

## К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ВЗТ НА УЧАСТКАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ИСТОРИЧЕСКИХ РАССОЛЬНЫХ СКВАЖИН

П.А. Глебова

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Оставление охранного целика под рекой Усолка связано с историческими событиями, в частности с активной добычей соли в этом районе выварочным способом. Весьма вероятное расположение рассольных скважин на этой территории могло привести к нарушению слоев переходной пачки. В условиях исключения слоев каменной соли переходной пачки из интервала водозащитной толщи проведена оценка её состояния на участке, планируемом к отработке в пределах охранного целика реки Усолка на руднике СКРУ-1. Анализ включал многовариантное исследование при различных параметрах отработки.

**Ключевые слова:** солеварение, математическое моделирование, переходная пачка, водозащитная толща.

### Введение

История города Соликамск неразрывно связана с солеваренным промыслом. Неглубокое залегание концентрированных соляных рассолов, лесные массивы и разветвленная сеть речных транспортных путей создавали благоприятные условия для развития солеварения. Комплексы для получения соли сооружали непосредственно вблизи рек в целях использования их для сплава леса, который требовался в огромном количестве в качестве топлива. Именно Усолка являлась одной из основных рек, где располагались солеварни [1].

На протяжении нескольких веков рассол добывался из недр земли посредством, так называемых, рассолоподъемных скважин. Со временем промысел развивался, активно добывалась соль, а в погоне за большими объемами производства стремились выкачивать более концентрированный рассол. Для этого рассольные скважины стали закладываться во все более глубокие горизонты. И к 19 веку глубина скважин могла достигать в среднем 120 м, но имеются сведения и больших глубинах.

Открытие калийной соли и последующий запуск Соликамского рудника положили начало к прекращению производства соли выварочным способом. С закрытием последнего солеваренного завода, полвека назад, окончательно завершилась многовековая история солеварения. В настоящее время о том времени напоминают лишь музеи, куски бревенчатых оснований и остатки рассольных скважин, точное местоположение и глубину, части из которых определить затруднительно.

### Постановка задачи и анализ результатов

Оставление охранного целика под рекой Усолка связано с вышеописанными историческими событиями, в частности с весьма вероятным обширным расположением в данном районе рассольных скважин.

В рамках настоящих исследований проведена оценка состояния ВЗТ для обоснования возможности отработки запасов калийных солей в пределах проектируемого к отработке участка, находящегося непосредственно в районе охранного целика. Анализ включал многовариантное исследование при различных параметрах отработки.

Исследуемая площадь находится в северо-восточной части шахтного поля СКРУ-1 между скважинами 232, 990, 295 и междушахтным целиком СКРУ-1 и СКРУ-3. Обзорная схема района исследований представлена на рис. 1.

В геологическом отношении рассматриваемый участок, вероятно, характеризуется наличием больших зон замещения промышленных пластов. Пласты КрII и АБ за-

мещены каменной солью в юго-западной части, пласт В смешанного состава распространён на юго-востоке (рис. 1). Более точные данные о строении продуктивных пластов будут получены после вскрытия запасов горными выработками. В связи с этим, в пределах охранного целика под рекой Усолка были рассмотрены 5 вариантов отработки силвинитовых пластов в различной комбинации: отработка пластов Вс и КрII; селективная выемка пластов АБ + КрII или пластов Вс + АБ; отработка АБ+ и КрII, Вс+ и АБ с учетом возможного обрушения технологического междупластья АБ-КрII или Вс-АБ соответственно (таблица 1). Ожидается, что большая часть рассматриваемой области попадет в зоны аномального строения ВЗТ III и IV групп (рис. 1).

