, нарушены системой трещин. При $K_{оп} \geq 1,0$ уголь или порода находятся в упругом состоянии без нарушения сплошности.

В каждом варианте исследовалось влияние только одного осложняющего фактора, величины других факторов принимались равными в базовом варианте (см. табл. 2.1).

В качестве осложняющих факторов приняты [124]:

- глубина разработки;
- мощность пласта;
- коэффициент структурного ослабления породного массива;
- сложное строение пласта;
- дизъюнктивное нарушение;
- оттаивание угля и пород по периметру выработки в зоне вечной мерзлоты.

2.3 Примеры калибровки моделей по результатам шахтного эксперимента

Все варианты модели были откалиброваны по результатам натуральных и лабораторных экспериментов. Примеры распределения изолиний коэффициента остаточной прочности до и после калибровки представлены на рис. 2.5, 2.6.

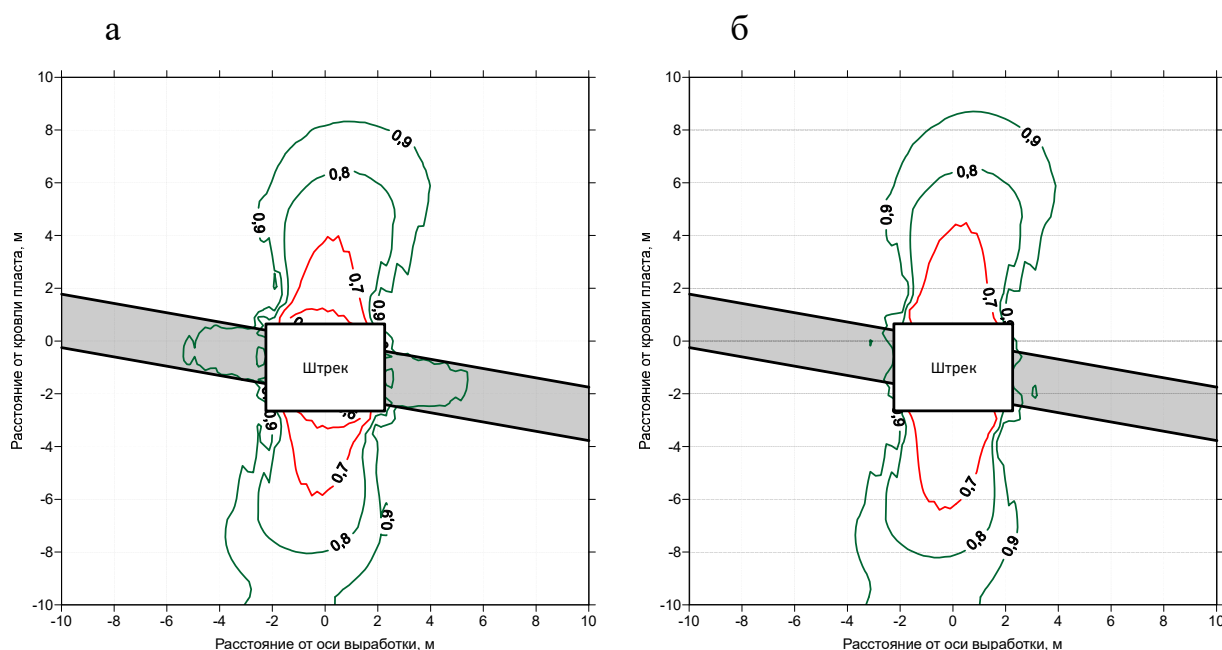


Рис. 2.5. Результат калибровки по натурным измерениям зон распределения коэффициента остаточной прочности, вариант 9: а – до калибровки; б – после калибровки

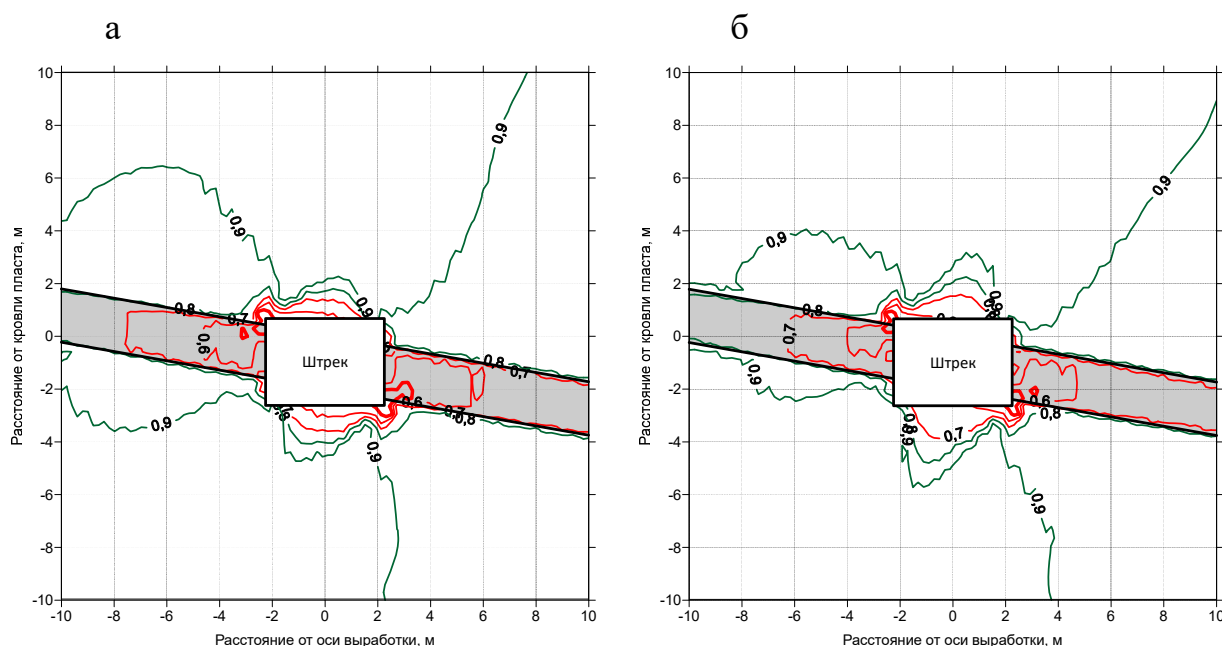


Рис. 2.6. Результат калибровки по натурным измерениям зон распределения коэффициента остаточной прочности, вариант 10: а – до калибровки; б – после калибровки

На рис. 2.5 после калибровки смоделирована реальная высота купола предразрушения, которая составила 3,8 м, и глубина разупрочнения пород почвы, которая составила 3,7 м.

На рис. 2.6 после калибровки смоделирована реальная граница предразрушения угольного пласта в сторону восстания, которая составила 4,0 м.

2.4 Выводы

1. Разработана методика количественного прогнозирования напряжённо-деформированного состояния массива горных пород в окрестности подготовительных выработок с учётом изменчивости свойств углепородного массива и интенсивности подготовки и отработки выемочных участков угольных шахт с возможностью настройки входных параметров математической модели по результатам натурных измерений смещений пород в окрестности выработок.

Методика обеспечивает решение методом конечных элементов линейных и нелинейных геомеханических задач и получение следующих параметров напряжённо-деформированного состояния геомассива: полный вектор напряжений и деформаций, формы и размеры зон разрушения и предразрушения пород в окрестности горных выработок.

2. Разработана программа вычислительного эксперимента, включающая формирование моделей массива горных пород с изменением в каждой модели одного из горно-геологических или горнотехнических параметров. Всего было исследовано 84 модели, основанных на реальных условиях 12 шахт Кузбасса, 1 шахте Хабаровского края, 1 шахте Якутии.

3. Исследования проведены посредством численного эксперимента с использованием методики количественного прогнозирования напряжённо-деформированного состояния неоднородного массива горных пород с обязательной калибровкой каждого варианта по результатам шахтных и лабораторных экспериментов, обеспечивающей прогноз геомеханических параметров в следующих горно-геологических и горнотехнических условиях:

- двухмерная горного массива; глубина разработки 50-1000 м; мощность отрабатываемых пластов в свите 0,10-10,00 м;

- длина модели до 5 км; количество породных слоёв и угольных пластов до 100; природное поле напряжений: гравитационное, гидростатическое, геотектоническое; количество выработок в пределах модели до 100;

- формы залегания углепородной толщи: синклинальные, антиклинальные, комбинированные;

- угол падения свиты пластов 0-45 градусов; количество конечных элементов в пределах геометрической модели 40400; площади треугольных конечных элементов переменные от 0,1 до 100 м².

3. Приведены примеры калибровки моделей по результатам шахтных экспериментов. Получено соответствие смоделированных результатов натурным измерениям зон распределения коэффициента остаточной прочности пород.

ГЛАВА 3 ШАХТНЫЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД В ОКРЕСТНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК

В настоящей главе приведены результаты шахтных и лабораторных исследований влияния природных и техногенных факторов на устойчивость подземных горных выработок, прочностные и деформационные характеристики массива горных пород для формирования информационной базы данных, необходимой при реализации методики количественного прогнозирования напряжённо-деформированного состояния неоднородного массива горных пород на шахтах в зонах умеренного климата и криолитозоне.

3.1 Методика натурных исследований устойчивости подготовительных выработок при интенсивной подземной разработке угольных пластов

Развитие методов цифрового описания формы и структуры массива горных пород существенно опережает по достоверности получаемых результатов уровень состояния методов и средств определения исходных данных физико-механических свойств пород [31, 34, 35, 38, 46, 50]. Даже в лабораторных условиях точность определения информативных параметров образцов горных пород уступает на порядок точности расчётных моделей прогноза геомеханических параметров. При использовании результатов лабораторных исследований свойств пород в горной практике вводятся различные коэффициенты: структурного ослабления [21], запаса прочности, эмпирические зависимости [30]. Таким образом, применяемые в математических моделях прочностные и деформационные свойства пород, особенно при переходе их в упруго-пластическое и запредельное состояние, существенно отличаются от

фактических параметров. В этой связи актуальными являются исследования, направленные на решение прямых и обратных задач горной геомеханики, в которых инструментальные исследования должны быть использованы для калибровки расчётных методов.

В настоящей работе предлагается применение интегрированных параметров горных пород, отражающих характер функционирования напряжённо-деформированного состояния массива горных пород под влиянием комплекса факторов: природных аномалий, зон повышенного горного давления, техногенных процессов, изменчивость параметров геомассива и др. В качестве индикаторов состояния массива горных пород, влияния природных и техногенных процессов предлагается использовать результаты шахтных измерений смещений контура выработок, мониторинга аппаратурой ГИТС, сейсмической томографии, гравиметрами и др. [46].

В этой связи для реализации алгоритма количественного прогнозирования геомеханических процессов в неоднородном массиве горных пород в блоке «Натурные исследования» проведены с участием автора настоящей работы следующие натурные исследования, результаты которых использованы для настройки входных параметров математических моделей:

- исследование структуры массива горных пород в приконтурной зоне горной выработки с использованием эндоскопа и георадиолокации [38, 76];
- исследование влияния гидроразрыва на структуру углеметанового пласта [60, 74];
- определение формы и размеров зон предразрушения пород в окрестности выработок [61, 123];
- влияние подработки пластов на изменение их прочностных свойств [66, 120];
- исследование устойчивости горных выработок при длительном периоде их эксплуатации [70, 71, 121, 122];

- исследование свойств горных пород на больших глубинах [78];
- исследование влияния процессов оттаивания горных пород на несущую способность анкеров в криолитозоне [51,63, 64, 67].

Указанные натурные исследования геомеханических процессов в неоднородном массиве горных пород выполнены с участием автора на шахтах Кузбасса, Ургала, Якутии. Основные результаты натурных исследований в виде зависимостей и закономерностей представлены в следующей главе.

При разработке методики количественного прогнозирования геомеханических процессов в неоднородном массиве горных пород при интенсивной подготовке и отработке выемочных участков угольных шахт проведены сбор и анализ опыта проведения и крепления выработок в криолитозонах, выполнена оценка исследований термических напряжений вокруг подготовительных выработок [48], произведена оценка закономерностей разрушения мёрзлых и протаявших пород [52], рассмотрены рекомендации по совершенствованию технологии разработки угольных месторождений в зонах вечной мерзлоты, исследований устойчивости подготовительных выработок [89], исследований по теплоизоляции подготовительных выработок [92]. Проведена оценка практики управления горным давлением в толще многолетнемёрзлых пород [114], а также «Временной инструкции по выбору крепи для очистных выработок...» [113], рассмотрены предложения по применению бесцеликовой технологии и анкерному креплению выработок в зонах вечной мерзлоты [115], были рассмотрены и учтены рекомендации по термодинамическим процессам в горных породах, изложенные в работе [94].

3.2 Натурные исследования структуры массива горных пород в окрестности подземных горных выработок угольных шахт умеренного климата

По результатам анализа известных направлений исследования структуры геомассива и свойств горных пород в окрестности подземных горных выработок [10, 15, 17, 32, 38, 46, 56, 70, 76, 95] в качестве основных в настоящей работе приняты следующие [76, 88, 96] методы:

- визуальное обследование состояния выработок при маршрутной съёмке по пикетам;
- эндоскопическое обследование породных слоёв в скважинах с помощью видеоэндоскопа Wöhler VIS;
- георадиолокационные измерения временных интервалов между отражёнными от контактов породных слоёв импульсами, ОКО-2;
- отбор кернов из кровель выработок и последующее определение физико-механических свойств отобранных пород;
- наблюдение за смещением реперов.

Исследования проводились в вентиляционном штреке одной из угольных шахт [76]. Непосредственная кровля пласта представлена трещиноватыми разнотекстурными алевролитами мощностью от 1 до 6 м, предел прочности пород при сжатии $\sigma_{сж}=30-49$ МПа. Породы кровли обрушаются в штреке на расстоянии более 5 м от забоя, сохраняют устойчивость на расстоянии 5-20 м в течение 5-30 минут.

Для эндоскопической съёмки (рис. 3.1) в кровле пласта на сопряжении штрека и очистного забоя пробурен шпур длиной 7 м. Результаты съёмки стенок скважины представлены на рис. 3.2. Установлено, что ширина раскрытия трещин достигает 20 мм, расстояние между трещинами 0,1-0,7 м. Существенным недостатком метода эндоскопической съёмки стенок скважины является высокая

трудоёмкость получения информации о структуре пород кровли на всём протяжении выработки, связанная с бурением скважин, проведением инструментальных видеосъёмок и их обработкой.

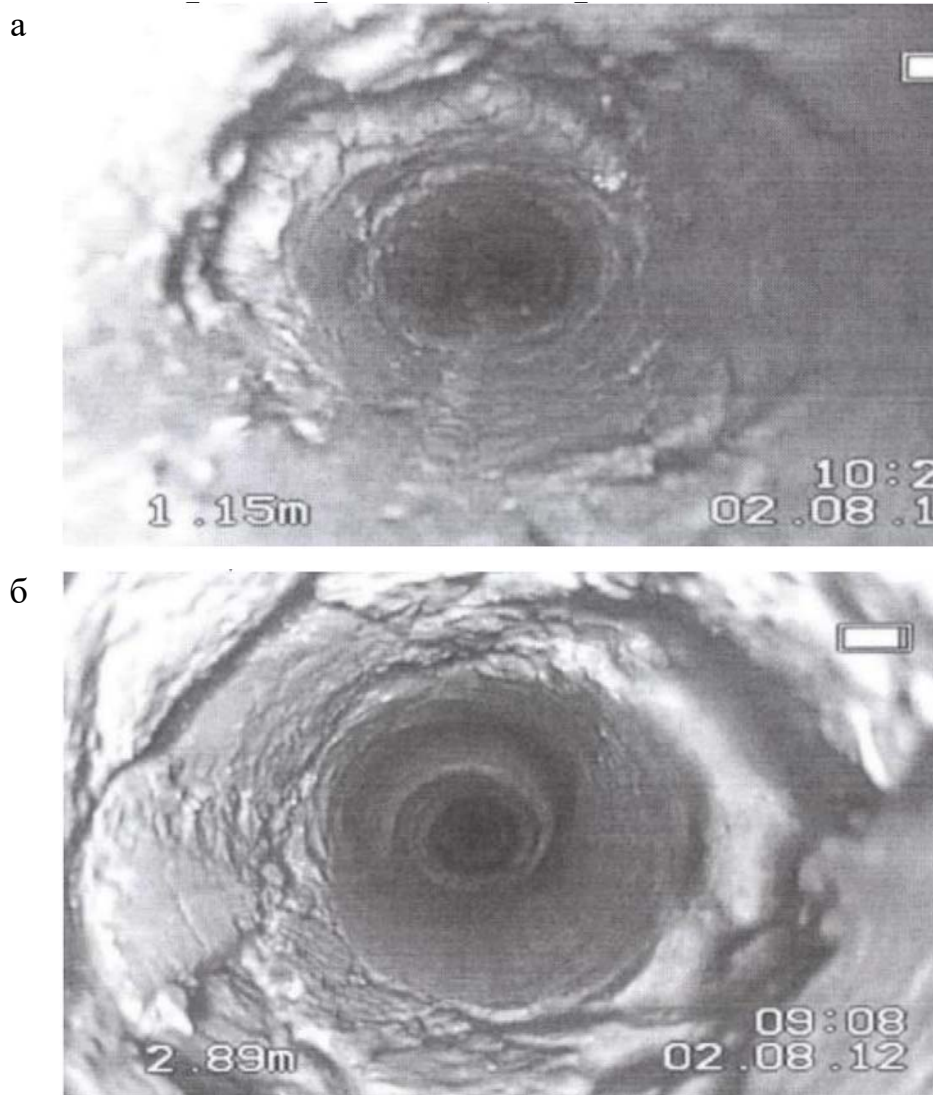


Рис. 3.1. Фотографии в вентиляционном штреке стенки скважины на глубине: а – 1,15 м; б – 2,89 м

Георадиолокационные измерения позволяют получить информацию о структуре кровли, почвы и боков выработки на всём её протяжении. Сущность применяемого варианта георадиолокации состоит в неразрушающем контроле по

результатам анализа импульсов, отражённых от границ раздела сред с разными электрофизическими характеристиками, стробоскопической обработке принятых сигналов и последующем измерении временных интервалов между отражёнными импульсами [76, 96]. В качестве границ раздела сред выделяются контакты угольных пластов и вмещающих пород, трещины, пустоты, искусственные объекты.

Исследования проводились с помощью георадара ОКО-2 в вентиляционном штреке с расположением измерительных профилей геосканирования через 20 м в направлении от очистного забоя к демонтажной камере. Обработка по дешифрированию георадарных профилей осуществлялась с использованием стандартного программного комплекса анализа результатов георадиолокации GeoScan-32 по следующему алгоритму: ввод результатов измерений, корректировка первого вступления прямой волны, частотная фильтрация, усиление амплитуд, удаление влияния прямого сигнала для приповерхностных объектов, скоростной анализ и выделение гиперболических осей синфазности, преобразование временной шкалы в шкалу глубин при средней скорости распространения волн в породах $\varepsilon=5-6$, задание параметров визуализации данных, выделение объектов.

На георадарных профилях по результатам камеральной обработки (рис. 3.2) выделены области локальных неоднородностей в породах кровли, расслоения и влагонасыщенные зоны.

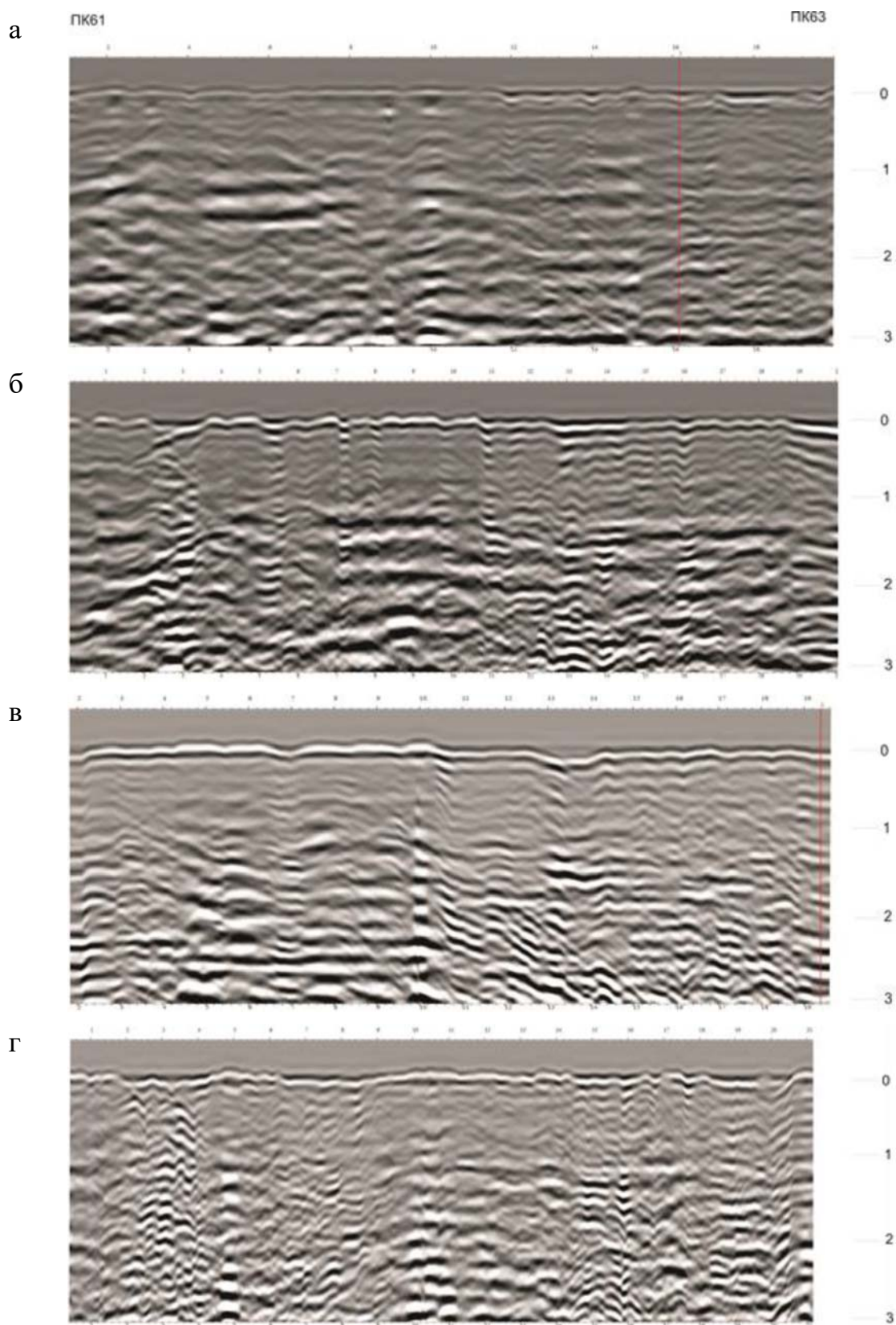


Рис. 3. 2. Радарограммы вентиляционного штреха по датам: а – 20.03.2014 г.; б – 24.04.2014 г.; в – 15.05.2014 г.; г – 21.08.2014 г.

Результаты расшифровки радарограмм:

- рис. 3.3-а – расстояние до лавы 205 м, на высоте от кровли выработки 1,2-1,5 м выявлены небольшие зоны расслоения пород кровли;

- рис. 3.3-б – расстояние до лавы 150 м, расслоение пород кровли увеличивается по длине штрека, повышается трещиноватость на высоту от кровли выработки 2,5 м;

- рис. 3.3-в – расстояние до лавы 50 м, произошла дезинтеграция пород кровли на высоту до 2,5 м;

- рис. 3.3-г – расстояние до лавы 7 м, повысилась интенсивность дезинтеграции пород кровли за счёт увеличения количества мелких трещин.

По результатам визуально-инструментальных наблюдений состояния пород кровли на контуре штрека и радарограмм (рис. 3.3) установлено соответствие границ зоны интенсивного предразрушения пород кровли, определённых разными методами.

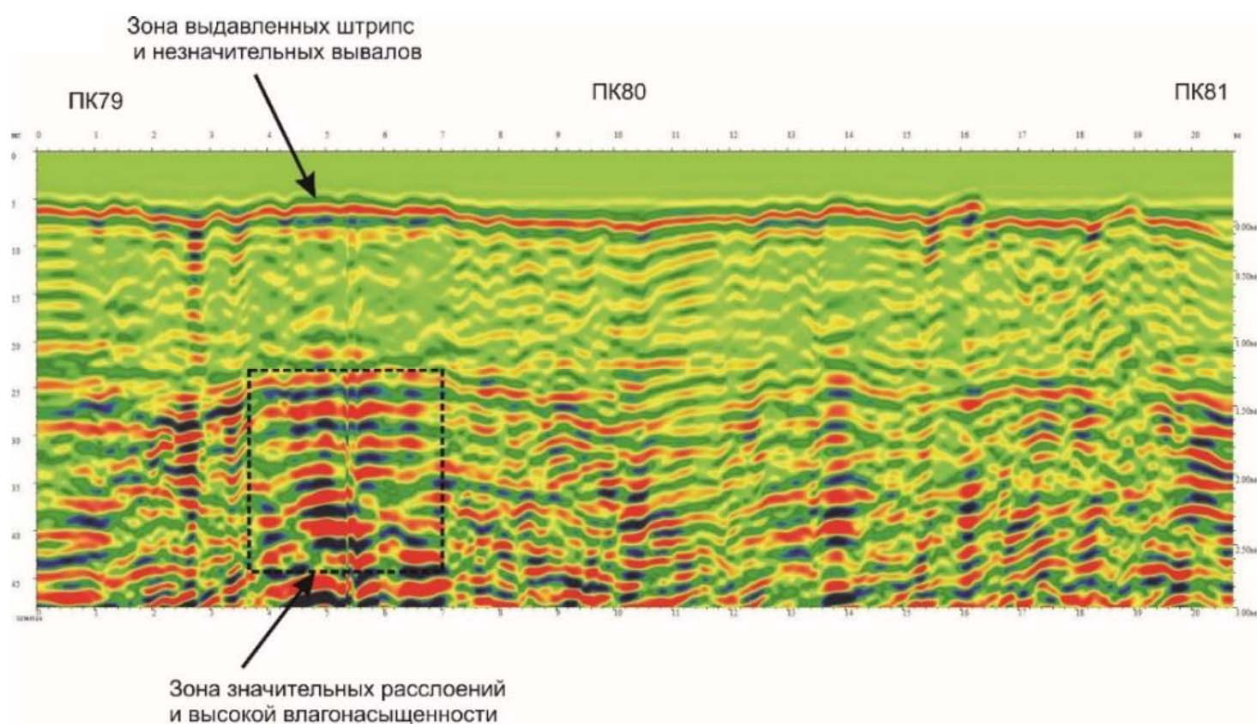


Рис. 3.3. Радарограмма кровли вентиляционного штрека

Специфика георадарных обследований заключается в значительной сложности интерпретации получаемых результатов, так как шахтные выработки обладают большим количеством металлических объектов, несущих силовых кабелей, что является причиной появления на радарограммах значительного количества помех. Поэтому в целях получения объективных данных с использованием георадиолокационной аппаратуры в шахтных условиях необходимо накопление значительного количества экспериментальных данных и сопоставление их с данными других методов исследования состояния кровли, в частности видеоэндоскопического обследования скважин.

На рис. 3.3 отчётливо видна высокая сходимость с результатами эндоскопических исследований. На основании этого были выделены характерные участки радарограммы, где видны признаки развития трещиноватости в кровле, например, 20-21 м (рис. 3.1).

Доказана высокая сходимость результатов георадиолокации и эндоскопического обследования скважин в кровле, достаточная для достоверного определения участков выработок с трещиноватыми породами кровли, а также глубины залегания трещин. Предложенный метод позволяет оценить состояние пород кровли непрерывно на всём протяжении участка выработки.

Методика определения предела прочности пород кровли, извлечённых из скважин в виде кернов, апробирована в промежуточном штреке № 23-1-4 ПК 141 ООО «Шахта им. С. Д. Тихова», конвейерном штреке 555 ООО «ММК УГОЛЬ «Шахта «Чертинская-Коксовая».

Выбуривание керна осуществлялось пневматическим анкероустановщиком с накрученным на буровую штангу керноотборником. Через каждые 500 мм керноотборник выдавался из скважины для извлечения образцов пород кровли.

После извлечения образцов (рис. 3.4) проводилось их описание, замеры основных параметров, указывалась глубина отбора и, выполнялись испытания на

пробнике БУ-39 [99] с целью определения фактических прочностных свойств пород сразу после их извлечения из кернообторника. Испытания пород проводились в соответствии с ГОСТ 24941-81 [98], то есть образец цилиндрической формы устанавливался между инденторами, проводилось нагружение образца до образования сквозного раскола образца, проходящего через ось нагружения. После разрушения образца определялись величины: R_p – максимальная разрушающая нагрузка, кН; S_p – площадь поверхности разрыва образца, см^2 .



Рис. 3.4. Керны пород кровли конвейерного штреха № 555, ПК15 ООО «ММК УГОЛЬ «Шахта «Чертинская-Коксовая»

Предел прочности горной породы при одноосном растяжении σ_p вычислялся по формуле:

$$\sigma_p = 7,5 \frac{R_p}{S_p} K_m, \quad (3.1)$$

где $K_m = \sqrt[4]{\frac{S_p}{15 \cdot 10^{-4}}}$ – безразмерный масштабный коэффициент.

Предел прочности горной породы при одноосном сжатии $\sigma_{сж}$ для каждого образца вычислялся по корреляционным зависимостям, приведенным в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Корреляционные зависимости

Разновидности горных пород	Корреляционные зависимости
Аргиллиты, мергели	$\sigma_{сж} = 16 \sigma_p$
Алевролиты, известняки	$\sigma_{сж} = 20 \sigma_p$
Песчаники:	
глинистые	$\sigma_{сж} = 18 \sigma_p$
карбонатные	$\sigma_{сж} = 21 \sigma_p$
кварцевые	$\sigma_{сж} = 25 \sigma_p$
Прочие осадочные:	
при $\sigma_p \leq 1$ МПа	$\sigma_{сж} = 12 \sigma_p$
при $\sigma_p > 1$ МПа	$\sigma_{сж} = 20 \sigma_p$
Изверженные и метаморфические	$\sigma_{сж} = 25 \sigma_p$

Физико-механические свойства пород кровли конвейерного штрека № 555 ПК15 «ММК УГОЛЬ «Шахта «Чертинская-Коксовая» по результатам отбора и испытания проб керна представлены в табл. 3.2 и 3.3.

Таким образом, кровля конвейерного штрека 555 ПК15 на глубину до 4,0 м представлена, в основном, алевролитом мелкозернистым, со средним пределом прочности пород кровли при сжатии 14,38 МПа (коэффициент крепости $f=1,4$).

Для настройки входных параметров математической модели проведены инструментальные измерения смещений кровли конвейерного штрека 555, эндоскопические исследования с отбором и анализом кернов (рис. 3.5). Реперы станций РГ-3 устанавливались на глубине от кровли штрека 2,3; 3,3; 7,1 м. Глубина залегания пласта 5 на экспериментальном участке изменялась в пределах 200-260 м.

Результаты определения прочности пород кровли представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.2. Физико-механические свойства пород кровли конвейерного штрека № 555 ПК15

Глубина керна, м	Номер испытания									Средние показатели σ _{сж} , МПа
	1			2			3			
	Р _р , кН	Sp, см2	σ _{сж} , МПа	Р _р , кН	Sp, см2	σ _{сж} , МПа	Р _р , кН	Sp, см2	σ _{сж} , МПа	
0-0,5	0,80	9,25	11,50	1,0	13,26	10,97	1,20	10,80	15,35	12,60
0,5-1,0	0,40	9,25	5,75	1,0	8,40	15,45	1,10	8,10	17,46	12,88
1,0-1,5	1,40	13,65	15,03	1,70	10,08	22,90	0,70	8,40	10,81	16,24
1,5-2,0	0,60	10,80	7,68	0,40	13,65	4,29	1,80	10,50	23,52	11,83
2,0-2,5	1,0	13,65	10,73	1,20	10,50	15,68	0,90	8,10	14,29	13,56
2,5-3,0	1,40	10,50	18,29	1,20	9,90	16,39	1,0	12,0	11,82	15,50
3,0-3,5	0,90	9,25	12,93	0,70	9,18	10,12	1,70	8,40	26,26	16,43
3.5-4.0	2.0	9.86	27.40	1.50	8.40	23.17	1.30	16.40	12.16	20.91

Таблица 3.3. Характеристика пород кровли конвейерного штрека № 555 ПК15

Глубина отбора керна, м	Характеристика пород	Коэффициент крепости по шкале проф. Протодяконова f
0-0,5	Алевролит мелкозернистый серого цвета	1,2
0,5-1,0	Алевролит мелкозернистый тёмно-серого цвета	1,2
1,0-1,5	Алевролит мелкозернистый серого цвета	1,6
1,5-2,0	Алевролит мелкозернистый серого цвета	1,1
2,0-2,5	Алевролит мелкозернистый серого цвета	1,3
2,5-3,0	Алевролит мелкозернистый серого цвета	1,5
3,0-3,5	Алевролит мелкозернистый серого цвета	1,6
3,5-4,0	Алевролит мелкозернистый серого цвета	2,0

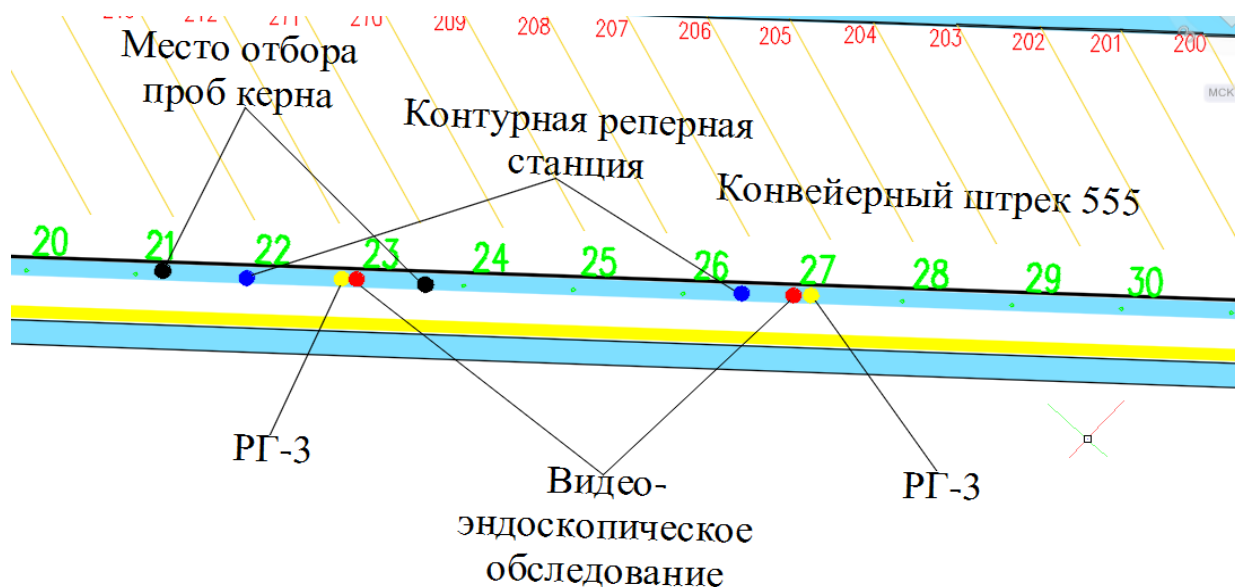


Рис. 3.5. Выкопировка из плана горных выработок и схема расположения наблюдательных станций

Таблица 3.4. Результаты измерения смещений глубинных реперов в кровле конвейерного штрака 555

Дата измерений	Расстояние до лавы, м	Сигнал РГ-3			Смещение реперов, мм		
		R ₁	R ₂	R ₃	R ₁	R ₂	R ₃
Станция на пикете 27							
15.11.19	50	з	з	з	-	-	-
19.11.19	42	з	з	з	0	0	0
21.11.19	38	з	з	з	2	3	1
27.11.19	24	з	з	з	4	10	15
04.12.19	18	з	з	з	5	17	26
Станция на пикете 23							
15.11.19	150	з	з	з	-	-	-
19.11.19	142	з	з	з	0	0	0
21.11.19	138	з	з	з	0	0	0
27.11.19	124	з	з	з	0	0	0
04.12.19	118	з	з	з	0	1	0
16.12.19	55	з	з	з	3	0	2
26.12.19	19	з	з	ж	2	11	22

По изложенной методике проведены с участием автора настоящей работы исследования пород в окрестности подземных выработок на 12 выемочных участках предприятий подземной добычи угля: ООО «Шахта им. С. Д. Тихова», ООО «ММК УГОЛЬ «Шахта «Чертинская-Коксовая», ПЕ «Шахта имени В. Д. Ялевского», «Осинниковская» и др.

3.3 Натурные и лабораторные исследования структуры массива горных пород в окрестности подземных горных выработок угольных шахт криолитозоны

Для применения разработанной комплексной методики количественного прогнозирования напряжённо-деформированного состояния неоднородного геомассива в криолитозоне необходимо выявить осложняющие факторы и специфические физико-механические параметры горных пород в этой зоне. Такими осложняющими факторами являются отрицательная температура до минус 15°C и глубина промерзания горных пород до 1500 м от земной поверхности. Механизм деформирования пород в мёрзлом состоянии состоит в проявлении цементирующего действия замерших флюидов в порах и трещинах, то есть создании монолитного массива [93]. При оттаивании льда нарушается связность, ослабевает сцепление отдельных структурных блоков мерзлых пород. Вследствие этих процессов происходит изменение прочностных и деформационных свойств горных пород.

В этой связи актуальными являются исследования, направленные на обоснование параметров технологии крепления горных выработок в условиях вечной мерзлоты. В настоящей работе для решения этой задачи принят следующий методический подход:

- установление зависимостей прочностных и деформационных параметров горных пород в окрестности выработок от температуры и содержания флюидов в криолитозоне;

- корректировка и адаптация к условиям криолитозоны действующих методик расчёта параметров паспорта крепления и поддержания выработок в зонах умеренного климата с учётом установленных зависимостей прочностных и деформационных параметров горных пород от температуры и содержания флюидов;

- создание новых способов и средств крепления и поддержания горных выработок на основе установленных зависимостей прочностных и деформационных параметров горных пород от температуры и содержания флюидов.

Как следует из поставленных задач, базой для их решения являются закономерности распределения свойств с учётом температурного фактора и зависимости прочностных и деформационных параметров горных пород в окрестности выработок от температуры и содержания флюидов в криолитозоне.

Установлению зависимостей прочностных и деформационных параметров горных пород в окрестности выработок от температуры и содержания флюидов в криолитозоне посвящены работы многих специалистов [8, 9, 44, 47, 48, 51, 52, 63, 64, 67, 89, 90, 92, 93, 94]. Почти во всех работах отмечается, что при растеплении прочность пород уменьшается (рис. 3.6). При замерзании пород происходит изменение технологических свойств горных пород (рис. 3.7), что следует учитывать при выборе способов и средств их разрушения.

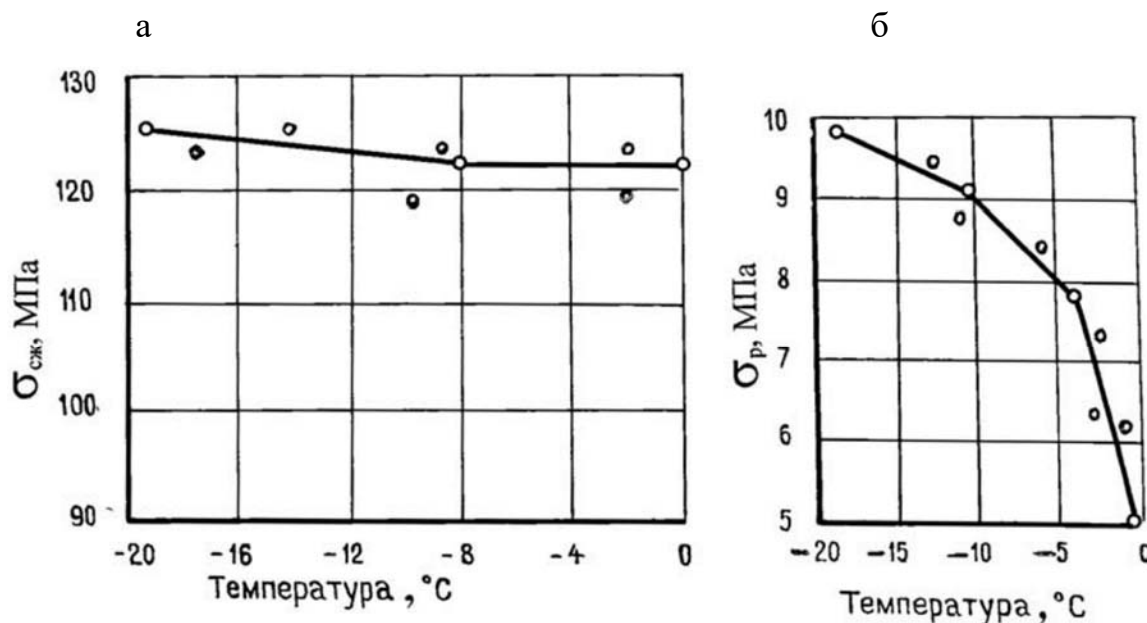


Рис. 3.6. Изменение предела прочности многолетнемёрзлых песчаников при сжатии (а) и растяжении (б) от температуры [93]

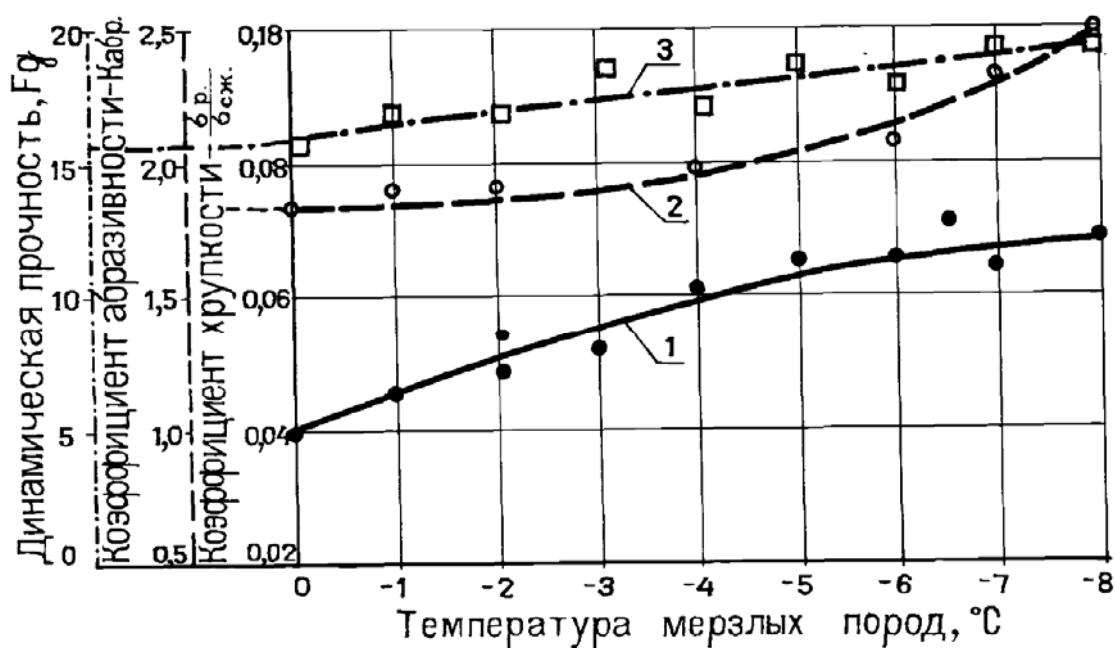


Рис. 3.7. Влияние температуры на хрупкость (1), абразивность (2), динамическую прочность (3) кварцевых песчаников [93]

В автореферате диссертации [52] представлены результаты исследований разрушения мерзлых и протаявших горных пород при разработке многомерзлотных и частично протаявших угольных пластов. Установлено, что предел прочности мёрзлого угольного массива уменьшается при протаивании по линейному закону, а при боковых породах в виде песчаника несущая способность угольных целиков на 15 % больше по сравнению с прочностью при глинистых боковых породах. В работе [52] предложена формула связи предела прочности угля при сжатии в мёрзлом угольном целике и частично протаявшем целике:

$$\sigma_{сж}^T = \sigma_{сж}^M \left(1 - 0,2 \frac{l}{b}\right), \quad (3.2)$$

где $\sigma_{сж}^T$ – предел прочности угля при сжатии в частично протаявшем угольном целике, МПа;

$\sigma_{сж}^M$ – предел прочности угля при сжатии в мёрзлом угольном целике, МПа;

l – глубина протаивания, м;

b – ширина целика, м.

Модуль упругости угля в протаявшем целике

$$E_y = 35 \cdot \sigma_{сж}^T + 2500; \quad (3.3)$$

Коэффициент Пуассона в протаявшем целике

$$\nu_y = 0,5 - 0,047 \cdot (\sigma_{сж}^T)^{0,5}; \quad (3.4)$$

Параметр ползучести

$$\delta_y = 4,73 \cdot 10^{-3} - 6,5 \cdot E_y \cdot 10^{-7}. \quad (3.5)$$

Формула (3.2) использована при оценке предельной ширины устойчивого угольного целика в криолитозоне, формулы (3.3), (3.4), (3.5) позволяют определить модуль упругости, коэффициент Пуассона, параметр ползучести.

Однако, результаты исследований прочностных характеристик горных пород, аналогичные представленным в таблицах параграфов 3.1 и 3.2, не обеспечивают возможность численного моделирования геомеханических процессов по методике, разработанной во второй главе настоящей работы.

Для численного решения дифференциальных уравнений в упругой и нелинейной постановках необходимы исходные деформационные параметры для каждого типа горных пород [23, 24]: паспорта прочности Мора, диаграмма деформирования пород при объёмном сжатии, модуль упругости E_y , модуль деформации E_δ , коэффициент Пуассона ν , параметры ползучести α , δ , коэффициенты структурного ослабления пород в горном массиве по отношению к прочности в лабораторном образце и др.

Для определения указанных деформационных параметров горных пород (табл. 3.5) использованы эмпирические зависимости [30, 31, 32, 99, 100].

Таблица 3.5. Эмпирические зависимости деформационных характеристик горных пород

Наименование параметров	Символ, размерность	Метод определения		Источник
		экспериментальный	расчётный	
Предел прочности при сжатии	$\sigma_{сж}$, МПа	Шахтные и лабораторные исследования	Табл. 3.1	[99]
Предел прочности при растяжении	σ_r , МПа	Шахтные и лабораторные исследования	Табл. 3.1	[99]
Модуль упругости	E_y , МПа	Лабораторные исследования	$E_y = 35 \cdot \sigma_{сж} + 2500$	[30]
Коэффициент Пуассона	ν	Лабораторные исследования	$\nu = 0,5 - 0,047 (\sigma_{сж})^{0,5}$	[100]
Параметр ползучести угля	Лабораторные исследования $\delta_y, c^{-0,3}$	Лабораторные исследования	$\delta_y = 4,73 \cdot 10^{-3} - 6,9 \cdot E_y \cdot 10^{-7}$	[100]

3.4 Выводы

1. Разработана методика натурных исследований устойчивости подготовительных выработок при интенсивной подземной разработке угольных пластов с использованием следующих методов:

- изучения структуры массива горных пород в приконтурной зоне горной выработки с использованием эндоскопа и георадиолокации;
- оценки несущей способности анкеров в криолитозоне при изменении температуры горных пород;
- определения формы и размеров зон предразрушения пород в окрестности выработок;
- исследование устойчивости горных выработок при длительном периоде их эксплуатации.

2. По результатам шахтных и лабораторных исследований влияния осложняющих природных и техногенных факторов на прочностные и деформационные характеристики массива горных пород создана

информационная база данных, которая рекомендуется для использования в методике количественного прогнозирования напряжённо-деформированного состояния неоднородного массива горных пород на шахтах в зонах умеренного климата и криолитозоне.

3. Для формирования информационной базы данных о количественных и качественных параметрах и характеристиках массива горных пород для каждого выемочного участка рекомендуется проведение следующих видов работ: визуальное обследование состояния выработок; эндоскопическая съёмка породных слоёв в скважинах с помощью видеоэндоскопа Wöhler VIS, георадиолокационные измерения временных интервалов между отражёнными от контактов породных слоёв импульсами.

4. Прочностные свойства горных пород рекомендуется определять с помощью пробника БУ-39, обеспечивающего исходные данные для расчёта по эмпирическим зависимостям пределов прочности пород при их растяжении и сжатии, а также выделение литологических разностей породных слоёв в кровле выработок.

5. Для количественной оценки смещений пород кровли рекомендуется проведение мониторинга с помощью реперных станций типа РГ-3.

6. Обоснованы следующие направления шахтных и лабораторных исследований влияния температуры в криолитозоне на прочностные и деформационные характеристики массива горных пород:

- установление зависимостей прочностных и деформационных параметров горных пород в окрестности выработок от температуры в криолитозоне;

- корректировка и адаптация к условиям криолитозоны действующих методик расчёта параметров паспорта крепления и поддержания выработок в зонах умеренного климата с учётом установленных зависимостей прочностных и деформационных параметров горных пород от температуры и содержания флюидов;

7. Шахтные эксперименты проведены на 12 выемочных участках, расположенных в умеренном климате и криолитозоне. Установлено, что представительность информационной базы данных является достаточной для выявления влияния осложняющих факторов на устойчивость подземных выработок и настройки входных параметров математической модели.

8. Исследованиями подтверждено, что структура и объём данных свойств геомассива обеспечивают настройку входных параметров математической модели геомеханических процессов и выбор крепи выработок при формировании информации на основе принятого комплекса натурных и лабораторных методов. Приняты: эндоскопическая съёмка породных слоёв; георадиолокационные измерения временных интервалов между импульсами от слоёв структурного строения пород кровли; оценка показателя напряжённости массива горных пород; мониторинг смещений пород в выработках с помощью реперных станций.

ГЛАВА 4 АТЛАС ВАРИАТИВНОСТИ СЦЕНАРИЕВ ФОРМИРОВАНИЯ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА В ОКРЕСТНОСТИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОСВОЕНИЯ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

В четвёртой главе разработан атлас вариативности, на основе которого при использовании выявленных по результатам численного моделирования и шахтных экспериментов закономерностей формирования напряжённно-деформированного состояния массива (НДС) в окрестности подготовительных выработок определяются возможные сценарии его состояния при подземной разработке угольных месторождений, которые систематизируются для различных вариантов горно-геологических и горнотехнических условий.

Все рисунки-изолинии распределения коэффициентов концентрации вертикальных напряжений K_σ и коэффициентов остаточной прочности пород $K_{оп}$ представлены в приложении 4.

Проведён вычислительный эксперимент с использованием методики количественного прогнозирования напряжённно-деформированного состояния неоднородного массива горных пород при совместном влиянии осложняющих природных и техногенных факторов на устойчивость подземных горных выработок. Выявлены закономерности и зависимости влияния отдельных и группы факторов на геомеханические параметры массива горных пород в окрестности системы подземных горных выработок.

4.1 Атлас вариативности НДС массива горных пород в окрестности одиночной выработки в условиях шахт умеренного климата

Приведены результаты прогнозирования геомеханических параметров в окрестности одиночной выработки.

Исследование влияния глубины разработки (варианты 3, 9, 15 в табл. 2.1)

На рис. П1.1 и П1.2 приведены изолинии распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений K_σ и коэффициента остаточной прочности пород $K_{оп}$. Величина коэффициента концентрации распределяется относительно контура выработки почти на всех глубинах одинаково: зона с максимальным коэффициентом концентрации $K_\sigma=1,4$ расположена в угольном пласте на расстоянии 1-2 м от бока штрека.

Высота зоны разгрузки в кровле и почве выработки увеличивается пропорционально глубине разработки.

Установлено, что вертикальные напряжения в боках выработки равны 7,0; 17,5 и 35 МПа соответственно при глубинах 200, 500 и 1000 м. С учётом исходной прочности угля при сжатии 10 МПа установка крепи в боках одиночной выработки является обязательной на глубине разработки более 300 м. В других условиях установка крепи в боках выработки требуется при условии $K_\sigma \gamma H \geq \sigma_{сж}$, где $\sigma_{сж}$ – предел прочности при сжатии угля или пород в боках выработки [119].

Результаты расчёта предельных вертикальных напряжений в боках выработки подтверждаются формой и размерами зон распределения коэффициента остаточной прочности угля и пород в окрестности выработки (рис. П1.2). На глубине $H=200$ м на рис. П1.2-а разрушения угля в боках выработки отсутствуют, кровля устойчивая.

При увеличении глубины до 1000 м в боках одиночной выработки ширина зоны предразрушения достигает 3 м (рис. П1.2-в). Высота зоны разрушения пород в

кровле увеличилась до 3 м, а высота зоны предразрушения до 7 м, что рекомендуется учитывать при выборе параметров анкерной крепи 1 и 2 уровней.

Высота зоны предразрушения в кровле одиночной выработки в зоне умеренного климата увеличивается прямо пропорционально увеличению глубины разработки (рис. 4.1).

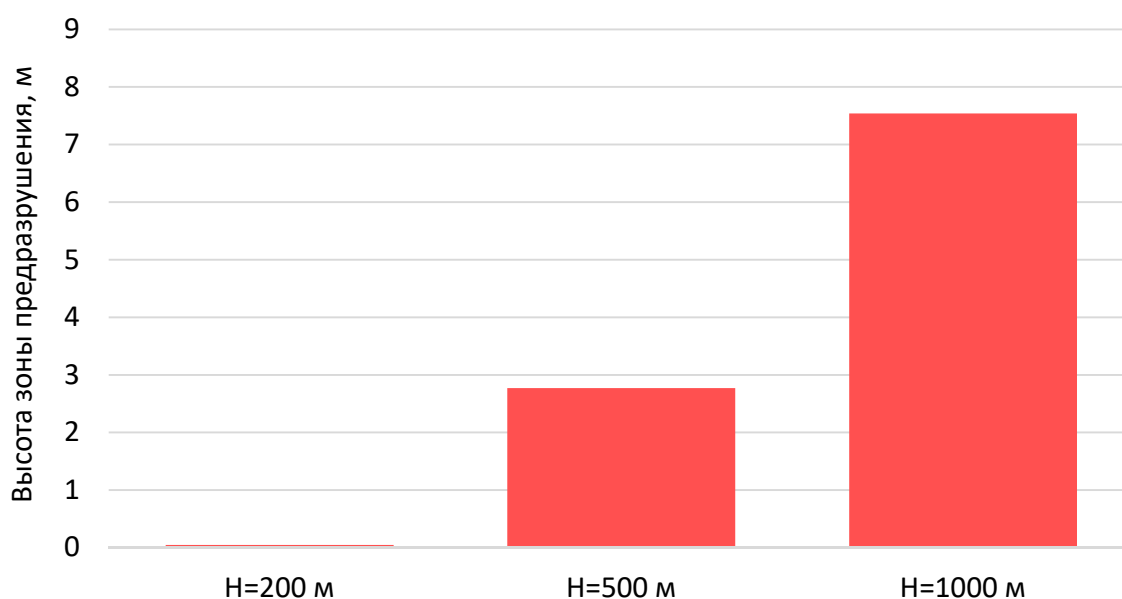


Рис. 4.1. Гистограмма высот зон предразрушения в кровле одиночной выработки в зоне умеренного климата при проведении её на глубине 200 м (вариант 3), 500 м (вариант 9 базовый), 1000 м (вариант 15)

Исследование влияния мощности пласта (варианты 17, 19, 21 в табл. 2.1)

Проведено моделирование распределения геомеханических параметров при трёх вариантах мощности пласта: 1,2 м (вариант 17); 2,2 м (вариант 19), 3,5 м (вариант 21). Анализ полученных результатов моделирования показывает, что изменение мощности пласта не приводит к существенному изменению коэффициента концентрации вертикальных напряжений и коэффициента остаточной прочности пород. На рис. П1.3 и П1.4 приведены изолинии распределения геомеханических

параметров. Максимальные величины коэффициента концентрации выявлены на сопряжении кровли и боков при меньшей мощности пласта (рис. П1.3-а), а высота зоны предразрушения пород кровли в выработке, пройденной по тонкому пласту (рис. П1.4-а), почти в 2 раза больше, по сравнению с выработкой на мощном пласте.

Высота зоны предразрушения в кровле одиночной выработки в зоне умеренного климата увеличивается обратно пропорционально увеличению мощности пласта (рис. 4.2).

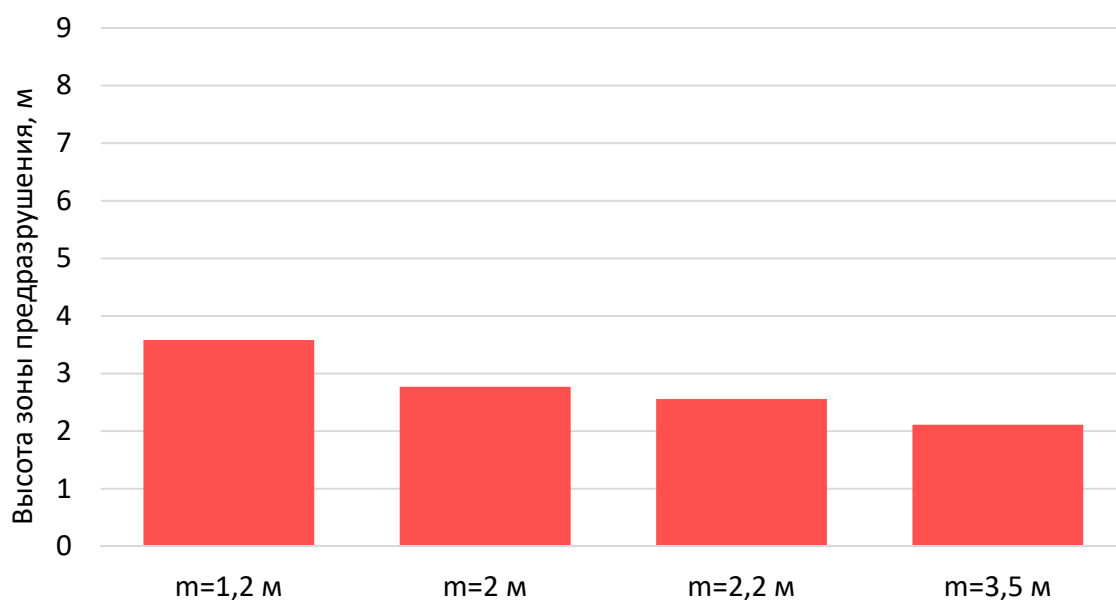


Рис. 4.2. Гистограмма высот зон предразрушения в кровле одиночной выработки в зоне умеренного климата при проведении её по пласту 1,2 м (вариант 17), 2 м (вариант 9 базовый), 2,2 м (вариант 19), 3,5 м (вариант 21)

Исследование влияния коэффициента структурного ослабления породного массива (варианты 25, 27, 29 в табл. 2.1)

Коэффициент структурного ослабления массива горных пород позволяет учитывать трещиноватость пород в зонах пиликативных нарушений. Рассмотрены три

варианта коэффициента структурного ослабления: 0,4 м (вариант 25); 0,7 м (вариант 27), 0,9 м (вариант 29).

По результатам анализа полученных показателей моделирования установлено, что изменение коэффициента структурного ослабления существенно не влияет на характер распределения и величины коэффициента концентрации вертикальных напряжений (рис. П1.5). Однако уменьшение коэффициента структурного ослабления в 2,25 раза приводит к увеличению высоты зоны предразрушения пород в кровле в 3 раза (рис. П1.6).

***Исследование влияния сложного строения пласта, включающего
в середине прослоек породы мощностью 0,5 м, но разной прочности
(варианты 31, 41, 33 в табл. 2.1)***

Предел прочности пород в прослойке изменялся в пределах 20-40 МПа. Сравнены графики распределения изолиний коэффициента концентрации вертикальных напряжений и коэффициента остаточной прочности пород (см. попарно рис. П1.1 и П1.7, П1.2 и П1.8).

По результатам сравнения графиков на рис. П1.1, П1.2, П1.6, П1.8 установлено, что породный прослойк является армирующим элементом, в пределах которого повышается коэффициент концентрации вертикальных напряжений в краевой части пласта. На состояние пород в кровле выработки влияние породного прослойка не выявлено.

***Исследование влияния дизъюнктивного
нарушения (варианты 11, 13 в табл. 2.1)***

Геологическое нарушение дизъюнктивного типа в окрестности одиночной выработки оказывает существенное влияние на её устойчивость. На рис. П1.9

показано распределение коэффициента концентрации вертикальных напряжений и коэффициента остаточной прочности пород. По результатам сравнения изолиний базового варианта на рис. П1.1, П1.2 с изолиниями на рис. П1.9, П1.10 установлено, что в зоне влияния дизъюнктива коэффициент концентрации вертикальных напряжений увеличивается в 1,3 раза, а ширина зоны предразрушения угольного пласта между выработкой и нарушением достигает двух метров (мощности пласта).

***Исследование влияния слабых породных прослоев
в кровле пласта (варианты 35, 37, 39 в табл. 2.1)***

Слабые породные слои, угольные пласты, поверхности расслоения пород по контактам в кровле горной выработки являются одним из осложняющих факторов, влияющим на устойчивость и вывалы пород кровли. Пространственное положение ослабленных породных слоёв определяется по результатам эндоскопии скважин и испытаний кернов согласно методике, изложенной в третьей главе. Однако для выбора плотности установки, типов и длины анкеров необходимо прогнозировать параметры напряжённо-деформированного состояния массива горных пород над выработкой. С этой целью проведено моделирование с расположением слоя аргиллита мощностью один метр с пределом прочности при сжатии 12 МПа соответственно на расстоянии 4 м (вариант 35), 8 м (вариант 37) и 12 м (вариант 39) от кровли выработки.

По результатам численного моделирования указанных вариантов модели массива горных пород установлено, что до начала расслоения пород в кровле характер распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений одинаковый, как при отсутствии слабых породных прослоев (см. рис. П1.1-б базового варианта, П1.11). Однако влияние слабого породного прослоя коэффициент остаточной прочности пород кровли проявляется в виде дополнительных зон разрушения (рис. П1.12). При расстоянии от кровли выработки до прослоя, примерно

равном ширине выработки, формируется общая зона предразрушения в породном прослое и в своде выработки (рис. П1.12-а). Если высота расположения прослая относительно выработки увеличивается, то формируются две локальные зоны предразрушения пород непосредственно в своде и в породном прослое (рис. П1.12-б). Выявленная закономерность использована при выборе параметров анкерной крепи 1 и 2 уровней на шахтах Кузбасса.

***Влияние укрепления трещиноватого бока выработки
клеевым составом (вариант 23)***

На рис. П1.13 представлены изолинии распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений и коэффициента остаточной прочности пород в окрестности одиночной выработки, проведённой по угольному пласту в пределах его трещиноватого участка. Предел прочности угля при сжатии до укрепления клеевым составом 7,5 МПа, после – 11,25 МПа.

**4.2 Атлас вариативности НДС массива горных пород в окрестности
подготовительной выработки под влиянием веса зависающих пород
кровли ранее отработанного выемочного столба в условиях шахт
умеренного климата**

В процессе и после отработки выемочного столба, вследствие зависания подработанных пород кровли над очистным выработанным пространством, геомеханическая ситуация в окрестности охраняемого угольным целиком штрека резко изменилась (рис. П1.14, П1.15).

Величина коэффициента концентрации вертикальных напряжений в окрестности охраняемого целиком штрека увеличилась в 1,3 раза (см. рис. П1.1-б и П1.14). Следует отметить, что в кровле охраняемой выработки формируется

свод разгрузки высотой до 6 м (рис. П1.14). При отсутствии влияния очистного выработанного пространства в кровле выработки сжимающие вертикальные напряжения в своде не выявлены (см. рис. П1.1-б). Угольный целик шириной 32,5 м находится в стадии предразрушения (рис. П1.15), несущее ядро в целике отсутствует. В окрестности охраняемого штрека ширина зоны предразрушения в боках выработки увеличилась под влиянием веса пород над очистным выработанным пространством до 4 м, а зона отжима до 2 м (см. рис. П1.2-б и П1.15).

С учётом изменившейся техногенной ситуации для оценки влияния осложняющих факторов на напряжённо-деформированное состояние массива горных пород было проведено моделирование 18 вариантов с изменением в каждом варианте одного из факторов, при неизменных значениях других, указанных в базовом варианте. Дополнительно проводилось сравнение геомеханических параметров в окрестности одиночной подготовительной выработки и с учётом влияния очистного выработанного пространства при изменении отдельных факторов, указанных в табл. 2.1.

Учитывая большой объём информации, получаемой по результатам численного моделирования 18 вариантов, анализ распределения геомеханических параметров проводился посредством их сравнения в характерных точках 1-7, указанных на рис. П1.14 и П1.15. Результаты анализа геомеханических параметров для шахт умеренного климата представлены в виде табл. 4.1.

Таблица 4.1. Сравнение результатов моделирования геомеханических параметров в зоне влияния подготовительной выработки, очистного выработанного пространства и угольного целика для шахт умеренного климата

Фактор, пределы изменения: максимальный/минимальный	Номер точки на рис. 4.14	Геомеханические параметры шахт умеренного климата	
		коэффициент концентрации вертикальных напряжений K_{σ}	коэффициент остаточной прочности пород $K_{оп}$
Глубина разработки Н: 1000/200 м, варианты 16, 4	1	0,4/0,4	0,6/0,9
	2	1,6/1,4	0,4/0,7
	3	0,3/0,6	0,5/0,8
	4	1,6/2,2	0,4/0,5
	5	1,6/2,6	0,4/0,4
	6	2,8/3,4	0,4/0,5
	7	5,2/5,5	0,3/0,4
Мощность пласта m: 3,5/1,2 м, варианты 22, 18	1	0,5/0,2	0,7/0,7
	2	1,6/2,0	0,7/0,7
	3	0,3/0,2	0,7/0,8
	4	1,6/2,2	0,7/0,5
	5	1,3/1,8	0,8/0,4
	6	1,8/3,0	0,6/0,2
	7	4,8/5,7	0,5/0,4
Дизъюнктивное нарушение: с нарушением/ без нарушения, варианты 14, 10	1	0,2/0,2	0,6/0,7
	2	2,0/1,8	0,6/0,5
	3	0,4/0,3	0,6/0,6
	4	2,2/1,8	0,5/0,5
	5	9,0/1,8	0,2/0,5
	6	2,0/2,0	0,3/0,1
	7	5,2/5,7	0,4/0,4

***Исследование влияния глубины разработки
(варианты 4, 10, 16 в табл. 2.1)***

Результаты моделирования по вариантам выделенных на рис. П1.14 и П1.15 зон вариантов модели 4, 10, 16, систематизированы в табл. 4.2, а наиболее существенное влияние глубины разработки показано на графиках рис. 4.3 и 4.4.

По результатам парного сравнения графиков на рис. 4.3-а и 4.4-а, а также данных табл. 4.1 установлено, что при увеличении глубины разработки эпюры распределения коэффициентов концентрации вертикальных напряжений подобны, однако отчётливо выявляется обратно пропорциональная зависимость коэффициента концентрации вертикальных напряжений при увеличении глубины разработки и прямо пропорциональная зависимость от ширины угольного целика.

При ширине целика 32 м и глубине разработки 1000 м вертикальные напряжения в середине целика достигают 40 МПа, что почти в 4 раза больше предела прочности угля в целике и приводит к его разрушению. Это подтверждается графиками на рис. П1.15.

На рис. П1.16, П1.17 представлено распределение параметров НДС в окрестности охраняемого целиком штрека при изменении глубины разработки.

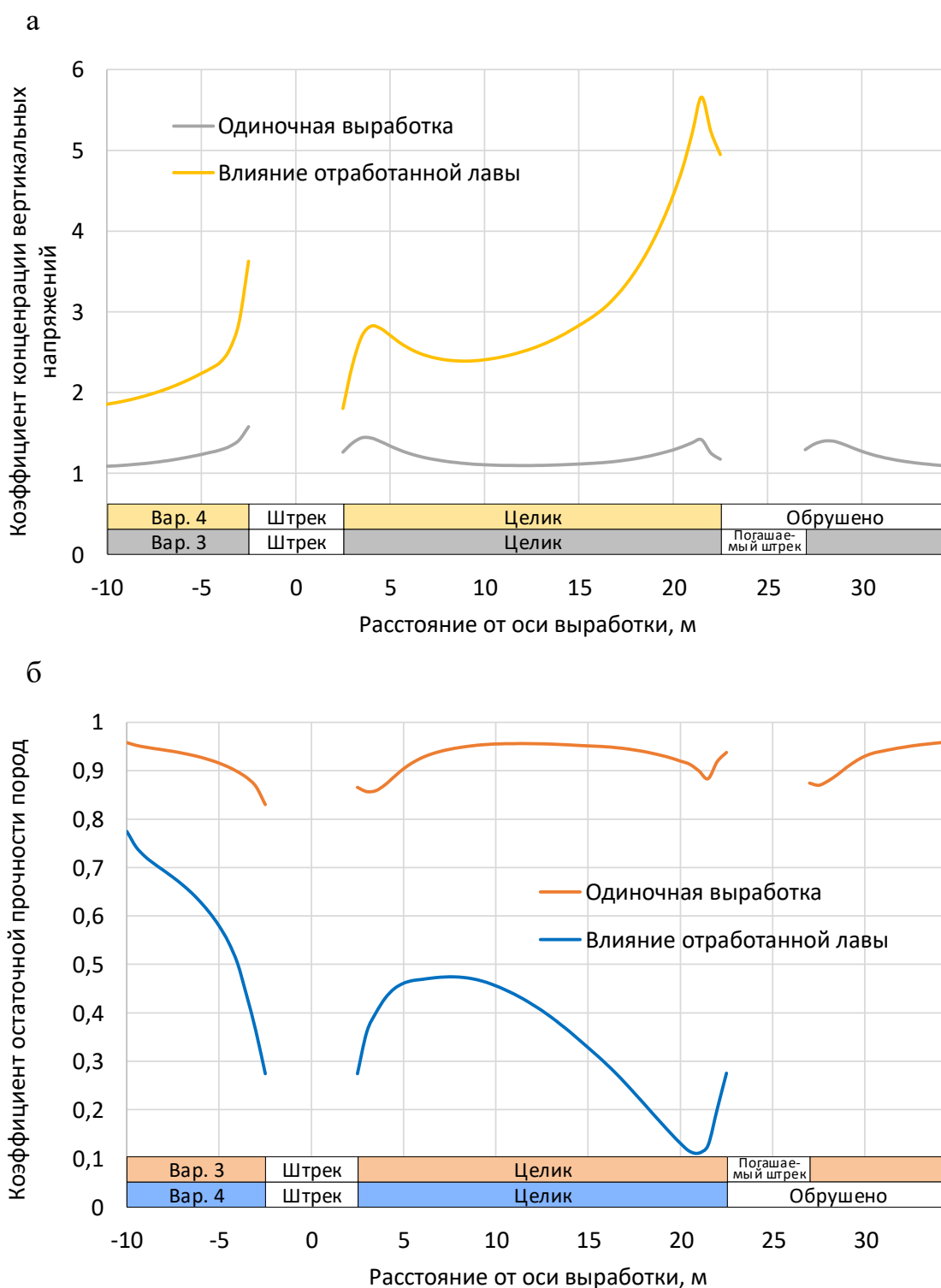


Рис. 4.3. Графики изменения коэффициента концентрации вертикальных напряжений (а) и коэффициента остаточной прочности пород (б) в зоне влияния подготовительных выработок, очистного выработанного пространства и угольного целика для шахт умеренного климата, глубина разработки $H=200$ м, ширина целика 20 м, варианты 3, 4

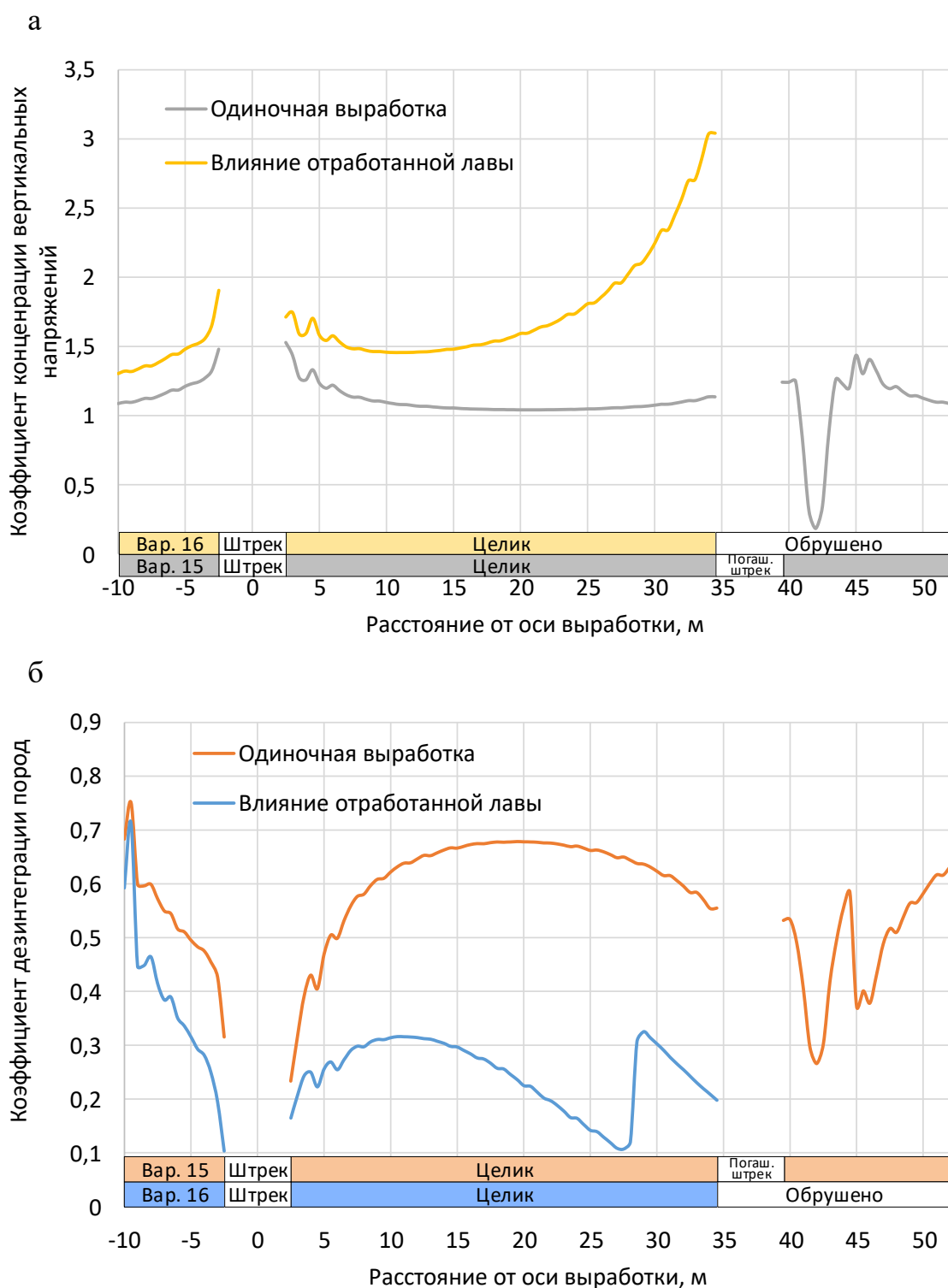


Рис. 4.4. Графики изменения коэффициента концентрации вертикальных напряжений (а) и коэффициента остаточной прочности пород (б) в зоне влияния подготовительных выработок, очистного выработанного пространства и угольного целика для шахт умеренного климата, глубина разработки $H=1000$ м, ширина целика 32,5 м, варианты 15, 16

Высота зоны предразрушения в кровле охраняемой целиком выработки в зоне умеренного климата увеличивается прямо пропорционально увеличению глубины разработки (рис. 4.5).

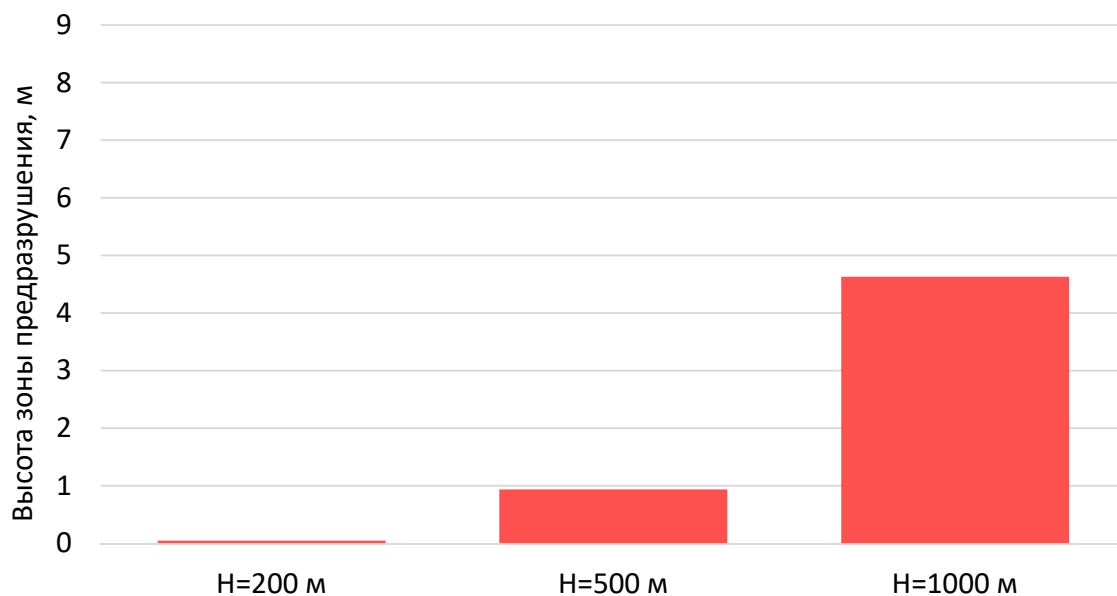


Рис. 4.5. Гистограмма высот зон предразрушения в кровле охраняемой целиком выработки в зоне умеренного климата при проведении её на глубине 200 м (вариант 4), 500 м (вариант 10 базовый), 1000 м (вариант 16)

***Исследование влияния мощности пласта
(варианты 18, 20, 22 в табл. 2.1)***

Как установлено в параграфе 4.1 настоящей работы изменение мощности пласта в пределах 1,2-3,5 м не оказывает существенного влияния на геомеханические параметры в окрестности одиночной подготовительной выработкой. При взаимодействии с техногенными факторами в виде подготовительных выработок, очистного выработанного пространства и угольного целика влияние мощности также проявляется несущественно. Это следует из табл.4.2 и графиков, представленных на рис. 4.6 и 4.7.

Как следует из рис. 4.6 и 4.7 графики изменения соответствующих геомеханических параметров при мощности пласта 3,5 и 1,2 м подобные. Количественные отличия следующие: при меньшей мощности пласта коэффициенты концентрации вертикальных напряжений вблизи выработок в 1,3-1,5 раза больше, что повлияло на коэффициент остаточной прочности угольного пласта в боках охраняемого целиком штрека, которая в 1,3 раза меньше в тонком пласте по сравнению с мощным пластом.

На рис. П1.18, П1.19 представлено распределение параметров НДС в окрестности охраняемого целиком штрека при изменении мощности пласта.

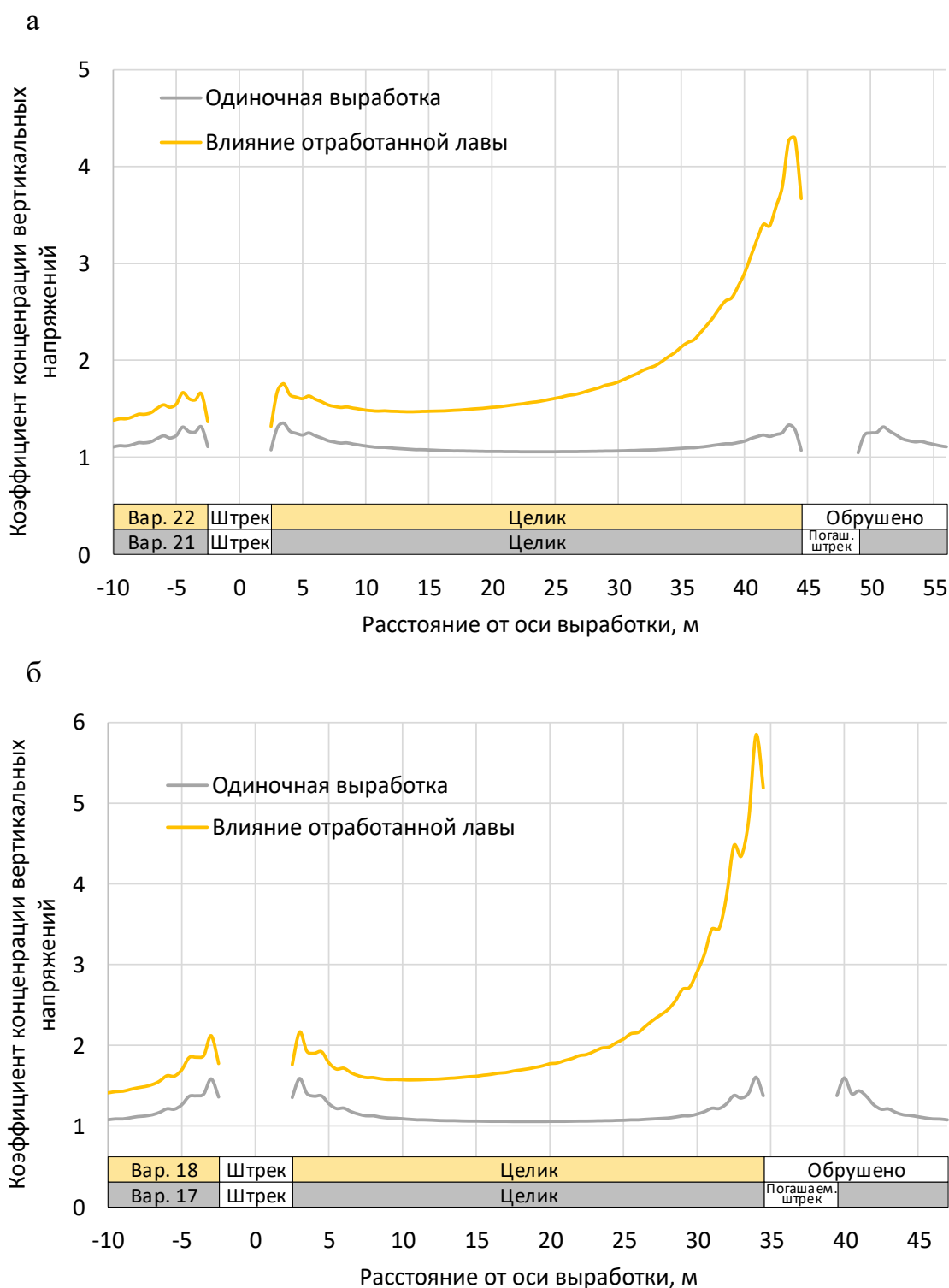


Рис. 4.6. Графики изменения коэффициента концентрации вертикальных напряжений в зоне влияния подготовительных выработок, очистного выработанного пространства и угольного целика для шахт умеренного климата, глубина разработки $H=500$ м, ширина целика 32 м: а – мощность пласта 3,5 м, варианты 21, 22; б – мощность пласта 1,2 м, варианты 17, 18

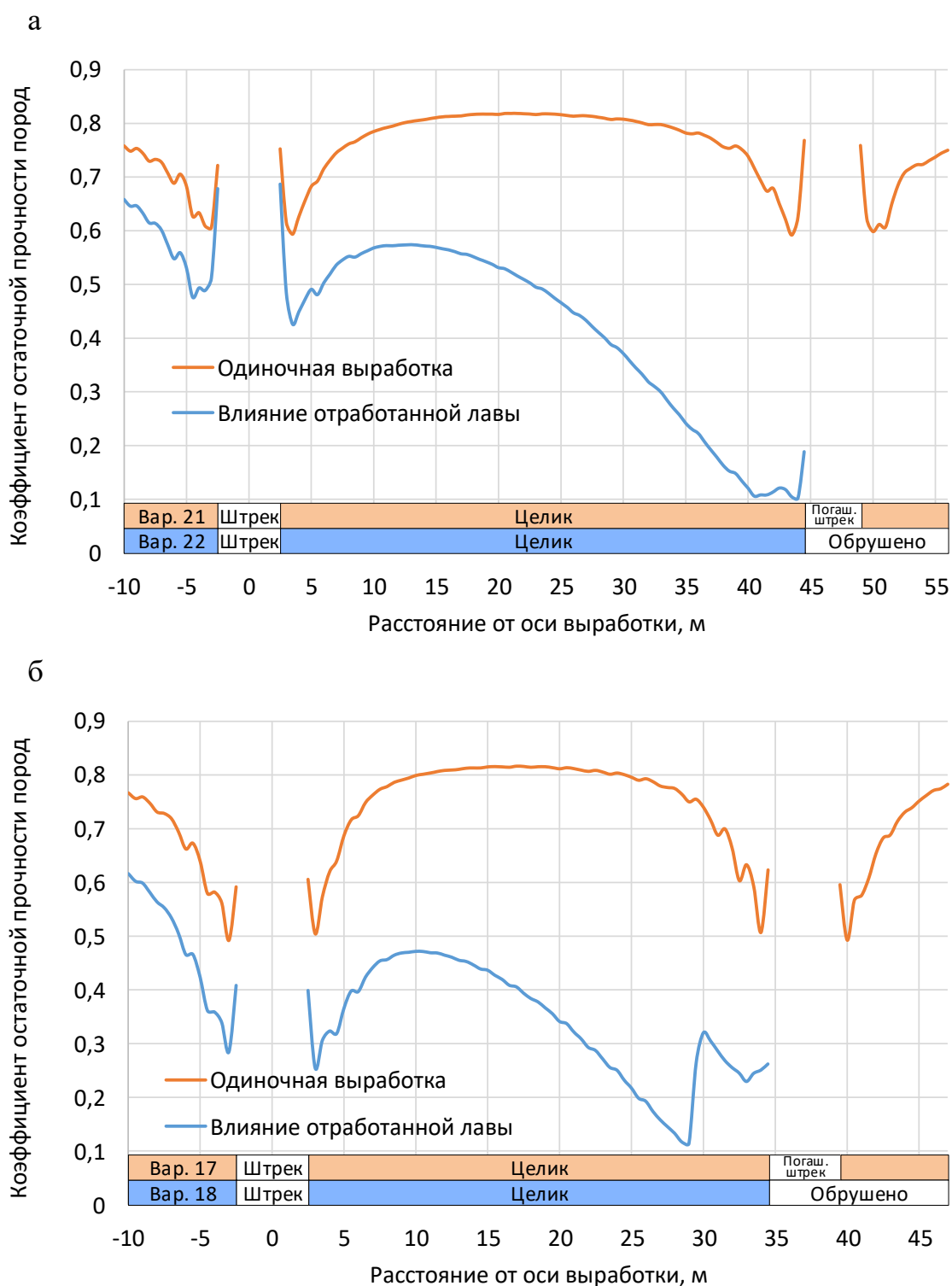


Рис. 4.7. Графики изменения коэффициента остаточной прочности пород в зоне влияния подготовительных выработок, очистного выработанного пространства и угольного целика для шахт умеренного климата, глубина разработки $H=500$ м, ширина целика 32 м: а – мощность пласта 3,5 м, варианты 21, 22; б – мощность пласта 1,2 м, варианты 17, 18

Высота зоны предразрушения в кровле охраняемой целиком выработки в зоне умеренного климата увеличивается обратно пропорционально увеличению мощности пласта (рис. 4.8).

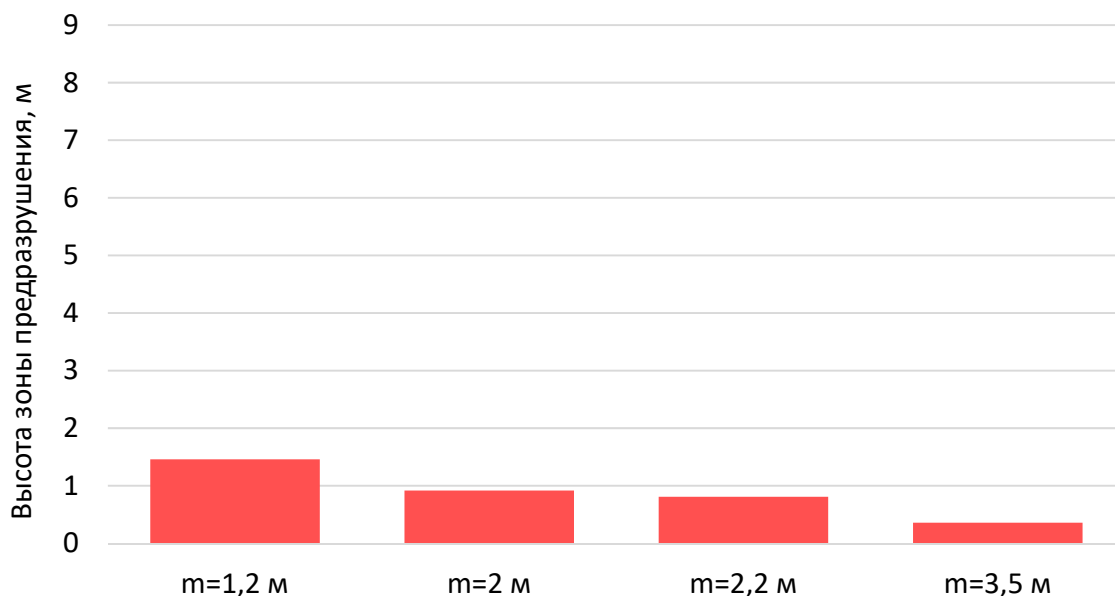


Рис. 4.8. Гистограмма высот зон предразрушения в кровле охраняемой целиком выработки в зоне умеренного климата при проведении её по пласту 1,2 м (вариант 18), 2 м (вариант 10 базовый), 2,2 м (вариант 20), 3,5 м (вариант 22)

Исследование влияния дизъюнктивного нарушения

(варианты 12, 14 в табл. 2.1)

Проведено исследование влияния дизъюнктивного нарушения, расположенного в угольном целике под углами 45° и 90° .

Выявлены отличия характера распределения геомеханических параметров в зоне влияния подготовительных выработок, очистного выработанного пространства и угольного целика для шахт умеренного климата в базовом варианте 10 и с учётом влияния дизъюнктива. На рис. П1.20 и 4.5 представлены

результаты моделирования влияния нарушения шириной 10 м, расположенного в под углом 45° к вертикальной оси координат. Согласно изолиниям распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений на рис. П1.14 и П1.20-а, влияние дизъюнктива проявляется в перераспределении и формировании концентраторов напряжений в угольном целике между подготовительными выработками и поверхностями разрыва сплошности горного массива. Горные породы в окрестности нарушения и уголь в пласте почти полностью разрушены (рис. П1.20-б). Следует отметить, что блочная структура пород в пределах нарушения способствует неравномерному распределению вертикальных напряжений (рис. 4.9). Наличие блоков, разделённых трещинами, является зоной накопления флюидов (воды, газа), что может быть причиной разрушения угольного целика в динамической форме.

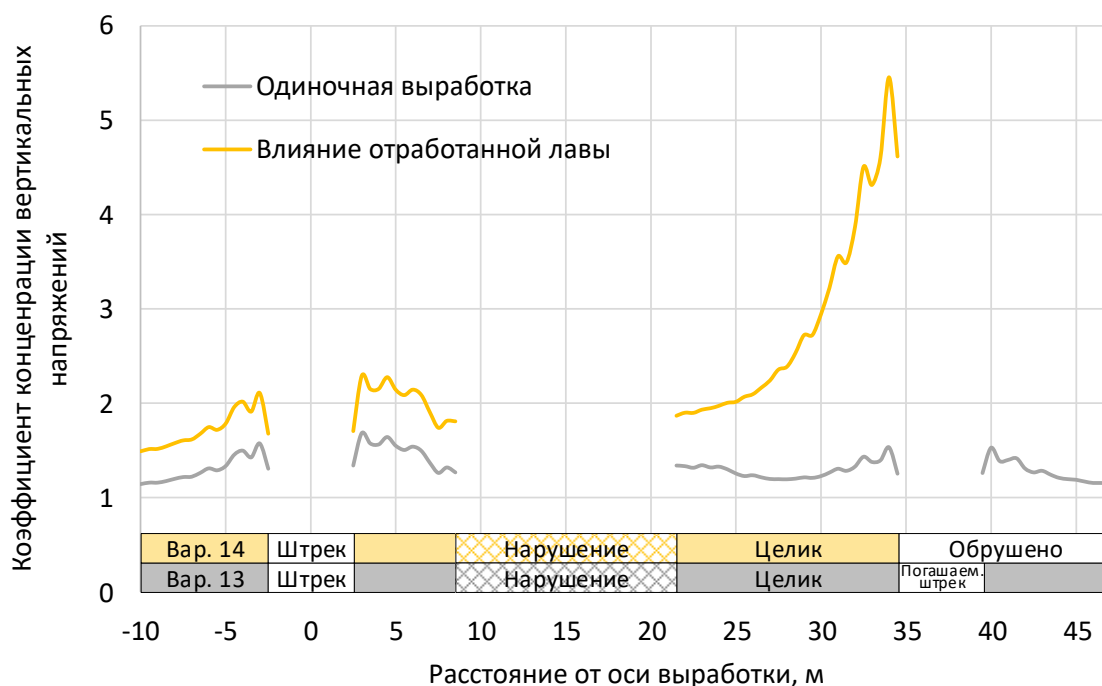


Рис. 4.9. Графики распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений в зоне влияния подготовительных выработок, очистного выработанного пространства, угольного целика и дизъюнктива, варианты 13, 14

На рис. П1.21 и П1.22 представлены изолинии распределения параметров НДС в окрестности охраняемой целиком подготовительной выработки при проведении её вблизи дизъюнктива.

Таким образом, дизъюнктив в угольном целике является одним из основных негативных факторов, повышающих вероятность возникновения газодинамических явлений.

Установлено, что влияние на геомеханические параметры в окрестности одиночных выработок коэффициента структурного ослабления породного массива, породных прослоек в угольном пласте, слабых породных прослоек в кровле пласта, упрочнения трещиноватого угля клеевым составом незначительное. Анализ результатов моделирования воздействия указанных факторов на геомеханические параметры массива в зоне влияния подготовительных выработок, очистного выработанного пространства и угольного целика подтвердил нецелесообразность их детального исследования.

На рис. П1.23-П1.29 представлены параметры НДС массива в окрестности охраняемой целиком выработки при вариативности горно-геологических и горнотехнических условий:

- влияния коэффициента структурного ослабления породного массива (варианты 26, 28, 30) – рис. П1.23, П1.24;
- влияние сложного строения пласта, включающего в середине прослоек породы мощностью 0,5 м, но разной прочности (варианты 32, 42, 34) – рис. П1.25, П1.26;
- влияние слабых породных прослоек в кровле пласта (варианты 36, 38, 40) – рис. П1.27, П1.28;
- влияние укрепления трещиноватого бока выработки клеевым составом (вариант 24) – рис. П1.29.

4.3 Атлас вариативности НДС массива горных пород в окрестности подготовительной выработки в условиях шахт крилитоzone

Для оценки влияния температуры шахтной вентиляционной струи, машин, оборудования и процессов растепления массива горных пород в криолитозоне на геомеханические процессы в окрестности подземных выработок проведены дополнительные исследования по методике, изложенной в параграфе 3.3. Для этого дополнительно в вариантах моделей массива горных пород, указанных в табл. 2.1, рассмотрено влияние процесса растепления горных пород по зависимостям, указанных в работах [8, 44, 48, 52, 65, 67, 90, 92, 93].

Согласно графикам рис. 3.6 и 3.7 при увеличении температуры шахтой атмосферы происходит уменьшение прочности пород на контуре выработки, а при увеличении периода эксплуатации выработки зона растепления расширяется. В программный комплекс заложена следующая зависимость коэффициента остаточной прочности пород от температуры и времени:

$$K_{ck} = \frac{K_{оп}}{1 + a(T_v - T_m) + b\tau}, \quad (4.1)$$

где K_{ck} – коэффициент остаточной прочности пород, изменившийся под влиянием механических напряжений и температуры в криолитозоне;

$K_{оп}$ – коэффициент остаточной прочности пород зонах умеренного климата;

a – эмпирический коэффициент, $1/^\circ\text{C}$;

b – эмпирический коэффициент, $1/\text{сутки}$;

T_v – температура воздуха в горной выработке, $^\circ\text{C}$;

T_m – температура в нетронутым массиве горных пород, $^\circ\text{C}$, $T_m < 0$;

τ – период эксплуатации выработки, сутки.

По результатам исследований [94, 101] и шахтных наблюдений для условий северных шахт России при численном моделировании приняты следующие значения эмпирических коэффициентов: $a=0,05 \text{ град}^{-1}$; $b=0,005 \text{ сут}^{-1}$.

Программа исследований влияния осложняющих факторов на геомеханические параметры в условиях криолитозоны соответствовала программе, изложенной в параграфах 2.1 и 2.2. Дополнительно изучалось влияние изменений прочности пород в зоне растепления. Границы зоны растепления последовательно формировались по периметру выработки. Ширина зон по периметру выработок принималась равной 0,5; 1,0 и 2,0 м.

Приведены варианты при максимальном растеплении с шириной зоны 2,0 м.

Результаты анализа геомеханических параметров для шахт криолитозоны представлены в виде итоговой табл. 4.2.

Таблица 4.2. Сравнение результатов моделирования геомеханических параметров в зоне влияния подготовительной выработки, очистного выработанного пространства и угольного целика для шахт криолитозоны

Фактор, пределы изменения: максимальный/минимальный	Номер точки на рис. 4.14	Геомеханические параметры шахт криолитозоны	
		коэффициент концентрации вертикальных напряжений K_{σ}	коэффициент остаточной прочности пород $K_{оп}$
Глубина разработки Н: 1000/200 м, варианты 50, 78	1	0,3/0,4	0,4/0,8
	2	1,5/2,2	0,4/0,7
	3	0,3/0,6	0,4/0,8
	4	1,5/5,5	0,4/0,5
	5	1,8/3,0	0,4/0,4
	6	2,6/5,3	0,5/0,5
	7	6,8/6,7	0,3/0,4
Мощность пласта m: 3,5/1,2 м, варианты 56, 52	1	0,2/0,2	0,7/0,6
	2	1,4/1,8	0,6/0,6
	3	0,2/0,2	0,7/0,7
	4	1,6/1,6	0,7/0,6
	5	1,6/2,0	0,6/0,3
	6	2,6/3,3	0,4/0,2
	7	5,2/6,8	0,4/0,4
Дизъюнктивное нарушение: с нарушением/ без нарушения, варианты 48, 44	1	0,2/0,2	0,7/0,6
	2	2,0/1,6	0,5/0,6
	3	0,2/0,2	0,7/0,7
	4	2,2/1,8	0,5/0,5
	5	9,6/2,0	0,3/0,1
	6	2,6/3,5	0,1/0,2
	7	5,2/6,2	0,4/0,4

***Исследование влияния глубины разработки на геомеханические
параметры массива горных пород в условиях криолитозоны
(варианты 43, 44, 49, 50, 77, 78 в табл. 2.1)***

На рис. П1.30 и П1.31 приведены изолинии распределения коэффициентов концентрации вертикальных напряжений K_σ и коэффициента остаточной прочности пород $K_{оп}$ в окрестности одиночной выработки, расположенной соответственно на глубинах 200 м (вариант 77), 500 м (вариант 43 базовый) и 1000 м (вариант 49).

Характер распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений в криолитозоне при разных глубинах разработки сравнивался с графиками соответствующих рис. П1.1. Из сравнения рисунков установлено, что появление вблизи периметра выработки частично оттаявших пород приводит к расширению границ зоны разгрузки в кровле и почве выработки. В краевой части пласта максимумы эпюры опорного горного давления перемещаются вглубь угольного массива. Это связано с уменьшением прочности частично оттаявших пород в кровле и почве выработки.

По результатам сравнения графиков распределения вертикальных напряжений пород в окрестности выработки выявлена следующая закономерность: если породы в криолитозоне испытывают повышенные сжимающие напряжения, то энергия разрушения пород проявляется на участках растягивающих напряжений. Это отчётливо видно из графиков рисунков П1.31-в и П1.2-в, на которых растеплённые участки пласта в боках выработки по площади значительно меньше соответствующих участков в зоне умеренного климата.

Следует также отметить, что при меньшей глубине разработки (см. для сравнения рис. П1.31-а и П1.2-а) особенности характера распределения коэффициента остаточной прочности пород не выявлены.

Распределение коэффициента концентрации вертикальных напряжений в зоне влияния подготовительных выработок, очистного выработанного пространства, угольного целика в криолитозоне при разных глубинах разработки представлен на графиках рис. 4.10 (варианты 78 и 50).

Из графиков следует, что коэффициент концентрации вертикальных напряжений в угольном целике при увеличении глубины разработки в криолитозоне также уменьшается, как и на шахтах, расположенных в зонах умеренного климата.

Уменьшение коэффициента концентрации в угольном пласте объясняется его разрушением (П1.45), то есть произошло увеличение податливости пласта и релаксация в нём вертикальных напряжений. Согласно П1.46 для поддержания штрека потребуется применение рамной крепи и средств упрочнения угля и пород в зоне растепления.

Следует отметить, что процесс растепления горных пород в окрестности выработки подобен искусственному увеличению ширины выработки, креплению выработки по контуру податливой крепью. Такой алгоритм взаимодействия элементов крепи и массива горных пород изложен в монографии Ю. З. Заславского [102] и его можно применить для расчёта параметров крепи подземных выработок в криолитозоне, согласно рекомендациям [103, 104].

Высота зоны предразрушения в кровле одиночной выработки (рис. 4.11) и охраняемой целиком выработки (рис. 4.12) в криолитозоне увеличивается прямо пропорционально увеличению глубины разработки.

Коэффициент концентрации вертикальных напряжений при положительных температурах горного массива в 1,2-1,4 раза больше как в боках выработки (рис. 4.13), так и в почве-кровле выработки (рис. 4.15) по сравнению с аналогичными участками вблизи выработки при отрицательных температурах горного массива (рис. 4.14, 4.16) при различных глубинах разработки.

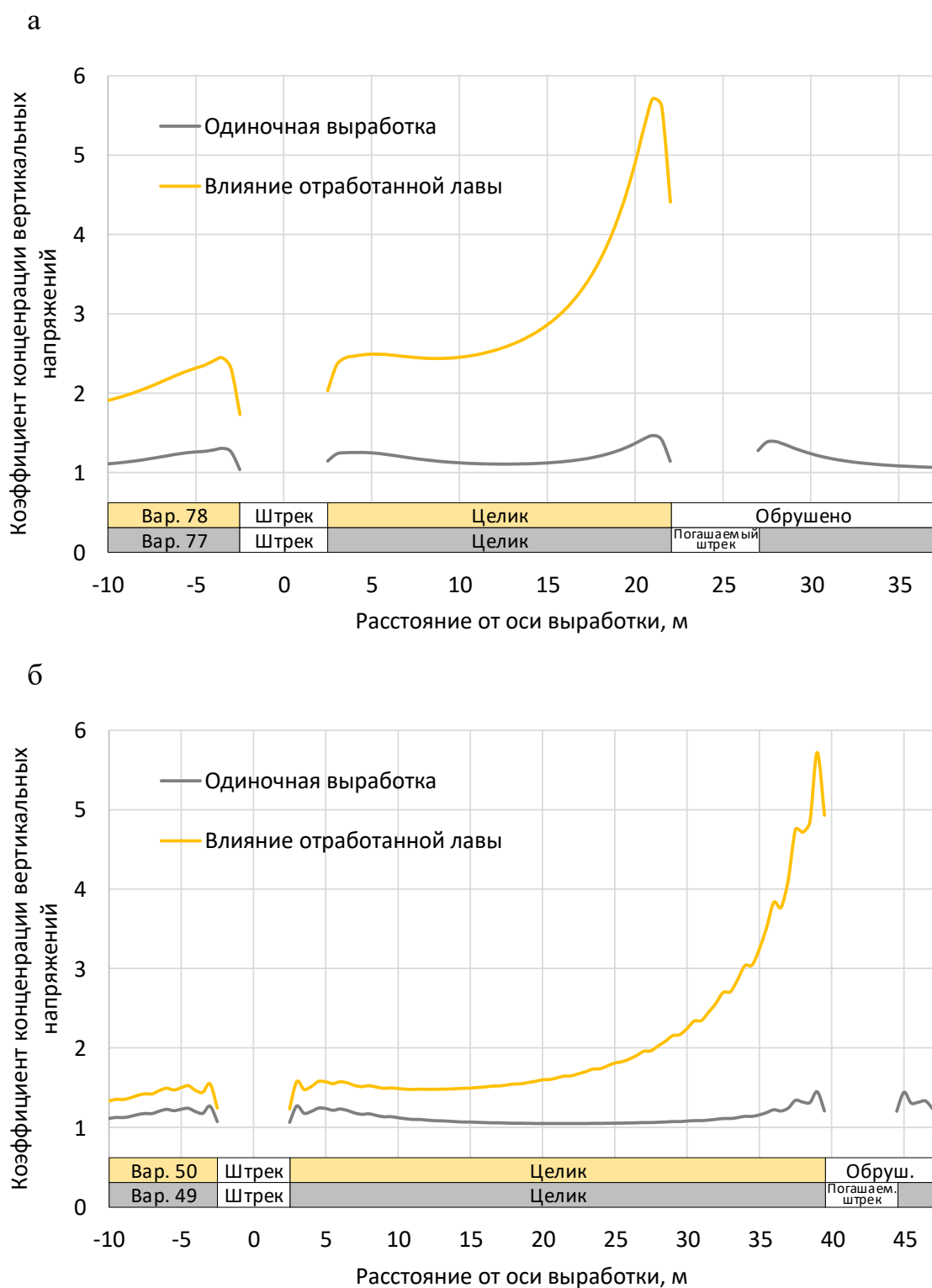


Рис. 4.10. Графики изменения коэффициентов концентрации вертикальных напряжений в зоне влияния подготовительных выработок, очистного

выработанного пространства, угольного целика в криолитозоне при глубинах разработки: а – 200 м (варианты 77, 78); б – 1000 м (варианты 49, 50)

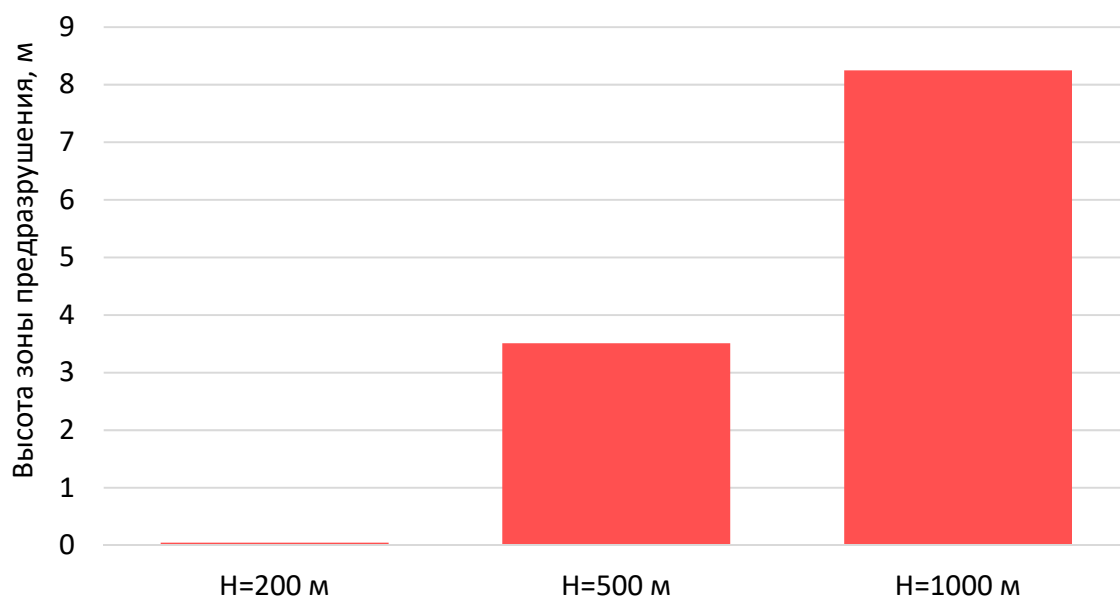


Рис. 4.11. Гистограмма высот зон предразрушения в кровле одиночной выработки в криолитозоне при проведении её на глубине 200 м (вариант 77), 500 м (вариант 43 базовый), 1000 м (вариант 49)

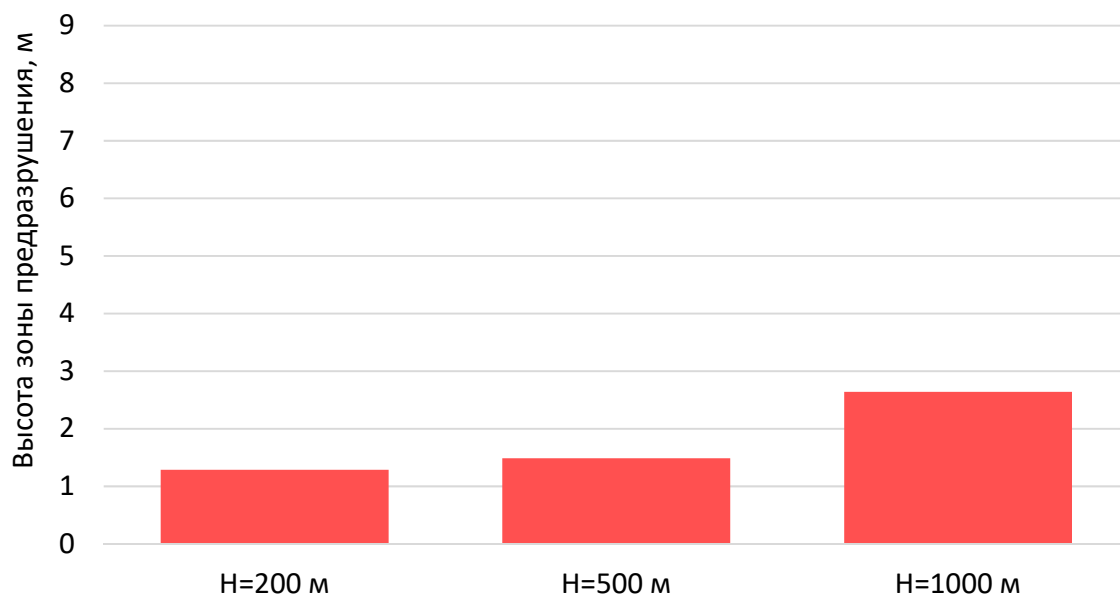


Рис. 4.12. Гистограмма высот зон предразрушения в кровле охраняемой целиком выработки в криолитозоне при проведении её на глубине 200 м (вариант 78), 500 м (вариант 44 базовый), 1000 м (вариант 50)

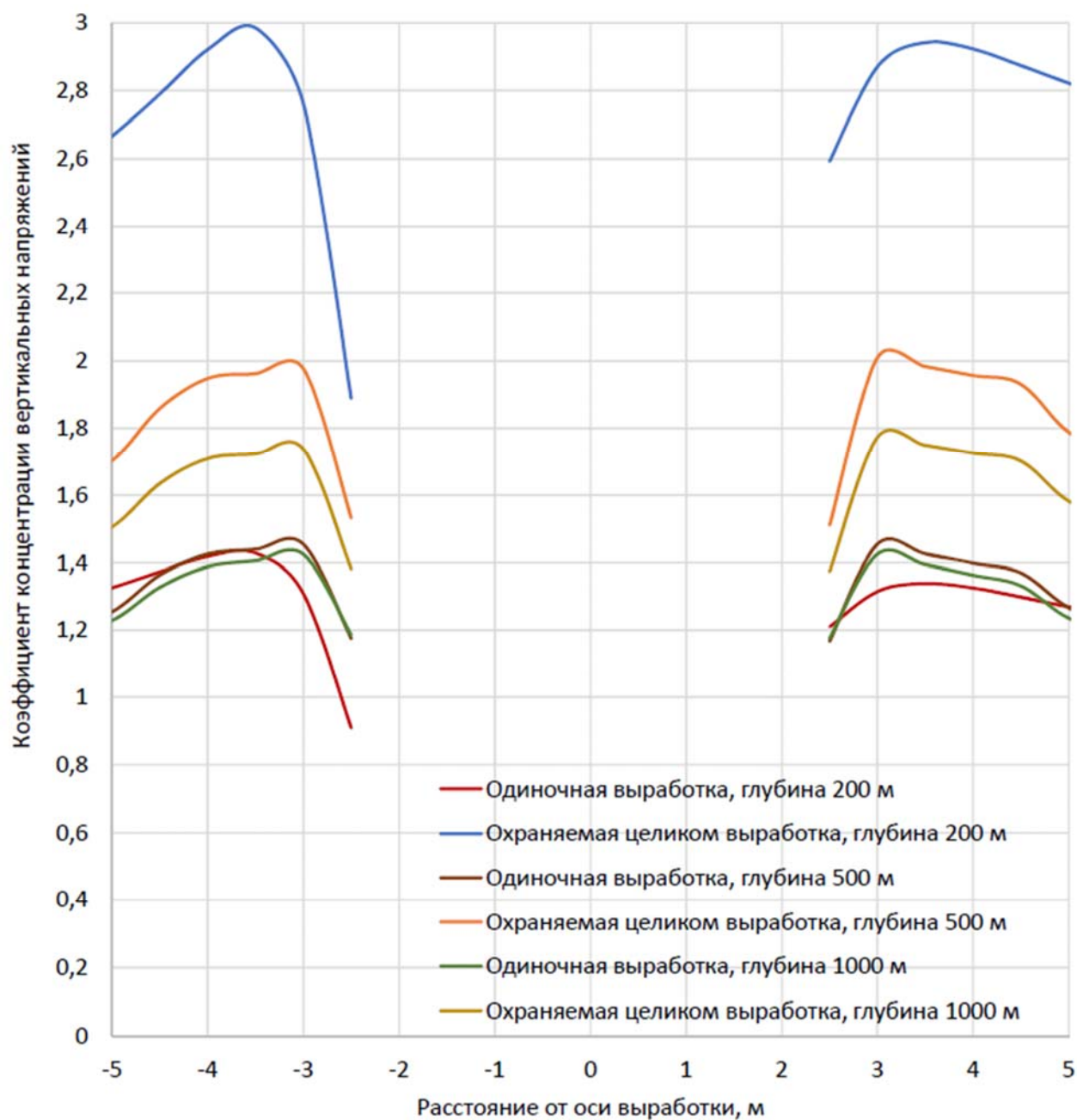


Рис. 4.13. Коэффициент концентрации вертикальных напряжений в боках выработки в умеренном климате при проведении её на глубине 200 м (варианты 3, 4), 500 м (варианты 9 базовый, 10 базовый), 1000 м (варианты 15, 16)

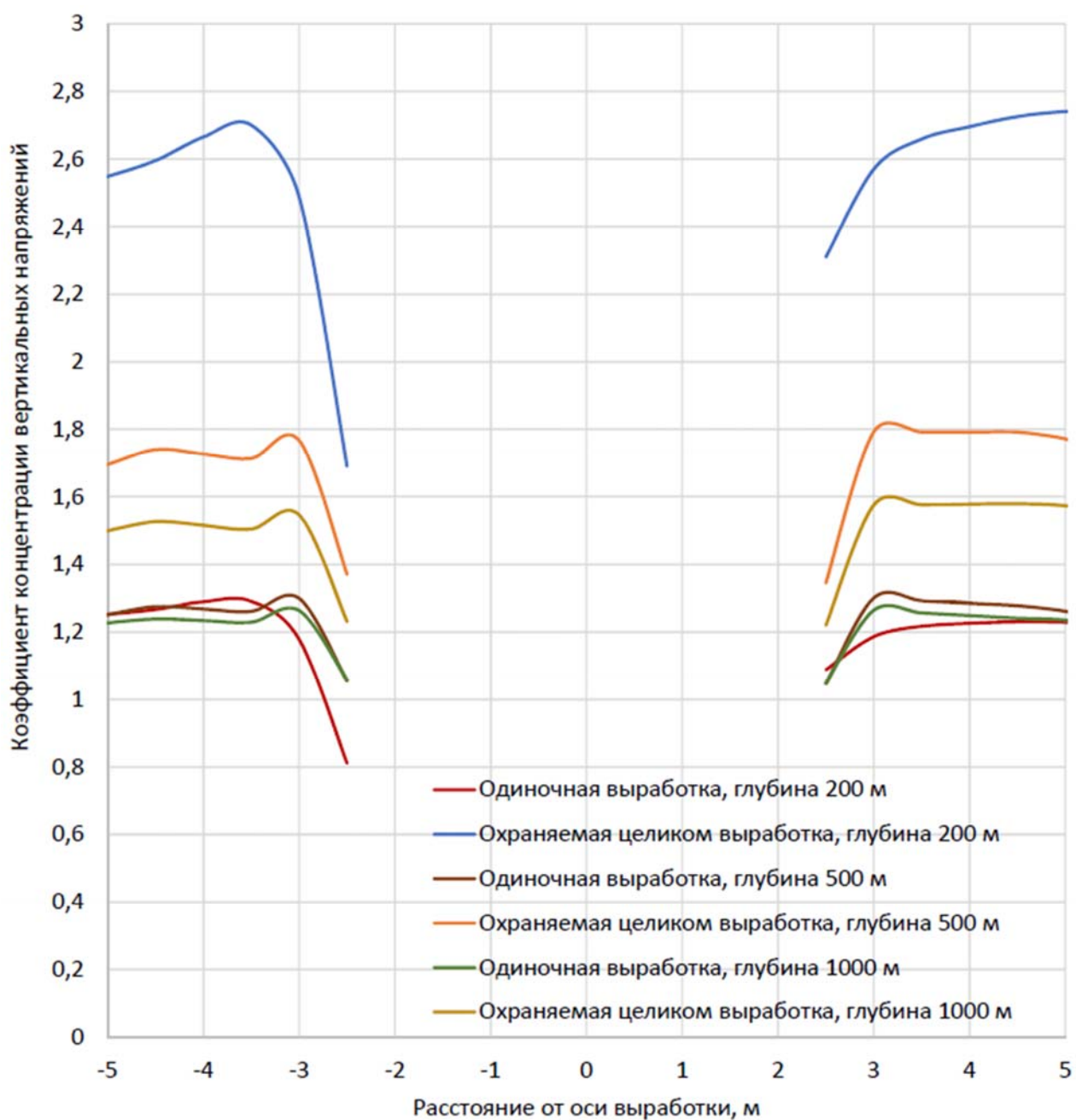


Рис. 4.14. Коэффициент концентрации вертикальных напряжений в боках выработки в криолитозоне при проведении её на глубине 200 м (варианты 77, 78), 500 м (варианты 43 базовый, 44 базовый), 1000 м (варианты 49, 50)

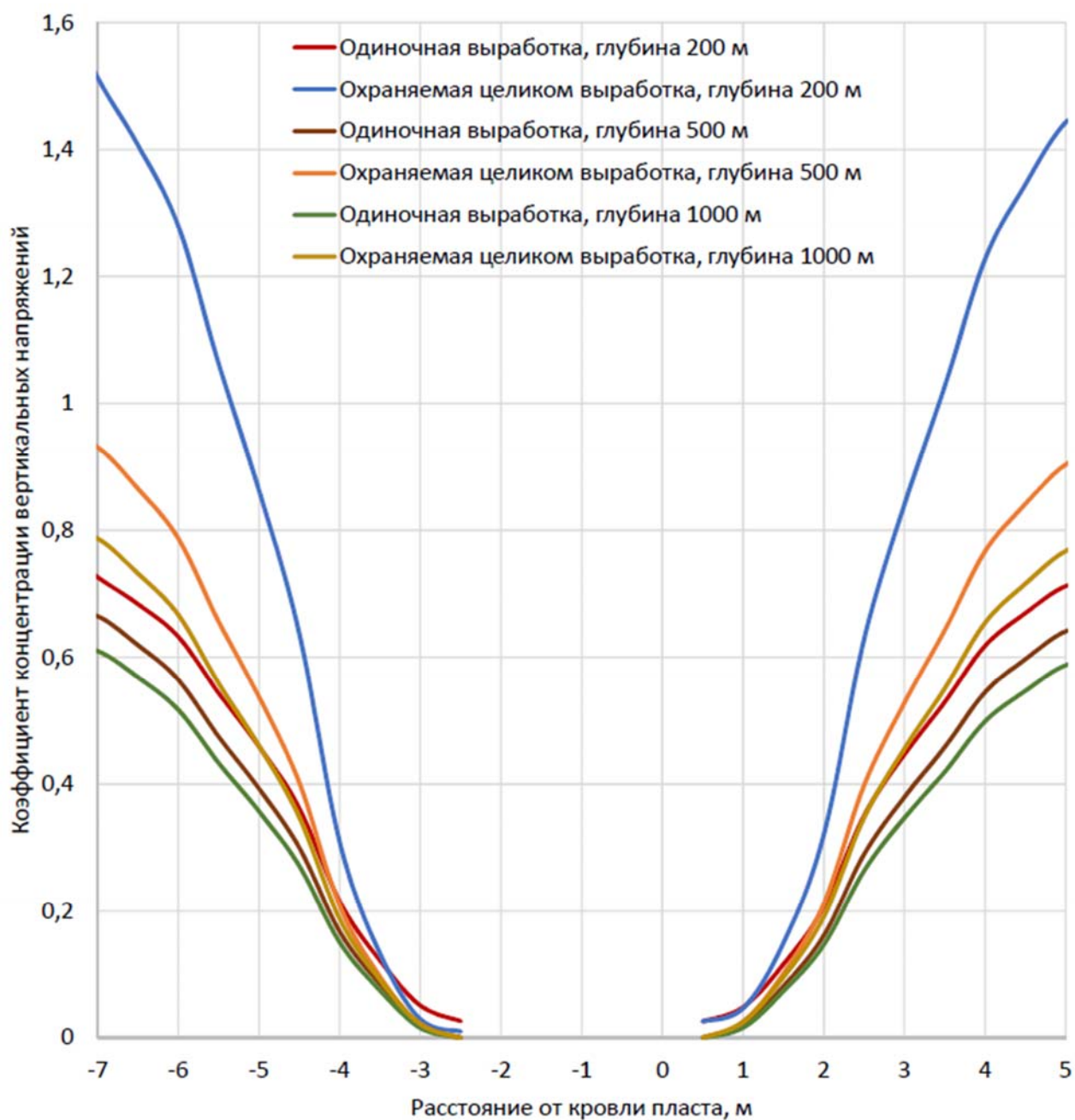


Рис. 4.15. Коэффициент концентрации вертикальных напряжений в почве и кровле выработки в умеренном климате при проведении её на глубине 200 м (варианты 3, 4), 500 м (варианты 9 базовый, 10 базовый), 1000 м (варианты 15, 16)

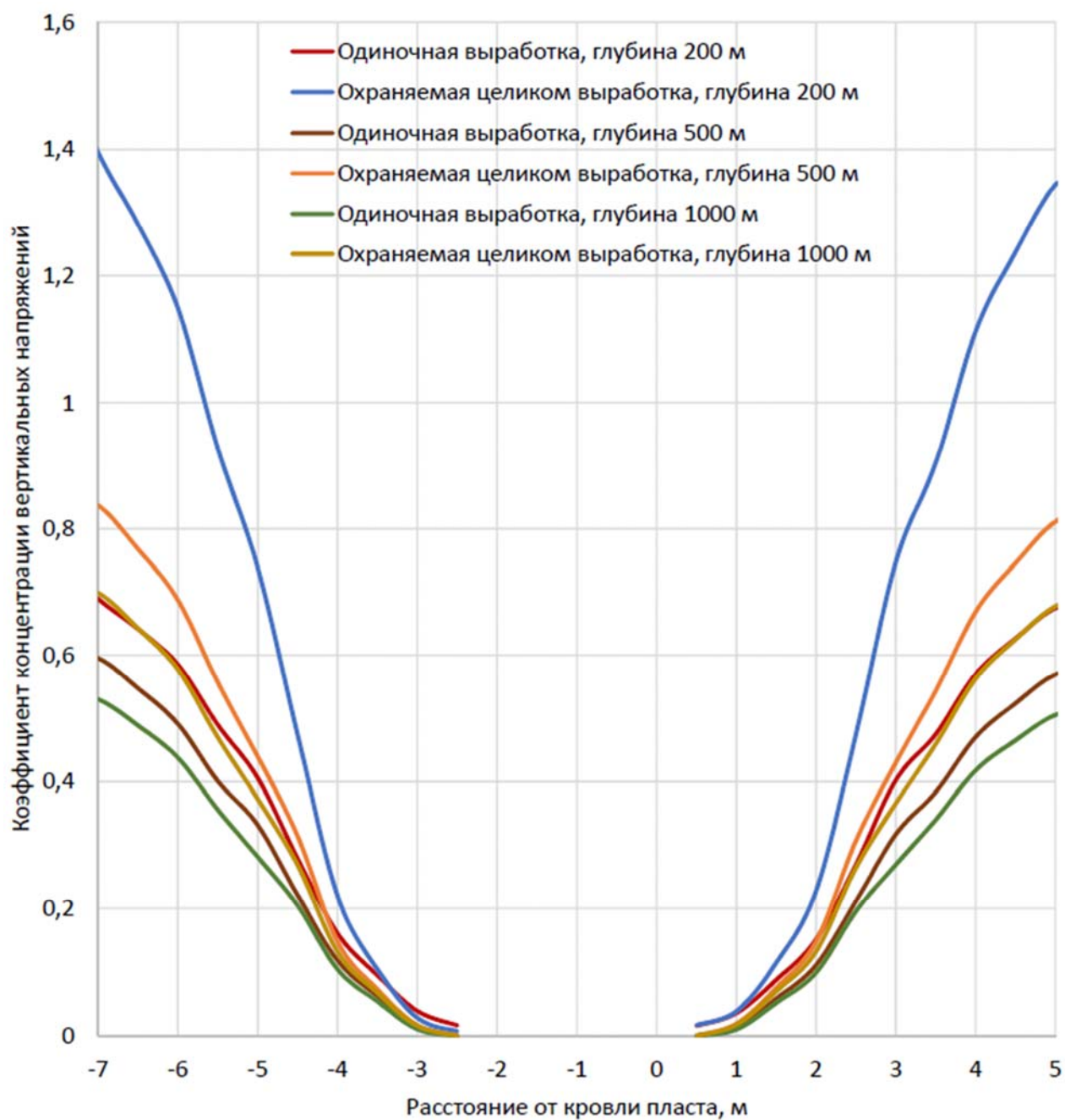


Рис. 4.14. Коэффициент концентрации вертикальных напряжений в почве и кровле выработки в криолитозоне при проведении её на глубине 200 м (варианты 77, 78), 500 м (варианты 43 базовый, 44 базовый), 1000 м (варианты 49, 50)

***Влияние мощности пласта разработки на геомеханические
параметры массива горных пород в условиях криолитозоны
(варианты 51-56 в табл. 2.1)***

На рис. П1.32 и П1.33 приведены изолинии распределения коэффициентов концентрации вертикальных напряжений K_σ и коэффициента остаточной прочности пород $K_{оп}$ в окрестности одиночной выработки, проведённой по пласту мощностью 1,2 м (вариант 51), 2,2 м (вариант 53), 3,5 м (вариант 55).

На рис. П1.45 и П1.46 приведены изолинии распределения коэффициентов концентрации вертикальных напряжений K_σ и коэффициента остаточной прочности пород $K_{оп}$ в окрестности охраняемой целиком выработки, проведённой по пласту мощностью 1,2 м (вариант 52), 2,2 м (вариант 54), 3,5 м (вариант 56).

Высота зоны предразрушения в кровле одиночной выработки (рис. 4.15) и охраняемой целиком выработки (рис. 4.16) в криолитозоне увеличивается обратно пропорционально увеличению мощности пласта.

Коэффициент концентрации вертикальных напряжений при положительных температурах горного массива в 1,2-1,4 раза больше как в боках выработки (рис. 4.17), так и в почве-кровле выработки (рис. 4.19) по сравнению с аналогичными участками вблизи выработки при отрицательных температурах горного массива (рис. 4.18, 4.20) при различных мощностях пластов.

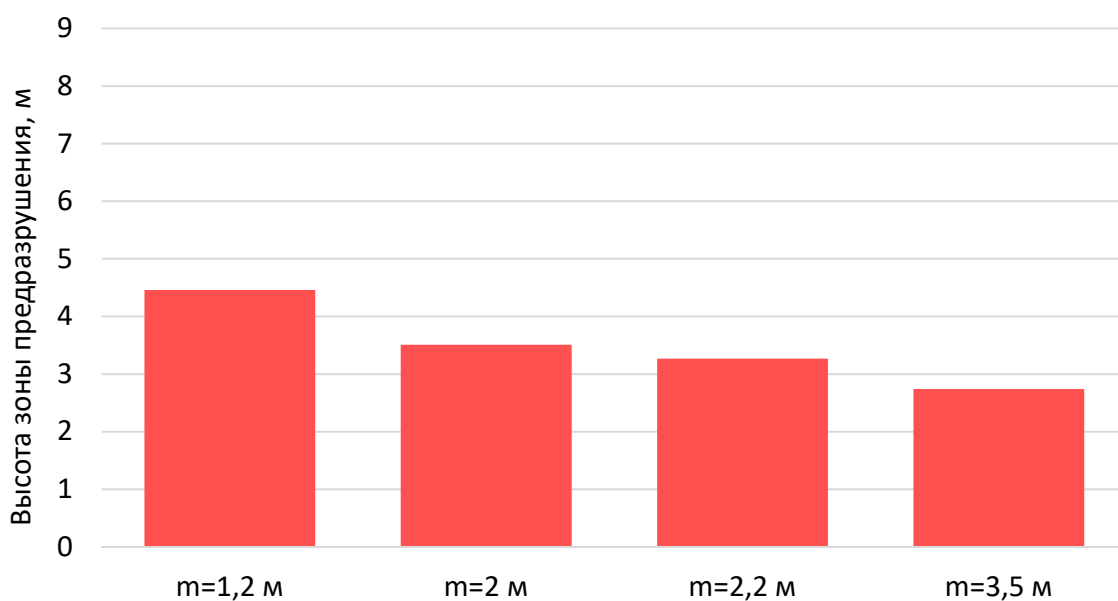


Рис. 4.15. Гистограмма высот зон предразрушения в кровле одиночной выработки в криолитозоне при проведении её по пласту 1,2 м (вариант 51), 2 м (вариант 43 базовый), 2,2 м (вариант 53), 3,5 м (вариант 55)

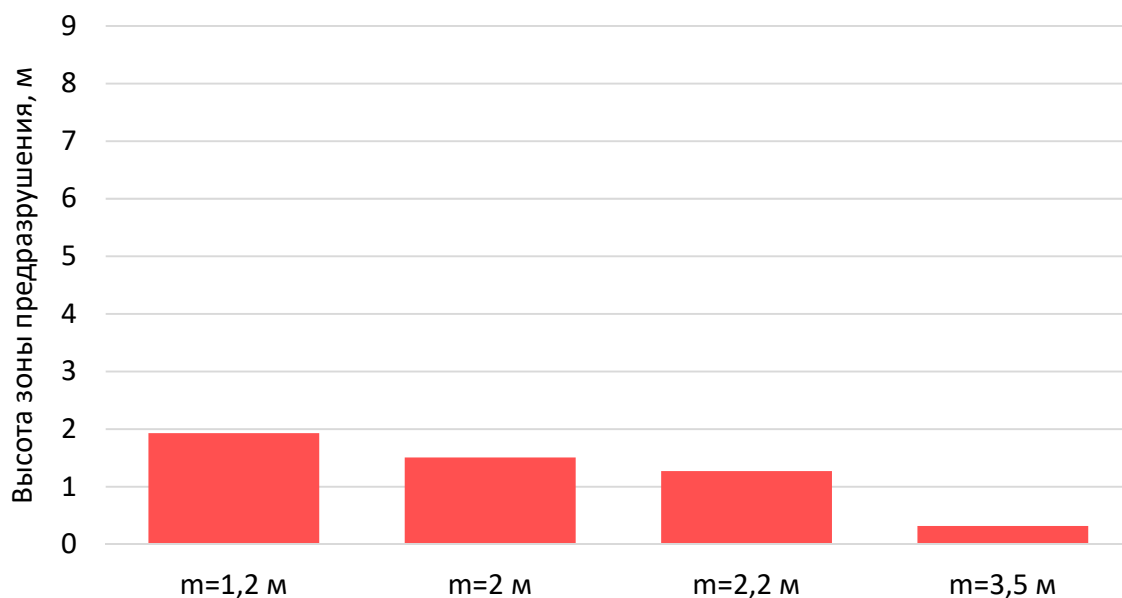


Рис. 4.16. Гистограмма высот зон предразрушения в кровле охраняемой целиком выработки в криолитозоне при проведении её по пласту 1,2 м (вариант 52), 2 м (вариант 44 базовый), 2,2 м (вариант 54), 3,5 м (вариант 56)

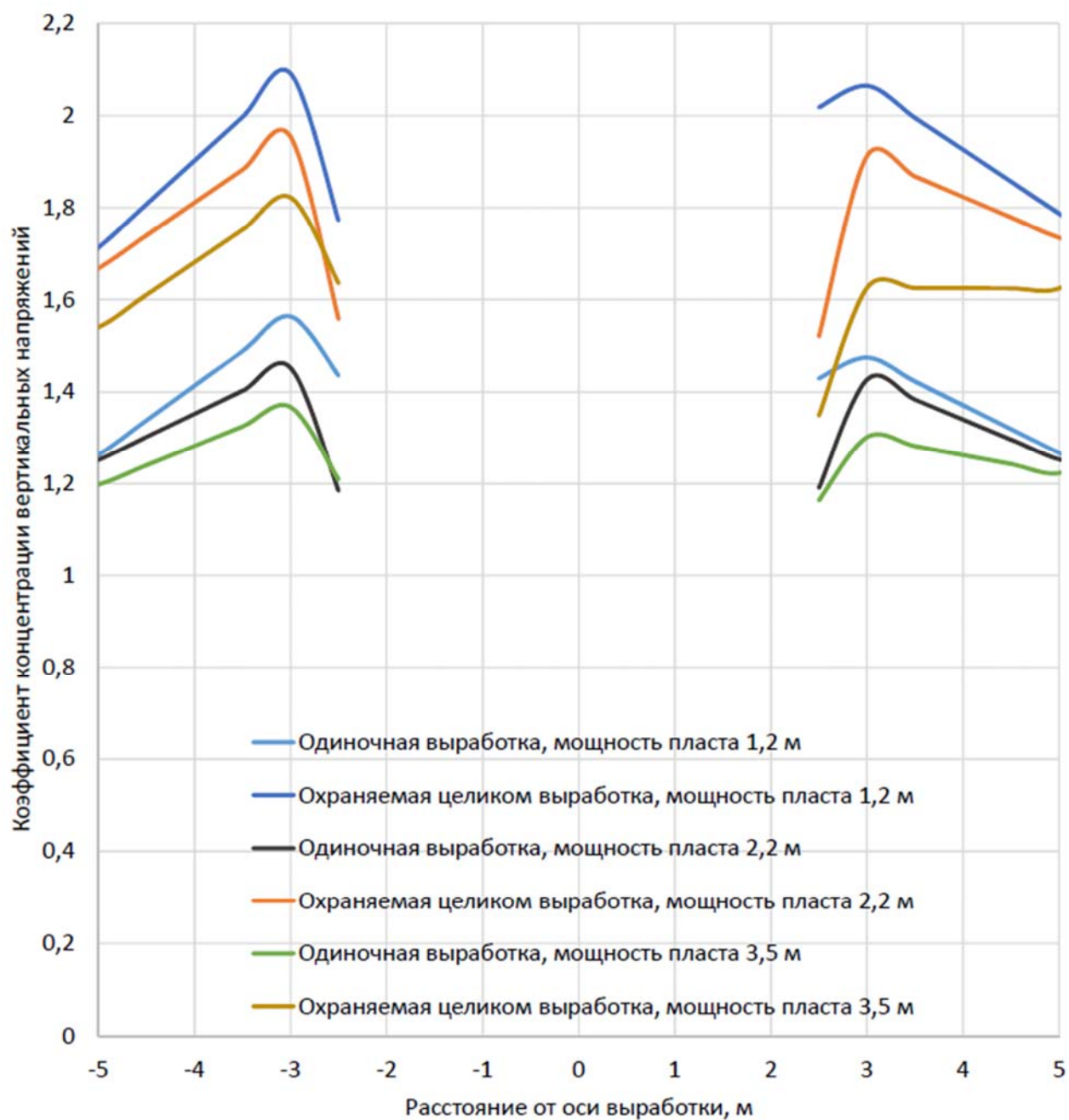


Рис. 4.17. Коэффициент концентрации вертикальных напряжений в боках выработки в умеренном климате при проведении её по пласту 1,2 м (варианты 17, 18), 2,2 м (варианты 19, 20), 3,5 м (варианты 21, 22)

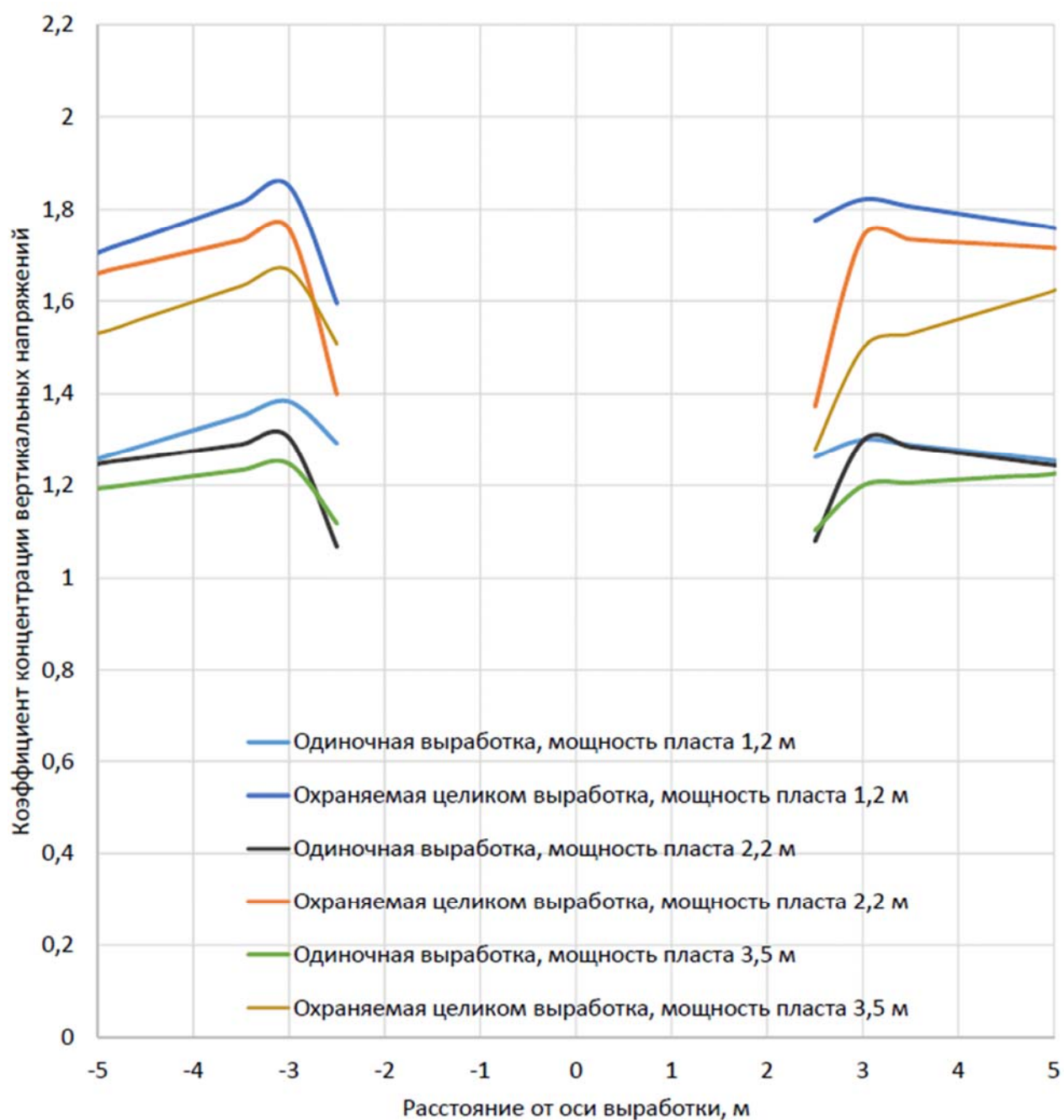


Рис. 4.18. Коэффициент концентрации вертикальных напряжений в боках выработки в криолитозоне при проведении её по пласту 1,2 м (варианты 51, 52), 2,2 м (варианты 53, 54), 3,5 м (варианты 55, 56)

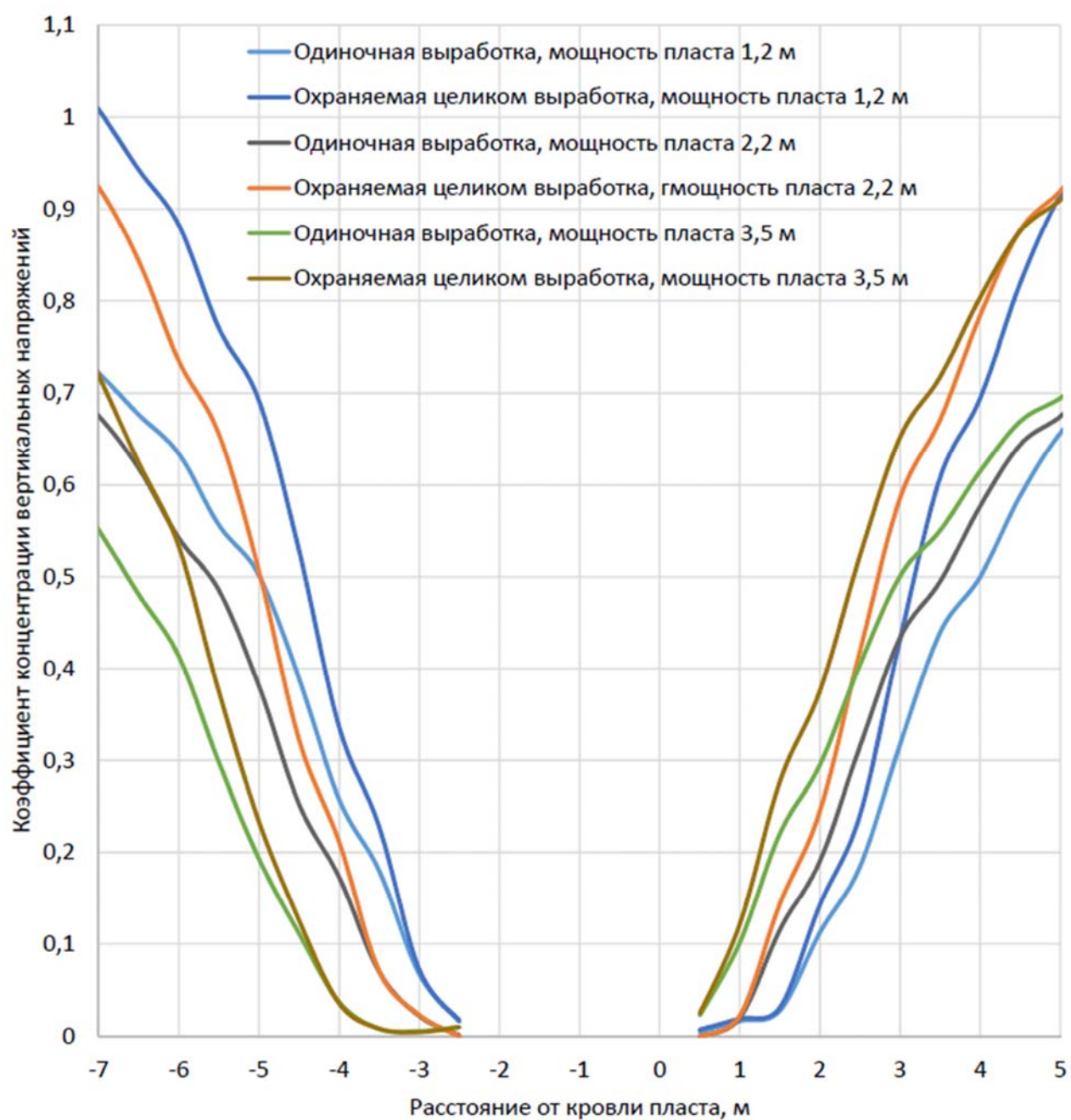


Рис. 4.19. Коэффициент концентрации вертикальных напряжений в почве и кровле выработки в умеренном климате при проведении её по пласту 1,2 м (варианты 17, 18), 2,2 м (варианты 19, 20), 3,5 м (варианты 21, 22)

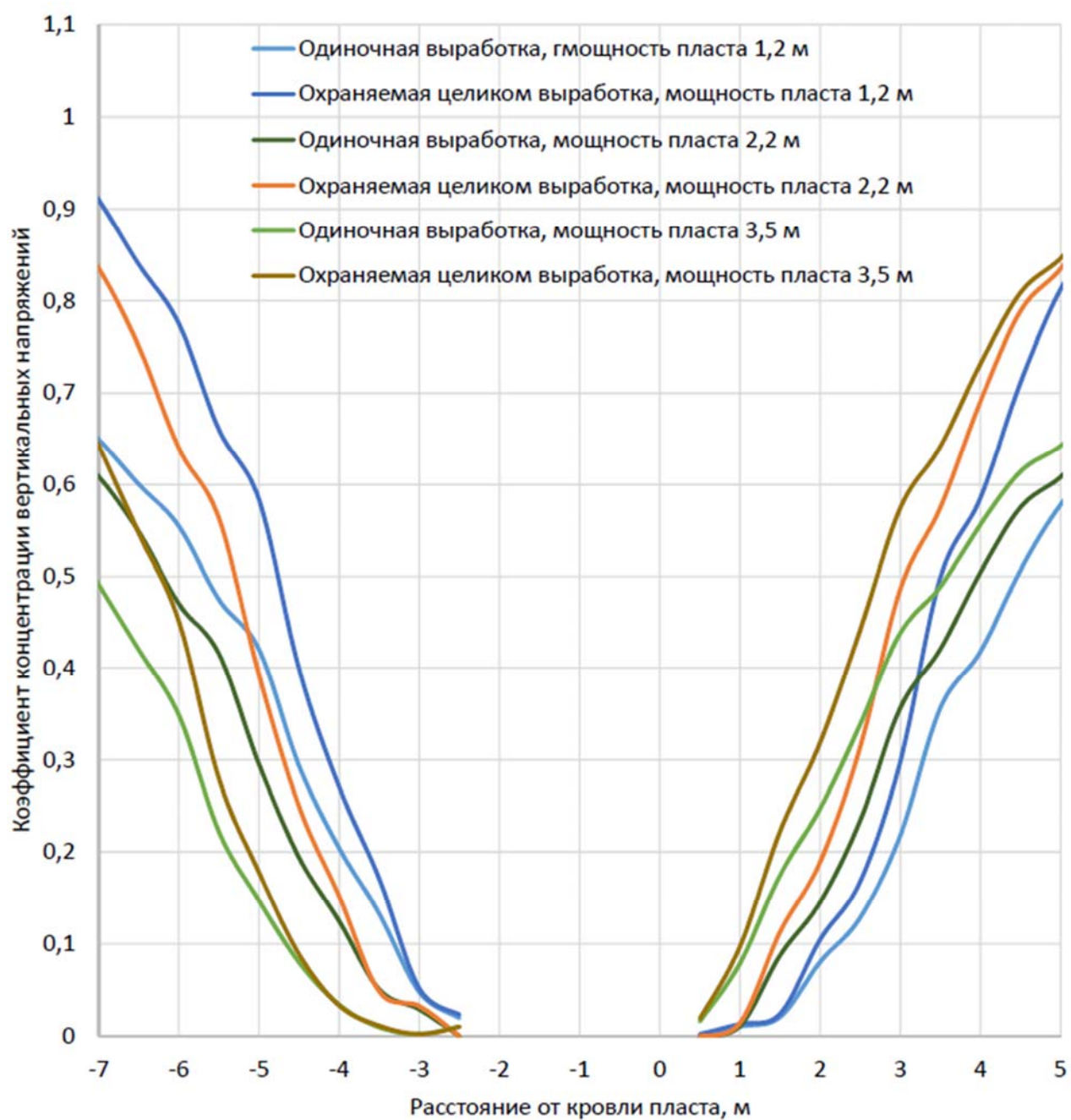


Рис. 4.20. Коэффициент концентрации вертикальных напряжений в почве и кровле выработки в криолитозоне при проведении её по пласту 1,2 м (варианты 51, 52), 2,2 м (варианты 53, 54), 3,5 м (варианты 55, 56)

На рис. П1.30-П1.59 представлены параметры НДС массива в окрестности одиночной и охраняемой целиком выработки при вариативности горно-геологических и горнотехнических условий для угольной шахты, расположенной в криолитозоне:

- изменение глубины разработки (варианты 77, 43 базовый, 49, 78, 44 базовый, 50) – рис. П1.30, П1.31, П4.45, П4.46;
- изменение мощности отрабатываемого угольного пласта (варианты 51-56) – рис. П1.32, П1.33, П1.47, П1.48;
- изменение коэффициента структурного ослабления породного массива (варианты 59-64) – рис. П1.34, П1.35, П1.49, П1.50;
- влияние сложного строения пласта, включающего в середине прослоек породы мощностью 0,5 м, но разной прочности (варианты 65-68) – рис. П1.36, П1.37, П1.51, П1.52;
- влияние дизъюнктивного нарушения (варианты 45-48) – рис. П1.38, П1.39, П1.53, П1.54;
- влияние слабых породных прослойков в кровле пласта (варианты 69-74) – рис. П1.40, П1.41, П1.55, П1.56;
- влияние укрепления трещиноватого бока выработки клеевым составом (варианты 57-58) – рис. П1.42, П1.57;
- изменение ширины зоны оттаивания горных пород по контуры выработки (варианты 79-84) – рис. П1.40, П1.41, П1.58, П1.59.

4.4 Рекомендации по использованию атласа вариативности НДС массива горных пород

Атлас вариативности распространяется на организации, осуществляющие добычу угля подземным способом, рекомендуется для руководителей и специалистов организации и их подразделений, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией опасных производственных объектов угольной промышленности, на которых ведутся подземные горные работы – шахтах.

Атлас предназначен для организаций и работников, занимающихся расчётом параметров крепи горных выработок при разработке документации крепления и поддержания горной выработки.

При разработке документации крепления инженер использует наиболее соответствующие реальным шахтным условиям варианты из табл. 2.1. Горно-геологические и горнотехнические параметры конкретного предприятия должны быть уточнены геотехнической службой предприятия.

Атлас вариативности разработан на основе вычисления коэффициента концентрации вертикальных напряжений и коэффициента остаточной прочности вмещающих пород математическим методом конечных элементов и использованием авторского комплекса компьютерных программ [49]. Автором атласа изучены свойства горных пород, их строение и трансформация в условиях воздействия механических, тепловых, электромагнитных полей, процессы, технологии и средства разрушения горных пород с целью разработки метода практического использования полученных закономерностей для создания атласа. Каждый вариант атласа обязательно был откалиброван по натурным шахтным и лабораторным экспериментам лично автором.

4.5 Выводы

1. Реализована программа исследований влияния природных и техногенных факторов на геомеханические параметры массива горных пород в окрестности системы подземных горных выработок, включающая 84 варианта с расположением одиночной выработки и группы выработок в условиях шахт умеренного климата и криолитозоны. Программа прогнозирования геомеханических параметров реализована поэтапно: в окрестности одиночной и охраняемой угольным целиком подготовительной выработки. Для каждого этапа отдельно учтены условия шахт умеренного климата и криолитозоны.

2. Создан атлас вариативности сценариев формирования напряжённо-деформированного состояния массива в окрестности подготовительных выработок для различных вариантов горно-геологических и горнотехнических условий освоения угольных месторождений подземным способом.

3. Атлас предназначен для организаций и работников, занимающихся расчётом параметров крепи горных выработок при разработке документации крепления и поддержания горной выработки.

4. Для одиночной выработки, расположенной в зоне умеренного климата, выявлены следующие закономерности и зависимости влияния отдельных и группы природных и техногенных факторов на геомеханические параметры массива горных пород:

- при изменении глубины разработки прямо пропорционально увеличивается высота свода разгрузки в кровле выработки, на глубине $H > 300$ м установка крепи в боках одиночной выработки является обязательной;

- при изменении мощности пласта в пределах 1,2-3,5 м максимальные величины коэффициента концентрации вертикальных напряжений выявлены на сопряжении кровли и боков выработки при меньшей мощности пласта, а высота зоны предразрушения пород кровли в выработке, пройденной по тонкому пласту, почти в

2 раза больше по сравнению с соответствующей высотой над выработкой на мощном пласте;

- в массиве горных пород, включающем одиночную выработку и дизъюнктивное нарушение, коэффициент концентрации вертикальных напряжений увеличивается в 1,3 раза, а ширина зоны предразрушения угольного пласта между выработкой и нарушением достигает величины, равной мощности пласта;

- наличие слабого породного прослойка в кровле выработки приводит к формированию общей зоны предразрушения пород непосредственно в своде и в пределах прослойка.

5. Для выработки в зоне умеренного климата, охраняемой угольным целиком на границе с очистным выработанным пространством, выявлены следующие закономерности и зависимости влияния отдельных и группы природных и техногенных факторов на геомеханические параметры массива горных пород:

- установлено, что изменение мощности пласта, коэффициента структурного ослабления породного массива, свойств породных прослоек в угольном пласте и слабых породных прослоек в кровле пласта несущественно влияет на коэффициент концентрации вертикальных напряжений;

- влияние дизъюнктива проявляется в формировании концентраторов напряжений в угольном целике между подготовительными выработками и поверхностями разрыва сплошности горного массива. Горные породы в окрестности нарушения и уголь в пласте почти полностью разрушены, выявлена блочная структура пород в пределах дизъюнктива.

6. Выявлены следующие особенности распределения геомеханических параметров в окрестности выработок, расположенных в криолитозоне, по сравнению с закономерностями в окрестности выработок в зонах умеренного климата:

- коэффициент остаточной прочности пород в боках выработок в криолитозоне обратно пропорционально зависит от разности температур шахтной атмосферы и времени эксплуатации выработки;

- установлено, что появление вблизи периметра выработки частично оттаявших пород приводит к расширению границ зоны разгрузки в кровле и почве выработки, а в краевой части пласта максимумы эпюры опорного горного давления перемещаются вглубь угольного массива;

- подтверждено соответствие закономерности уменьшения коэффициента концентрации вертикальных напряжений в угольном целике при увеличении глубины разработки в любой климатической зоне;

- процесс растепления горных пород в окрестности выработки подобен искусственному увеличению ширины выработки и креплению её по контуру податливой крепью, то есть можно применять традиционные методы расчёта параметров рамной крепи в зонах умеренного климата и криолитозоне с учётом увеличения ширины выработки за счёт растепления;

- высота зоны предразрушения в кровле выработки при положительных и отрицательных температурах увеличивается прямо пропорционально глубине разработки и обратно пропорционально увеличению мощности угольного пласта;

- коэффициент концентрации вертикальных напряжений в зоне умеренного климата в 1,2-1,4 раза больше по сравнению с аналогичными участками вблизи выработки в криолитозоне, область массива горных пород в зонах предразрушения в 5-6 раз больше в криолитозоне соответствующей области в умеренном климате.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе выполненных исследований разработан атлас вариативности сценариев формирования напряжённо-деформированного состояния массива в окрестности подготовительных выработок для различных вариантов горно-геологических и горнотехнических условий освоения угольных месторождений подземным способом.

Научные результаты, выводы и рекомендации заключаются в следующем:

1. Разработана методика количественного прогнозирования напряжённо-деформированного состояния массива горных пород в окрестности подготовительных выработок с учётом изменчивости свойств углепородного массива и интенсивности подготовки и отработки выемочных участков угольных шахт с возможностью настройки входных параметров математической модели по результатам натурных измерений смещений пород в окрестности выработок. Методика обеспечивает решение методом конечных элементов линейных и нелинейных геомеханических задач и получение следующих параметров напряжённо-деформированного состояния геомассива: полный вектор напряжений и деформаций, формы и размеры зон разрушения и предразрушения пород в окрестности горных выработок.

2. Разработана программа вычислительного эксперимента, включающая формирование моделей массива горных пород с изменением в каждой модели одного из горно-геологических или горнотехнических параметров. Всего было исследовано 84 модели, основанных на реальных условиях 12 шахт Кузбасса, 1 шахте Хабаровского края, 1 шахте Якутии.

3. Исследования проведены посредством численного эксперимента с использованием методики количественного прогнозирования напряжённо-деформированного состояния неоднородного массива горных пород с обязательной калибровкой каждого варианта по результатам шахтных и

лабораторных экспериментов, обеспечивающей прогноз геомеханических параметров в следующих горно-геологических и горнотехнических условиях.

4. Приведены примеры калибровки моделей по результатам шахтных экспериментов. Получено соответствие смоделированных результатов натурным измерениям зон распределения коэффициента остаточной прочности пород.

5. Разработана методика натурных исследований устойчивости подготовительных выработок при интенсивной подземной разработке угольных пластов с использованием следующих методов:

- изучения структуры массива горных пород в приконтурной зоне горной выработки с использованием эндоскопа и георадиолокации;
- оценки несущей способности анкеров в криолитозоне при изменении температуры горных пород;
- определения формы и размеров зон предразрушения пород в окрестности выработок;
- исследование устойчивости горных выработок при длительном периоде их эксплуатации.

6. По результатам шахтных и лабораторных исследований влияния осложняющих природных и техногенных факторов на прочностные и деформационные характеристики массива горных пород создана информационная база данных, которая рекомендуется для использования в методике количественного прогнозирования напряжённо-деформированного состояния неоднородного массива горных пород на шахтах в зонах умеренного климата и криолитозоне.

7. Обоснованы следующие направления шахтных и лабораторных исследований влияния температуры в криолитозоне на прочностные и деформационные характеристики массива горных пород:

- установление зависимостей прочностных и деформационных параметров горных пород в окрестности выработок от температуры в криолитозоне;

- корректировка и адаптация к условиям криолитозоны действующих методик расчёта параметров паспорта крепления и поддержания выработок в зонах умеренного климата с учётом установленных зависимостей прочностных и деформационных параметров горных пород от температуры и содержания флюидов.

7. Шахтные эксперименты проведены на 12 выемочных участках, расположенных в умеренном климате и криолитозоне. Установлено, что представительность информационной базы данных является достаточной для выявления влияния осложняющих факторов на устойчивость подземных выработок и настройки входных параметров математической модели.

8. Исследованиями подтверждено, что структура и объём данных свойств геомассива обеспечивают настройку входных параметров математической модели геомеханических процессов и выбор крепи выработок при формировании информации на основе принятого комплекса натурных и лабораторных методов. Приняты: эндоскопическая съёмка породных слоёв; георадиолокационные измерения временных интервалов между импульсами от слоёв структурного строения пород кровли; оценка показателя напряжённости массива горных пород; мониторинг смещений пород в выработках с помощью реперных станций.

9. Реализована программа исследований влияния природных и техногенных факторов на геомеханические параметры массива горных пород в окрестности системы подземных горных выработок, включающая 84 варианта с расположением одиночной выработки и группы выработок в условиях шахт умеренного климата и криолитозоны. Программа прогнозирования геомеханических параметров реализована поэтапно: в окрестности одиночной и охраняемой угольным целиком подготовительной выработки. Для каждого этапа отдельно учтены условия шахт умеренного климата и криолитозоны.

10. Создан атлас вариативности сценариев формирования напряжённо-деформированного состояния массива в окрестности подготовительных

выработок для различных вариантов горно-геологических и горнотехнических условий освоения угольных месторождений подземным способом.

11. Атлас предназначен для организаций и работников, занимающихся расчётом параметров крепи горных выработок при разработке документации крепления и поддержания горной выработки.

12. Для одиночной выработки, расположенной в зоне умеренного климата, выявлены следующие закономерности и зависимости влияния отдельных и группы природных и техногенных факторов на геомеханические параметры массива горных пород:

- при изменении глубины разработки прямо пропорционально увеличивается высота свода разгрузки в кровле выработки, на глубине $H > 300$ м установка крепи в боках одиночной выработки является обязательной;

- при изменении мощности пласта в пределах 1,2-3,5 м максимальные величины коэффициента концентрации вертикальных напряжений выявлены на сопряжении кровли и боков выработки при меньшей мощности пласта, а высота зоны предразрушения пород кровли в выработке, пройденной по тонкому пласту, почти в 2 раза больше по сравнению с соответствующей высотой над выработкой на мощном пласте;

- в массиве горных пород, включающем одиночную выработку и дизъюнктивное нарушение, коэффициент концентрации вертикальных напряжений увеличивается в 1,3 раза, а ширина зоны предразрушения угольного пласта между выработкой и нарушением достигает величины, равной мощности пласта;

- наличие слабого породного прослойка в кровле выработки приводит к формированию общей зоны предразрушения пород непосредственно в своде и в пределах прослойка.

13. Для выработки в зоне умеренного климата, охраняемой угольным целиком на границе с очистным выработанным пространством, выявлены следующие закономерности и зависимости влияния отдельных и группы

природных и техногенных факторов на геомеханические параметры массива горных пород:

- установлено, что изменение мощности пласта, коэффициента структурного ослабления породного массива, свойств породных прослоек в угольном пласте и слабых породных прослоек в кровле пласта несущественно влияет на коэффициент концентрации вертикальных напряжений;

- влияние дизъюнктива проявляется в формировании концентраторов напряжений в угольном целике между подготовительными выработками и поверхностями разрыва сплошности горного массива. Горные породы в окрестности нарушения и уголь в пласте почти полностью разрушены, выявлена блочная структура пород в пределах дизъюнктива.

14. Выявлены следующие особенности распределения геомеханических параметров в окрестности выработок, расположенных в криолитозоне, по сравнению с закономерностями в окрестности выработок в зонах умеренного климата:

- коэффициент остаточной прочности пород в боках выработок в криолитозоне обратно пропорционально зависит от разности температур шахтной атмосферы и времени эксплуатации выработки;

- установлено, что появление вблизи периметра выработки частично оттаявших пород приводит к расширению границ зоны разгрузки в кровле и почве выработки, а в краевой части пласта максимумы эпюры опорного горного давления перемещаются вглубь угольного массива;

- подтверждено соответствие закономерности уменьшения коэффициента концентрации вертикальных напряжений в угольном целике при увеличении глубины разработки в любой климатической зоне;

- процесс растепления горных пород в окрестности выработки подобен искусственному увеличению ширины выработки и креплению её по контуру податливой крепью, то есть можно применять традиционные методы расчёта

параметров рамной крепи в зонах умеренного климата и криолитозоне с учётом увеличения ширины выработки за счёт растепления;

- негативное влияние дизъюнктива на геомеханические параметры в криолитозоне по сравнению с условиями умеренного климата распространяется более интенсивно как по величинам, так и по области влияния;

15. Для одиночных и охраняемых целиком выработок в зоне умеренного климата и криолитозоне справедливы следующие утверждения:

- коэффициент остаточной прочности пород определяет их устойчивость. При $K_{оп} \leq 0,5$ происходит разрушение пород, при $0,5 < K_{оп} \leq 0,7$ формируется зона предразрушения (трещины, блоки, возможны вывалы), при $0,7 < K_{оп} \leq 1$ уголь или порода находятся в упругом состоянии без нарушения сплошности.

- высота зоны предразрушения в кровле выработки при положительных и отрицательных температурах увеличивается прямо пропорционально глубине разработки и обратно пропорционально увеличению мощности угольного пласта;

- коэффициент концентрации вертикальных напряжений в зоне умеренного климата в 1,2-1,4 раза меньше по сравнению с аналогичными участками вблизи выработки в криолитозоне;

16. Результаты исследований в виде способов, средств и рекомендаций использованы в условиях 12 шахт Кузбасса, АО «Ургалуголь», ОАО ХК «Якутуголь» Шахта «Джебарики-Хая», что подтверждено соответствующими справками и протоколами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Философский энциклопедический словарь / Гл. редакция: Л. Ф. Ильичев, П. Н. Федосеев, С. М. Ковалев, В. Г. Панов. – М.: Сов. энциклопедия, 1983. – 840 с.
2. Бокий Б. В. Горное дело. – М.: Госгортехиздат, 1959. – 864 с.
3. Стрельников Д. А., Кожевин В. Г., Горбачев Т. Ф. Разработка угольных месторождений Кузбасса. – М.: Углетехиздат, 1959. – 887 с.
4. Коровкин Ю. А., Савченко П. Ф. Теория и практика длиннолавных систем. – М.: Горное дело ООО «Киммерийский центр», 2012. – 808 с.
5. Арсёнов Н. С., Петров А. И., Широков А. П. Разработка угольных пластов в сложных горно-геологических условиях. – Кемерово: Кемеровское книжное изд-во. – 1984. – 190 с.
6. Юнкер М., Полисос Н., Альбер М. Контроль кровли в пластовых выработках. – Москва: Горное дело ООО «Киммерийский центр», 2015. – 680 с. (Библиотека горного инженера; т. 3. Подземные горные работы, кн. 2).
7. Якоби О. Практика управления горным давлением [пер. с нем.]. – М.: Недра, 1987. – 566 с.
8. Шувалов Ю. В., Галкин А. Ф. Теория и практика оптимального управления тепловым режимом подземных сооружений криолитозоны // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. - № 8. – С. 365-370.
9. Галкин А. Ф. Повышение устойчивости горных выработок в криолитозоне // Записки горного института. – 2014. – Т. 207. - С.99-102.
10. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений». Приказ Ростехнадзора от 15.08.2016 №339. <http://www.pravo.gov.ru>, 08.11.2016 за № 0001201611080014.

11. Бич Я. А. Горные удары и методы их прогноза. – М.: ЦНИЭИуголь, 1972. – 101 с.
12. Петухов И. М., Линьков А. М., Сидоров В. С., Мустафин М. Г. Расчётные методы в механике горных ударов и выбросов: справочное пособие. – М.: Недра, 1992. – 256 с.
13. Вылегжанин В. Н., Егоров П. В., Мурашев В. И. Структурные модели горного массива в механизме геомеханических процессов. – Новосибирск: Наука, 1906. – 295 с.
14. Лазаревич Т. И., Мазикин В. П., Малый И. А., Ковалев В. А., Поляков А. Н., Харкевич А. С., Шабаров А. Н. Геодинамическое районирование Южного Кузбасса. – Кемерово: Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела – Межотраслевой научный центр ВНИМИ. Кемеровское Представительство, 2006. – 181с.
15. Логинов А. К., Коршунов А. К., Шик В. М., Артемьев В. Б. Геомеханика на угольных шахтах. – М.: Горное дело ООО «Киммерийский центр», 2011. – 388 с.
16. Плотников Е. А. Обеспечение безопасности при отработке ударо- и выбросоопасных угольных пластов в зонах влияния разрывных нарушений и передовых выработок: дисс. канд. техн.наук. спец. 05.26.03. – Кемерово: КузГТУ, 2005. – 122 с.
17. Смирнов О. В., Кулик А. И., Лапин Е. А. Прогноз геологических нарушений по параметрам акустического сигнала // Уголь. – 2015. – № 11. – С. 76-79.
18. Дудин А. А., Варушев Е. В., Злобин С. Е., Прокофьев А. С., Пайкин Д. И., Лысенко М. В. Обоснование возможности применения анкерной крепи горных выработок в условиях обводнённых и ослабленных пород // Уголь. – 2018. – № 12. – С. 21-25.

19. Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах (утв. Приказом Ростехнадзора № 448 от 19.11.2020 г.).

20. Клишин В. И., Опрук Г. Ю., Сентюрев А. В., Николаев А. В. Опыт применения направленного гидроразрыва основной кровли при выводе механизированного комплекса из монтажной камеры // Уголь. – 2015. – № 11. – С. 12-13.

21. Анисимов Ф. А., Гречишкин П. В., Рогачков А. В., Разумов Е. А., Позолотин А. С., Райко Г. В. Комментарии к Инструкции по расчёту и применению анкерной крепи на угольных шахтах. Ч.1. – Кемерово: Практика, 2014. – 254 с.

22. Гречишкин П. В., Позолотин А. С., Заятдинов Д. Ф., Шаров В. Н. Оценка эффективности двухуровневого анкерного крепления сопряжений горных выработок угольных шахт // Горный журнал. – 2015. – № 8. – С. 48-52.

23. Безухов Н. И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. – М.: Высшая школа, 1968. – 512 с.

24. Ержанов Ж. С. Айталиев Ш. М., Туебаев М. К. Устойчивость пластовых горных выработок. – Алма-Ата: Наука, 1977. – 117 с.

25. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации»: _ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 года, № 632-р.

26. Yanhua Zhang, Jim Underschultz, Laurent Langhi, Dirk Mallants, Julian Stran. Numerical modelling of coal seam depressurization during coal seam gas production and its effect on the geomechanical stability of faults and coal beds. International Journal of Coal Geology, 1 July 2018, vol. 195, pp. 1-13.

27. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости. – М.: Наука, 1975. – 576 с.

28. Фадеев А. Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.

29. Оден Д. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред. – М.: Мир, 1976. – 464 с.
30. Ильницкая Е. И., Тедер Р. И., Ватолин Е. С., Кунтыш М. Ф. Свойства горных пород и методы их определения. – Москва: Недра, 1969. – 392 с.
31. Штумпф, Г. Г., Рыжков Ю. А., Шаламанов В. А., Петров А. И. Физико-технические свойства горных пород и углей. – М.: Недра, 1994. – 447 с.
32. Ставрогин А. Н., Протосеня А. Г. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах. – М.: Недра, 1985. – 271 с.
33. Петухов И. М., Линьков А. М. Механика горных ударов и выбросов. – М.: Недра, 1983. – 280 с.
34. ГОСТ 21153.8-88 Породы горные. Метод определения предела прочности при объёмном сжатии. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 16 с.
35. Соколовский В. В. Статика сыпучей среды. – М.: Физматгиз, 1960. – 244 с.
36. Фисенко Г. Л. Предельное состояние горных пород вокруг выработок. – М.: Недра, 1976. – 272 с.
37. Проскуряков Н. М. Управление состоянием массива горных пород. – М.: Недра, 1991. – 368 с.
38. Разумов Е. А., Позолотин А. С., Лысенко М. В. Методика исследования приконтурного массива горных выработок, поддерживаемых анкерной крепью. Кемерово, 2013.
39. Братченко Б. Ф., Устинов М. И., Гапанович Л. Н., Нильва Э. Э., Весков М. И., Ликальтер Л. А. Способы вскрытия, подготовки и системы разработки шахтных полей. – М.: Недра, 1985. – 494 с.
40. Геологическое обеспечение работ по добыче угля: справочник нормативных документов / Под ред. А. Д. Рубана и др. – М.: Горное дело ООО «Киммерийский центр», 2011. – 432 с.

41. Рубан А. Д., Артемьев В. Б., Забурдяев В. С., Захаров В. Н., Логинов А. К., Ютяев Е. П. Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов. – М.: Горная книга, 2010. – 500 с.

42. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах. – М.: Горное дело ООО «Киммерийский центр», 2011. – 216 с.

43. Индустрия 4.0 – Четвёртая промышленная революция // Высокие технологии [Электронный ресурс, режим доступа <https://vys-tech.ru/2018/04/11/industriya-4-0/>, дата обращения 20-03-2022].

44. Айкин А. В., Лысенко М. В., Ковешников П. Ю., Позолотин А. С. Обоснование технологии и параметров крепи горных выработок, пройденных в вечномёрзлотных породах с учётом растепления и влияния буровзрывных работ // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов. – Новокузнецк: СибГИУ. – 2018. – № 4. – С. 124-128.

45. Михалевич Д. С., Исаченко А. О., Жуков Г. П., Ишбулатова Л. Р. ГИС-технологии при недропользовании. – М.: Горное дело ООО «Киммерийский центр», 2016. – 280 с. (Библиотека горного инженера, т. 1. Геология, кн. 5).

46. Яковлев Д. В., Лазаревич Т. И., Поляков А. Н., Мулев С. Н., Харкевич А. С., Панин С. Ф., Поляков Д. А. Методические указания по созданию систем контроля состояния горного массива и прогноза горных ударов как элементов многофункциональной системы безопасности угольных шахт. – СПб.: ВНИМИ, 2012. – 83с.

47. Бондарь И. А. Повышение эффективности и безопасности технологии подземной разработки: автореф. дис. на соиск. учён. степ. канд. техн. наук. – Чита: Читинский гос. ун-т, 2006. – 23с.

48. Сенук Д. П. Термические напряжения вокруг выработок в вечномёрзлых породах // Аналитические методы и вычислительная техника в

механике горных пород. – Новосибирск: ИГД СО Академии наук СССР, 1975. – С. 57-64.

49. Фрянов В. Н., Петрова О. А., Петрова Т. В. Комплекс проблемно-ориентированных программ для моделирования формирования и распределения опасных зон в газоносном геомассиве: свидетельство о регистрации электронного ресурса. № 21123, дата регистрации 03 августа 2015 года // Хроники объединённого фонда электронных ресурсов «Наука и образование» № 08-09 (75-76) август-сентябрь 2015.

50. Разумов Е. А. Оценка факторов сложности условий ведения горных работ на современных угольных шахтах // Уголь. – 2019. – № 10. – С.16-21.

51. Разумов Е. А., Ерёменко В. А., Заятдинов Д. Ф., Гречишкин П. В., Позолотин А. С. Методика расчёта параметров анкерной крепи подземных горных выработок в условиях вечной мерзлоты // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 9. – С. 39-47.

52. Шайлиев Р. Ш. Определение закономерности разрушения мерзлых и протаявших горных пород со свободной границей фазового перехода: автореф. дис. на соиск. учён. степ. канд. техн. наук. – М.: МГГУ, 2000. – 17 с.

53. Бронштейн И. Н., Семендяев А. К. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – М.: Наука, 1980. – 975 с.

54. Разумов Е. А., Гургуров С. В., Заятдинов Д. Ф., Гречишкин П. В., Позолотин А. С. Опыт применения двухуровневой анкерной крепи в демонтажной камере формируемой проходческим комбайном // Уголь. - 2013. - № 7. – С. 53-60.

55. Разумов Е. А., Заятдинов Д. Ф., Гречишкин П. В., Позолотин А. С., Грабовский В. А. Опыт поддержания широких сопряжений горных выработок с применение двухуровневой анкерной крепи в условиях шахты МУК-96 // Уголь. - 2013. - № 7. – С. 31-34.

56. Захаров В. Н., Забурдяев В. С., Артемьев В. Б. Углепородные массивы: прогноз устойчивости, риски, безопасность. – М.: Горное дело ООО «Киммерийский центр», 2013. – 280 с. (Библиотека горного инженера, т.3 Подземные горные работы, кн. 9).

57. Клишин В. И., Опрук Г. Ю., Телегуз А. С., Чурноусов П. А., Николаев А. В. Опыт применения технологии направленного гидроразрыва (НГР) пород кровли с целью обеспечения устойчивого состояния сохраняемой выработки в условиях шахты «Есаульская» // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – Новокузнецк: СибГИУ. - 2017. – № 3. – С. 177-181.

58. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). – М.: Наука, 1973. – 832 с.

59. Разумов Е. А., Венгер В. Г., Зеляева Е. А., Петров В. И. Динамическое моделирование годового плана развития горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2018. – № S48. – С. 156-160.

60. Венгер В. Г., Разумов Е. А., Зеляева Е. А., Григорьева Т. О. Применение технологии гидроразрыва для эффективной дегазации в условиях лавы 555 ш. «Чертинская-Коксовая» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2018. – № S49. – С. 117-125.

61. Зеляева Е. А., Разумов Е. А., Венгер В. Г., Григорьева Т. О. Прогнозирование параметров зон предразрушения горных пород в окрестности подземных выработок угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2018. – № S49. – С. 283-289.

62. Гречишкин П. В., Разумов Е. А., Заятдинов Д. Ф., Чугайнов С. С. Современные технологии двухуровневого анкерного крепления: перспективы применения при отработке рудных месторождений полезных ископаемых в различных горно-геологических условиях // Горный информационно-

аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2016. – № 10. – С. 182-200.

63. Разумов Е. А., Клишин В. И., Опрук Г. Ю., Гречишкин П. В. Совершенствование технологии анкерного крепления горных выработок угольных шахт в условиях многолетней мерзлоты // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2016. – №5. – С. 133-140.

64. Razumov E. A., Klishin V. I., Opruk G. Y., Grechishkin P. V. Rockbolting improvement in coal mines in permafrost regions // Journal of mining science. - 2016. – Т. 52, № 5. – Рр. 949-955.

65. Разумов Е. А., Айкин А. В., Гречишкин П. В., Петров В. И., Позолотин А. С. Программное обеспечение РПАК для автоматизации расчёта параметров анкерной крепи // Уголь. - 2015. – № 5. – С. 28-32.

66. Разумов Е. А., Гречишкин П. В., Опрук Г. Ю., Дудин А. А., Венгер В. Г. Опыт поддержания горных выработок при влиянии подрезки в условиях шахты «Распадская» // Уголь. - 2015. – № 10. – С. 25-29.

67. Разумов Е. А., Сидельников А. А., Гречишкин П. В., Позолотин А. С., Венгер В. Г. Повышение устойчивости подземных горных выработок угольных шахт, проводимых в многолетнемёрзлых породах // Уголь. - 2014. – № 1. – С. 4-7.

68. Еременко В. А., Разумов Е. А., Заятдинов Д. Ф., Позолотин А. С., Прохвятилов С. А., Красилов С. Ю. Совершенствование двухуровневой технологии анкерного крепления широких сопряжений горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2013. – № 5. – С. 20-29.

69. Позолотин А. С., Розенбаум М. А., Ренев А. А., Разумов Е. А., Черняховский С. М. Метод расчёта параметров анкерной крепи глубокого заложения для поддержания горных выработок в различных горно-

геологических и горнотехнических условиях угольных шахт // Уголь. - 2013. – № 4. – С. 32-35.

70. Гречишкин П. А., Хаймин А. В., Позолотин А. С., Рогачков А. В., Разумов Е. А. Особенности технического аудита подготовительных выработок угольных шахт, закреплённых анкерной крепью // Уголь. - 2013. – № 8. – С. 89-91.

71. Разумов Е. А., Гречишкин П. В., Самок А. В., Позолотин А. С. Опыт применения канатных анкеров для сохранения и повторного использования штреков угольных шахт // Уголь. - 2012. – № 6. – С. 26-27.

72. Еременко В. А., Разумов Е. А., Зяятдинов Д. Ф. Современные технологии анкерного крепления // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2012. – № 12. – С. 38-45.

73. Разумов Е. А., Анисимов Ф. А., Райко Г. В., Гречишкин П. В. Канатный анкер АК01: предварительно пройденные демонтажные камеры // Угол. - 2011. – № 7. – С. 20-23.

74. Разумов Е. А. Обоснование технологии подземной дегазации угольного паста 5 с использованием гидроразрыва на шахте «Чертинская-Западная» // Техника и технология горного дела. – Кемерово: КузГТУ. - 2019. – № 2. – С. 56-77.

75. Разумов Е. А., Венгер В. Г., Петров В. И. Динамическое моделирование подземных горных выработок и прилегающего массива // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – Новокузнецк: СибГИУ. - 2018. – № 4. – С. 391-393.

76. Разумов Е. А., Пудов Е. Ю., Кузин Е. Г. Повышение информативности данных о структуре пород кровли за счёт применения георадиолокации при обследовании состояния выработок // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – Новокузнецк: СибГИУ. - 2018. - № 4. – С. 393-397.

77. Зеляева Е. А., Разумов Е. А., Венгер В. Г. Определение параметров главных напряжений, действующих в углепородном массиве угольных шахт // Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции «Перспективы инновационного развития угольных регионов России». – Прокопьевск: Филиал КузГТУ в г. Прокопьевске. - 2018. – С. 143-145.

78. Зяятдинов Д. Ф., Еременко В. А., Разумов Е. А., Скрипник В. В. Опыт крепления горных выработок в угольной шахте на большой глубине с применением канатных анкеров глубокого заложения // Сборник трудов конференции «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». – М.: Институт проблем комплексного освоения недр РАН, 2013. – С. 206-211.

79. Еременко В. А., Разумов Е. А., Зяятдинов Д. Ф. Современные технологии анкерного крепления // Сборник трудов конференции «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». – М.: Институт проблем комплексного освоения недр РАН, 2012. – С. 520-523.

80. Клишин В. И., Гречишкин П. В., Разумов Е. А., Серов А. А. Современные технологии анкерного крепления: опыт применения и перспективы // Рудник будущего. – Пермь: ЗУМК-инжиниринг. - 2012. - № 3. – С.89-96.

81. Никитина А. М., Разумов Е. А., Антонов А. Н. Технология применения сталеминеральной анкерной крепи на шахтах Кузбасса // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – Новокузнецк: СибГИУ. - 2010. – С. 152-154.

82. Геомеханические принципы подготовки горного производства на угольных шахтах / Пер. с англ. В. М. Шика. М.: Горное дело ООО «Киммерийский центр», 2015. – 256 с. (Библиотека горного инженера, т. 1 Геология, кн. 6).

83. Инструкция по выбору рамных податливых крепей горных выработок. – СПб.: ВНИМИ, 1991. – 125 с.

84. Исаченко А. О., Михалевич Д. С., Юнаков Ю. Л. Концепция формирования геоинформационной среды горного предприятия // Горный журнал. – 2013. – № 5. – С.62-66.

85. Павлова Л. Д., Петрова Т. В., Фрянов В. Н. Геомеханическое состояние углепородного массива в окрестности сопряжений горных выработок. - Новокузнецк: СибГИУ. – 2002. – 202 с.

86. Фрянов В. Н., Петрова Т. В., Лаврик В. Г., Ногих С. Р. Расчёт геомеханических параметров сопряжений горных выработок. – Новокузнецк: АО «Угольная компания «Кузнецкуголь», 1998. – 158 с.

87. ГОСТ 21153.2-84 Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии (с Изменениями №1, 2). – Введ. 01.07.1986. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 10с.

88. Методика шахтных испытаний отдельных положений «Инструкции по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах Кузбасса – Первая редакция». – СПб.: ВНИМИ, 2010. – 12 с.

89. Скуба В. Н. Совершенствование разработки угольных месторождений области многолетней мерзлоты. – Якутск: Якутское книжное изд-во, 1974. – 317 с.

90. Васильев С. Д. Обоснование и разработка методики расчета крепления сталеполимерной анкерной крепью горных выработок для условий многолетней мерзлоты: автореф. дис. канд. техн. наук. – М.: Шахтинский институт (филиал) ЮРГТУ, 2013. – 23с.

91. Станкус В. М., Муратов В. А., Маньков В. Н., Костельцев Б. Г. Механика горных пород и устойчивость выработок шахт Кузбасса. – Кемерово: Кемеровское книжное изд-во, 1973. – 345 с.

92. Авксентьев И. В., Скуба В. Н. Исследование устойчивости и теплоизоляция горных выработок в условиях многолетней мерзлоты. – М.: ЦНИЭИуголь, 1975. – 45 с.

93. Разумов Е. А., Еременко В. А., Зяятдинов Д. Ф., Матвеев А. С., Гречишкин П. В., Позолотин А. С. Методика расчета параметров анкерной крепи подземных горных выработок в условиях вечной мерзлоты // Горный информационно-технический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 9. – С. 39-47.

94. Дмитриев А. П., Гончаров С. А. Термодинамические процессы в горных породах. – М.: Недра, 1983. – 312 с.

95. Луганцев Б. Б. Обеспечение устойчивости подземных горных выработок в трещиноватом породном массиве: автореф. дис. на соиск. учён. степ. докт. техн. наук. – М.: МГГУ, 2003. – 32с.

96. Владов М. Л., Старовойтов А. В. Введение в георадиолокацию. – М.: МГУ, 2005. – 153 с.

97. Шадрин А. В., Клишин В. И. Методология разработки способов геофизического мониторинга процессов направленного гидроразрыва труднообрушаемой кровли и локальной гидрообработки призабойного выработанного пространства угольного пласта и её реализация при выполнении проекта РНФ // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – Новокузнецк: СибГИУ. – 2018. – № 4. – С. 178-184.

98. ГОСТ 24941-81 Породы горные. Методы определения механических свойств нагружением сферическими инденторами. 01.07.1982. - М.: Изд-во стандартов, 1981. – 8 с.

99. Кузнецов Г. Н., Ардашев К. А., Филатов Н. А. Методы и средства решения задач горной геомеханики. – М.: Недра, 1987. – 248 с.

100. Колесников А. П., Златицкий А. Н., Фрянов В. Н., Соин В. В. Методика выбора рациональных параметров технологических схем очистной выемки пологих угольных пластов гидрошахт Кузбасса. – Новокузнецк: ВНИИгидроуголь, 1988. – 139 с.

101. Шербань А. Н., Кремнев О. А., Журавленко В. Я. Руководство по регулированию теплового режима шахт. – М.: Недра, 1977. – 407 с.

102. Заславский В. З. Исследование проявлений горного давления в капитальных выработках глубоких шахт Донецкого бассейна. – М.: Недра, 1966. – 180 с.

103. Боровков Ю. А., Дробаденко В. П., Ребриков Д. Н. Технология добычи полезных ископаемых подземным способом. – СПб: Лань, 2017. – 272 с.

104. Артемьев В. Б., Коршунов Г. И., Логинов А. К., Ютяев Е. П., Шик В. М. Охрана подготовительных выработок целиками на угольных шахтах. – СПб.: Наука, 2009. – 230 с.

105. Методика расчёта и выбора параметров крепи на сопряжениях горных выработок при одинарной и парной подготовке выемочных столбов. – СПб.: ВНИМИ, 2004. – 84 с.

106. Губанов Д. В. Опыт управления напряжённым состоянием сопряжений горных выработок // Известия вузов. Горный журнал. – 2009. – № 8. – С. 25-36.

107. Демин В. Ф. Проявление горного давления на сопряжениях очистных забоев с примыкающими выработками // Известия вузов. Горный журнал. – 2004. – № 4. – С. 3-5.

108. Разумов Е. А., Сидельников А. А., Гречишкин П. В., Позолотин А. С., Венгер В. Г. Повышение устойчивости подземных горных выработок угольных шахт, проводимых в многолетнемёрзлых породах с применением сталеминеральной анкерной крепи // Уголь. - 2014. – № 11. – С. 12-15.

109. Хаин В. Е., Ломизе М. Г. Геотектоника с основами геодинамики. – М.: КДУ, 2005. – 560 с.

110. Влох Н. П., Сашурин А. Д. Измерения напряжений в массиве крепких горных пород. – М.: Недра. – 1970. – 120 с.

111. Бажин Н. П. Охрана подрабатываемых подготовительных выработок. - М.: Недра, 1978. – 253 с.

112. Заславский Ю. З., Перепичка Ф. И. Крепление капитальных выработок на больших глубинах. – Донецк: Донбасс, 1971. – 120 с.

113. Временная инструкция по выбору крепи для очистных выработок в условиях многолетней мерзлоты. – М.: Институт горного дела им. А. А. Скочинского, 1979. – 41 с.

114. Ефремов А. П., Лось И. Н., Слепцов В. П., Розенбаум М. А. Управление геомеханическими процессами при подземной разработке угольных месторождений Севера: монография. - Якутск: Якутский научный центр СО РАН, 1988. - 214 с.

115. Платонов О. В., Громов Ю. В., Андриенко В. И. Об устойчивости повторно используемых выработок при бесцеликовой выемке мощного угольного пласта в условиях вечной мерзлоты. // Сборник «Ресурсосберегающие технологии при подземной отработке полезных ископаемых Севера». – Якутск: Якутский научный центр СО СССР, 1990.

116. Ромашкевич А. А. Обоснование способов обеспечения устойчивости участков подготовительных выработок в условиях шахт ОАО «СУЭК-Кузбасс». Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. – СПб. – 2009.

117. Разумов Е. А. Программа и методика проведения исследований дегазации угольного пласта с применением подземного гидроразрыва в условиях шахты «Чертинская-Коксовая» // Техника и технология горного дела. - 2020. - № 1 (8). – С. 32-44.

118. Фрянов В. Н., Павлова Л. Д., Петрова О. А. Численное обоснование порядка отработки свиты угольных пластов // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2022. – Т. 9. - № 2. – С. 46-52.

119. Разумов Е. А., Калинин С. И., Петрова О. А. Методика оценки комплексного влияния анкеров разных типов на напряжённо-деформированное

состояние пород кровли подготовительных выработок // Горный журнал, 2023. – № 1 (2306). – С. 130-132.

120. Исследование напряжённо-деформированного состояния горных пород очистного забоя при надработке и подработке угольного пласта // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2022. – № 2 (150). – С. 51-63.

121. Калинин С. И., Роут Г. Н., Игнатов Ю. М., Разумов Е. А. Исследование изменений в параметрах геомеханических процессов при высоких скоростях подвигания лав // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2021. – № 1 (143). – С. 46-55.

122. Разумов Е. А., Калинин С. И., Лупий М. Г., Пудов Е. Ю. Оценка влияния длины лавы и скорости подвигания лавы на основные геомеханические процессы в очистных механизированных забоях // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2021. – № 2 (144). – С. 83-92.

123. Венгер В. Г., Разумов Е. А., Пудов Ю. Е., Калинин С. И. Исследование процесса формирования высоких куполов в подготовительных выработках и обоснование метода расчёта параметров куполов и анкерной крепи для крепления куполов // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов, 2021. – № 7. – С. 356-360.

124. Разумов Е. А., Венгер В. Г., Пудов Е. Ю., Калинин С. И. Классификация осложняющих горно-геологических и техногенных факторов и методика оценки их влияния на устойчивость горных выработок // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук, 2021. – Т. 8. – № 1. – С. 267-273.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1 Атлас вариативности сценариев формирования напряжённо-деформированного состояния массива в окрестности подземных горных выработок

В табл. П1.1 указаны номера рисунков (П1.1-П1.59) для каждого варианта атласа вариативности сценариев формирования напряжённо-деформированного состояния массива в окрестности подземных горных выработок.

Таблица П1.1. Номера рисунков для каждого варианта моделей при вычислительном эксперименте исследования влияния усложняющих факторов на напряжённо-деформированное состояние массива горных пород

Характеристика вариантов моделей массива горных пород	Номера вариантов и рисунков			
	шахты в зоне умеренного климата		шахты в криолитозоне	
	одиночная выработка	влияние очистного выработанного пространства	одиночная выработка	влияние очистного выработанного пространства
Глубина 500 м; мощность пласта 2 м; угол падения -10 град; целик 32,5 м; структурное ослабление 0,5; высота выработки 3,3 м; ширина выработки 4,5 м; присечка почвы и кровли поровну по 0,65 м	вар. 9 базовый рис. П1.1, П1.2	вар. 10 базовый рис. П1.14, П1.15, П1.16, П1.17	вар. 43 базовый рис. П1.30, П1.31	вар. 44 базовый рис. П1.45, П1.46
Дизъюнктив: угол наклона 90°; ширина 10 м; расположен в целике	вар. 11 рис. П1.9, П1.10	вар. 12 рис. П1.21, П1.22	вар. 45 рис. П1.38, П1.39	вар. 46 рис. П1.53, П1.54
Дизъюнктив: угол наклона 45°; ширина 10 м; расположен в целике	вар. 13 рис. П1.9, П1.10	вар. 14 рис. П1.20, П1.21, П1.22	вар. 47 рис. П1.38, П1.39	вар. 48 рис. П1.53, П1.54
Глубина 200 м, ширина целика 20 м	вар. 3 рис. П1.2.1, П1.2	вар. 4 рис. П1.16, П1.17	вар. 77 рис. П1.30, П1.31	вар. 78 рис. П1.45, П1.46
Глубина 1000 м, ширина целика 37,5 м	вар. 15 рис. П1.1, П1.2	вар. 16 рис. П1.16, П1.17	вар. 49 рис. П1.30, П1.31	вар. 50 рис. П1.45, П1.46
Мощность пласта 1,2 м	вар. 17 рис. П1.3, П1.4	вар. 18 рис. П1.18, П1.19	вар. 51 рис. П1.32, П1.33	вар. 52 рис. П1.47, П1.48

Окончание таблицы П1.1

Мощность пласта 2,2 м, ширина целика 35 м	вар. 19 рис. П1.3, П1.4	вар. 20 рис. П1.18, П1.19	вар. 53 рис. П1.32, П1.33	вар. 54 рис. П1.47, П1.48
Мощность пласта 3,5 м, ширина целика 42,5 м	вар. 21 рис. П1.2.3, П1.2.4	вар. 22 рис. П1.18, П1.19	вар. 55 рис. П1.32, П1.33	вар. 56 рис. П1.47, П1.48
Коэффициент крепости угля $f=0,75$, упрочнение целика клеевым составом на 5 м от штрека до $f=1,125$	вар. 23 рис. П1.13	вар. 24 рис. П1.29	вар. 57 рис. П1.42	вар. 58 рис. П1.57
Коэффициент структурного ослабления пород $k_{ст.осл.}=0,4$	вар. 25 рис. П1.5, П1.6	вар. 26 рис. П1.23, П1.24	вар. 59 рис. П1.34, П1.35	вар. 60 рис. П1.49, П1.50
Коэффициент структурного ослабления пород $k_{ст.осл.}=0,7$	вар. 27 рис. П1.5, П1.6	вар. 28 рис. П1.23, П1.24	вар. 61 рис. П1.34, П1.35	вар. 62 рис. П1.49, П1.50
Коэффициент структурного ослабления пород $k_{ст.осл.}=0,9$	вар. 29 рис. П1.5, П1.6	вар. 30 рис. П1.23, П1.24	вар. 63 рис. П1.34, П1.35	вар. 64 рис. П1.49, П1.50
Посредине пласта прослоек породы $m=0,5$ м, коэффициент крепости $f=2$	вар. 31 рис. П1.7, П1.8	вар. 32 рис. П1.25, П1.26	вар. 65 рис. П1.36, П1.37	вар. 66 рис. П1.51, П1.52
Посредине пласта прослоек породы $m=0,5$ м, коэффициент крепости $f=3$	вар. 41 рис. П1.7, П1.8	вар. 42 рис. П1.25, П1.26	вар. 75 рис. П1.36, П1.37	вар. 76 рис. П1.51, П1.52
Посредине пласта прослоек породы $m=0,5$ м, коэффициент крепости $f=4$	вар. 33 рис. П1.7, П1.8	вар. 34 рис. П1.25, П1.26	вар. 67 рис. П1.36, П1.37	вар. 68 рис. П1.51, П1.52
На высоте 4 м от кровли пласта слой аргиллита, $m=1$ м, $f=1,2$	вар. 35 рис. П1.11, П1.12	вар. 36 рис. П1.27, П1.28	вар. 69 рис. П1.40, П1.41	вар. 70 рис. П1.55, П1.56
На высоте 8 м от кровли пласта слой аргиллита, $m=1$ м, $f=1,2$	вар. 37 рис. П1.11, П1.12	вар. 38 рис. П1.27, П1.28	вар. 71 рис. П1.40, П1.41	вар. 72 рис. П1.55, П1.56
На высоте 12 м от кровли пласта слой аргиллита, $m=1$ м, $f=1,2$	вар. 39 рис. П1.11, П1.12	вар. 40 рис. П1.27, П1.28	вар. 73 рис. П1.40, П1.41	вар. 74 рис. П1.55, П1.56
Ширина зоны оттаивания 0,5 м			вар. 79 рис. П1.43, П1.44	вар. 80 рис. П1.58, П1.59
Ширина зоны оттаивания 1 м			вар. 81 рис. П1.43, П1.44	вар. 82 рис. П1.58, П1.59
Ширина зоны оттаивания 1,5 м			вар. 83 рис. П1.43, П1.44	вар. 84 рис. П1.58, П1.59

П1.1 Одиночная подготовительная выработка в шахте умеренного климата

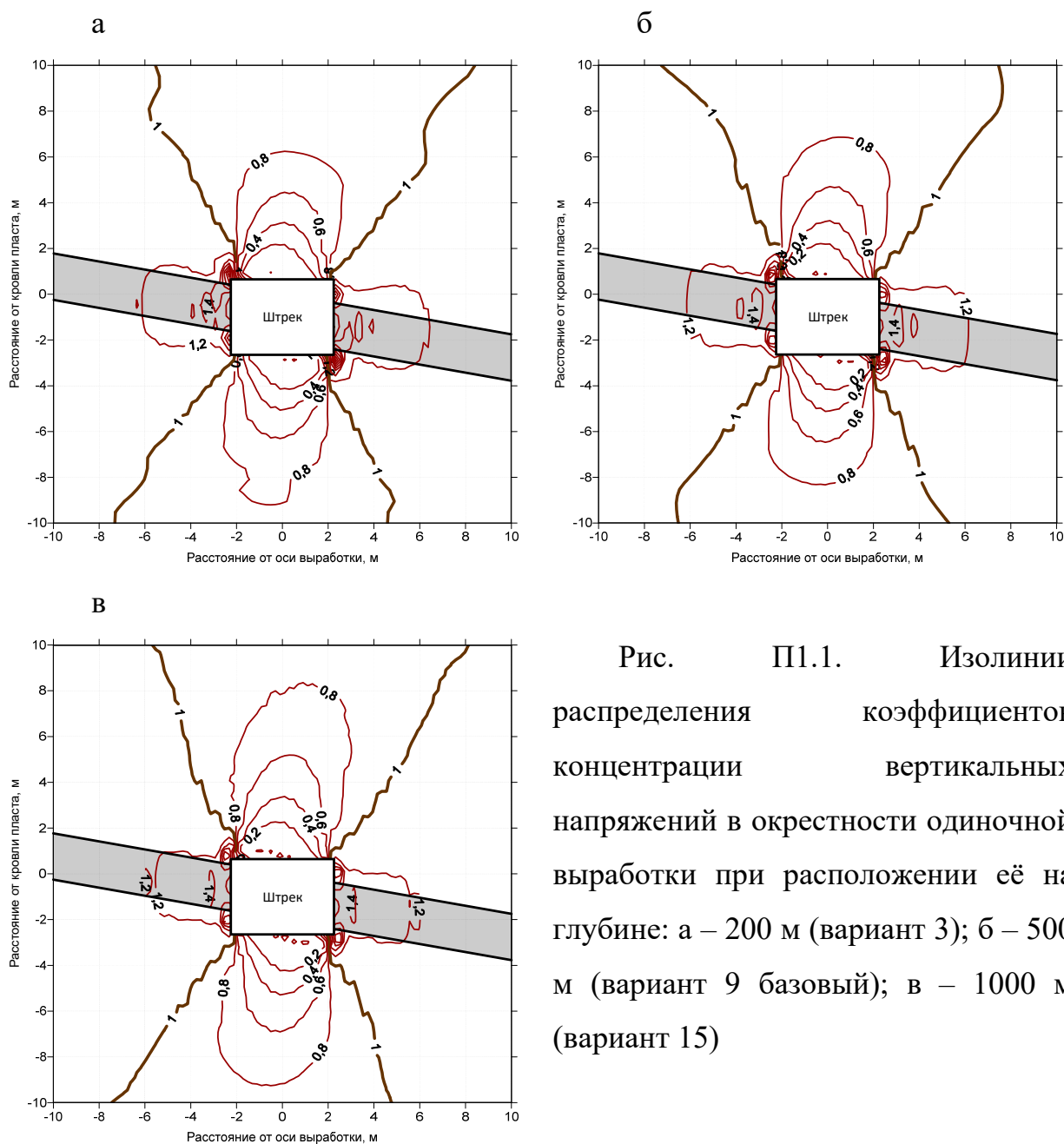


Рис. П1.1. Изолинии распределения коэффициентов концентрации вертикальных напряжений в окрестности одиночной выработки при расположении её на глубине: а – 200 м (вариант 3); б – 500 м (вариант 9 базовый); в – 1000 м (вариант 15)

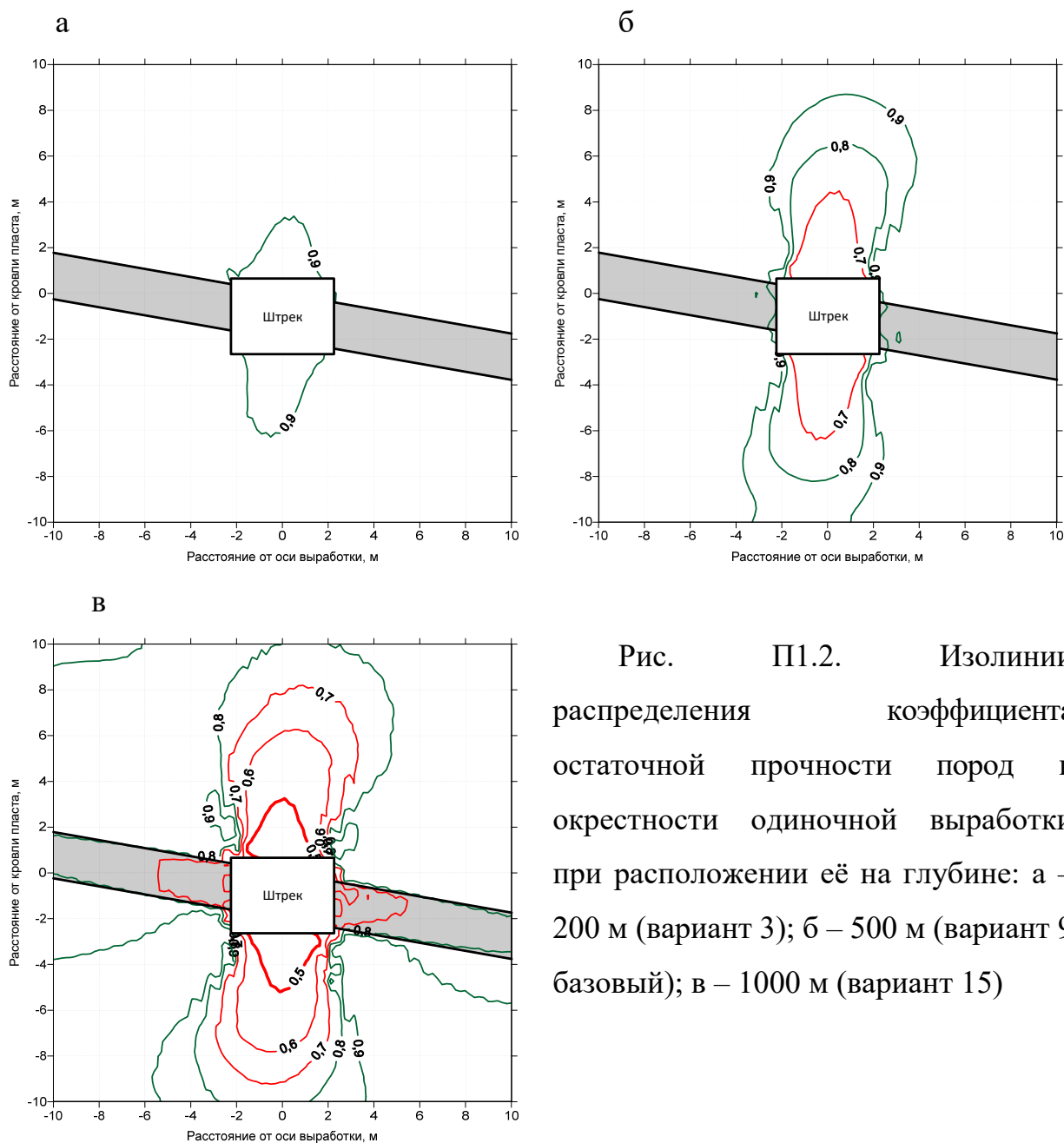
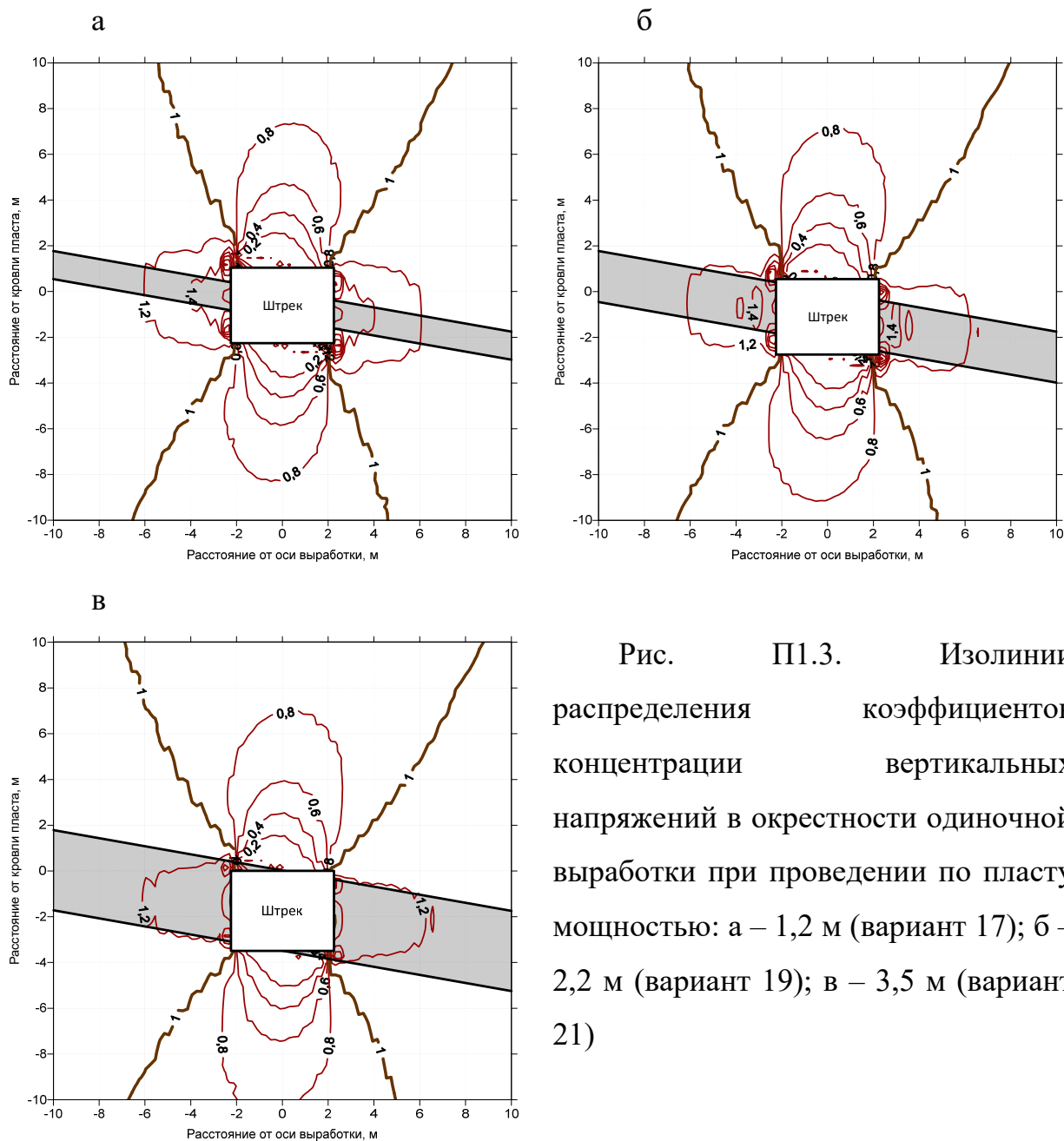
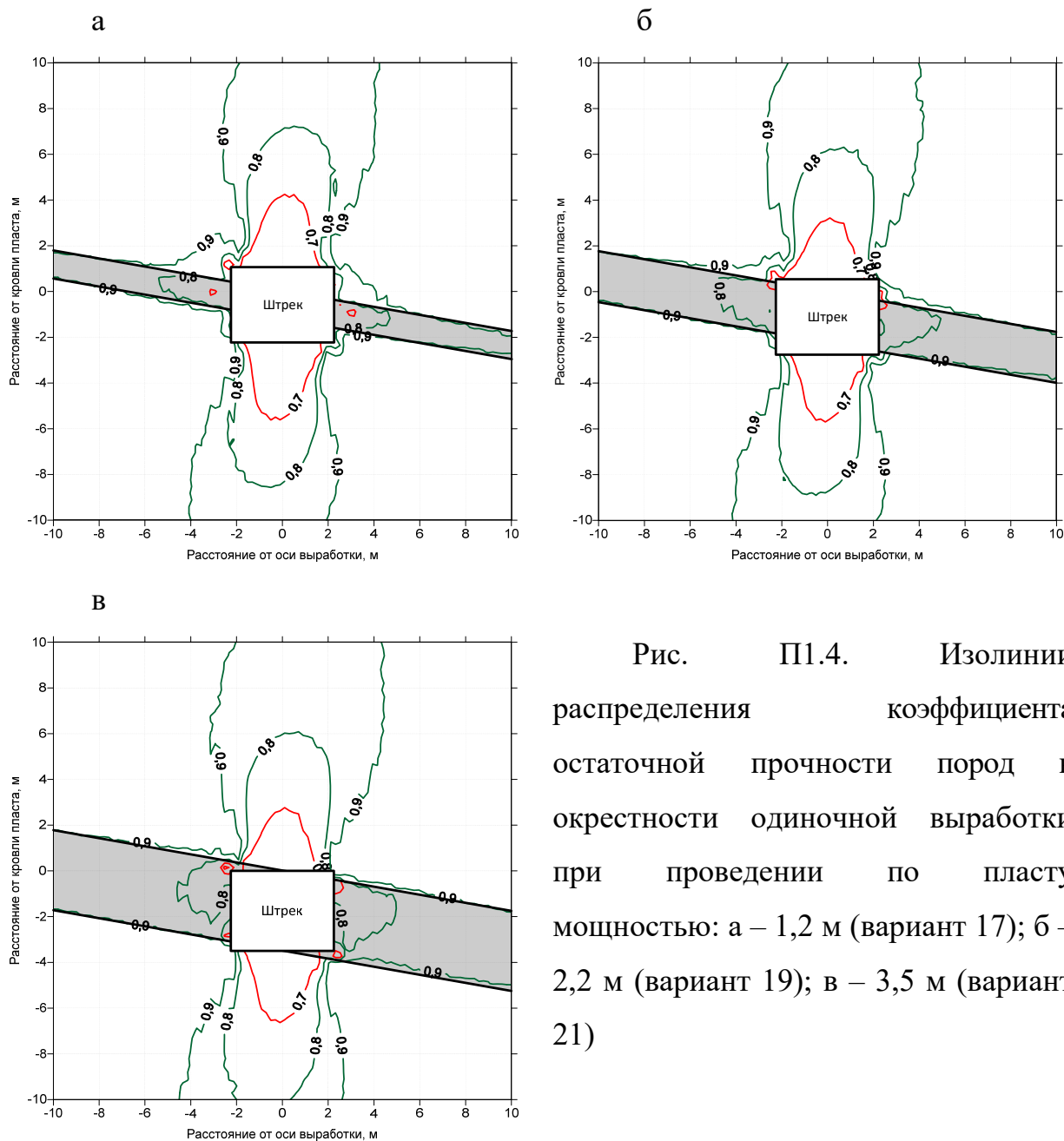


Рис. П1.2. Изолинии распределения коэффициента остаточной прочности пород в окрестности одиночной выработки при расположении её на глубине: а – 200 м (вариант 3); б – 500 м (вариант 9 базовый); в – 1000 м (вариант 15)





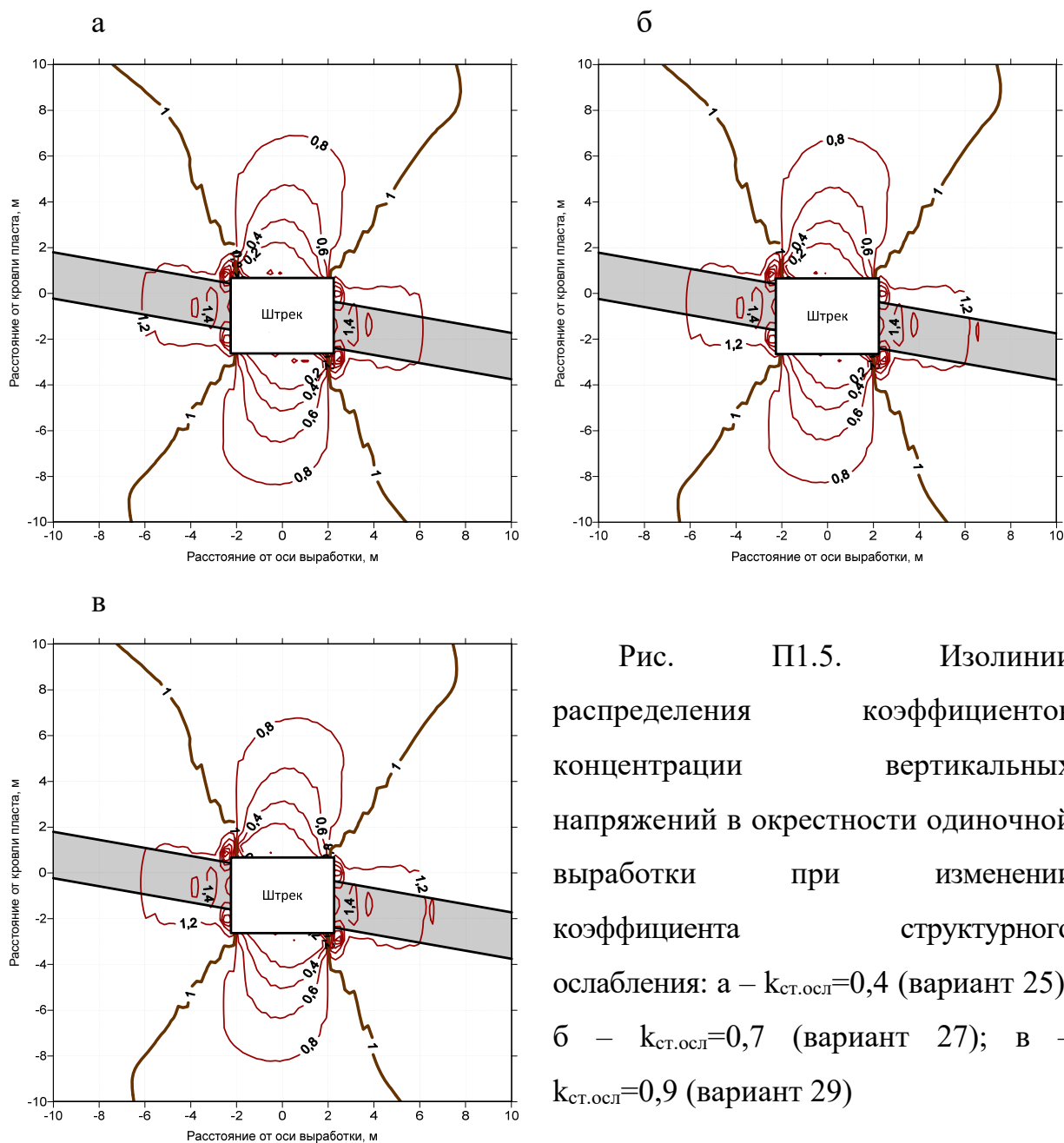


Рис. П1.5. Изолинии распределения коэффициентов концентрации вертикальных напряжений в окрестности одиночной выработки при изменении коэффициента структурного ослабления: а – $k_{ст.осл} = 0,4$ (вариант 25); б – $k_{ст.осл} = 0,7$ (вариант 27); в – $k_{ст.осл} = 0,9$ (вариант 29)

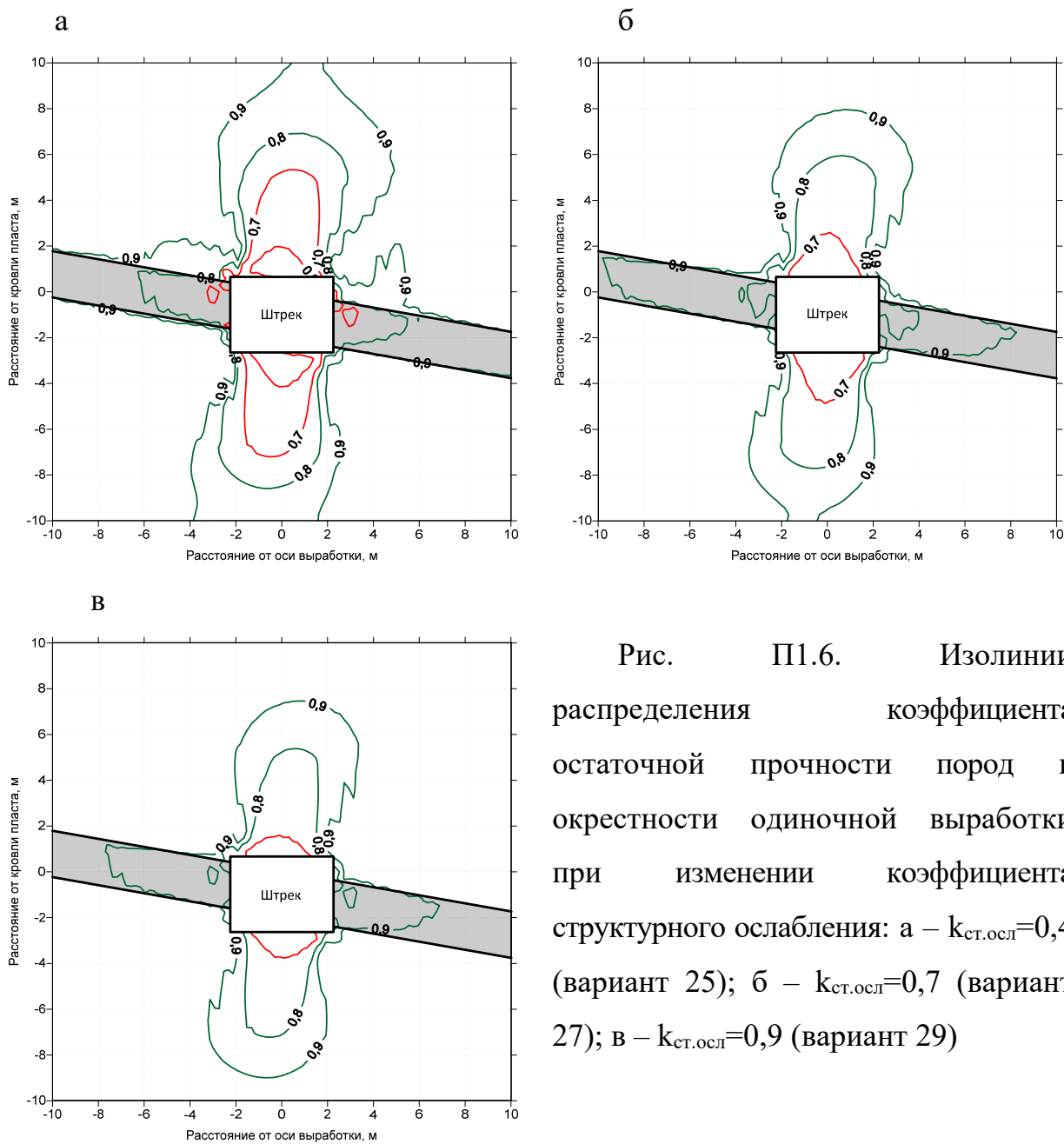
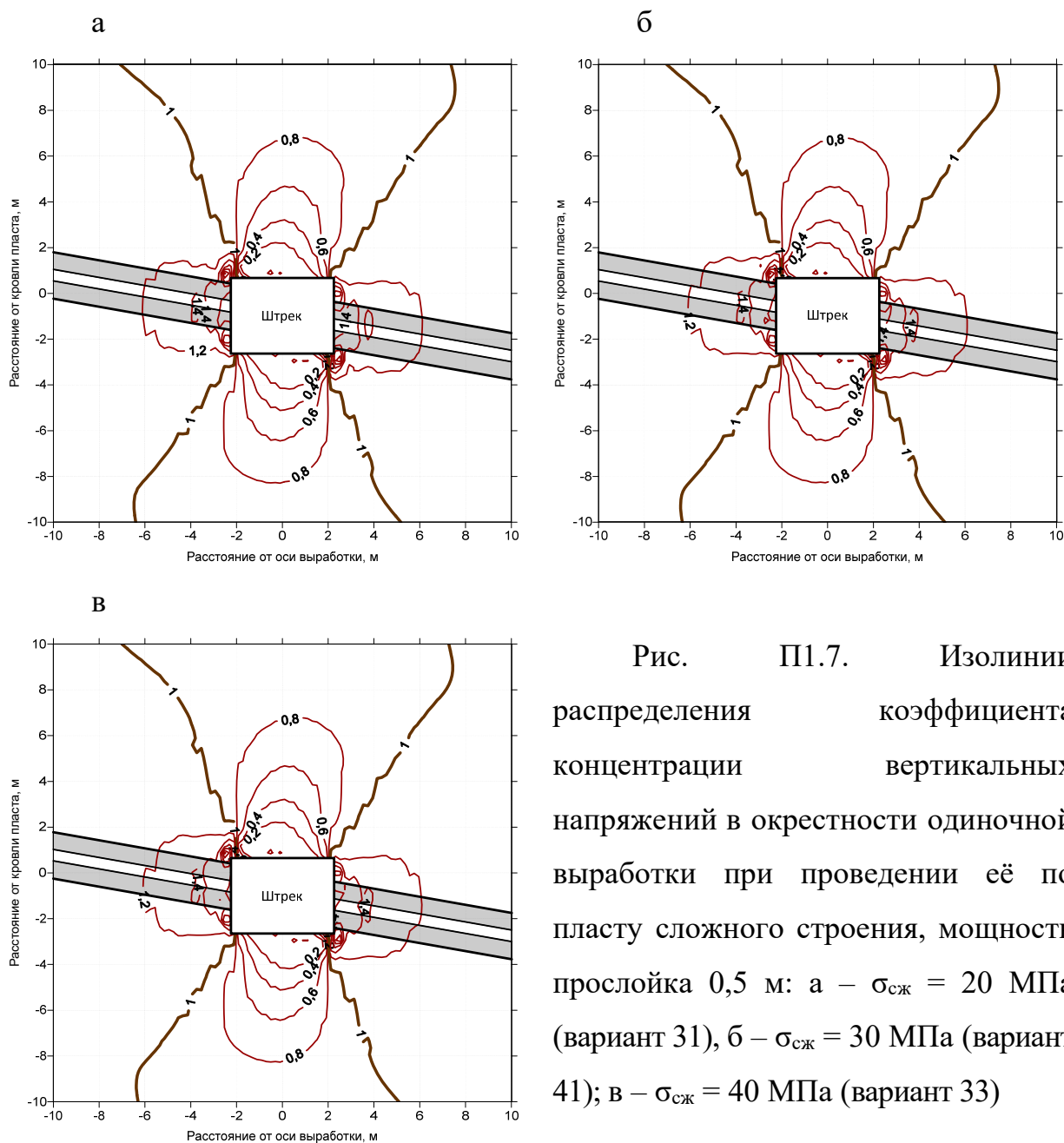


Рис. П1.6. Изолинии распределения коэффициента остаточной прочности пород в окрестности одиночной выработки при изменении коэффициента структурного ослабления: а – $k_{\text{ст.осл}}=0,4$ (вариант 25); б – $k_{\text{ст.осл}}=0,7$ (вариант 27); в – $k_{\text{ст.осл}}=0,9$ (вариант 29)



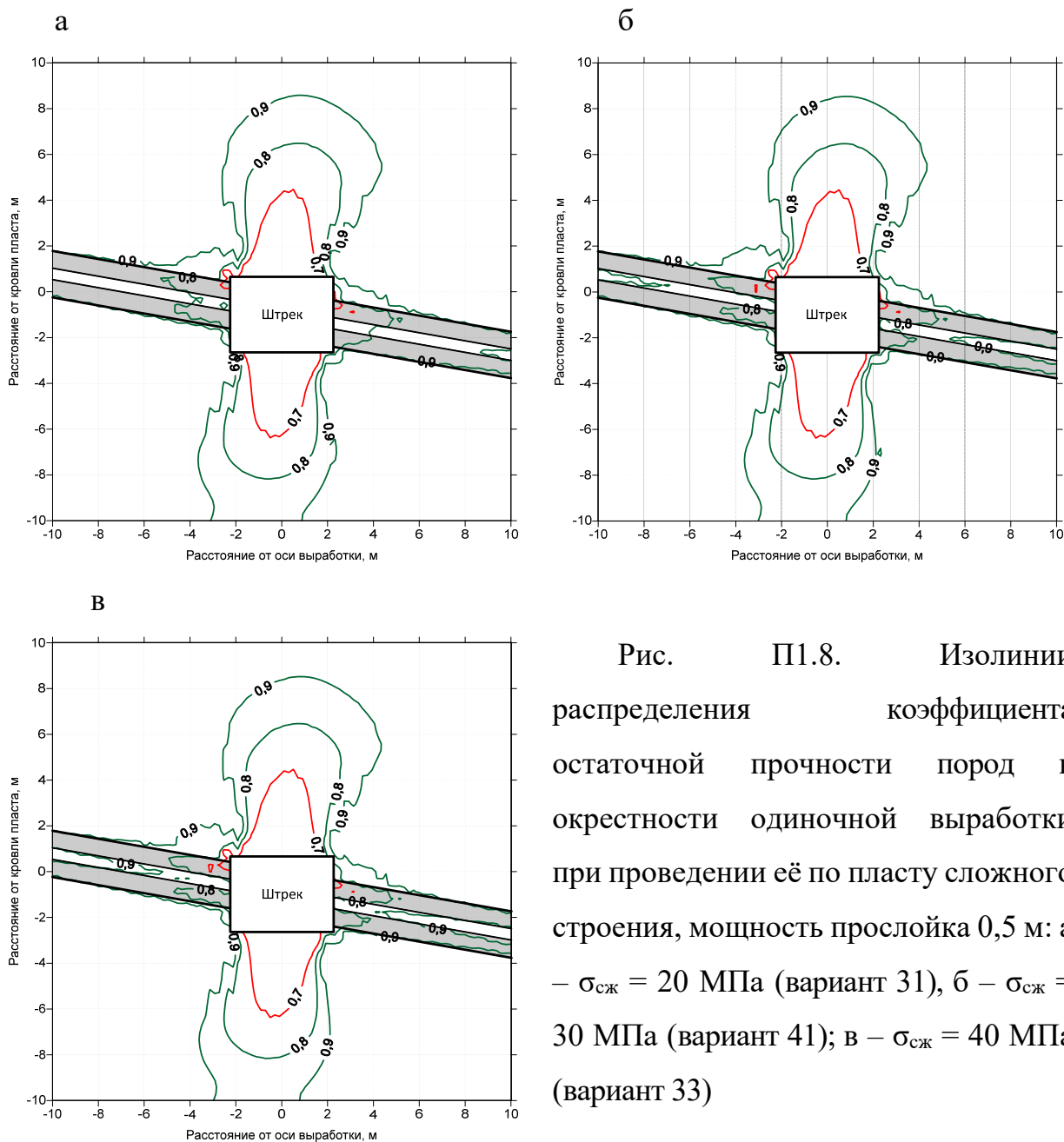
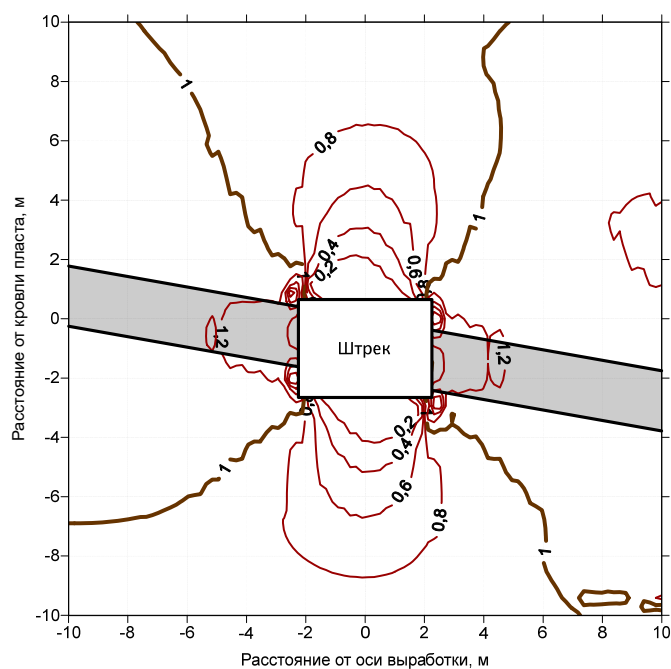


Рис. П1.8. Изолинии распределения коэффициента остаточной прочности пород в окрестности одиночной выработки при проведении её по пласту сложного строения, мощность прослойка 0,5 м: а – $\sigma_{сж} = 20$ МПа (вариант 31), б – $\sigma_{сж} = 30$ МПа (вариант 41); в – $\sigma_{сж} = 40$ МПа (вариант 33)

а



б

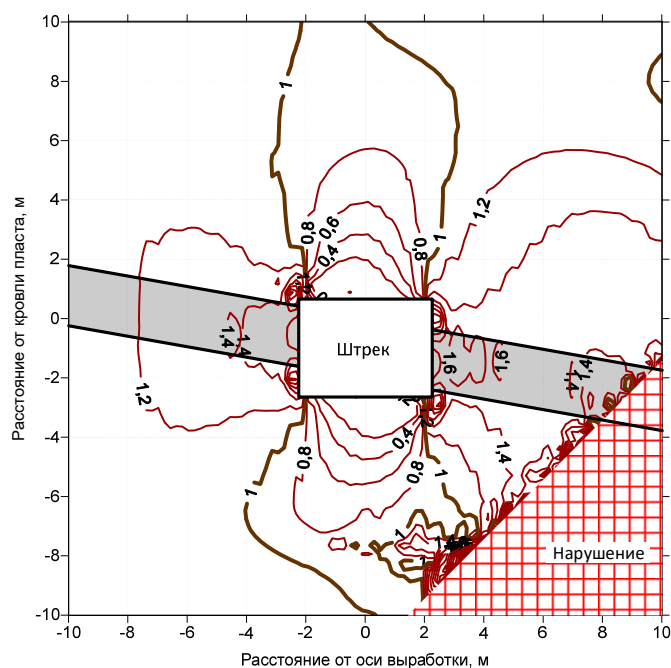
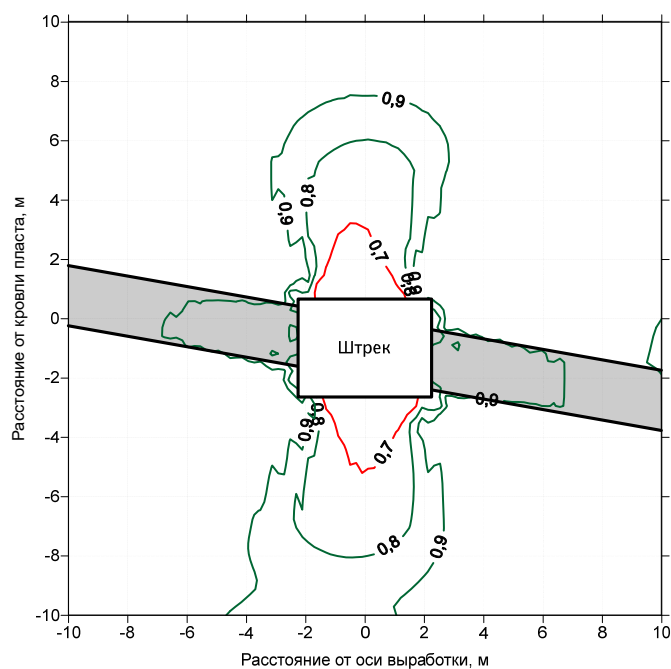


Рис. П1.9. Изолинии распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений в окрестности одиночной выработки при проведении её вблизи дизъюнктива, глубина разработки 500 м, ширина дизъюнктива 10 м: а – угол наклона дизъюнктива 90° (вариант 11); б – угол наклона дизъюнктива 45° (вариант 13)

а



б

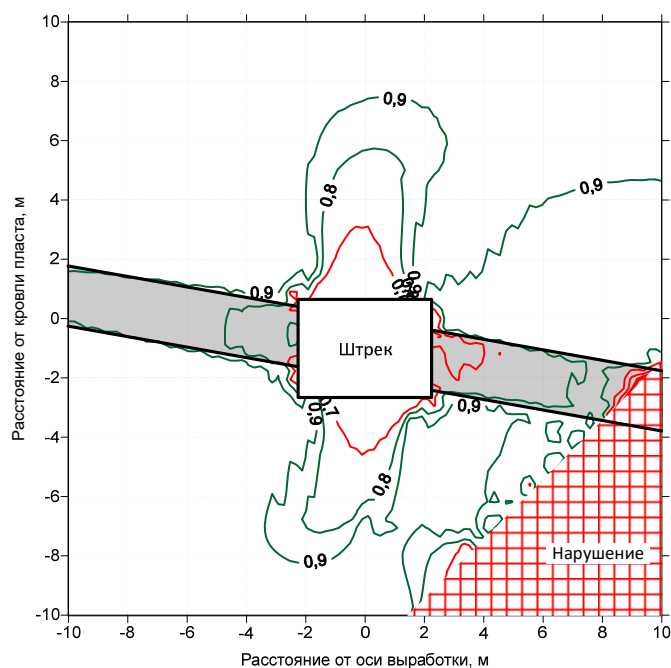
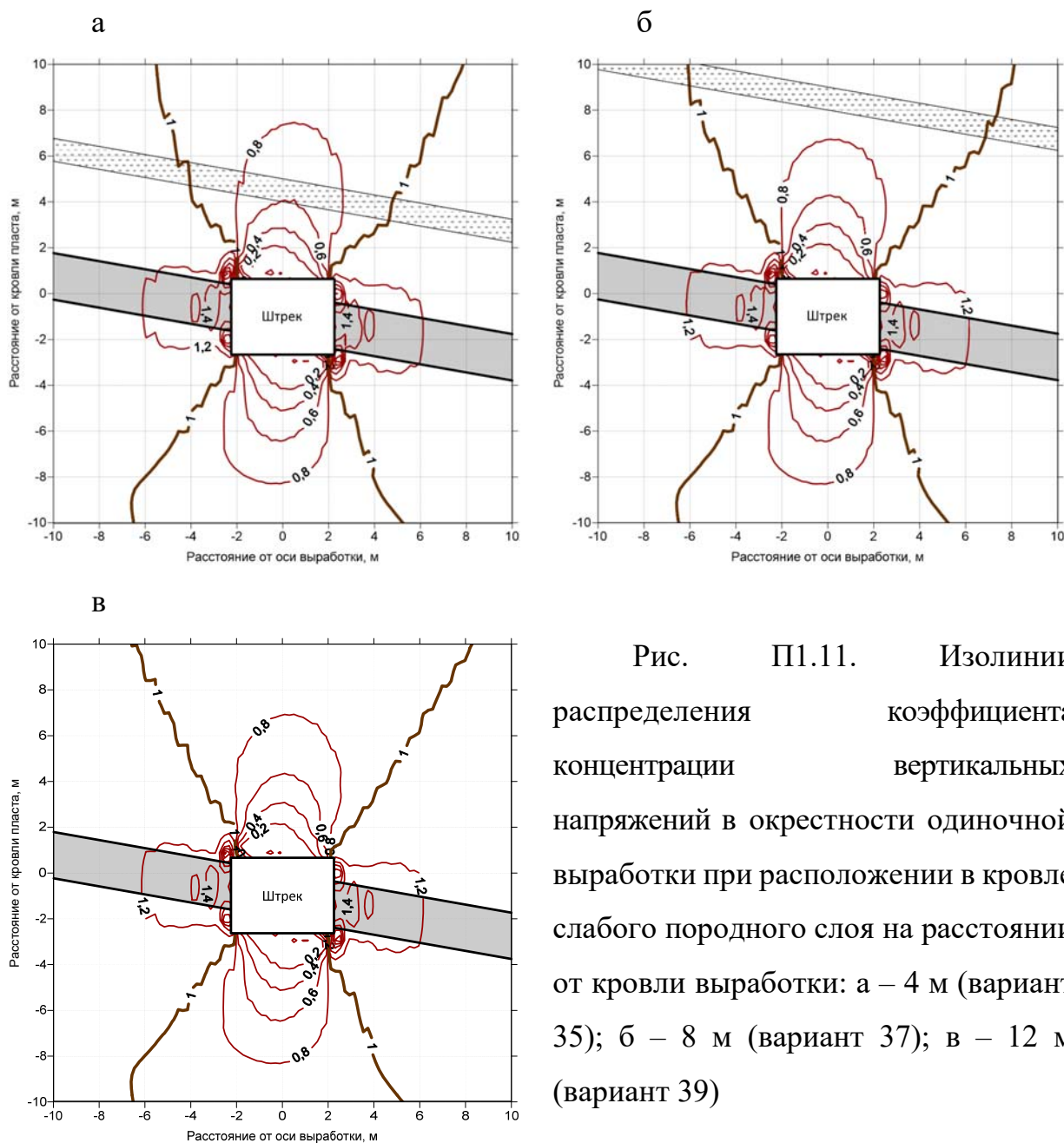
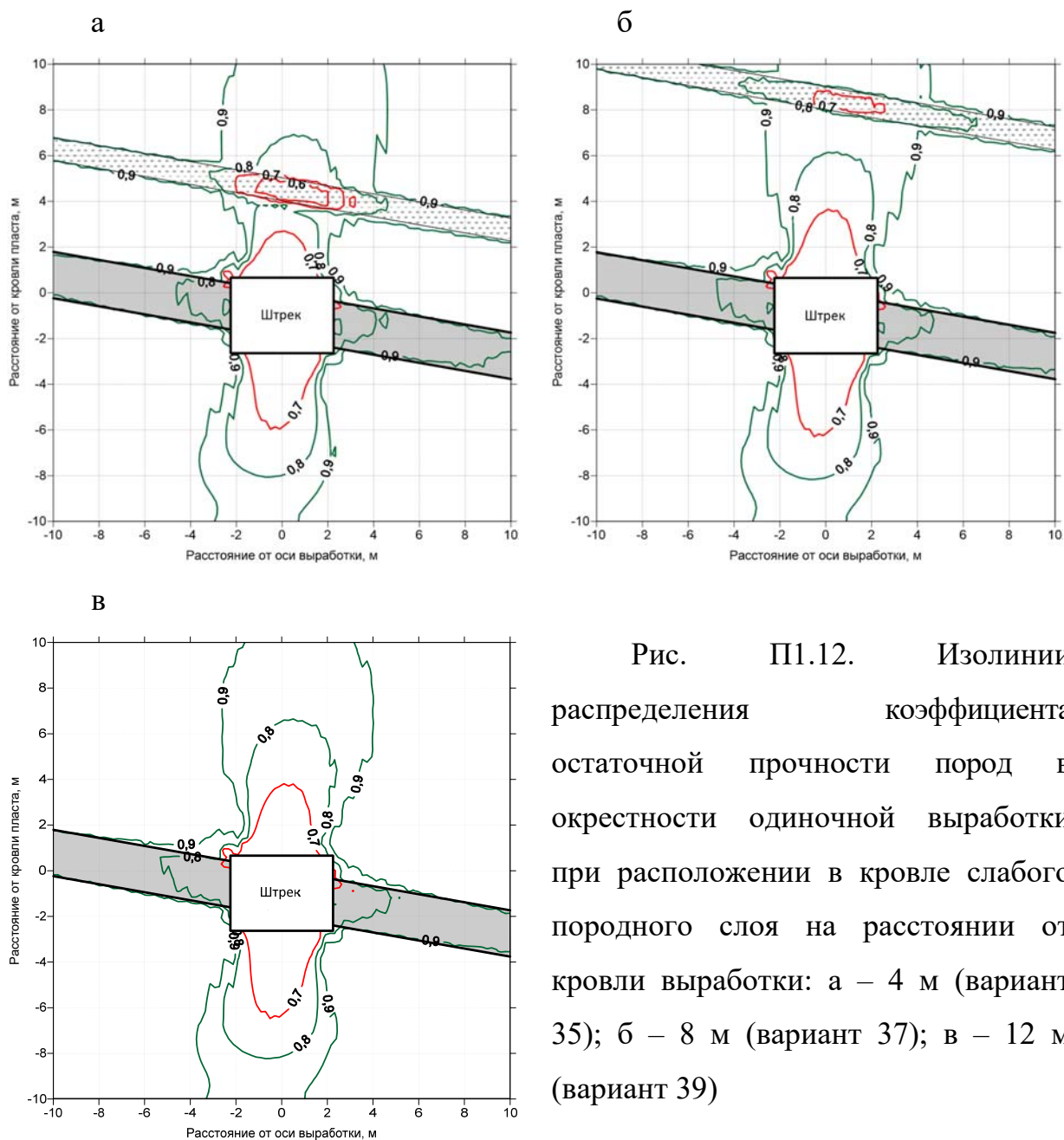
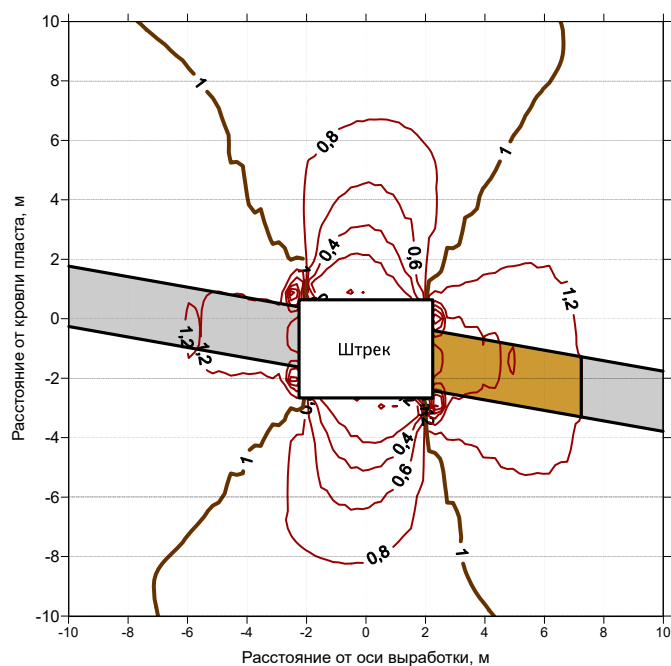


Рис. П1.10. Изолинии распределения коэффициента остаточной прочности пород в окрестности одиночной выработки при проведении её вблизи дизъюнктива, глубина разработки 500 м, ширина дизъюнктива 10 м: а – угол наклона дизъюнктива 90° (вариант 11); б – угол наклона дизъюнктива 45° (вариант 13)





а



б

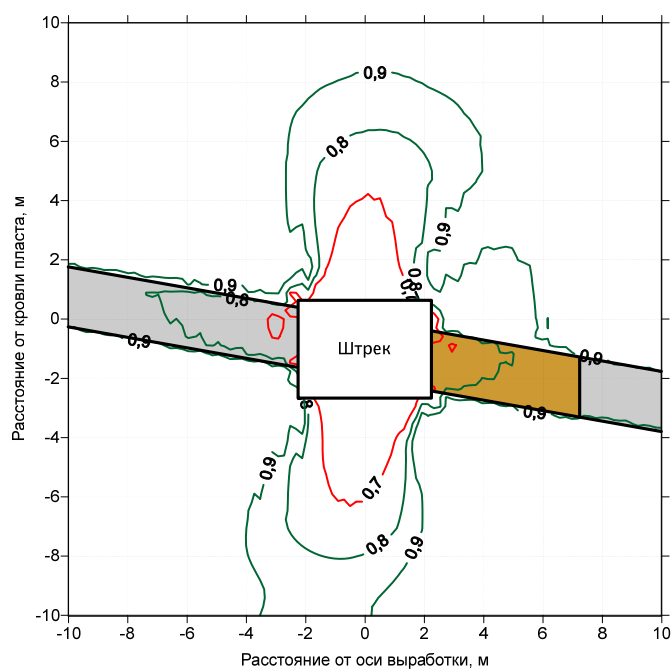
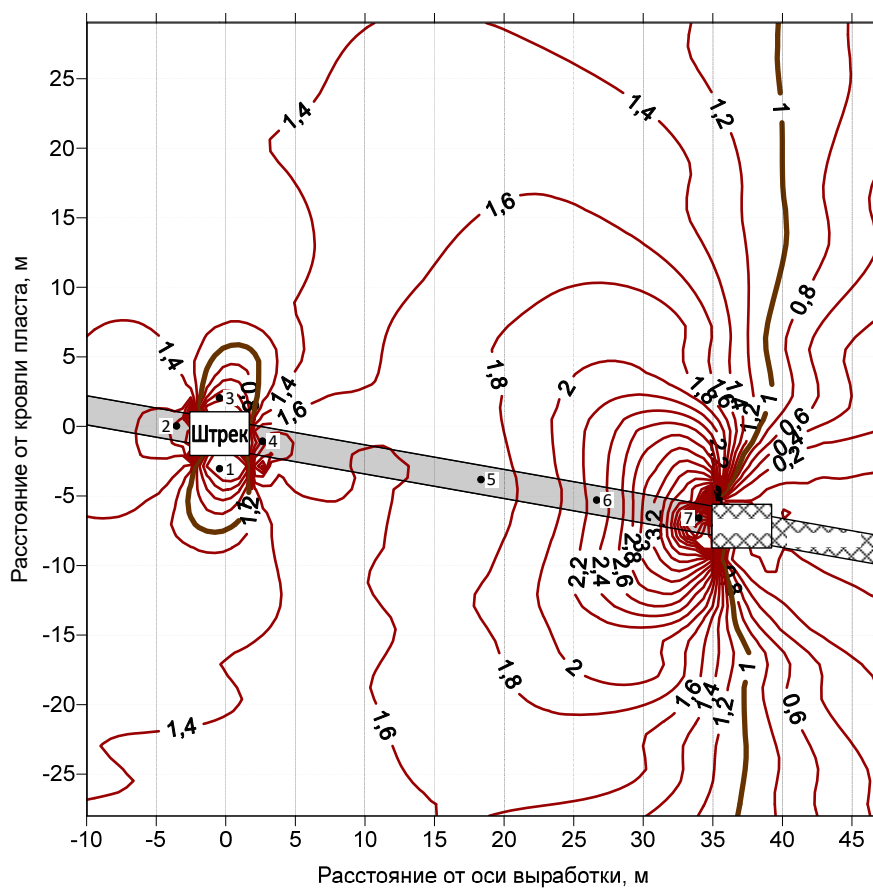


Рис. П1.13. Изолинии распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений (а) и коэффициента остаточной прочности пород (б) в окрестности одиночной выработки, проведённой по трещиноватому угольному пласту, с укреплением бока целика клеевым составом (вариант 23)

П1.2 Подготовительная выработка под влиянием веса зависающих пород кровли ранее отработанного выемочного столба в шахте умеренного климата



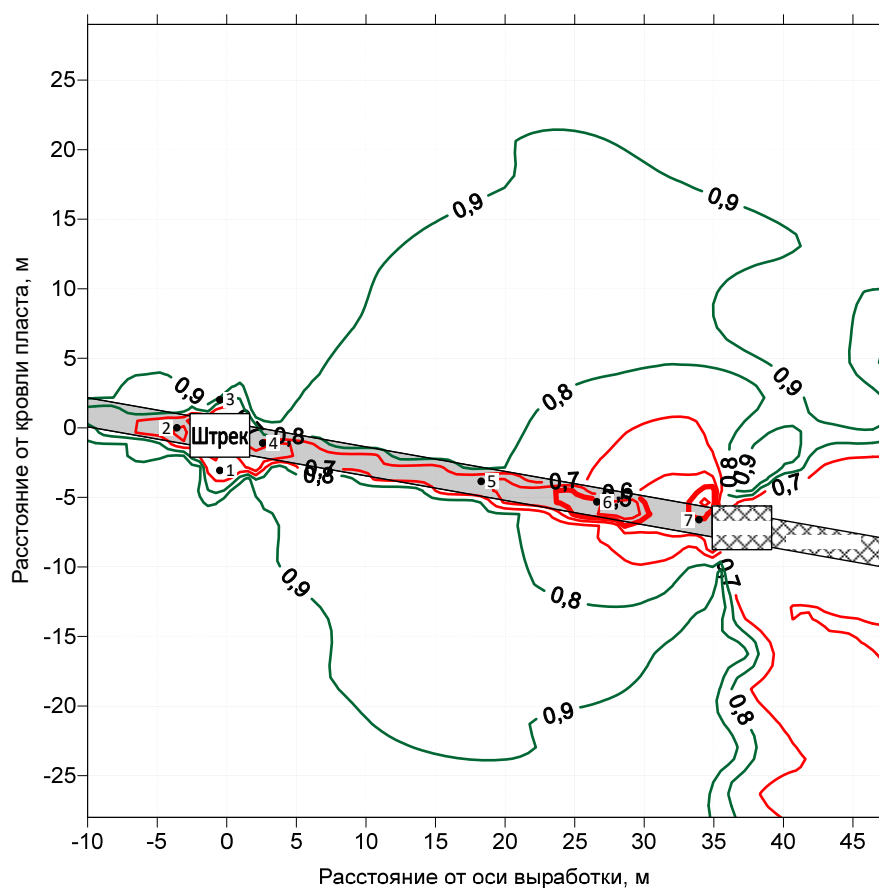
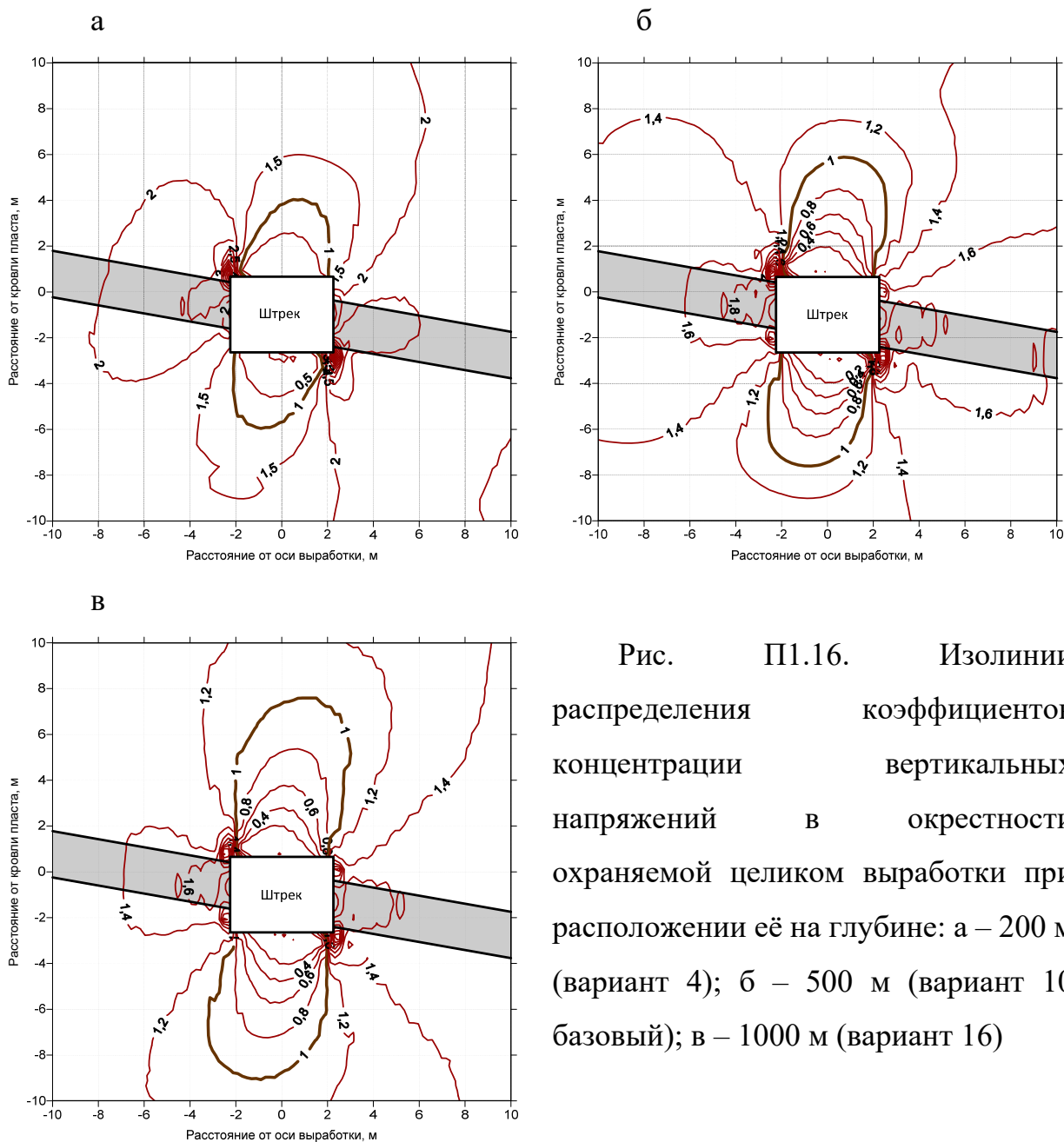


Рис. П1.15. Изолинии распределения коэффициента остаточной прочности пород в зоне влияния подготовительных выработок, очистного выработанного пространства и угольного целика, глубина разработки 500 м (вариант 10 базовый)



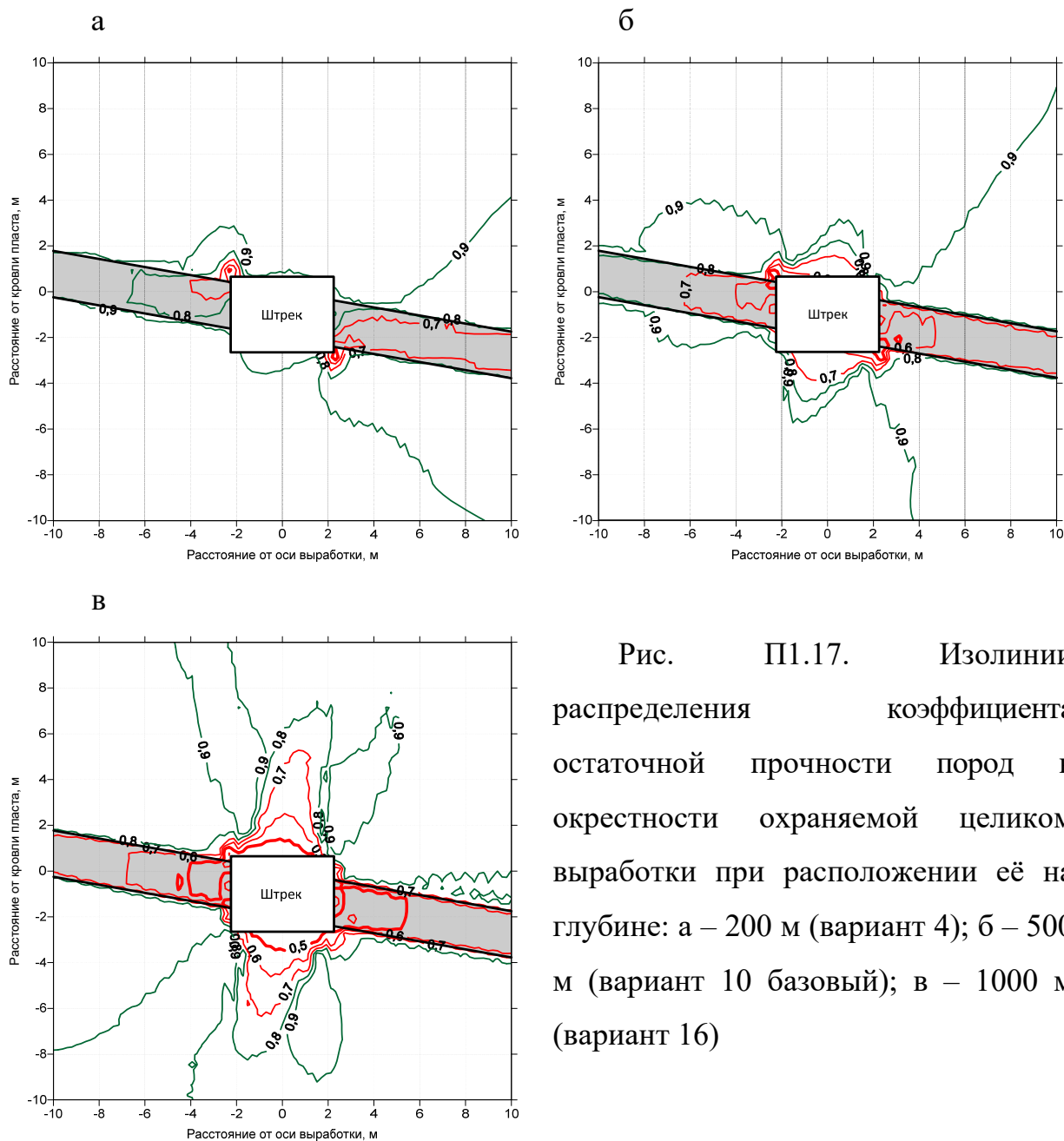


Рис. П1.17. Изолинии распределения коэффициента остаточной прочности пород в окрестности охраняемой целиком выработки при расположении её на глубине: а – 200 м (вариант 4); б – 500 м (вариант 10 базовый); в – 1000 м (вариант 16)

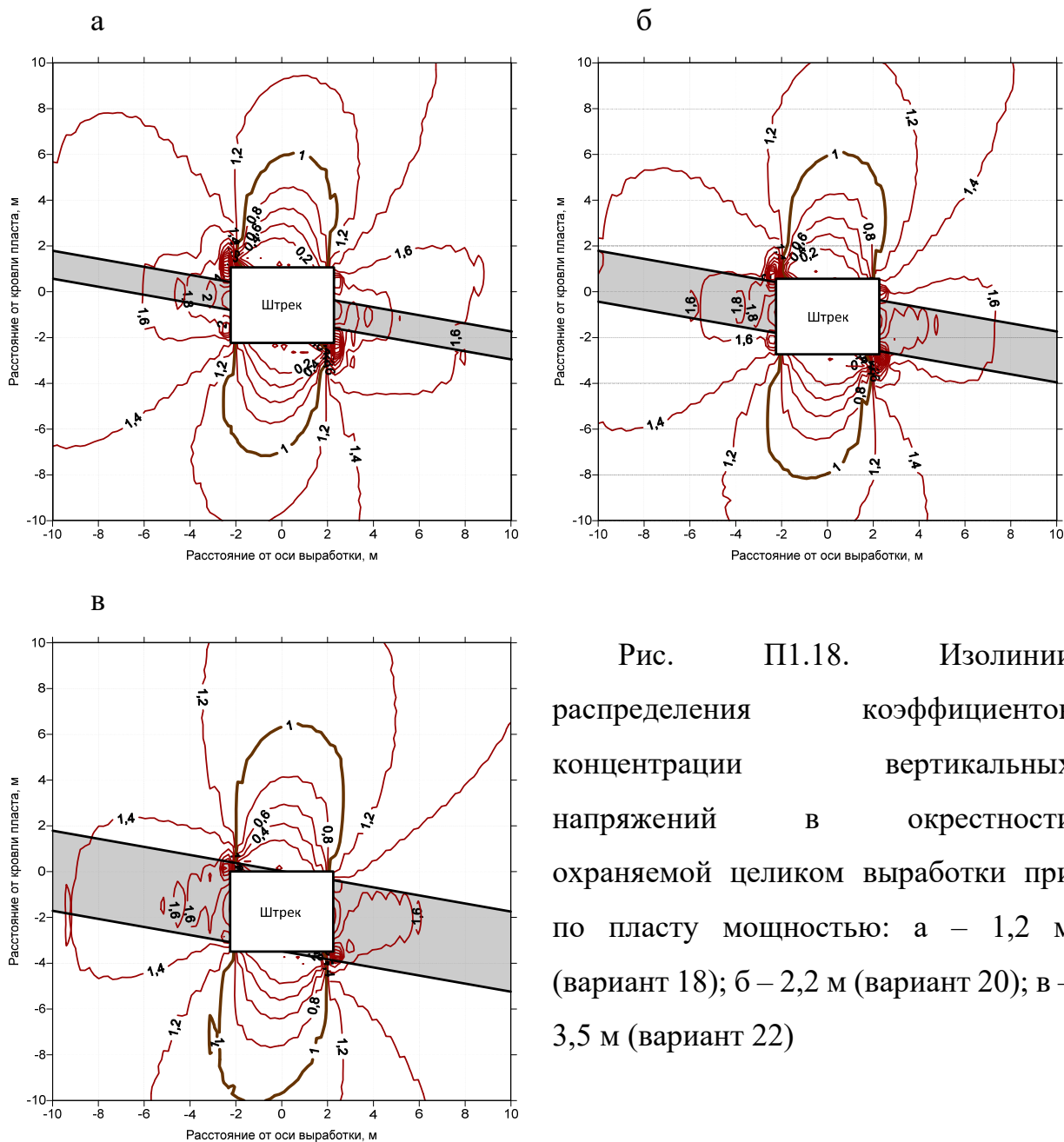


Рис. П1.18. Изолинии распределения коэффициентов концентрации вертикальных напряжений в окрестности охраняемой целиком выработки при по пласту мощностью: а – 1,2 м (вариант 18); б – 2,2 м (вариант 20); в – 3,5 м (вариант 22)

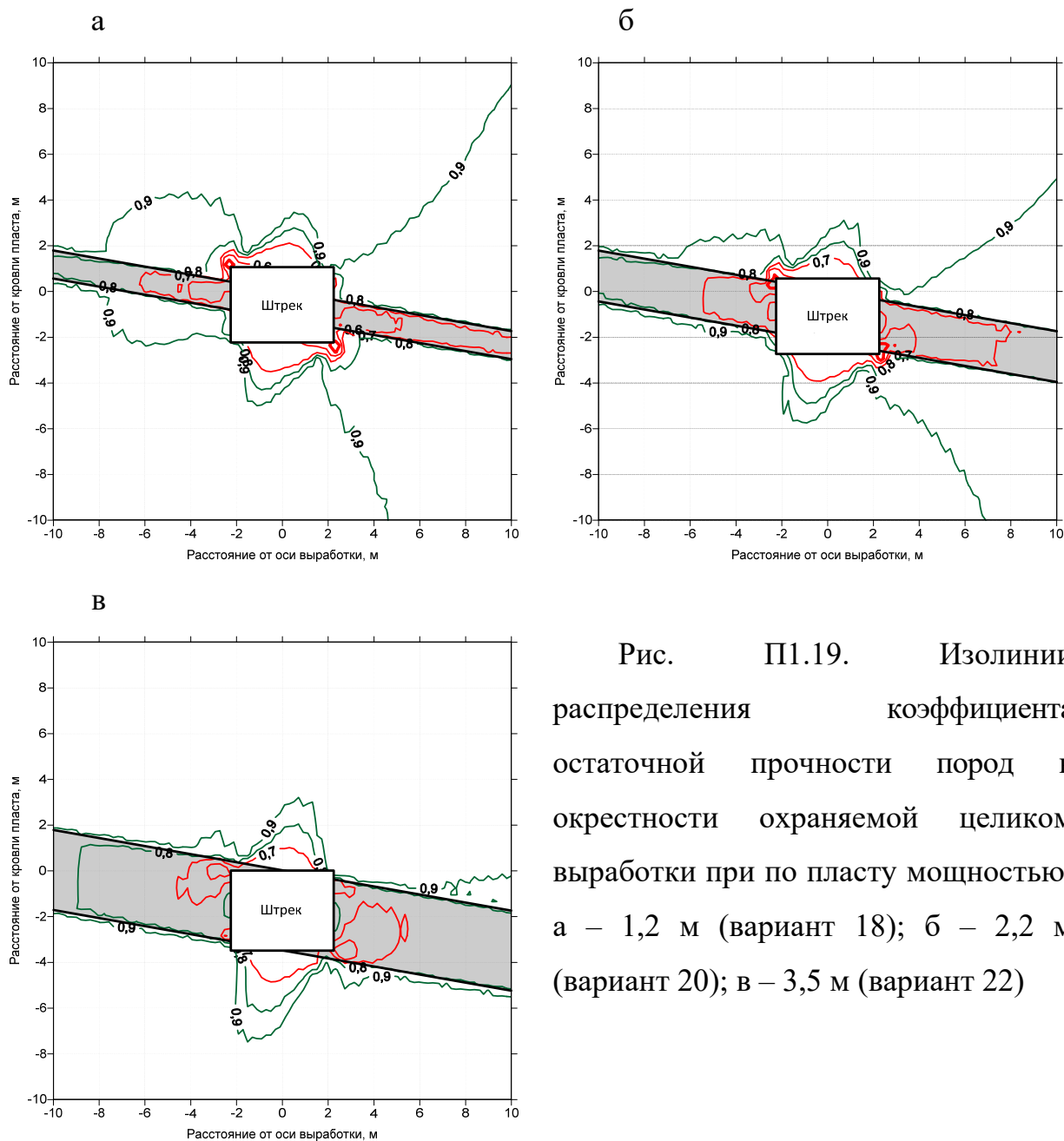
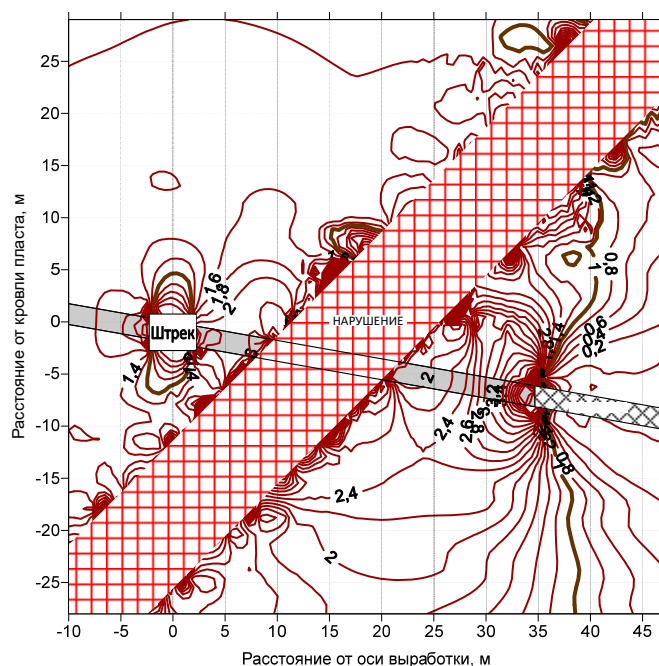


Рис. П1.19. Изолинии распределения коэффициента остаточной прочности пород в окрестности охраняемой целиком выработки при по пласту мощностью: а – 1,2 м (вариант 18); б – 2,2 м (вариант 20); в – 3,5 м (вариант 22)

а



б

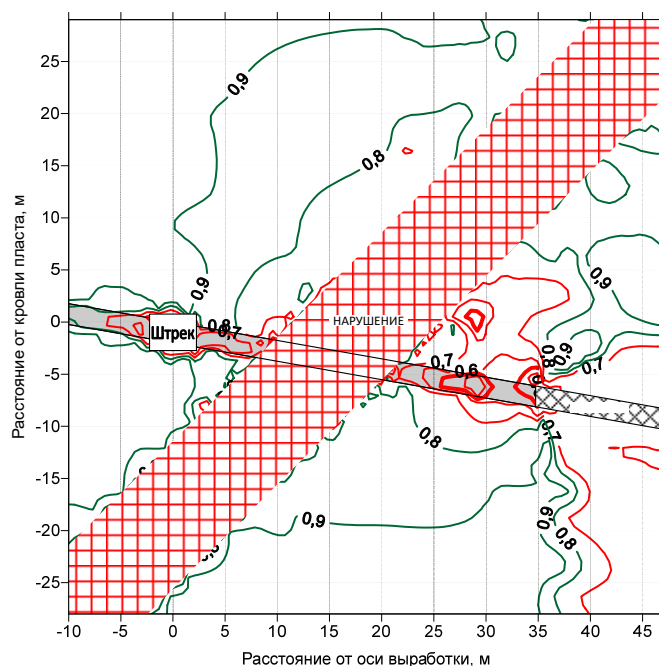
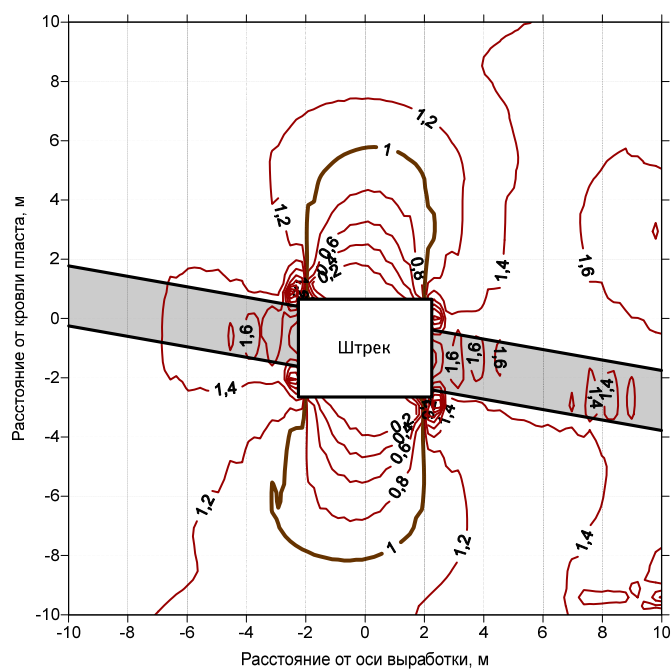


Рис. П1.20. Изолинии распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений (а) и коэффициента остаточной прочности пород (б) в зоне влияния подготовительных выработок, очистного выработанного пространства, угольного целика и дизъюнктива, вариант 14

а



б

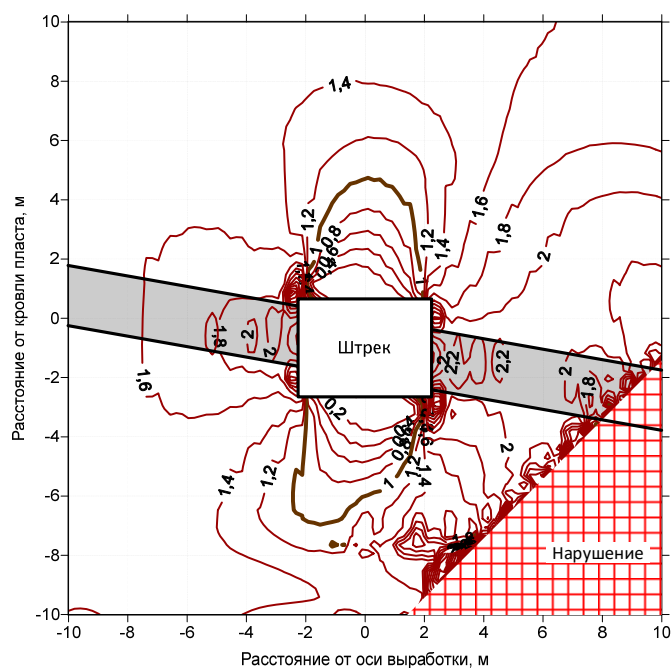
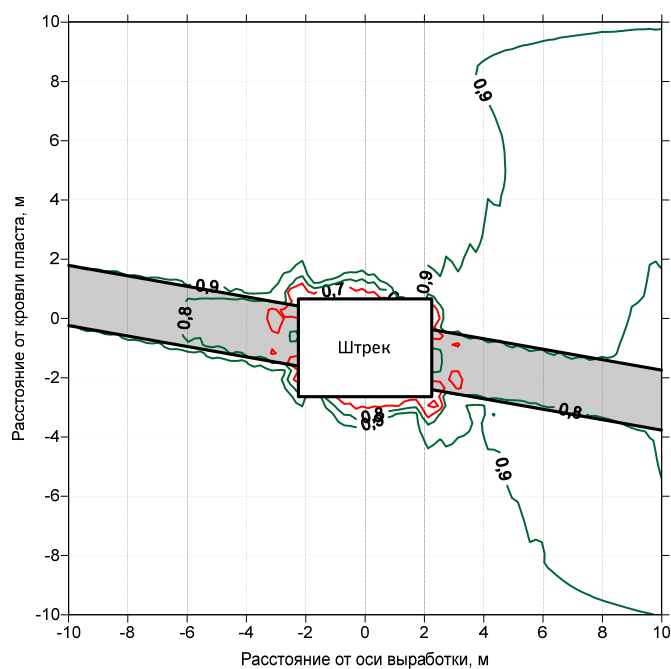


Рис. П1.21. Изолинии распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений в окрестности охраняемой целиком выработки при проведении её вблизи дизъюнктива, глубина разработки 500 м, ширина дизъюнктива 10 м: а – угол наклона дзъюнктива 90° (вариант 12); б – угол наклона дизъюнктива 45° (вариант 14)

а



б

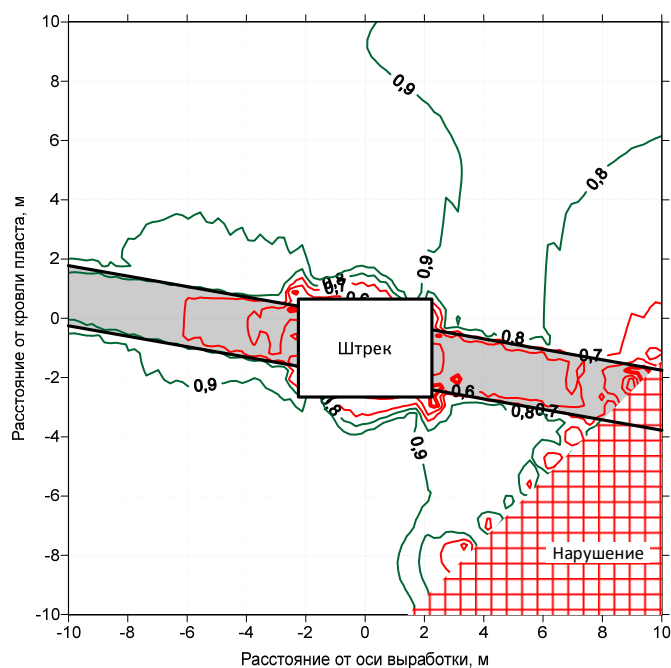


Рис. П1.22. Изолинии распределения коэффициента остаточной прочности пород в окрестности охраняемой целиком выработки при проведении её вблизи дизъюнктива, глубина разработки 500 м, ширина дизъюнктива 10 м: а – угол наклона дъзъюнктива 90° (вариант 12); б – угол наклона дизъюнктива 45° (вариант 14)

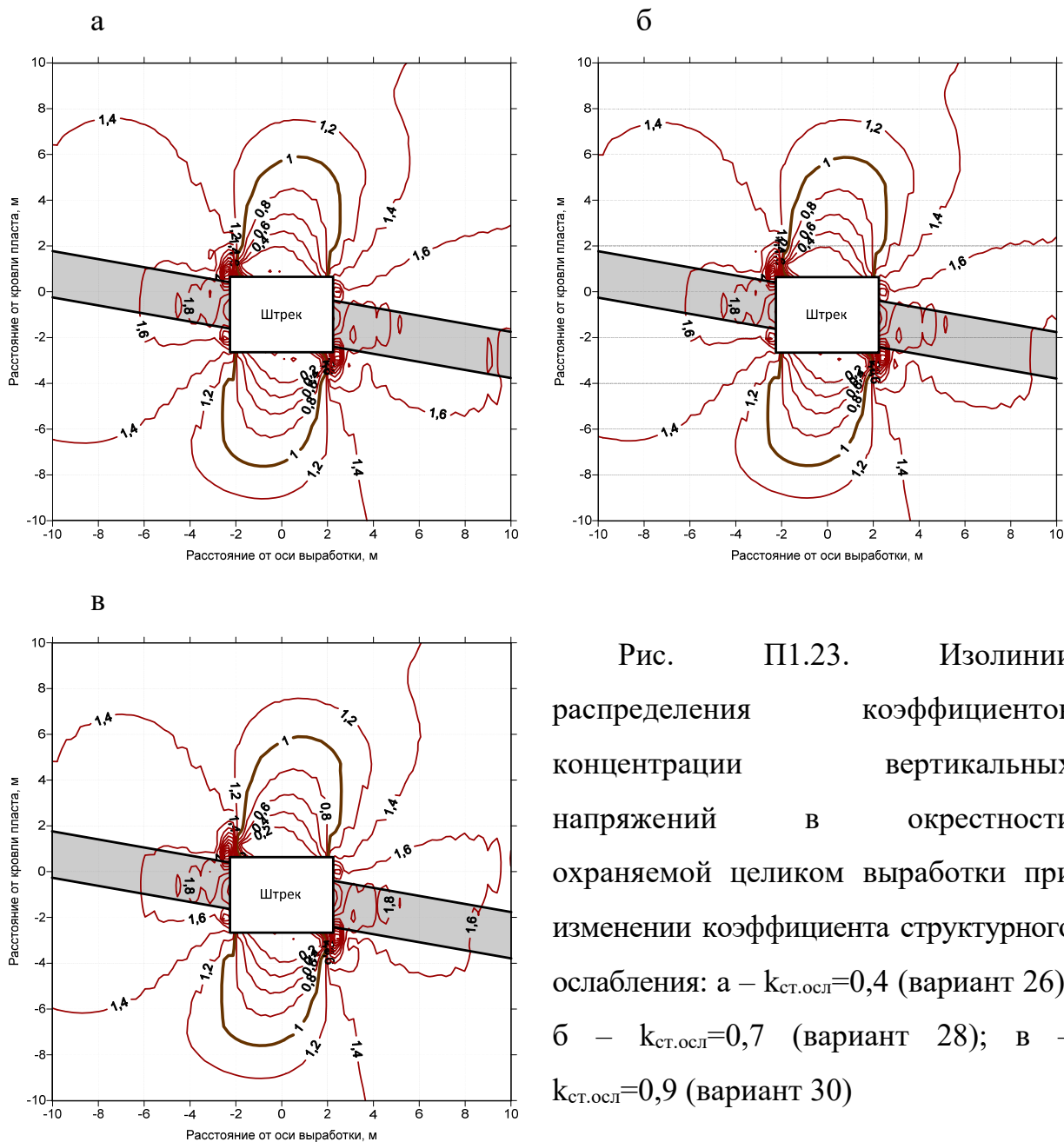


Рис. П1.23. Изолинии распределения коэффициентов концентрации вертикальных напряжений в окрестности охраняемой целиком выработки при изменении коэффициента структурного ослабления: а – $k_{ст.осл} = 0,4$ (вариант 26); б – $k_{ст.осл} = 0,7$ (вариант 28); в – $k_{ст.осл} = 0,9$ (вариант 30)

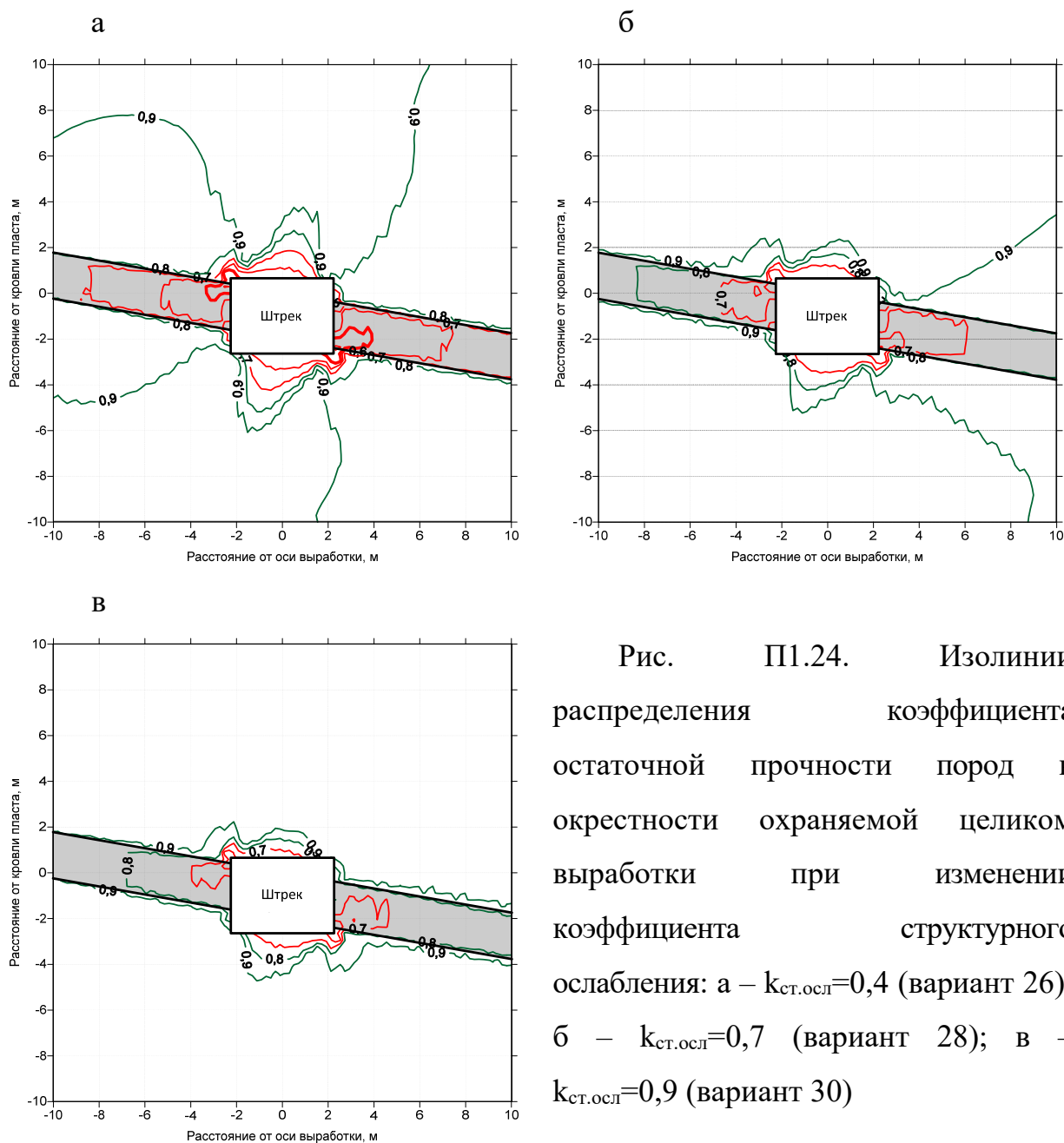
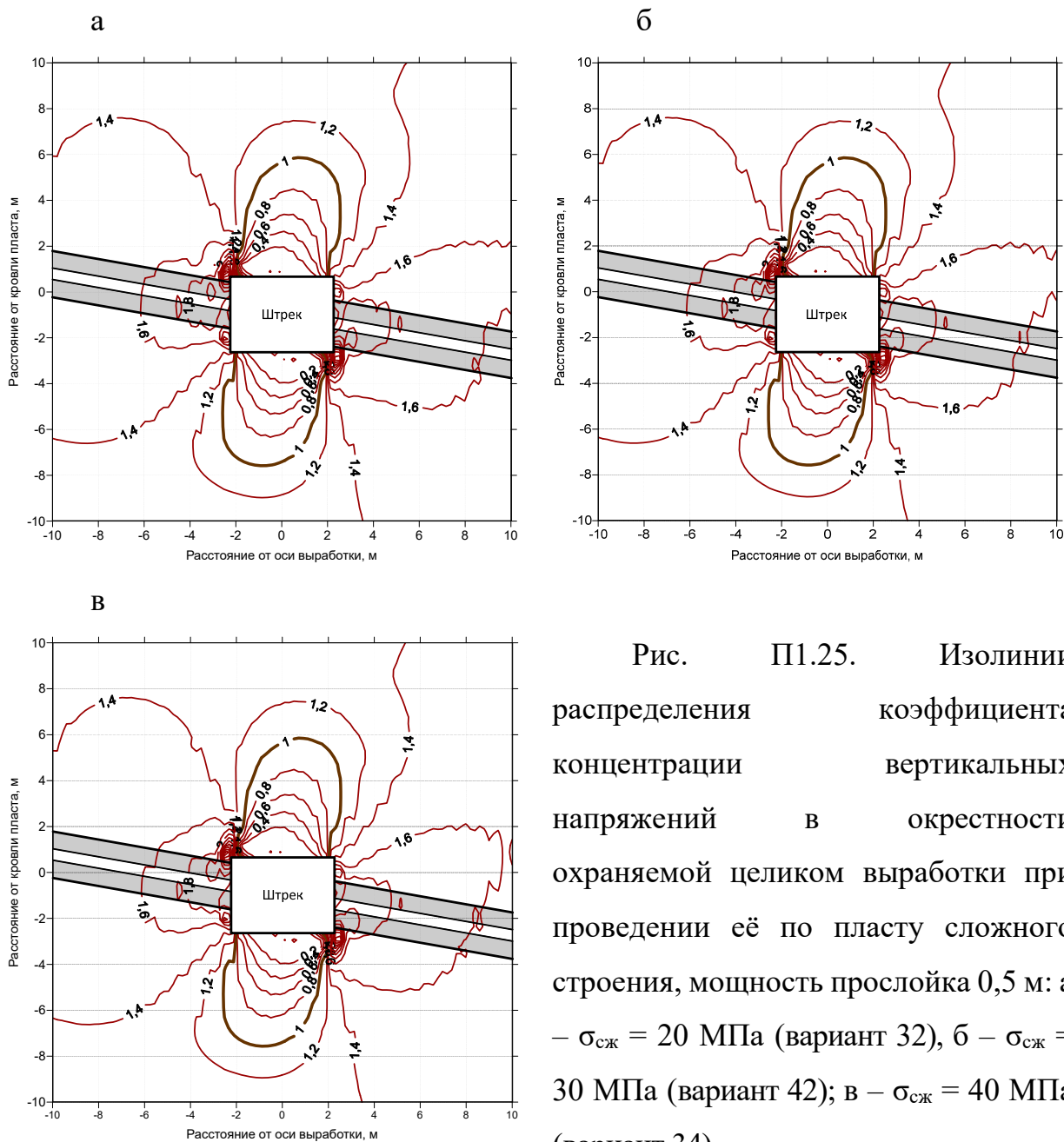
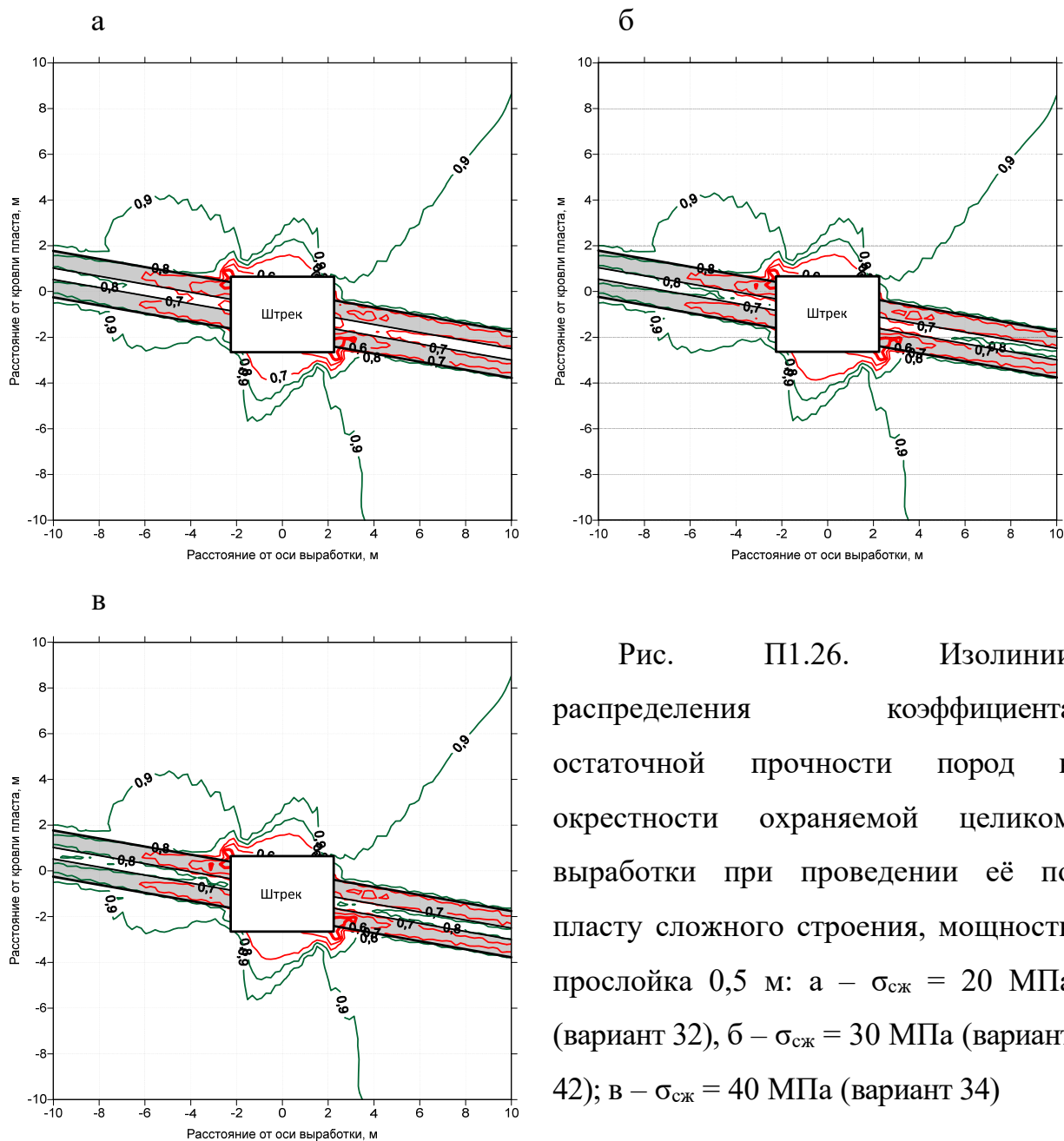
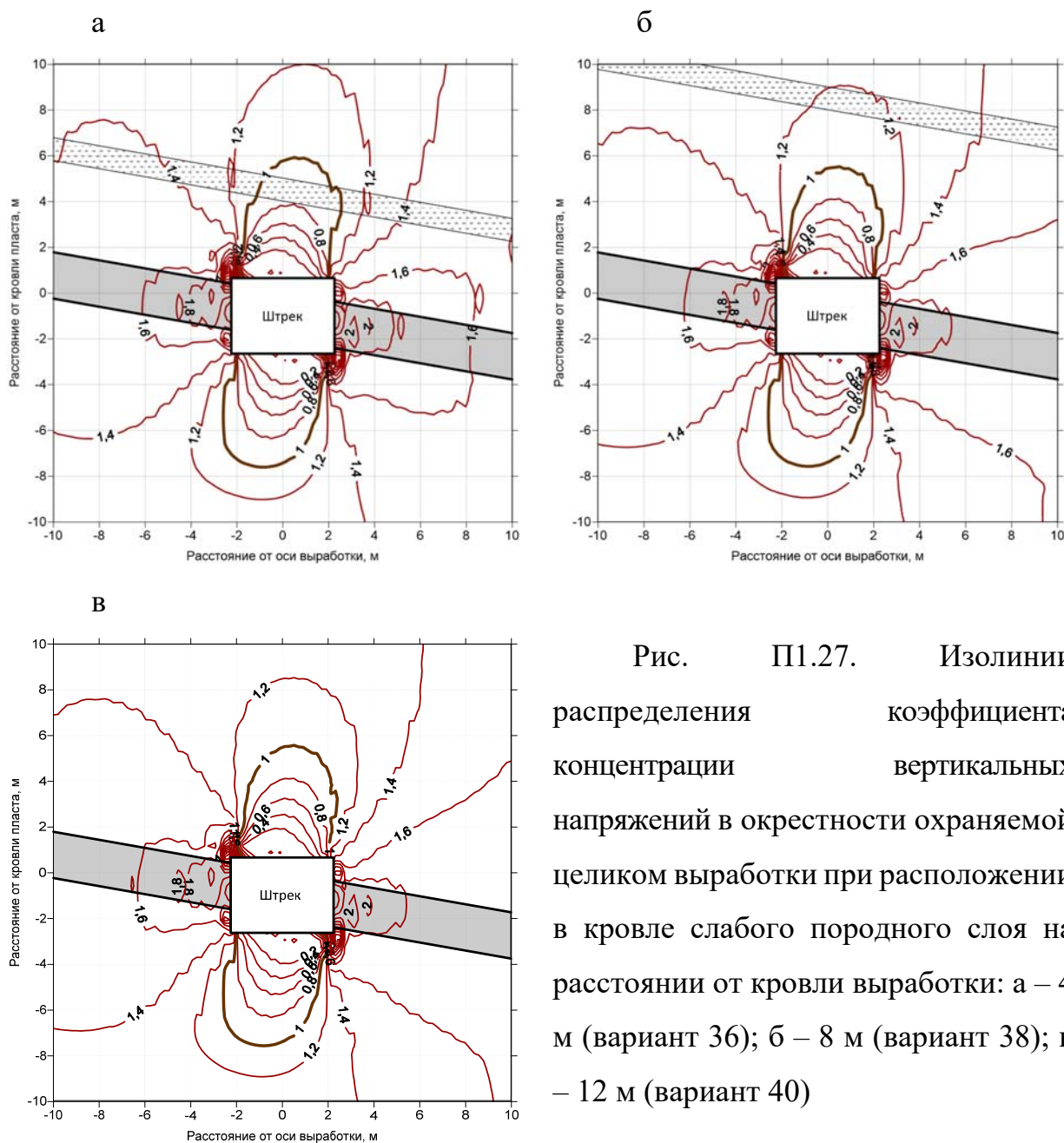
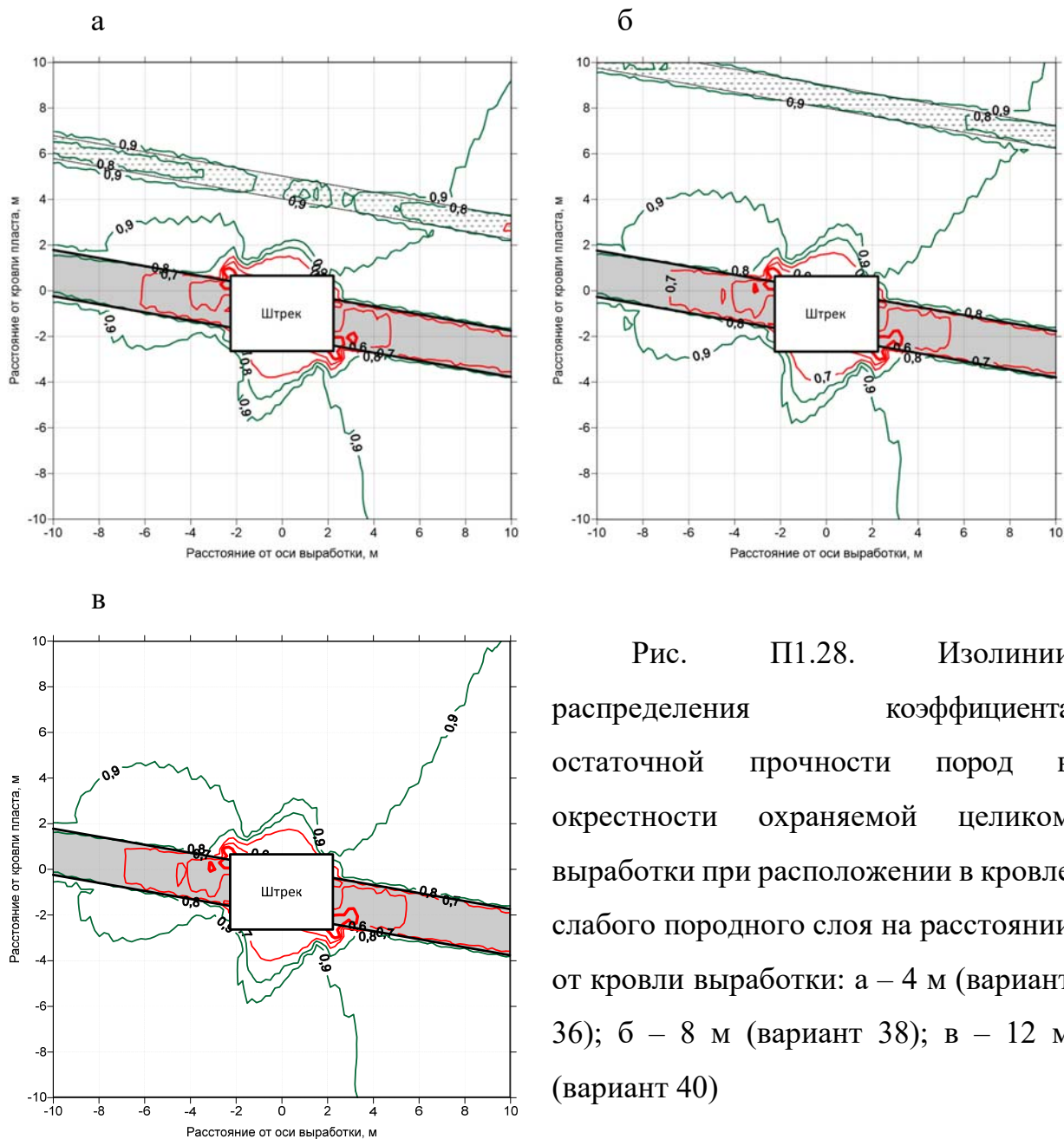


Рис. П1.24. Изолинии распределения коэффициента остаточной прочности пород в окрестности охраняемой целиком выработки при изменении коэффициента структурного ослабления: а – $k_{ст.осл}=0,4$ (вариант 26); б – $k_{ст.осл}=0,7$ (вариант 28); в – $k_{ст.осл}=0,9$ (вариант 30)

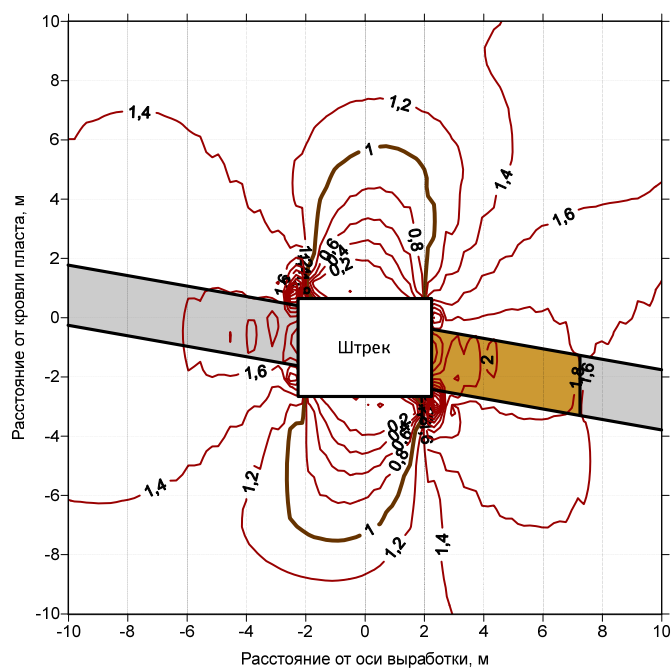








а



б

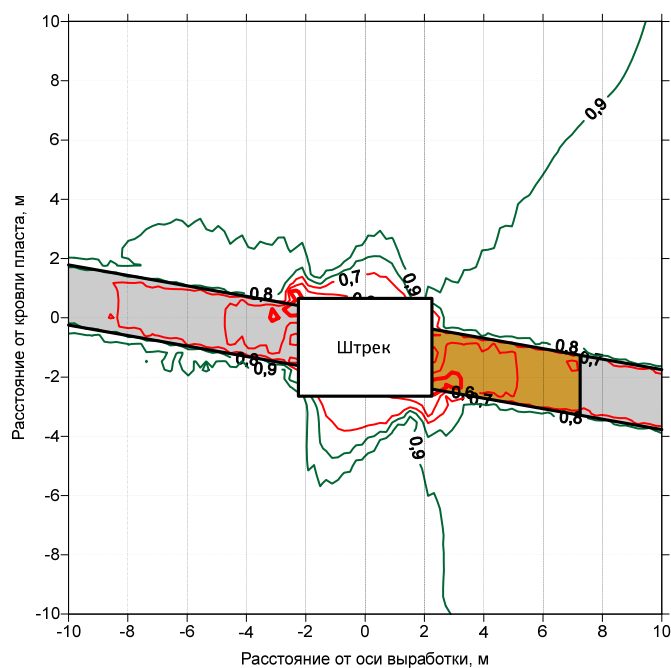


Рис. П1.29. Изолинии распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений (а) и коэффициента остаточной прочности пород (б) в окрестности охраняемой целиком выработки, проведённой по трещиноватому угольному пласту, с укреплением бока целика клеевым составом (вариант 24)

П1.3 Одинокaя подготовительная выработка в шахте криолитозоны

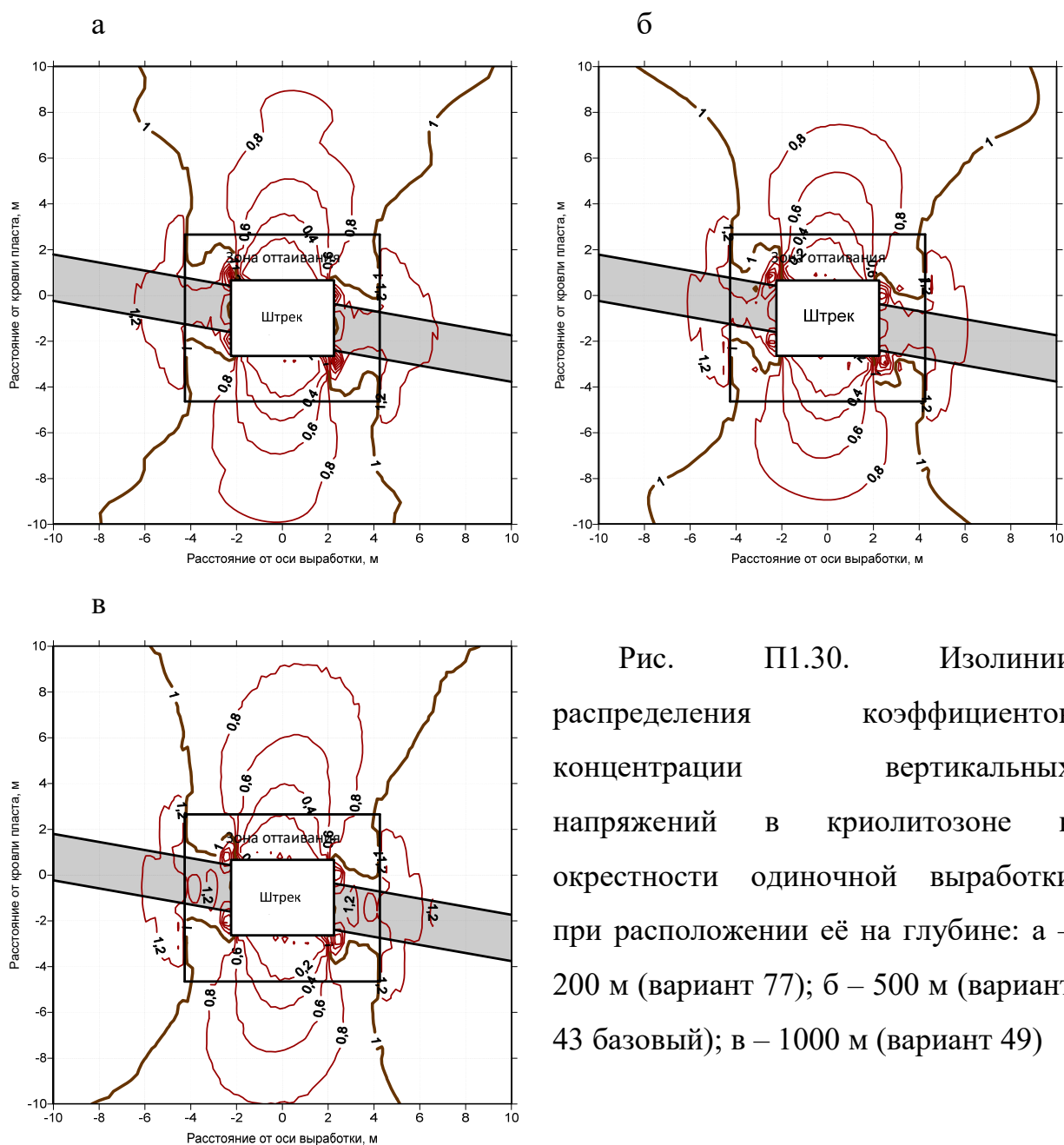


Рис. П1.30. Изолинии распределения коэффициентов концентрации вертикальных напряжений в криолитозоне в окрестности одиночной выработки при расположении её на глубине: а – 200 м (вариант 77); б – 500 м (вариант 43 базовый); в – 1000 м (вариант 49)

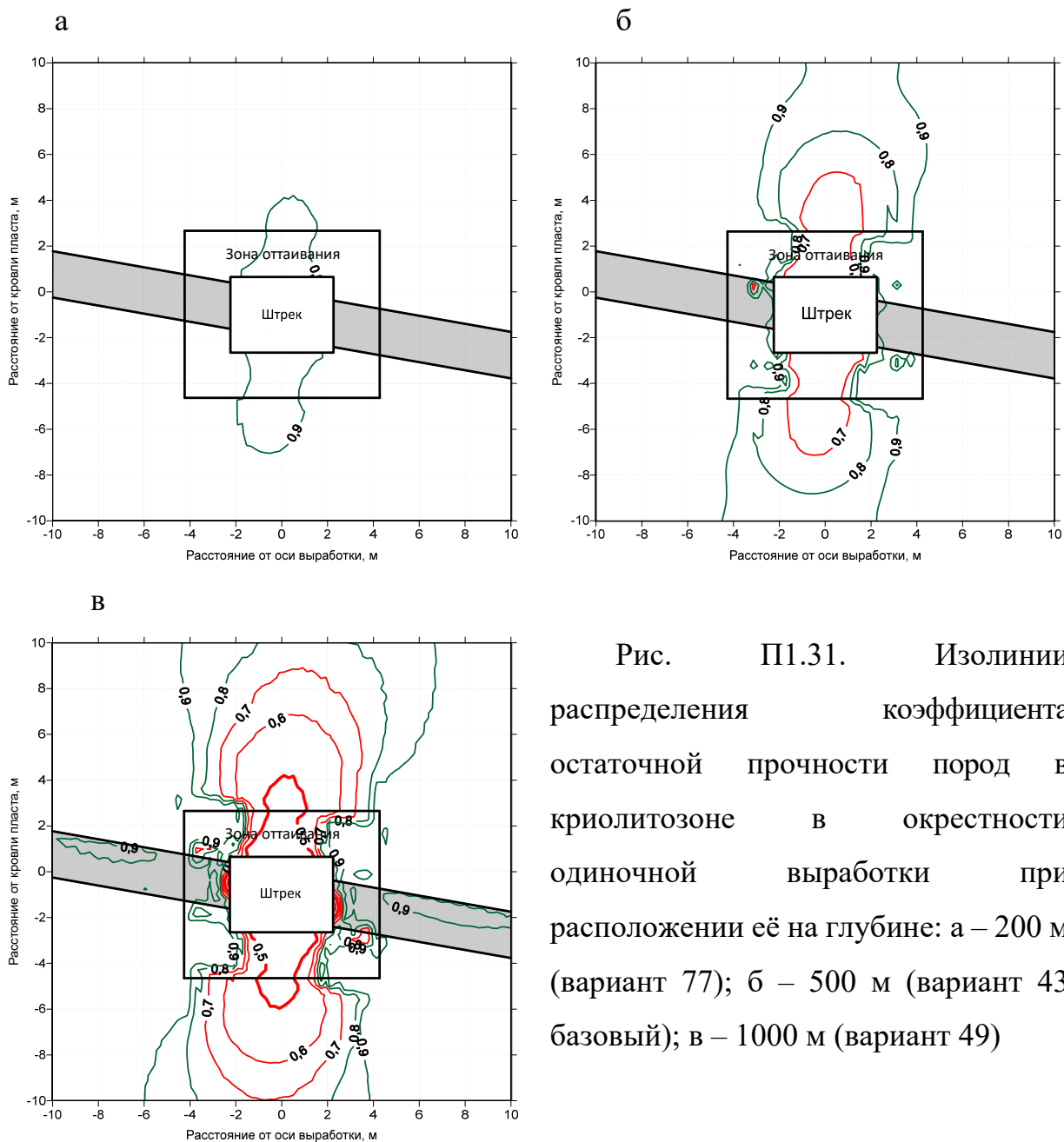
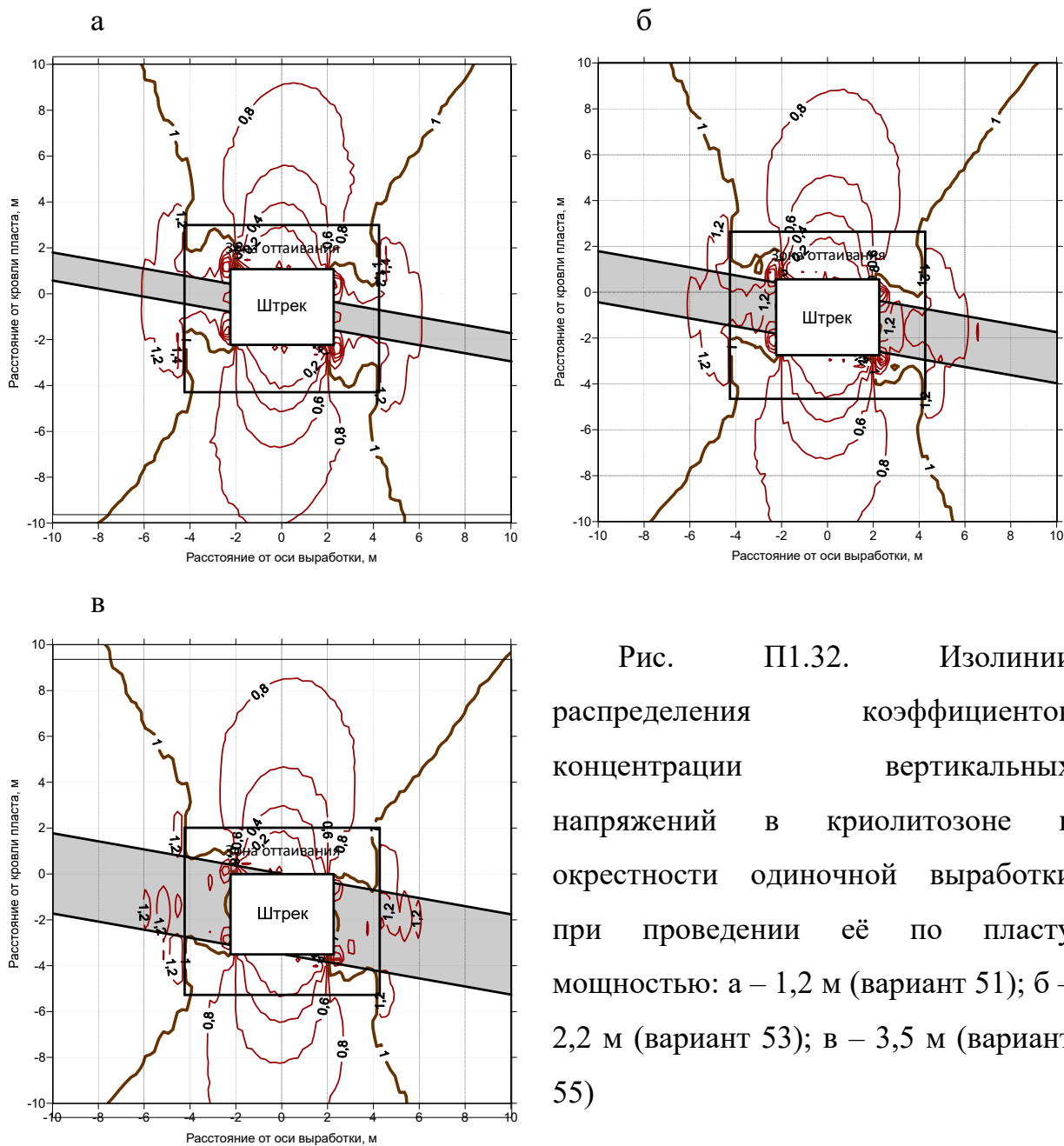
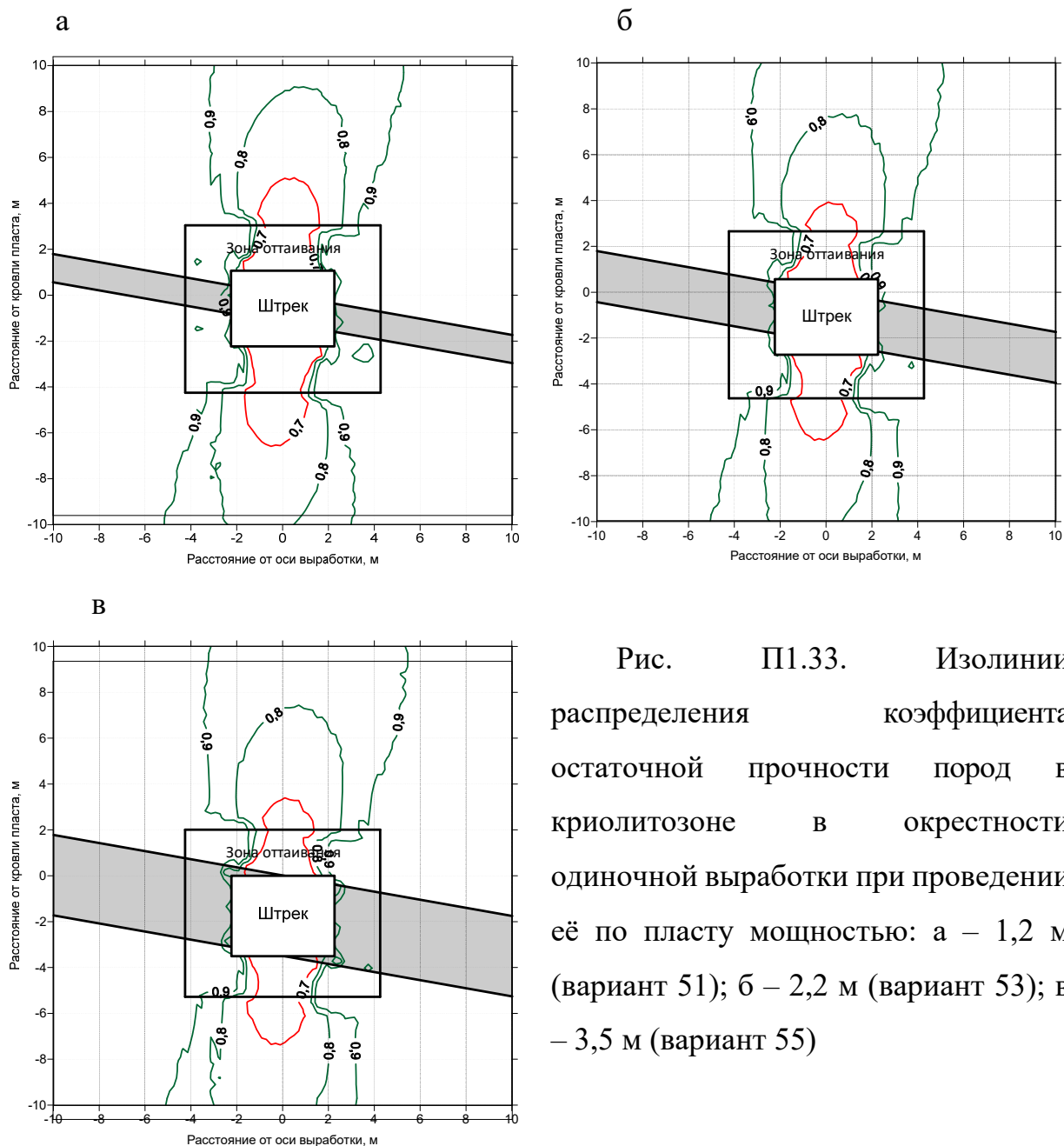


Рис. П1.31. Изолинии распределения коэффициента остаточной прочности пород в криолитозоне в окрестности одиночной выработки при расположении её на глубине: а – 200 м (вариант 77); б – 500 м (вариант 43 базовый); в – 1000 м (вариант 49)





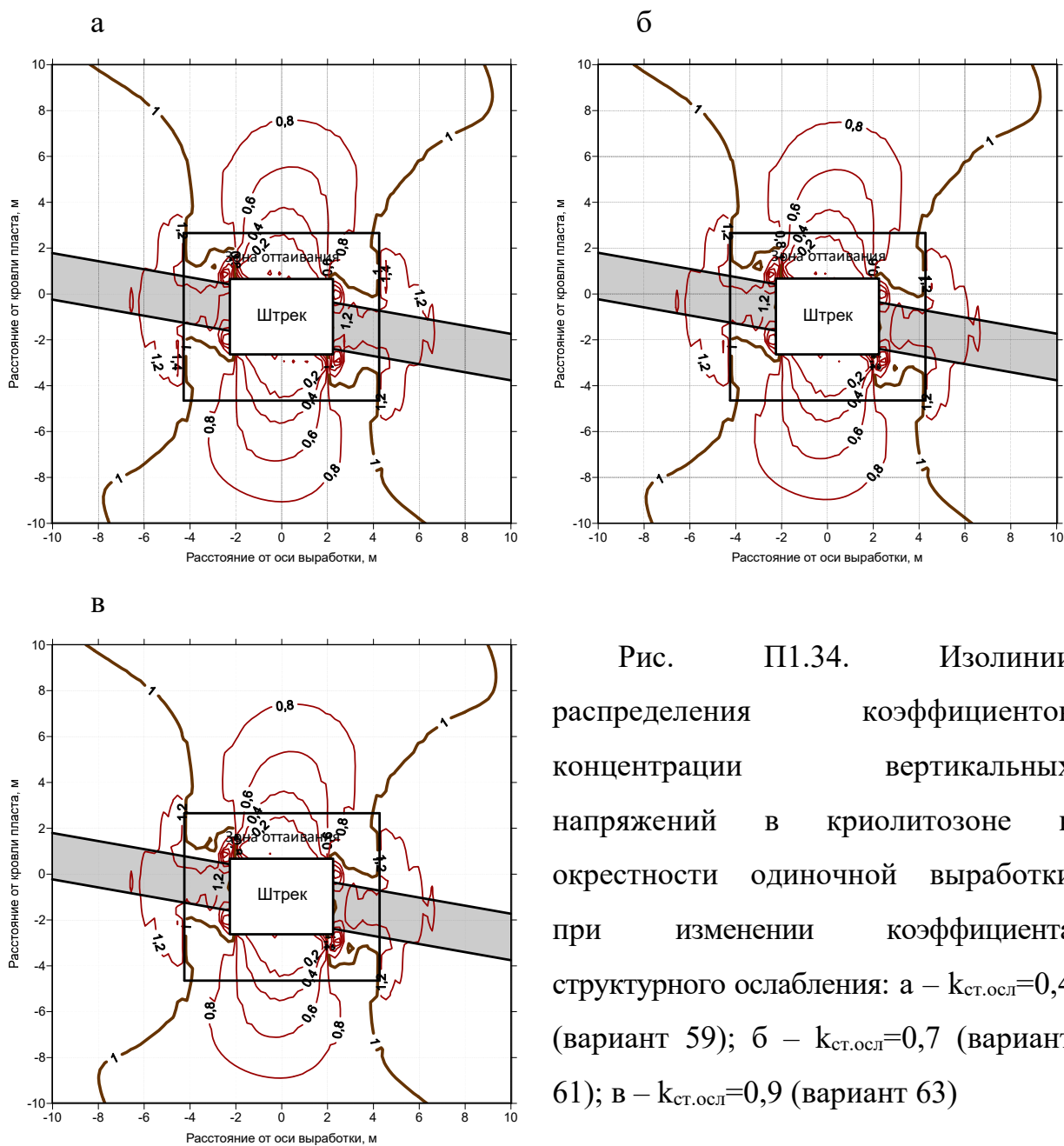
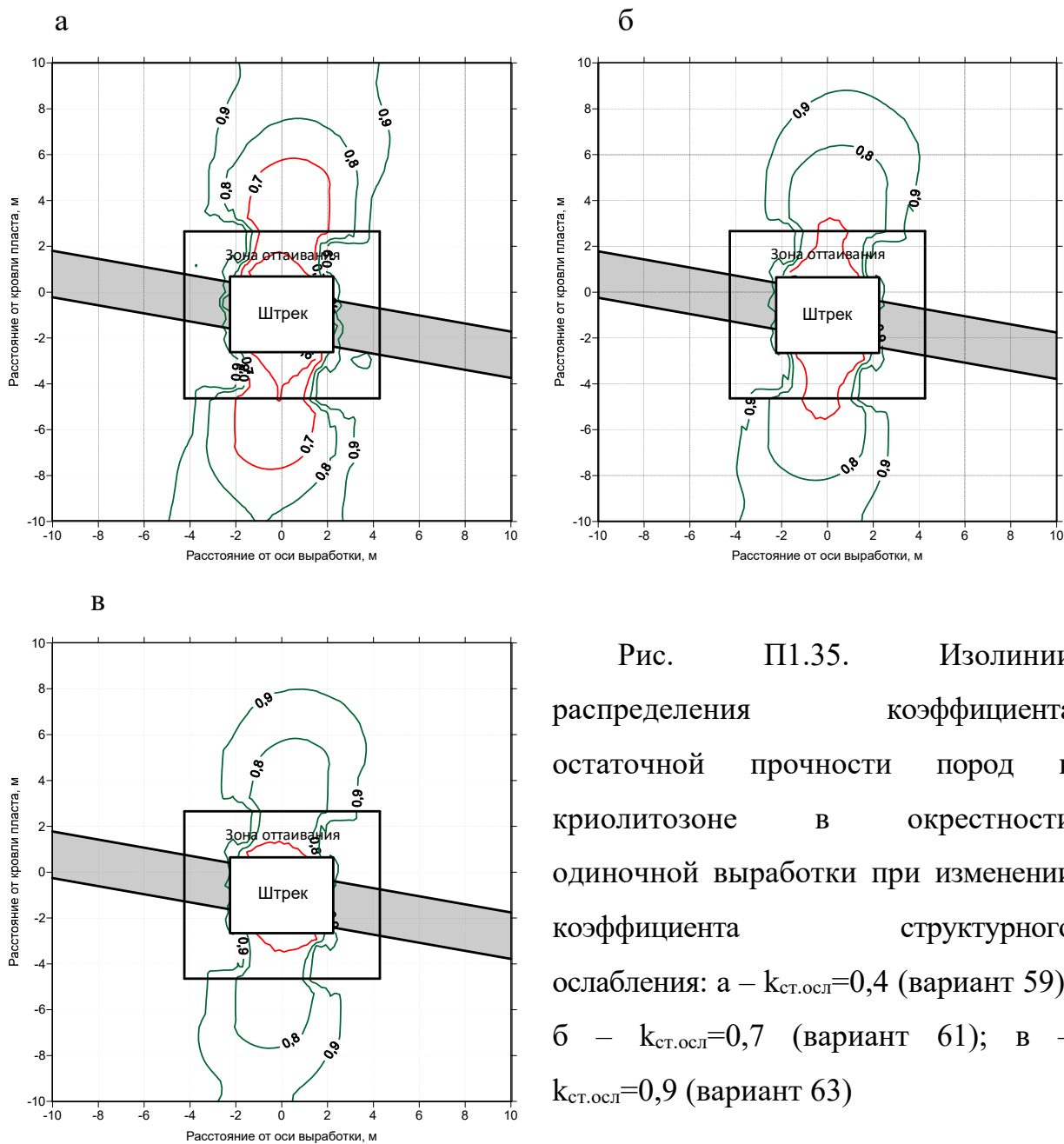
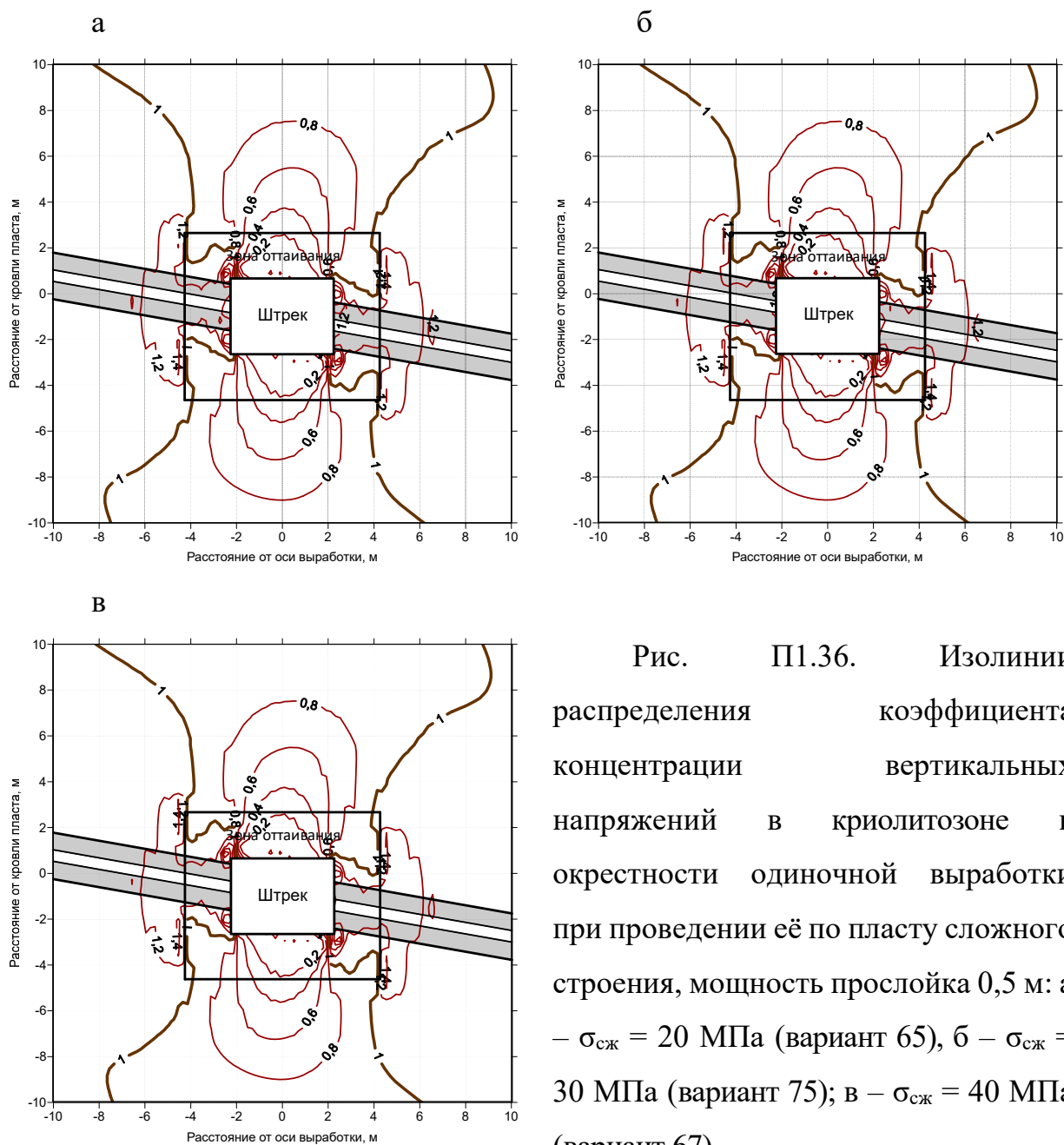
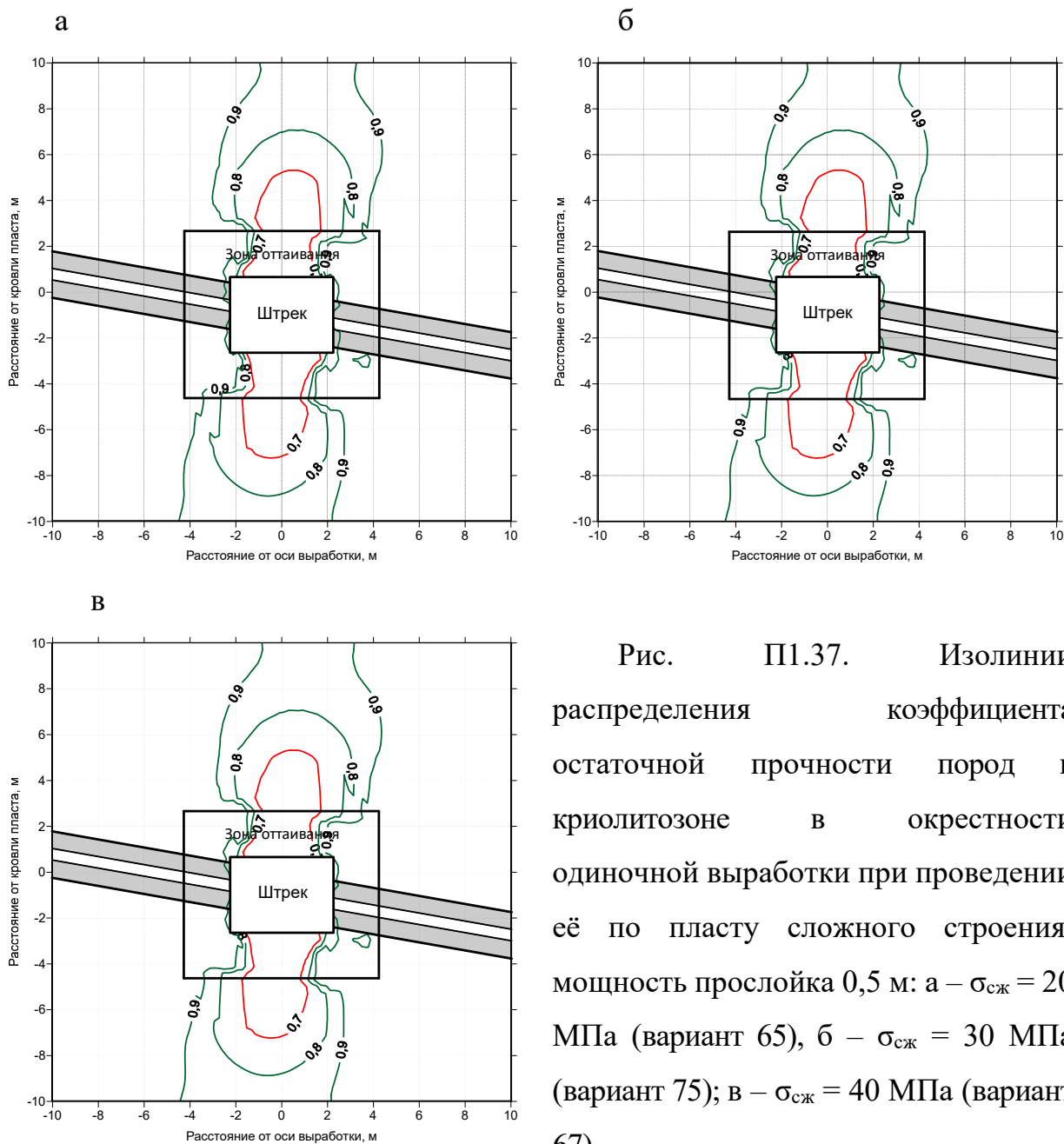


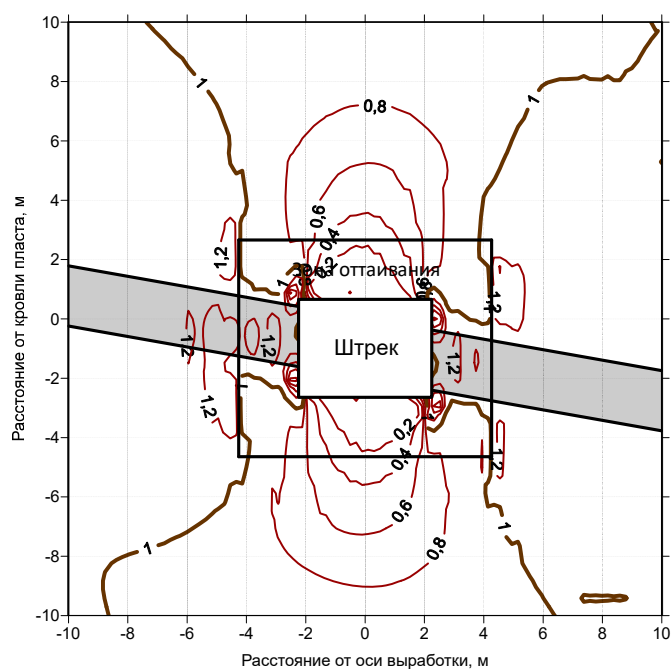
Рис. П1.34. Изолинии распределения коэффициентов концентрации вертикальных напряжений в криолитозоне в окрестности одиночной выработки при изменении коэффициента структурного ослабления: а – $k_{ст.осл}=0,4$ (вариант 59); б – $k_{ст.осл}=0,7$ (вариант 61); в – $k_{ст.осл}=0,9$ (вариант 63)







а



б

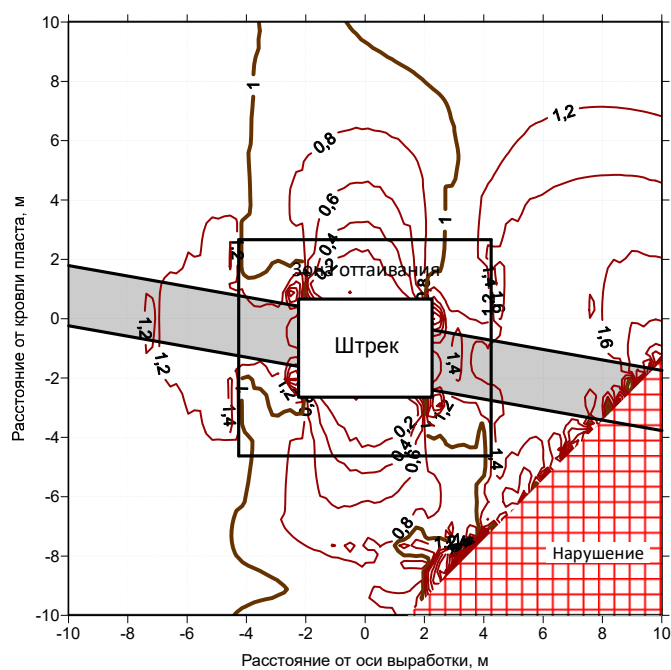
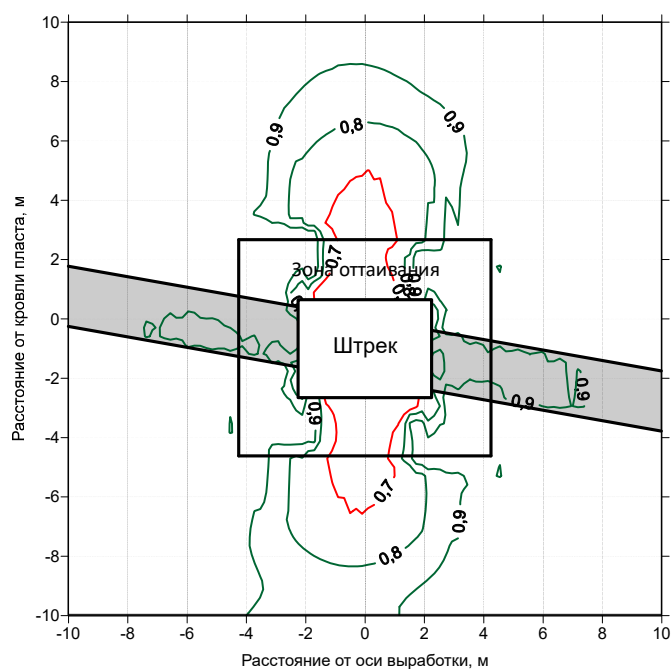


Рис. П1.38. Изолинии распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений в криолитозоне в окрестности одиночной выработки при проведении её вблизи дизъюнктива, глубина разработки 500 м, ширина дизъюнктива 10 м: а – угол наклона дизъюнктива 90° (вариант 45); б – угол наклона дизъюнктива 45° (вариант 47)

а



б

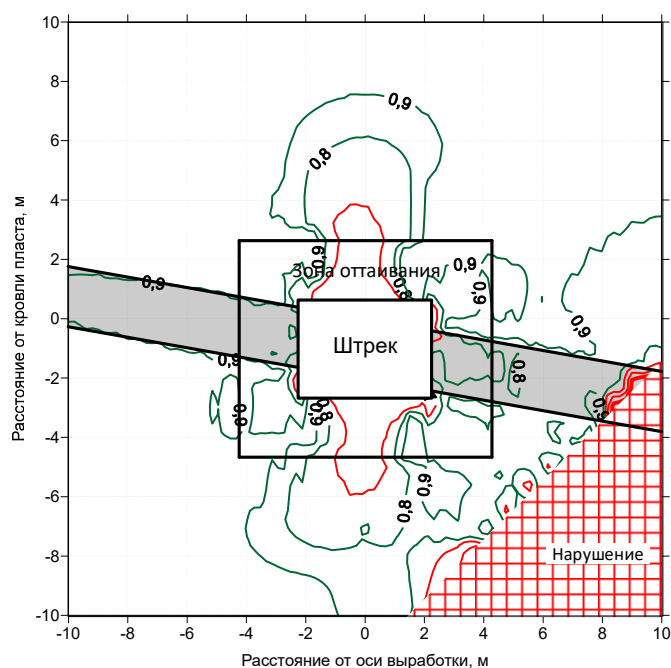
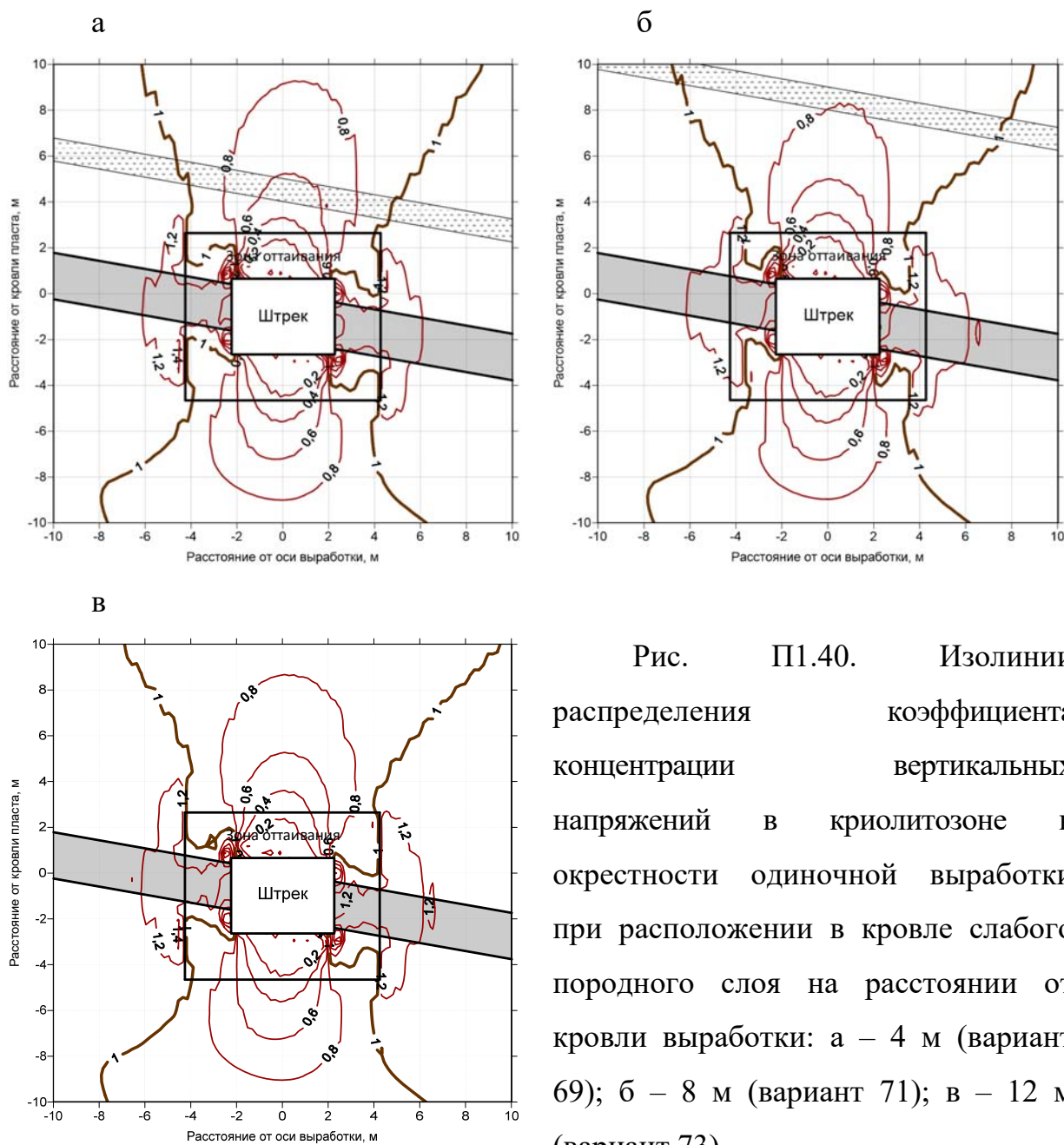
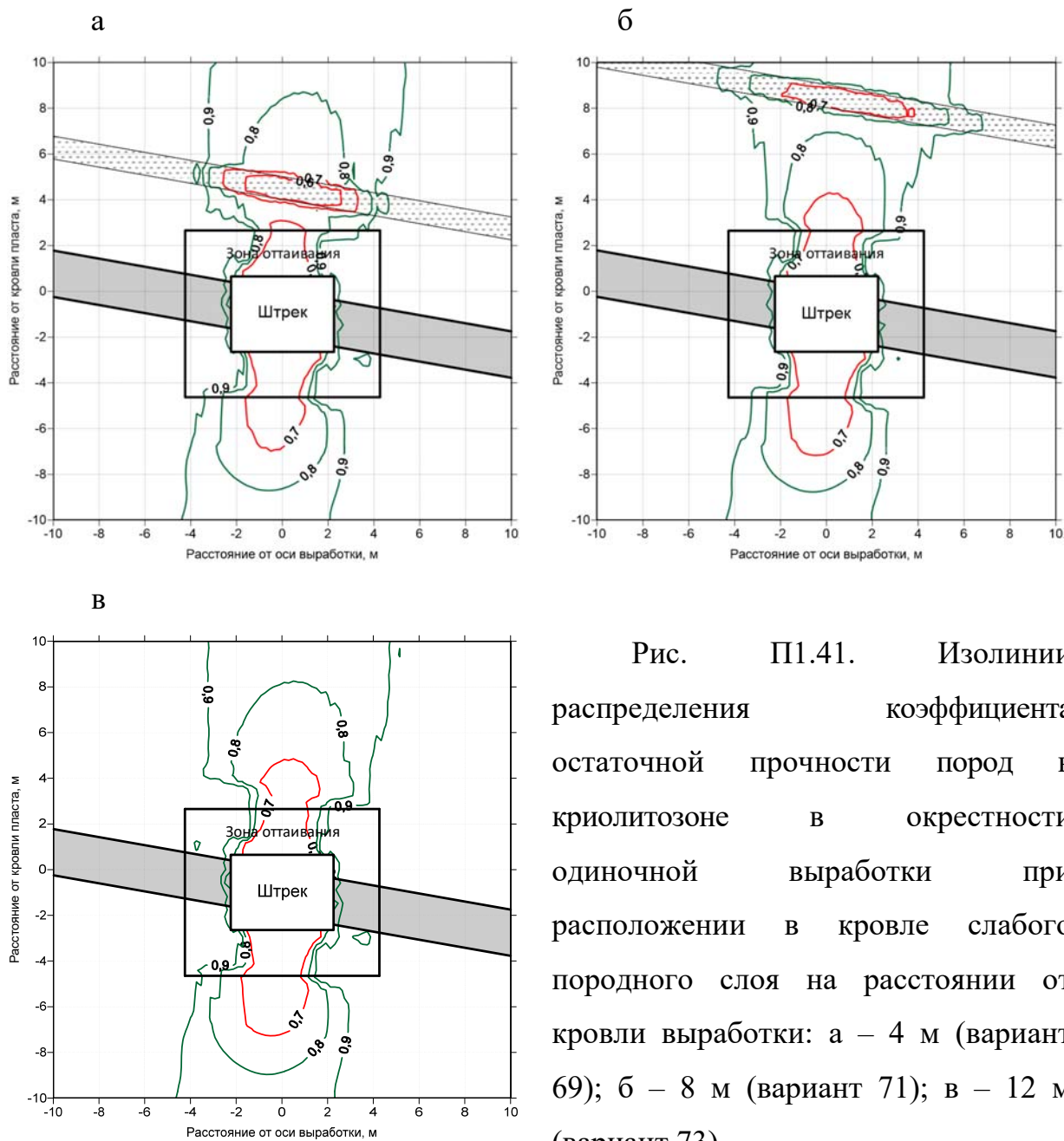
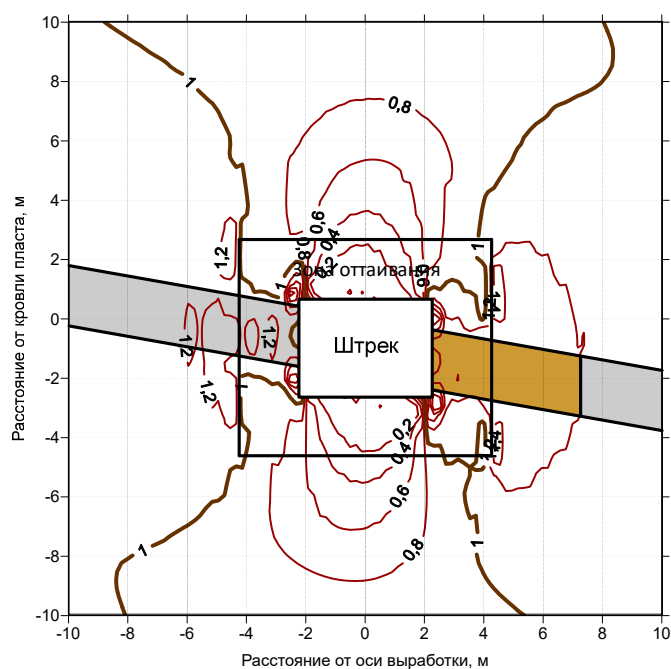


Рис. П1.39. Изолинии распределения коэффициента остаточной прочности пород в криолитозоне в окрестности одиночной выработки при проведении её вблизи дизъюнктива, глубина разработки 500 м, ширина дизъюнктива 10 м: а – угол наклона дизъюнктива 90° (вариант 45); б – угол наклона дизъюнктива 45° (вариант 47)





а



б

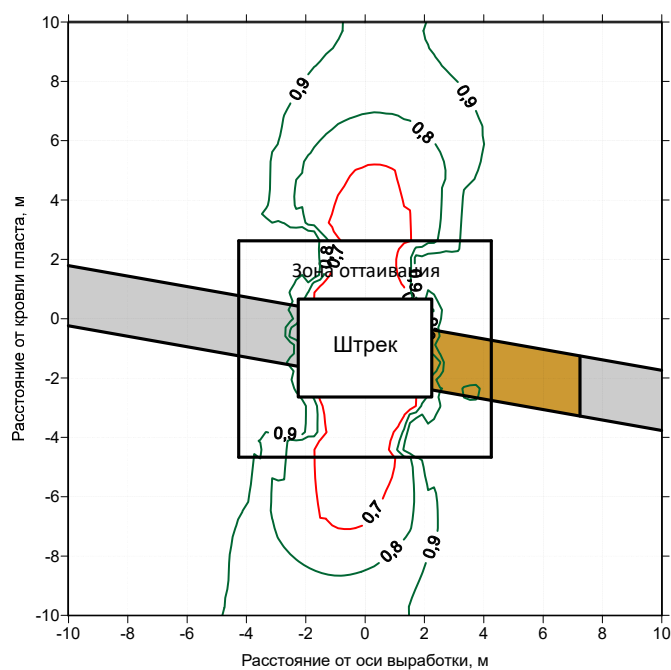


Рис. П1.42. Изолинии распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений (а) и коэффициента остаточной прочности пород (б) в криолитозоне в окрестности одиночной выработки, проведённой по трещиноватому угольному пласту, с укреплением бока целика клеевым составом (вариант 57)

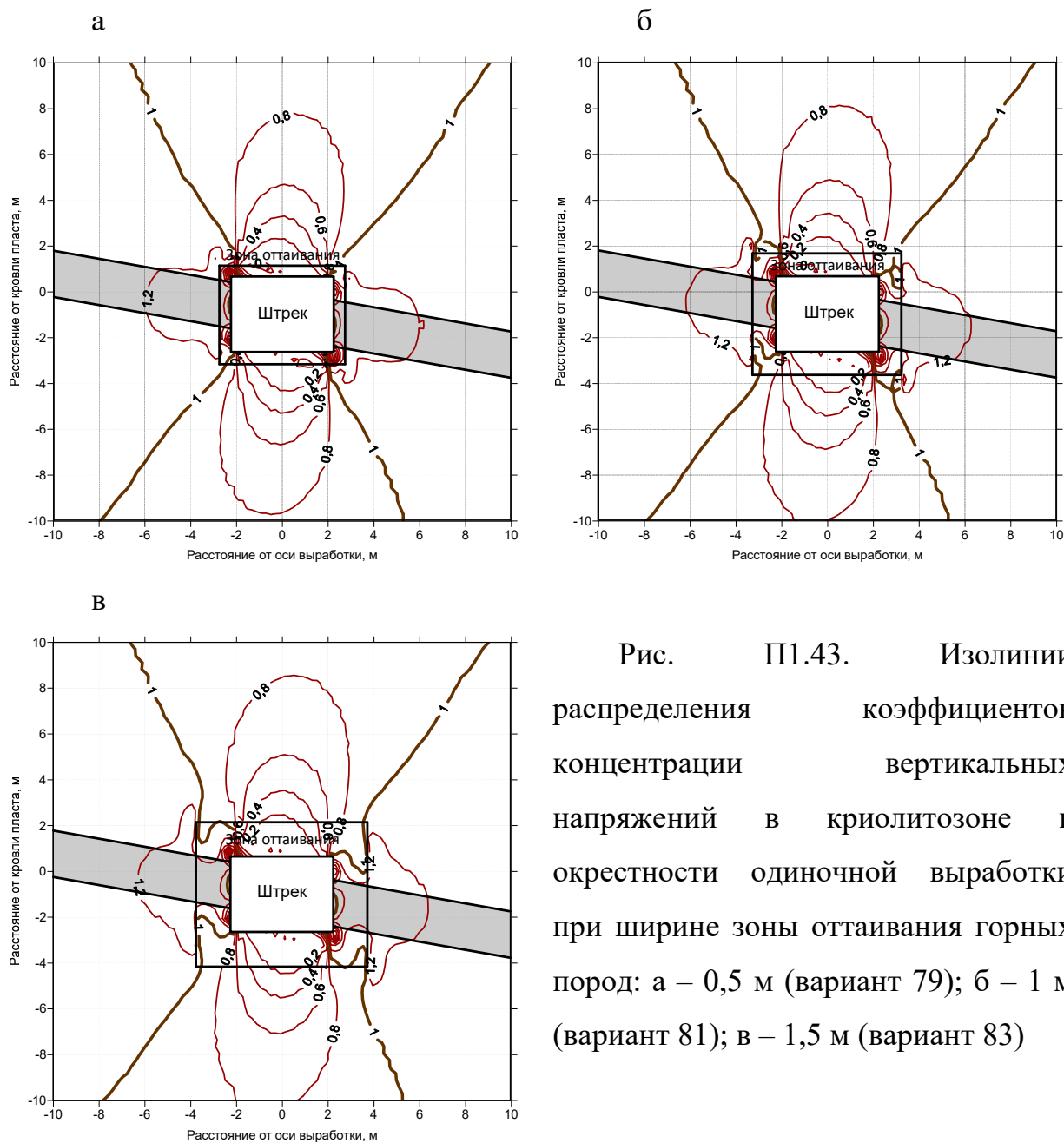


Рис. П1.43. Изолинии распределения коэффициентов концентрации вертикальных напряжений в криолитозоне в окрестности одиночной выработки при ширине зоны оттаивания горных пород: а – 0,5 м (вариант 79); б – 1 м (вариант 81); в – 1,5 м (вариант 83)

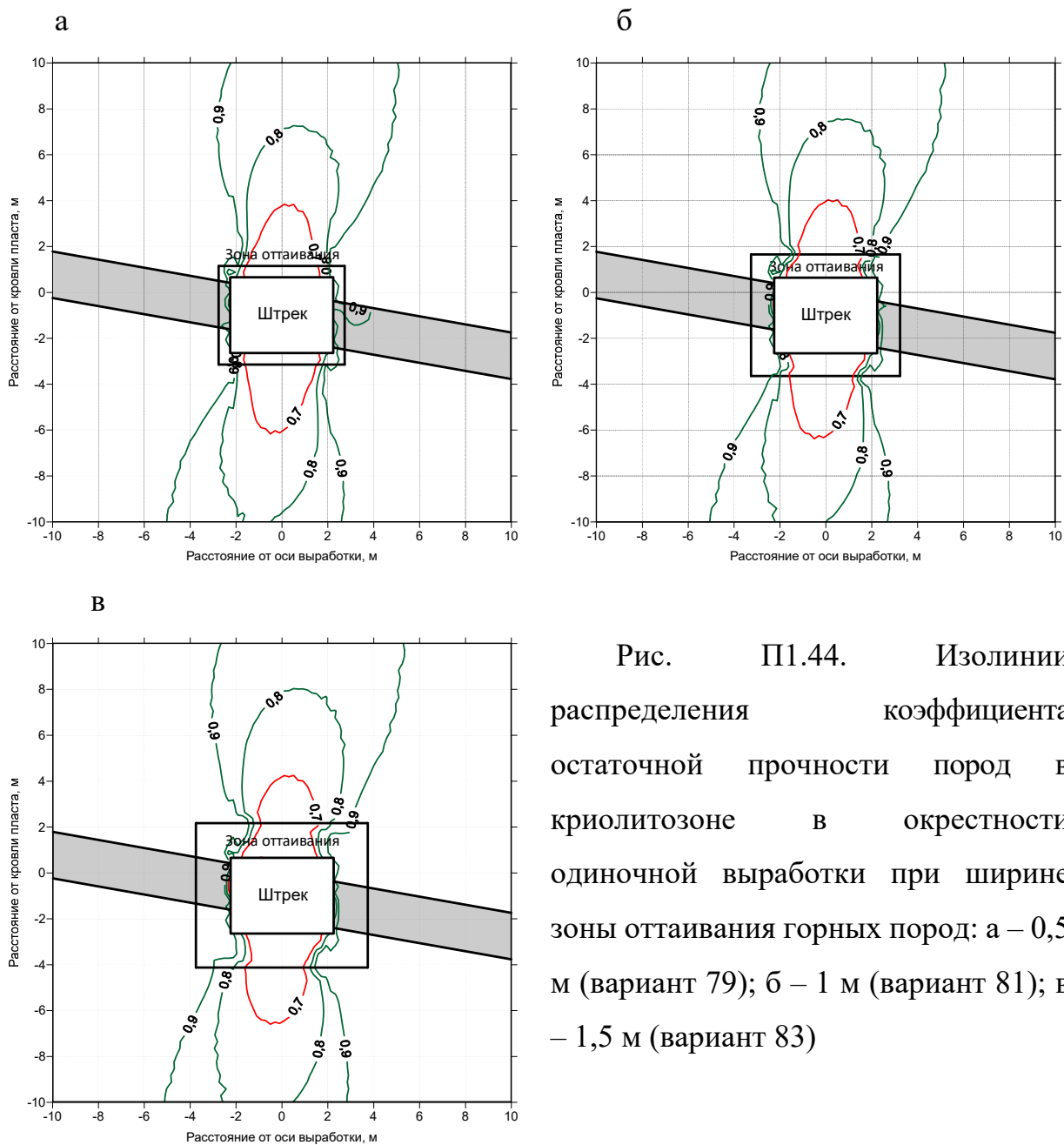
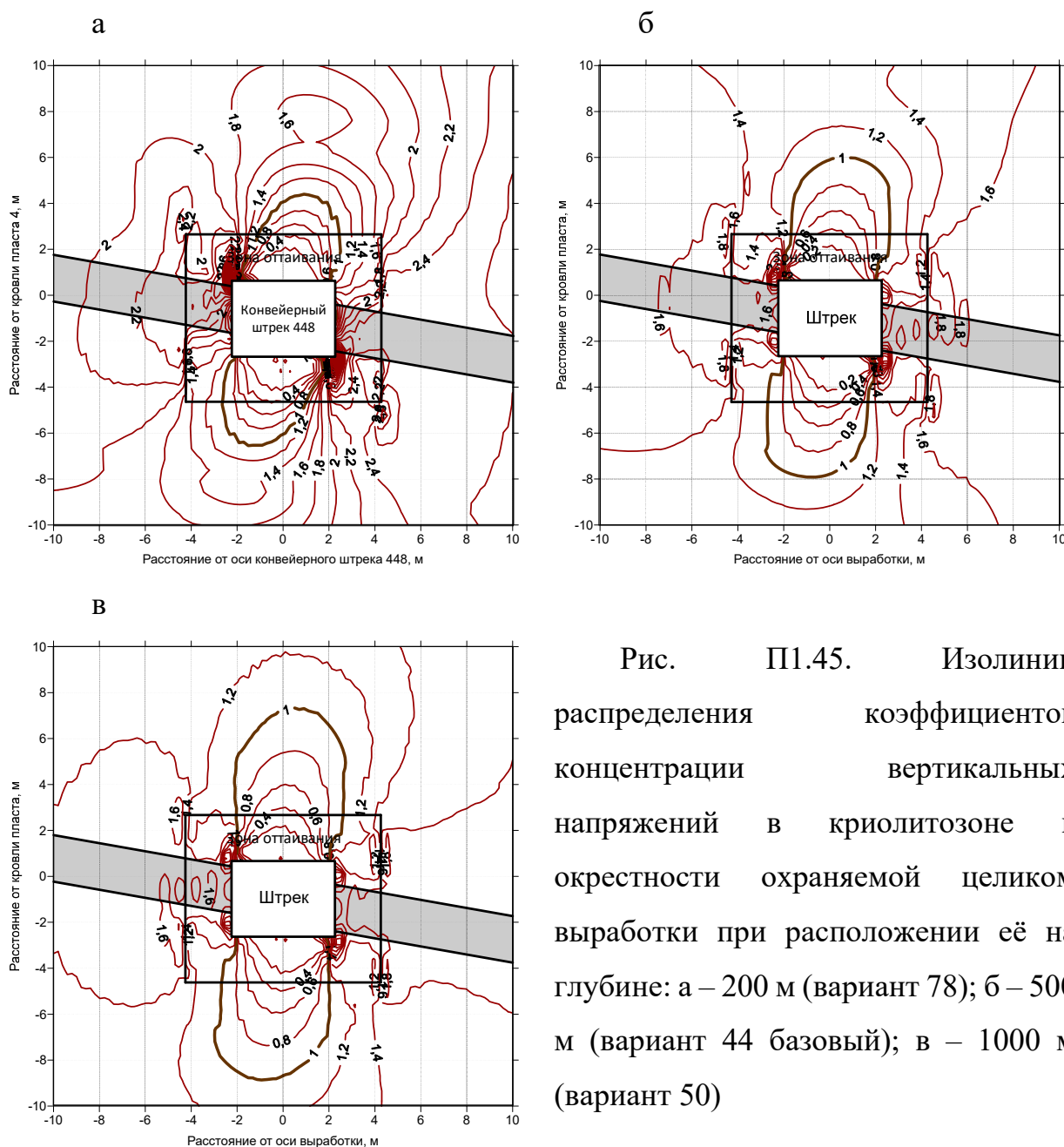


Рис. П1.44. Изолинии распределения коэффициента остаточной прочности пород в криолитозоне в окрестности одиночной выработки при ширине зоны оттаивания горных пород: а – 0,5 м (вариант 79); б – 1 м (вариант 81); в – 1,5 м (вариант 83)

П1.4 Подготовительная выработка под влиянием веса зависающих пород кровли ранее отработанного выемочного столба в шахте криолитозоны



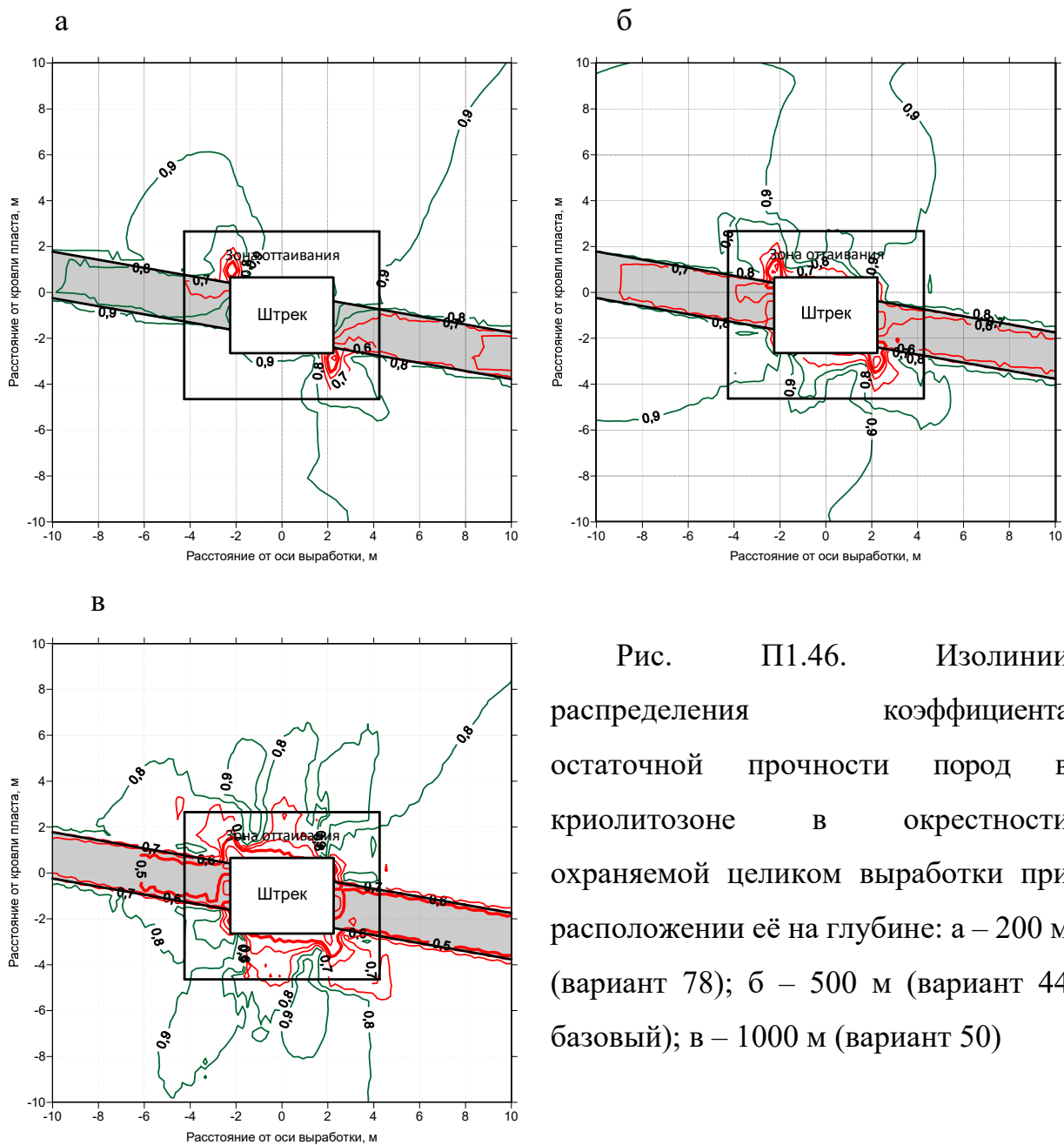
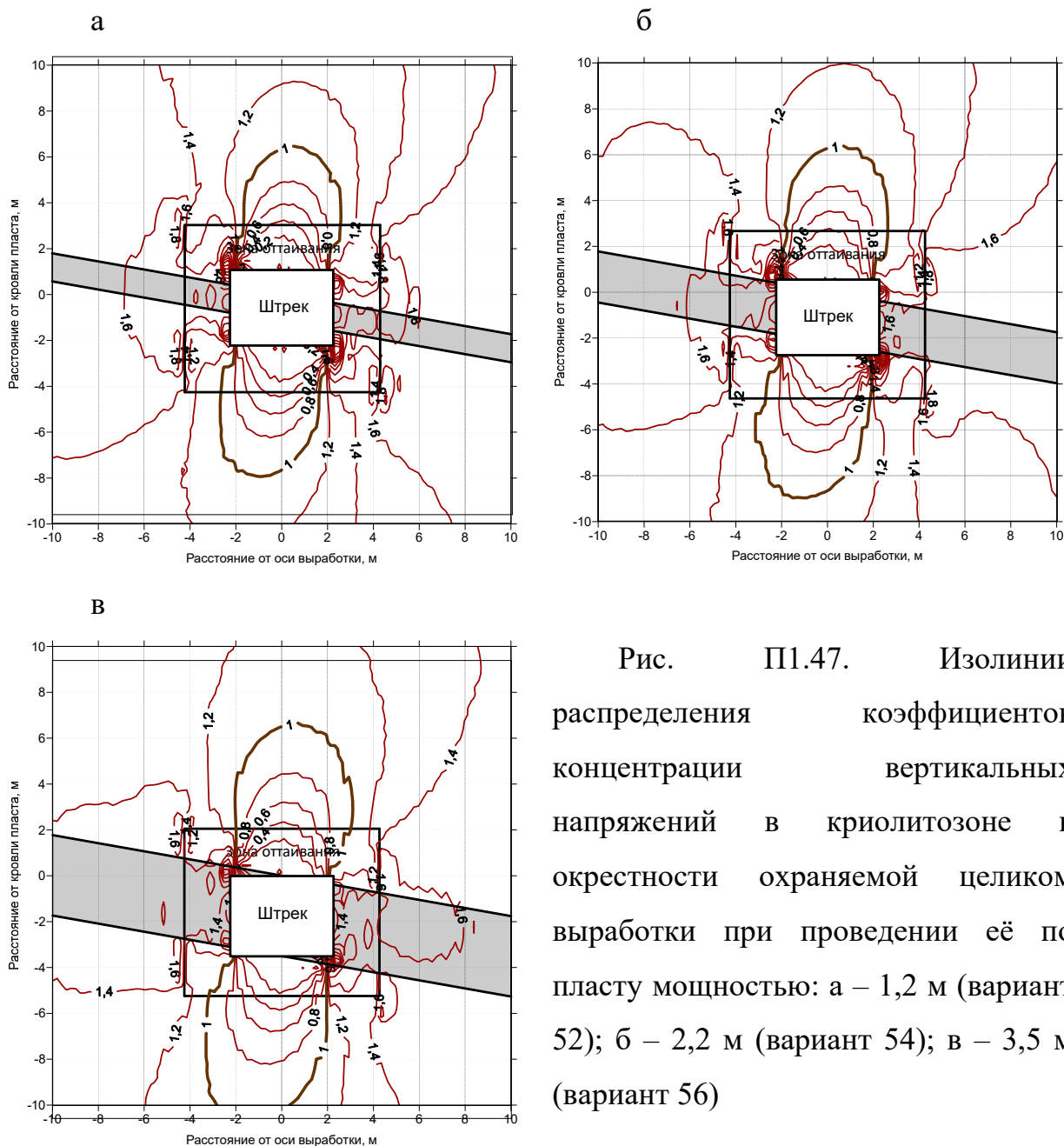
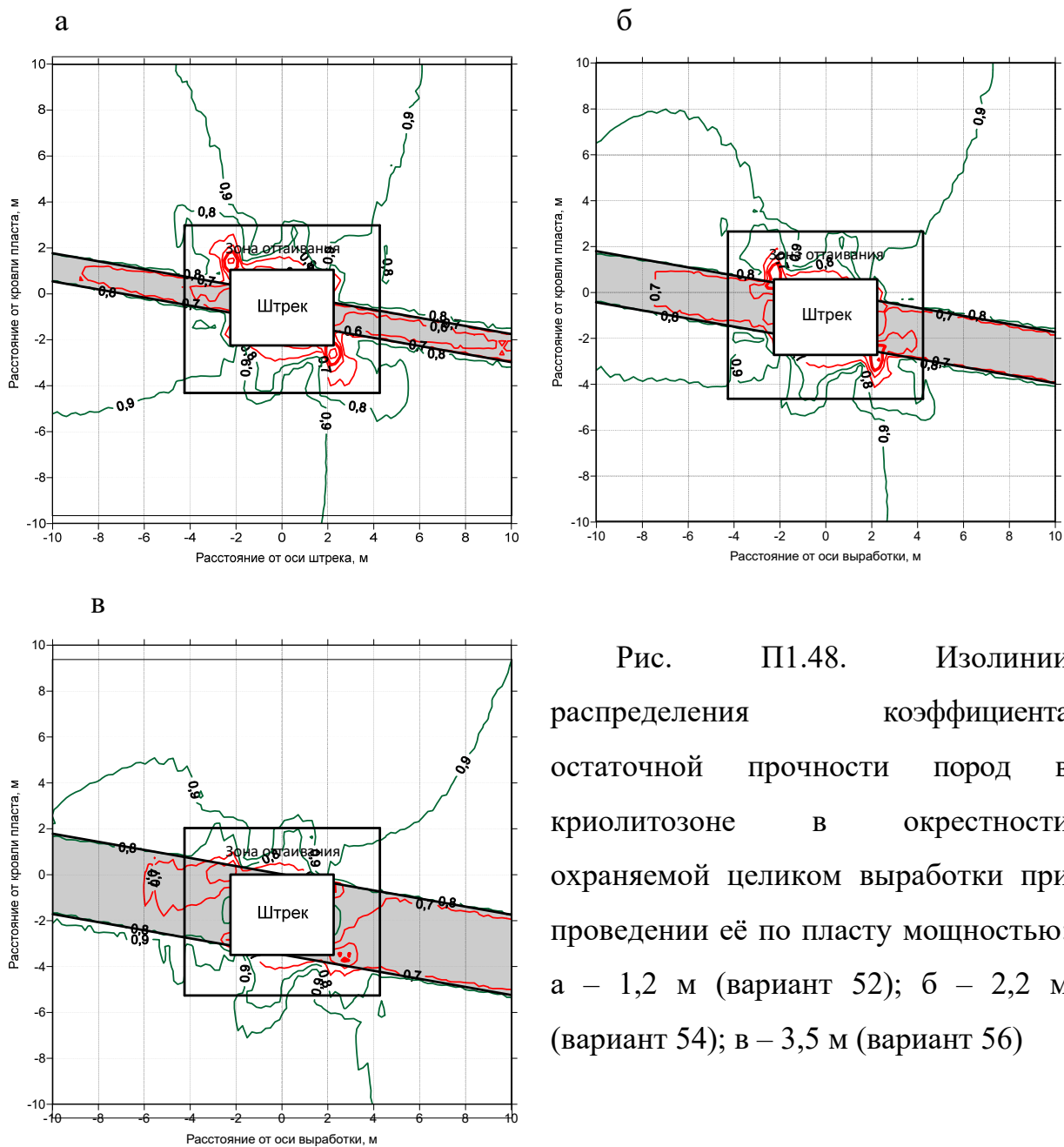
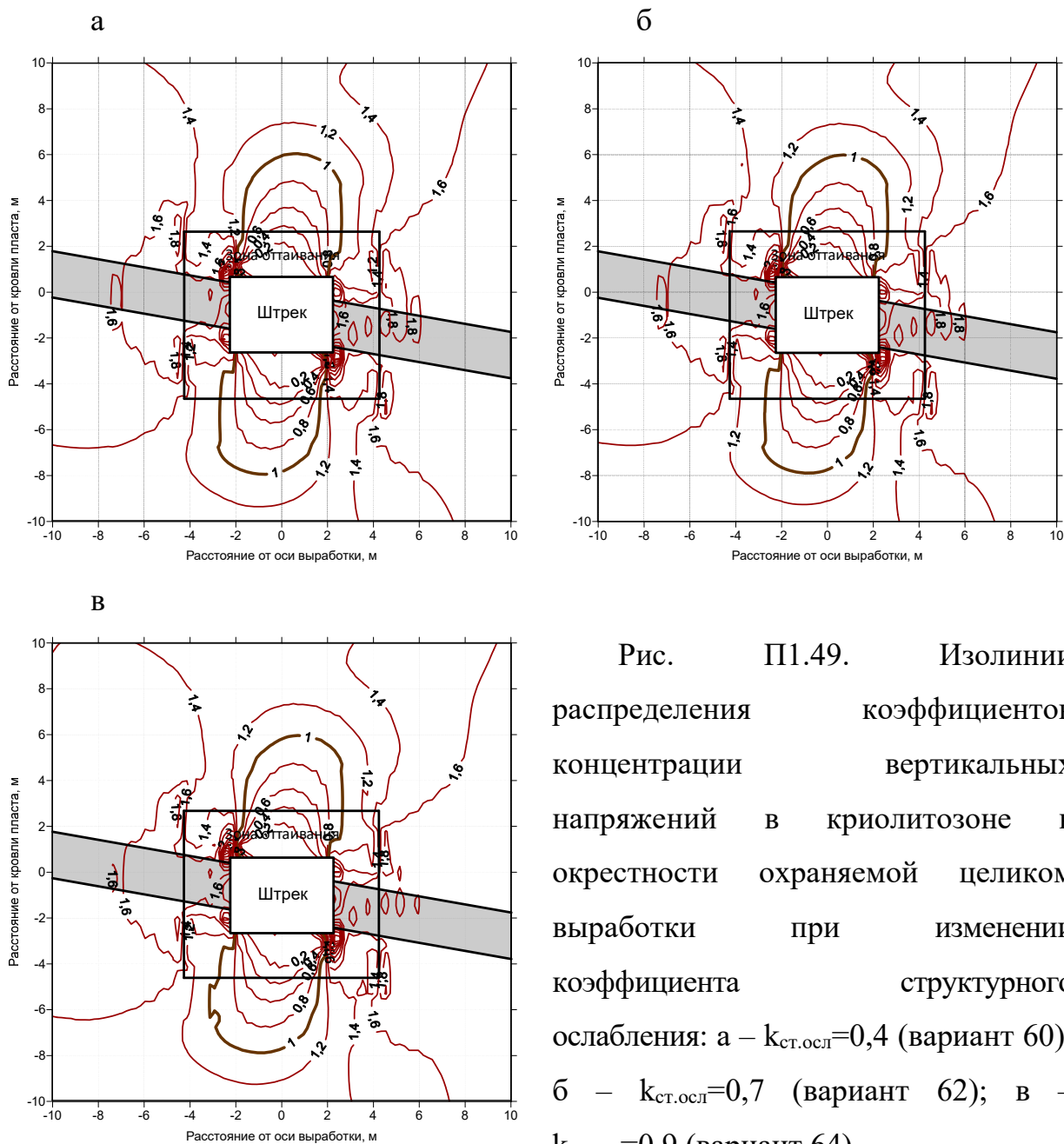
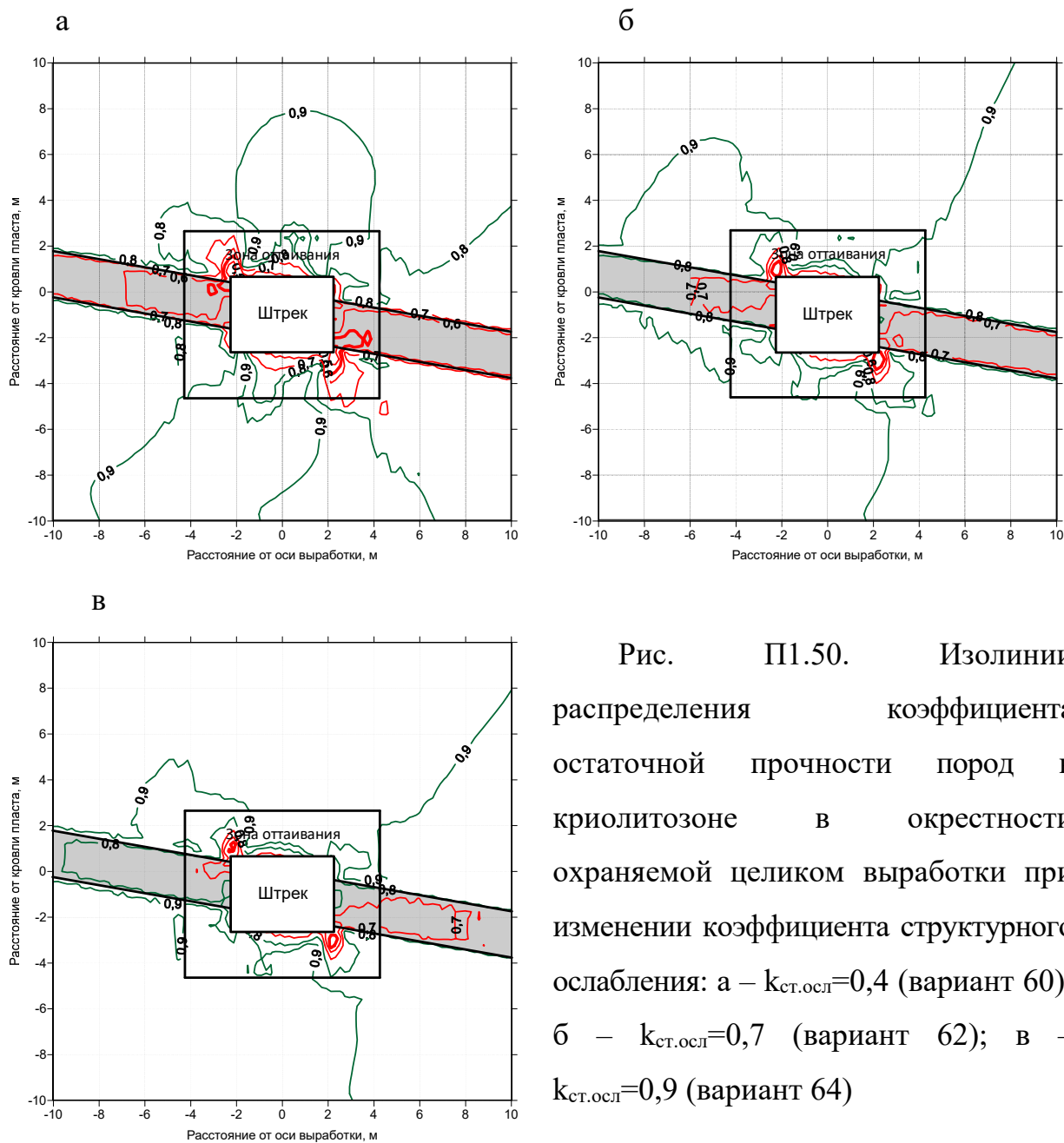


Рис. П1.46. Изолинии распределения коэффициента остаточной прочности пород в криолитозоне в окрестности охраняемой целиком выработки при расположении её на глубине: а – 200 м (вариант 78); б – 500 м (вариант 44 базовый); в – 1000 м (вариант 50)









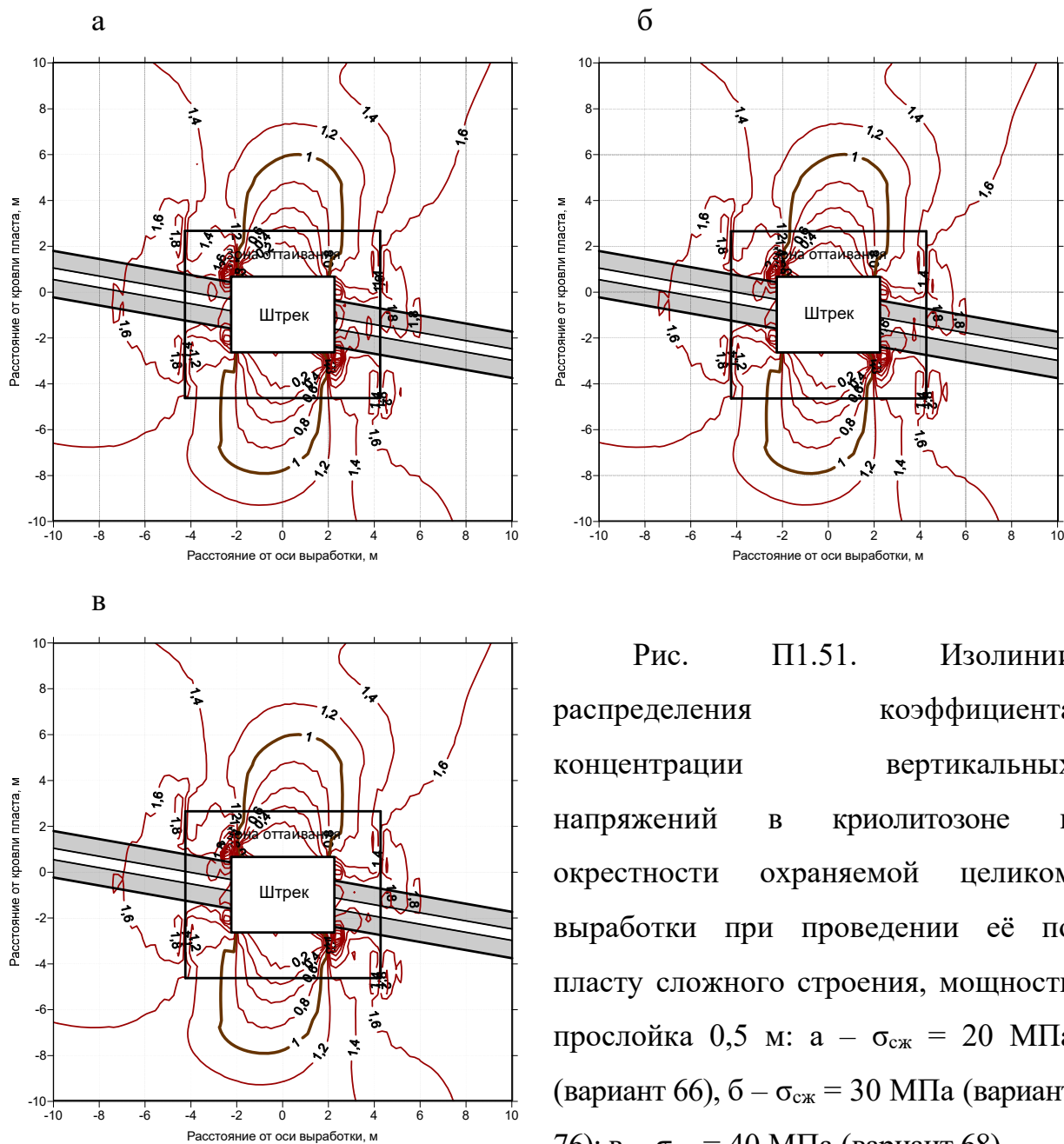
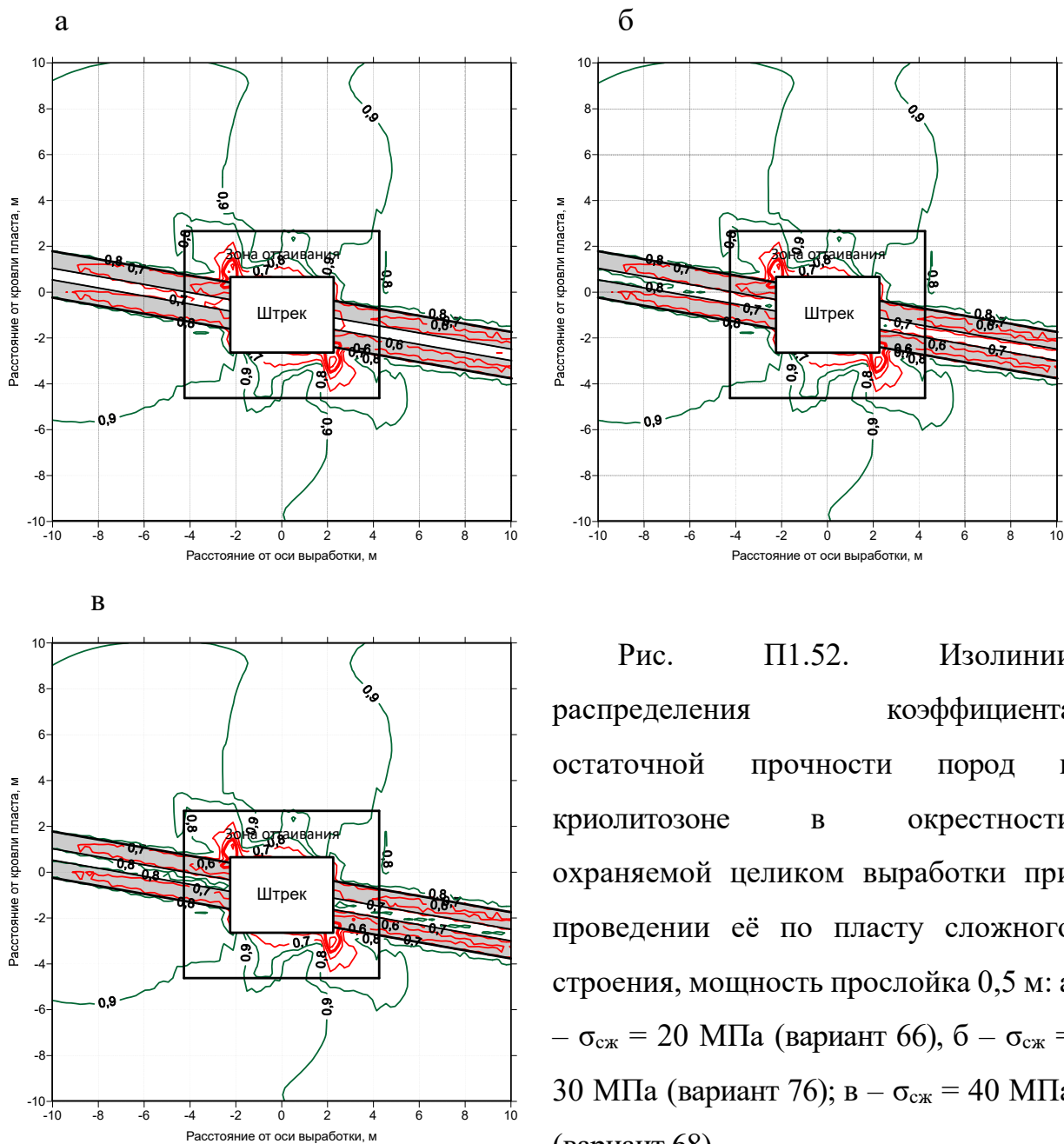
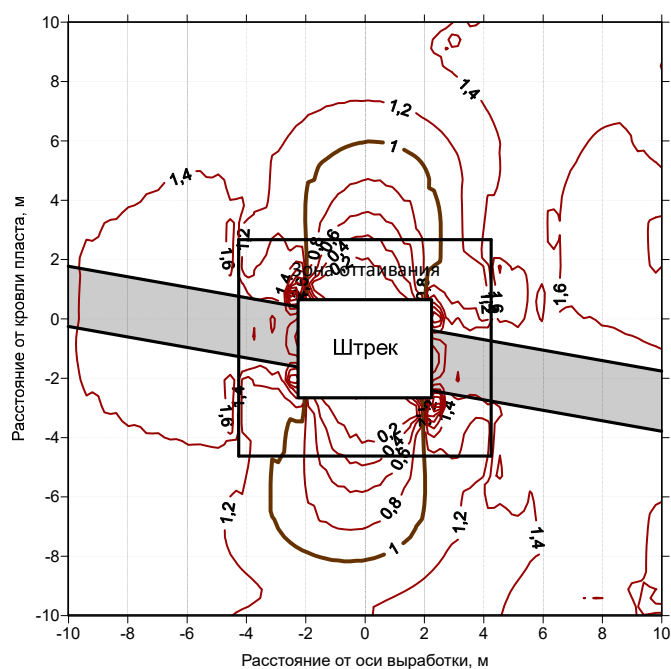


Рис. П1.51. Изолинии распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений в криолитозоне в окрестности охраняемой целиком выработки при проведении её по пласту сложного строения, мощность прослойка 0,5 м: а – $\sigma_{сж} = 20$ МПа (вариант 66), б – $\sigma_{сж} = 30$ МПа (вариант 76); в – $\sigma_{сж} = 40$ МПа (вариант 68)



а



б

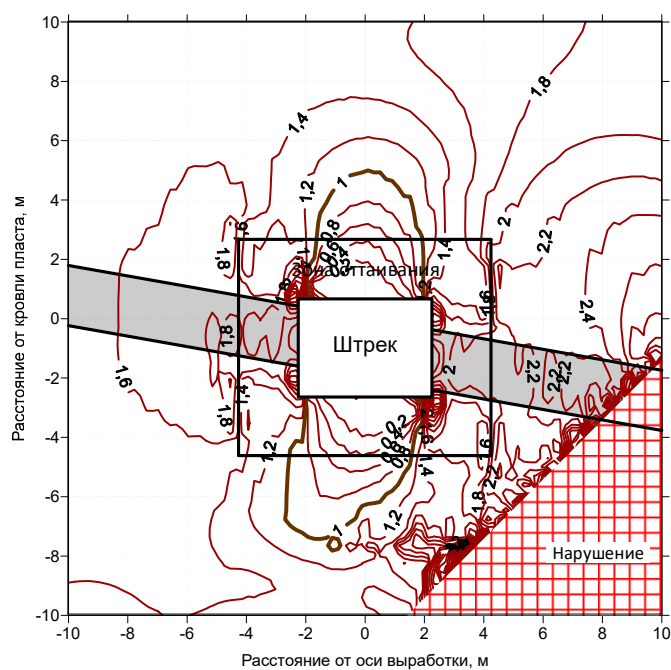
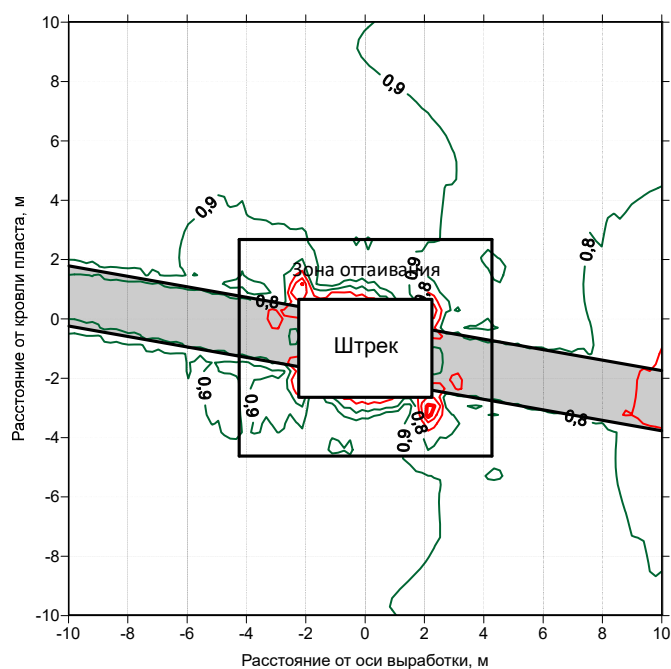


Рис. П1.53. Изолинии распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений в криолитозоне в окрестности охраняемой целиком выработки при проведении её вблизи дизъюнктива, глубина разработки 500 м, ширина дизъюнктива 10 м: а – угол наклона дизъюнктива 90° (вариант 46); б – угол наклона дизъюнктива 45° (вариант 48)

а



б

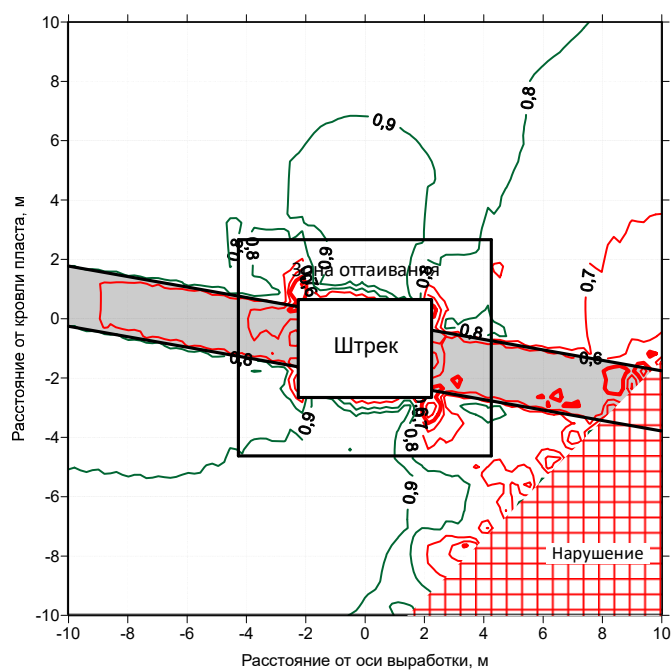
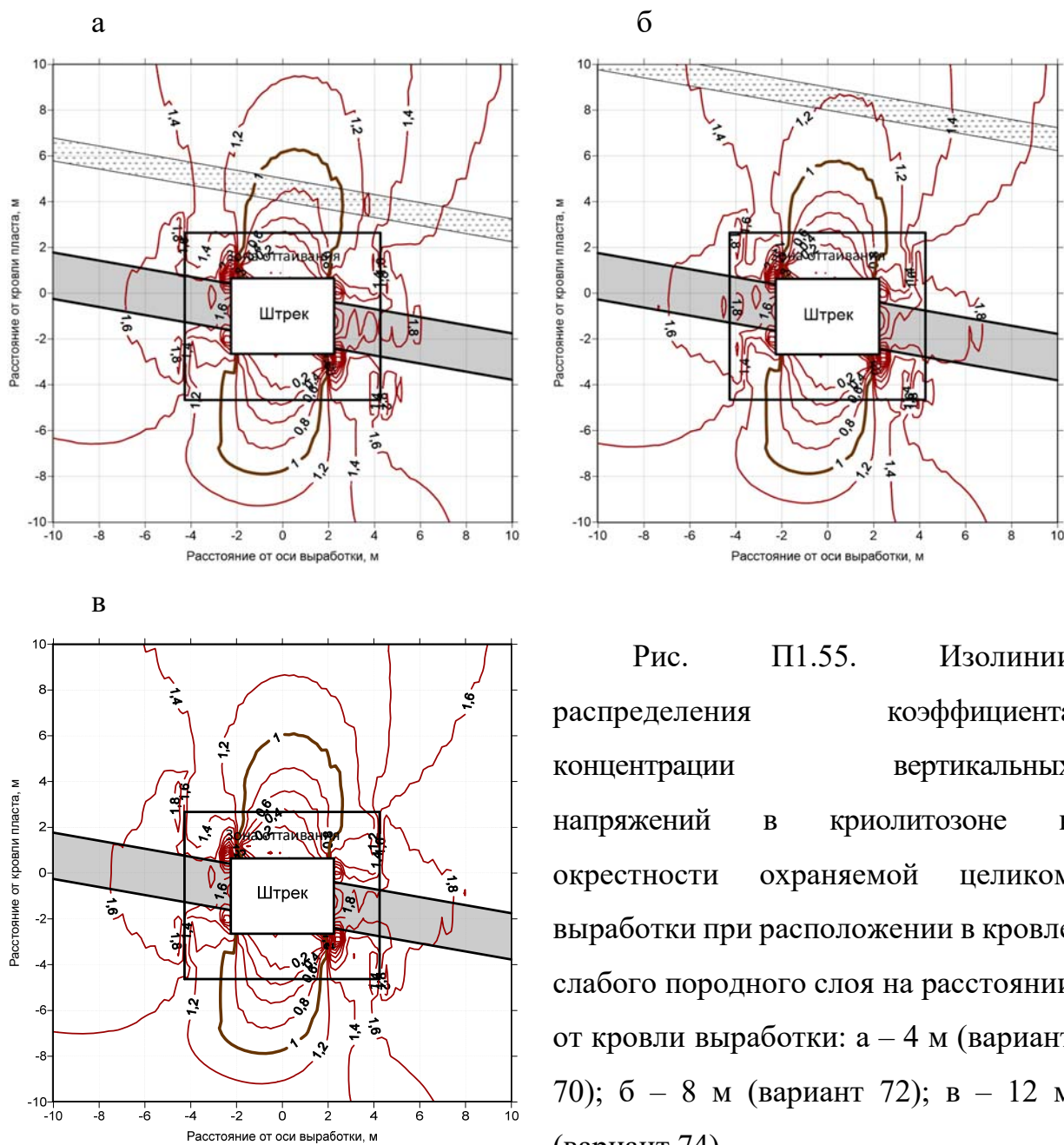


Рис. П1.54. Изолинии распределения коэффициента остаточной прочности пород в криолитозоне в окрестности охраняемой целиком выработки при проведении её вблизи дизъюнктива, глубина разработки 500 м, ширина дизъюнктива 10 м: а – угол наклона дизъюнктива 90° (вариант 46); б – угол наклона дизъюнктива 45° (вариант 48)



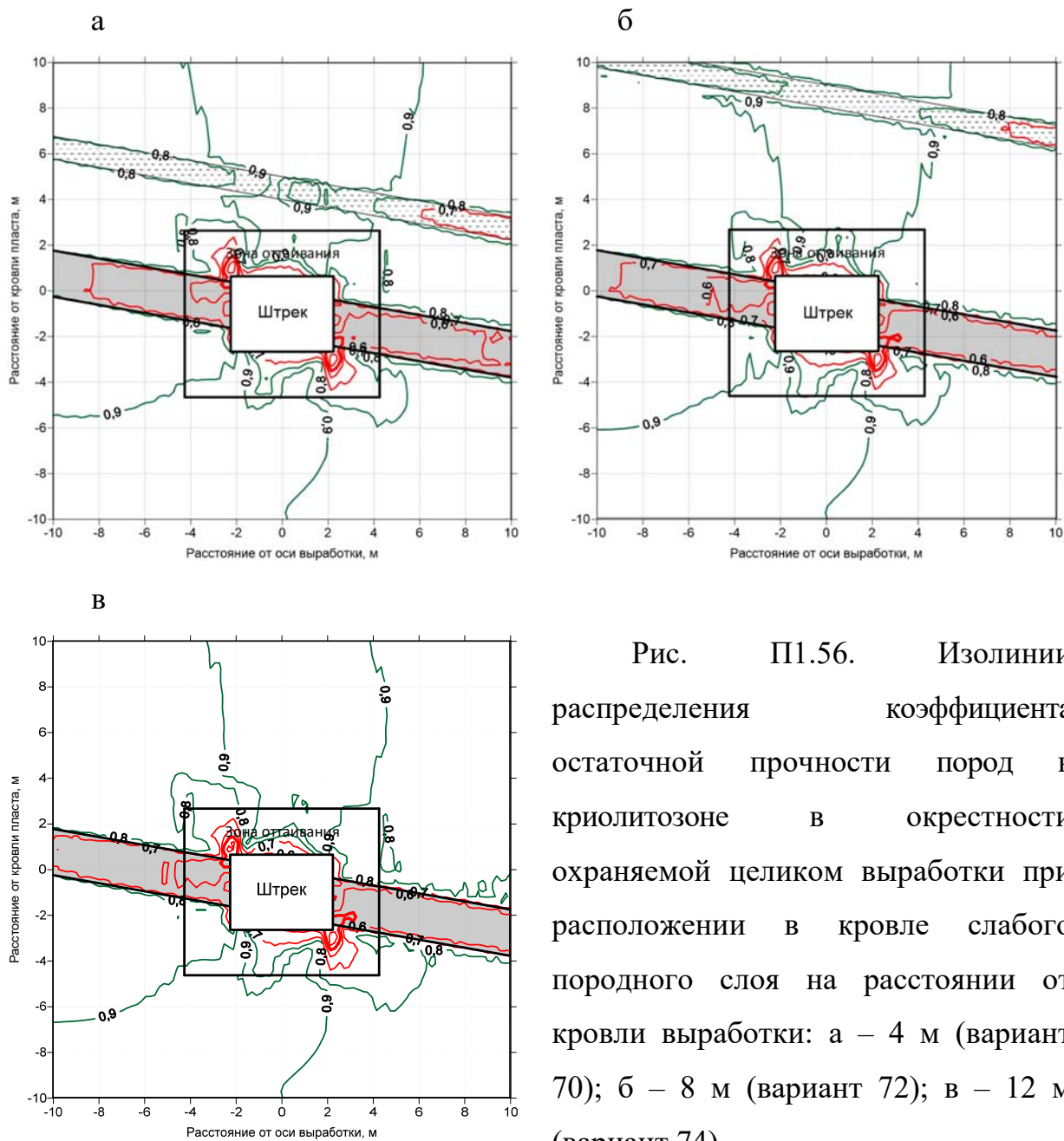
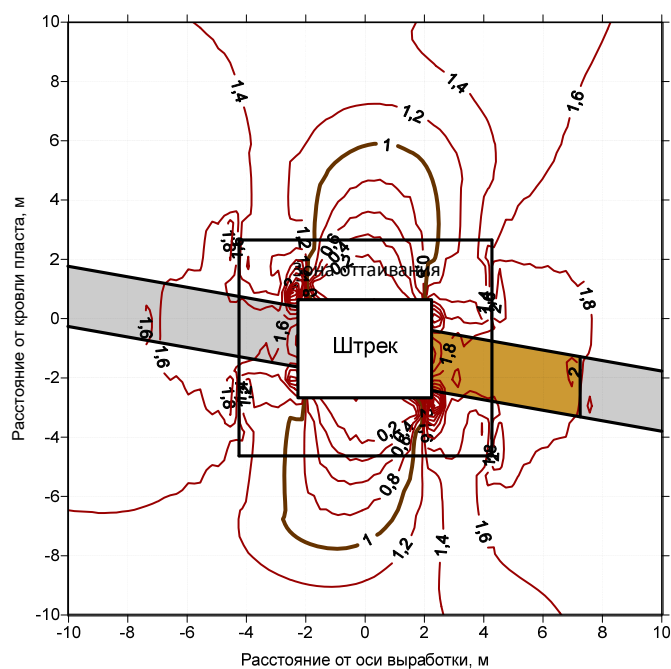


Рис. П1.56. Изолинии распределения коэффициента остаточной прочности пород в криолитозоне в окрестности охраняемой целиком выработки при расположении в кровле слабого породного слоя на расстоянии от кровли выработки: а – 4 м (вариант 70); б – 8 м (вариант 72); в – 12 м (вариант 74)

а



б

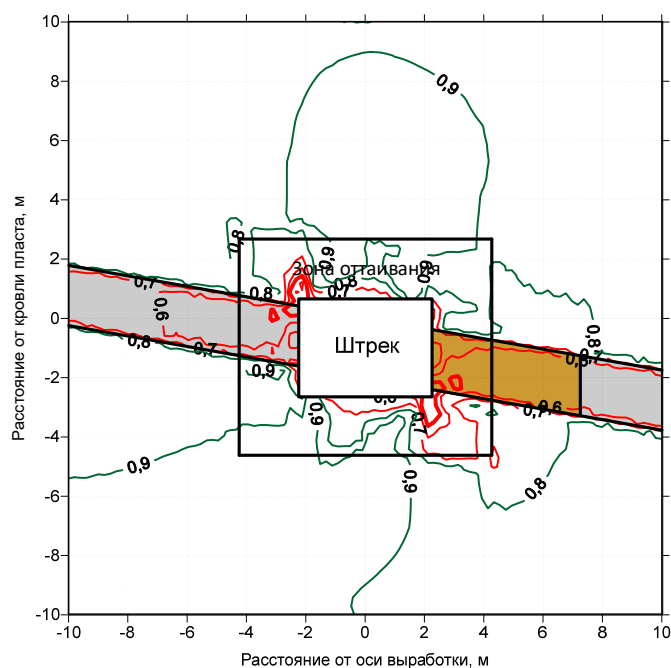
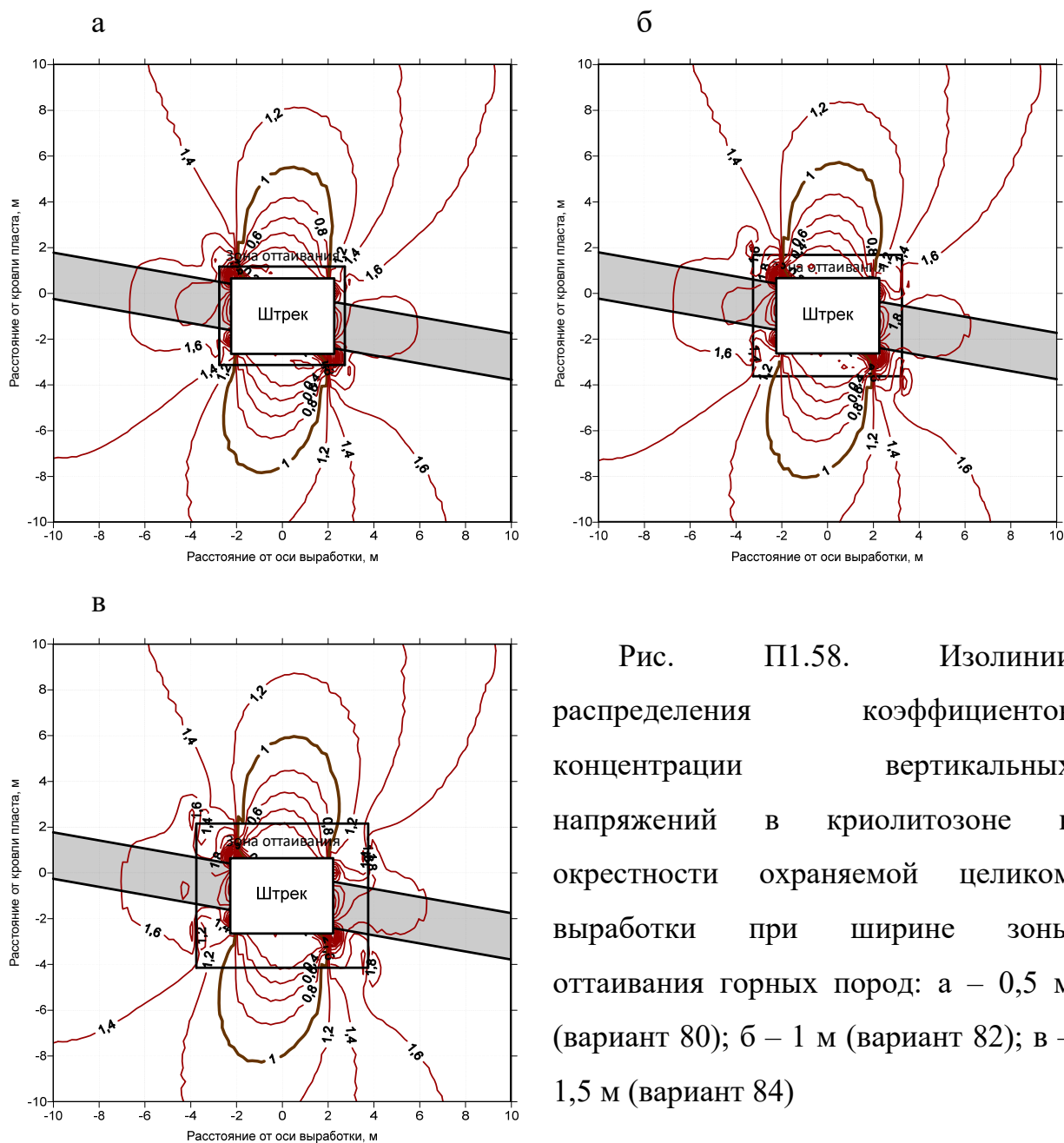
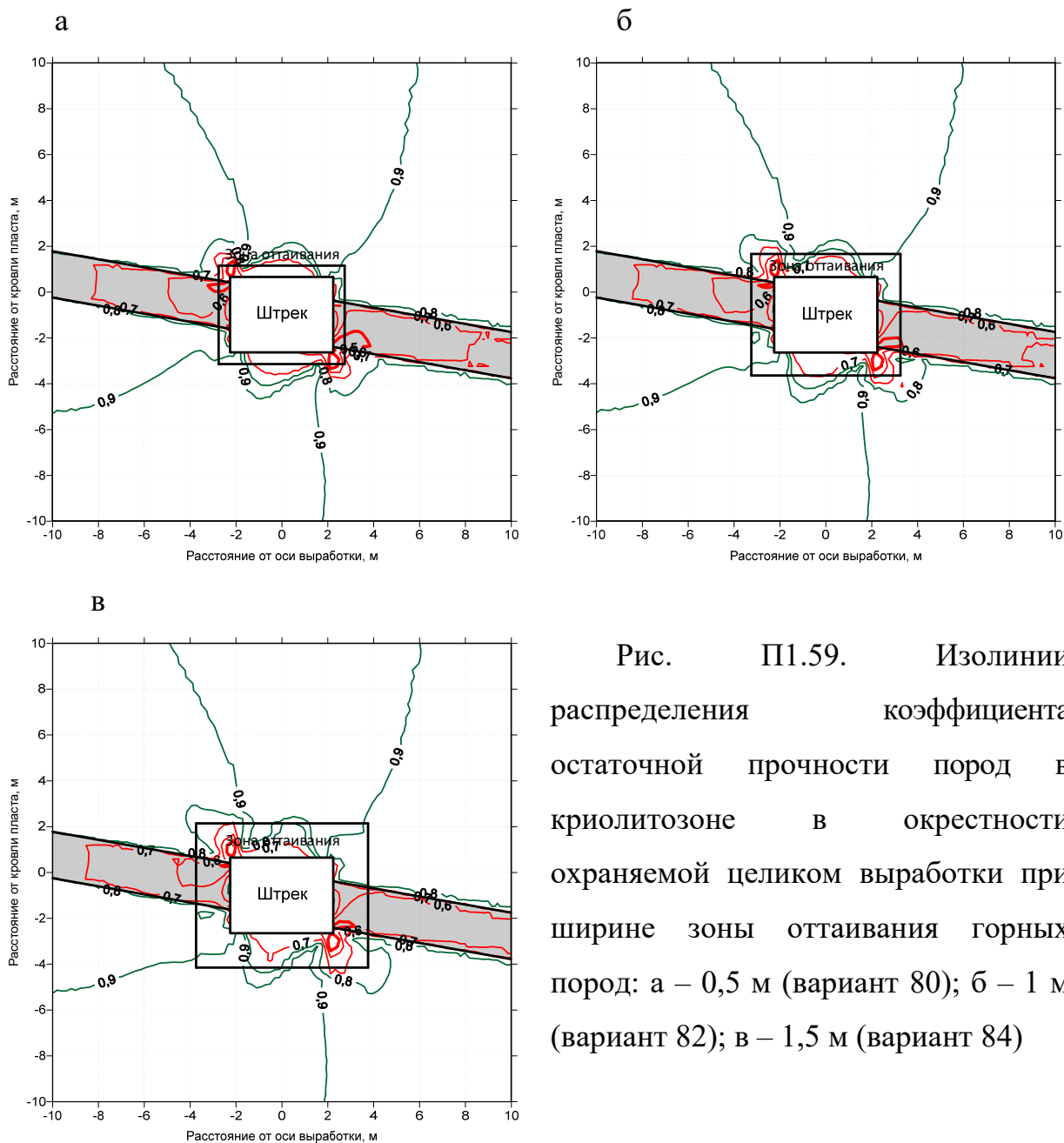


Рис. П1.57. Изолинии распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений (а) и коэффициента остаточной прочности пород (б) в криолитозоне в окрестности охраняемой целиком выработки, проведённой по трещиноватому угольному пласту, с укреплением бока целика клеевым составом (вариант 58)





Приложение 2 Справки о внедрении результатов исследований



СУЭК

АКЦИОНЕРНОЕ
ОБЩЕСТВО
«СУЭК-КУЗБАСС»

Шахта им. В.Д. Ялевского
Россия, 653207, Кемеровская обл.
Прокопьевский р-он, с. Котиню
Тел. (38464)47-201, Факс (38464)47-280
Эл. почта: pr_Yalevskogo@suek.ru



Главный инженер
Шахты им. В.Д. Ялевского
АО «СУЭК-Кузбасс»
А.С. Шнайдер

АКТ

о внедрении (использовании) результатов
кандидатской диссертационной работы
Разумова Евгения Анатольевича

Комиссия в составе:

председатель:

Галсанов Н.Л. – к.т.н., заместитель главного инженера по перспективному планированию

члены комиссии:

Кучеренко А.В. – заместитель главного инженера по технологии;

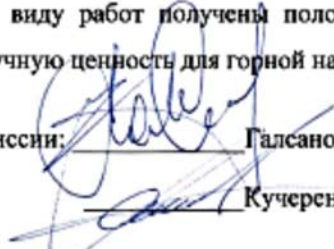
составили настоящий акт о внедрении результатов исследований кандидатской диссертационной работы Разумова Е.А. **"РАЗРАБОТКА АТЛАСА ВАРИАТИВНОСТИ**

ФОРМИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА В ОКРЕСТНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК", представленной на

соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы в производственной деятельности Шахты им. В. Д. Ялевского АО «СУЭК-Кузбасс», в частности объектами внедрения являются методы, алгоритмы применяемые при:

- проектировании и планировании горных работ на пластах 50, 52;
- отработке выемочных столбов 5005, 5210, 5214;
- профилактике динамических явлений при пересечении диагональных просеков №5005-1, №5005-2 (пласта 50) и №15, №16, №17, №5214-1 (пласта 52);
- обеспечении устойчивости демонтажной камеры в период демонтажа механизированного комплекса в выемочном столбе 5005.

По каждому виду работ получены положительные результаты, которые подтверждают актуальность и научную ценность для горной науки и практики результатов исследований.

Председатель комиссии:  Галсанов Н.Л.

Члены комиссии:  Кучеренко А.В.



Главный инженер
Шахты Чертинская-Коксовая»
ООО «ММК-УГОЛЬ»
В.С. Горностаев

Справка (или выписка из протокола техсовета)

**Об использовании результатов исследований в кандидатской диссертации
Е.А. Разумова "Разработка атласа вариативности сценариев формирования
напряжённо-деформированного состояния массива в окрестности
подземных горных выработок"**

Результаты исследований, полученные Е.А. Разумовым, рассмотрены на техническом совете шахты и рекомендованы к внедрению при проектировании и планировании горных работ на пласте 5 при отработке выемочных столбов 555; 559, в том числе при:

- профилактике динамических явлений при пересечении промежуточной разрезной печи 555; вентиляционного уклона 15/5; разрезных печей 559-1; 559-2; 559-3.
- обеспечении устойчивости демонтажной камеры в период демонтажа механизированного комплекса в выемочном столбе 555;

По каждому виду работ получены положительные результаты, которые подтверждают актуальность и полезность для горной науки и практики результатов исследований.

Постановили: рекомендовать результаты исследований в виде параметров крепления при планировании горных работ на пласте 5 в выемочных столбах 555; 559.

Результаты исследований Е.А. Разумова в связи с высокой актуальностью и научной ценностью, рекомендовать для представления в диссертационный совет в качестве кандидатской диссертации.



Утверждаю:
Главный инженер
шахты "Джебарики-Хая"
А.А. Сидельников
2014 г.

АКТ
приемки технологии крепления подготовительной выработки
анкерной крепью в условиях многолетнемерзлых пород
шахты "Джебарики-Хая"

Представитель от шахты "Джебарики-Хая": Р.Г. Тулубаев

*Представители от "РАНК 2": Е.А. Разумов, А.С. Позолотин,
Д.Ф. Заятдинов*

Представитель от Ленского управления Ростехнадзора: П.М. Гулимов

Согласно проекту "Крепления опытного участка вентиляционного штрека № 10 анкерной крепью, в условиях шахты "Джебарики-Хая", выполненного специалистами ООО "РАНК 2" в период с 24.02.2014 по 07.03.2014, был закреплен экспериментальный участок в вентиляционном штреке № 10. Комиссия провела обследование состояния опытного участка вентиляционного штрека № 10, закрепленного анкерной крепью в условиях многолетнемерзлых пород шахты "Джебарики-Хая".

Горно-геологическая характеристика

Глубина ведения горных работ – 96,5 м.

Характеристика пласта "Верхний":

Уголь пласта "Верхний" черный, полублестящий, тонкополосчатый, за счет чередования угля матового и блестящего. Минимальная мощность уголь-

ного пласта по лаве № 10 составляет 1,64 м, максимальная – 2,20 м, коэффициент крепости по шкале проф. Протоdjяконова составляет $f = 1,5 - 2,0$.

Характеристика кровли пласта

Основная кровля представлена песчаниками кварцево-полешпатовыми серого цвета, цемент глинисто-кремнеcтый, мощностью 14 м. Коэффициент крепости в мерзлом состоянии по шкале проф. Протоdjяконова составляет $f = 5 - 7$.

Непосредственная кровля сложена песчаником тонкозернистым, светло-серым, слоистость прерывистая, трещиноватым ($75^\circ - 90^\circ$), мощностью 6,0 м с коэффициентом крепости в мерзлом состоянии по шкале проф. Протоdjяконова от $f = 5 - 7$. Согласно "Инструкции по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах" в растепленном состоянии непосредственная кровля по обрушаемости относится к III типу, а по устойчивости к I классу.

Почва пласта

Почву угольного пласта cлагает песчаник мелкозернистый, коричневатого серого цвета, мощностью 1,5 м, с коэффициентом крепости в мерзлом состоянии по шкале проф. Протоdjяконова составляет $f = 5 - 7$.

Вентиляционный штрек № 10 пройден по пласту Верхнему комбайновым способом с присечкой пород кровли. Ширина выработки в проходке 4,5 м, высота 2,7 м, сечение в свету $8,5 \text{ м}^2$.

Крепление экспериментального участка

Крепление экспериментального участка выработки, производилось на участке протяжённостью десять метров, анкерной крепью по двухуровневой схеме: первый уровень, на протяжении 10 метров, формировался анкерами АКМ20.01-01, длиной $L = 2,6 \text{ м}$, которые устанавливаются совместно с продольным гофрированным подхватом типа "штрипс" (В-300), длиной $L = 4,2 \text{ м}$. Количество анкеров в ряду 5 шт., шаг установки рядов 1 м. Крепление боков

выполняется анкерной крепью, анкерами АКМ20.01-01, длиной $L = 2,2$ м, три анкера в ряду с шагом 1 м. Перетяжка кровли и боков экспериментального участка, выполнялась металлической решетчатой затяжкой 2400×1200 мм, с ячейкой 50×125 мм, или 50×50 мм в сочетании со стеклотканью. Стеклотканью производилась теплоизоляция контура выработки перед анкерованием. Анкеры АКМ20.01-01 закрепляются в шпуре диаметром $\varnothing 30$ мм на 2 ампулы АМК-400. Протяжённость участка закреплённого по двухуровневой схеме составляет три метра, второй контур формируется анкерами глубокого заложения АК01, длиной 6 м с глубиной закрепления за сводом ожидаемого вывала пород не менее одного метра. Анкеры АК01 закрепляются в шпуре диаметром $\varnothing 30$ мм на ампулы АМК. Установлена реперная станция, на расстоянии 2-х метров от забоя выработки (тупика), см. рис. 1.

В процессе монтажа анкерной крепи выполнялся хронометраж.

Итоги хронометража:

- суммарное время крепления одного погонного метра выработки анкерами первого уровня (кровля, бока), составляет 81 минута;
- суммарное время крепления одного погонного метра выработки анкерами второго уровня (кровля), составляет 21 минуту;
- суммарное время крепления одного погонного метра выработки (ширина 4,5 м, высота 2,7 м) анкерной крепью в два уровня, составляет 102 минуты.

По результатам монтажа анкерной крепи и мониторинга участка после крепления, подготовлен и утвержден отчет "Мониторинг опытного участка вентиляционного штрека №с10 в условиях шахты "Джебарики-Хая". По итогам мониторинга выработки в зимний период, состояние оценивалось как хорошее. По сравнению с состоянием выработок, закреплённых металлической рамной крепью, на участке выработки с анкерной крепью, отслоение пород кровли и боков не наблюдалось. Породы кровли и боков, были плотно сшиты анкерами первого уровня и посредством установки канатных анкеров, сформированная конструкция крепилась к устойчивым, не оттаявшим породам кровли, тем самым обеспечивая надежность и безопасность крепления.

В сравнении участок кровли, закрепленный по двухуровневой схеме и участок кровли, закрепленный анкерами первого уровня, состояние участков в зимний период времени, были одинаково удовлетворительными. Выработка находилась вне зоны опорного давления.

По итогам проведенного мониторинга опытного участка выработки в летний период, когда воздух, подаваемый в шахту, имеет плюсовую температуру и наблюдаются процессы оттаивания приконтурного массива, было выявлено следующее:

- состояние приконтурного массива выработки (кровля, бока), удовлетворительное;
- индикаторы на датчиках смещения находятся в зеленых зонах, следовательно, смещений в кровле не проявляется;
- наличие раскрытых трещин давления в кровле и боках не выявлено;
- вывалов пород между анкерами, отслоений приконтурных слоев кровли не зафиксировано;
- наличие пустот и трещин между подхватами и элементами анкерной крепи, уменьшение высоты и ширины выработки не обнаружено;
- провисание решетчатой металлической затяжки между подхватами отсутствует;
- деформация с изгибами или с разрывом анкерных подхватов отсутствует;
- ослабление гаек на анкерах отсутствует;
- подхваты с породами кровли имеют надёжный контакт;
- длина части анкера выступающего в выработку, не превышает 0,15 м;
- на участке выработки, закрепленном по двухуровневой схеме и на участке выработки, закрепленном анкерами первого уровня, состояние одинаковое, возможно как следствие того, что выработка находится вне зоны опорного давления;
- далее по выработке, на участках с рамным креплением из СВП наблюдаются расслоения пород в кровле и боках. Отслоившиеся порода давит на верхние рамы и перетяжку боков, тем самым уменьшается сечение выработок.

Вывод:

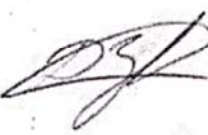
Схема крепления и поддержания горных выработок с применением анкеров глубокого заложения, которые закрепляются за контуром зон оттаивания и дезинтеграции массива, надёжна и технологична.

В соответствии с утвержденной "Программой и методикой", а также по результатам испытаний комиссия считает возможным применение анкерной крепи в условиях шахты "Джебарики-Хая" в качестве основной, с учетом ее монтажа при проведении выработок и установки анкеров в не оттаявшие породы кровли и боков. Выработки, которые будут эксплуатироваться в зонах опорного давления, необходимо крепить анкерной крепью по двухуровневой схеме.

Главный маркшейдер шахты "Джебарики – Хая"  Р.Г. Тулубаев

Технический директор ООО "РАНК 2"  Е.А. Разумов

Директор по перспективному развитию ООО "РАНК 2"  А.С. Позолотин

Заместитель директора по перспективному развитию ООО "РАНК 2"  Д.Ф. Заятдинов

Инспектор южного горнотехнического отдела Ленского управления Ростехнадзора  П.М. Гулимов