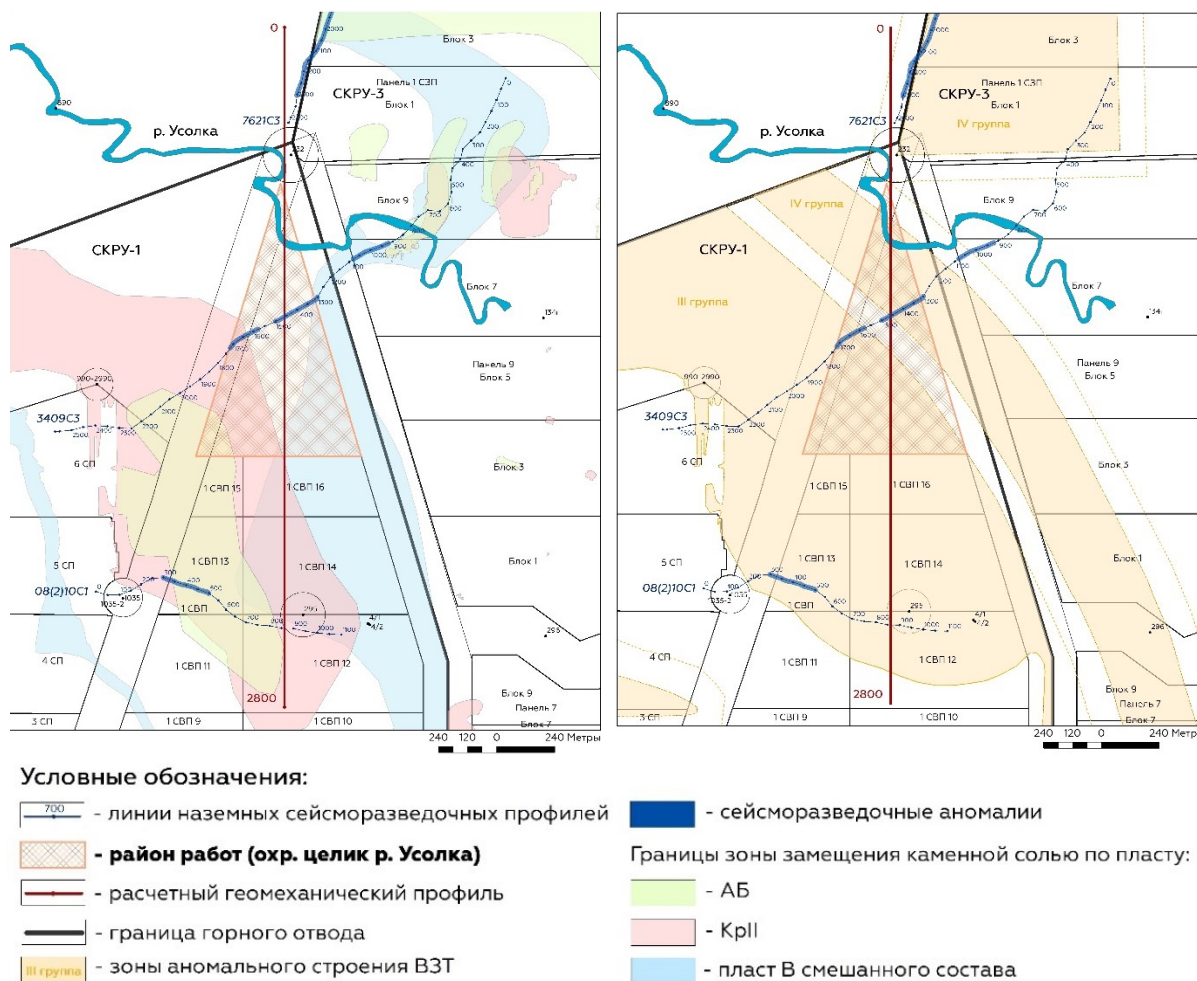


Рис. 1. Обзорные схемы района исследований

Как показал анализ геологического строения толщи в районе исследований, рассольные исторические скважины могли нарушить слои переходной пачки (ПП). В связи с этим при выполнении геомеханических расчетов из разреза ВЗТ исключались пласты каменной соли, развитые в ПП.

Критерием безопасной подработки водозащитной толщи является условие, в соответствии с которым суммарная мощность отдельных ненарушенных слоев каменной соли больше или равна их минимально допустимой суммарной мощности [2]:

$$M_s \geq [M], \tag{1}$$

где  $M_s$  – суммарная мощность слоев (пластов) каменной соли, в которых при деформировании толщи пород не возникают техногенные субвертикальные трещины;  $[M]$  – минимально допустимая суммарная мощность ненарушенных слоев (пластов) каменной соли ВЗТ.

На участках распространения и влияния аномальных зон *четвертой группы* и *третьей группы* минимально допустимая суммарная мощность ненарушенных слоев каменной соли соответственно  $[M] = 10$  м и  $[M] = 20$  м.

Суммарная мощность ненарушенных слоев каменной соли водозащитной толщи определяется по формуле:

$$M_s = \sum_{j=1}^k m_j, \quad (2)$$

где  $m_j$  – мощность  $j$ -го слоя каменной соли, в котором при деформировании водозащитной толщи не возникают трещины разрыва,  $j = 1, 2, 3, \dots, k$ ;  $k$  – количество ненарушенных слоев каменной соли водозащитной толщи.

Таблица 1

Варианты параметров отработки на площади целика под рекой Усолка

Вариант	Пласт	Ширина камер, $a$ , м	Ширина целиков, $b$ , м	Выним. мощность, $m$ , м	Закладка А	С	$\omega$
1	Вс	5.5	4.9	3.20	0.60	0.28	0.49
	КрII	5.5	4.9	3.65	0.75	0.30	0.49
2	АБ + КрII	5.5	8.2	9.55	0.75	0.28	0.39
3	Вс + АБ	5.5	7.2	7.43	0.75	0.30	0.42
4	АБ+	5.5	8.2	3.20	0.60	0.28	0.37
	КрII	5.5	8.2	3.65	0.75		0.37
5	Вс+	5.5	7.0	3.20	0.60	0.30	0.41
	АБ	5.5	7.0	3.20	0.75		0.41

Математическое моделирование напряженно-деформируемого состояния подработанного массива проводилось по меридиональному профилю. Профиль ориентирован с севера на юг.

Построение физико-геологической модели разреза на данном участке осуществлялось на основе результатов сейсморазведочных работ и данных бурения геологоразведочных скважин. В частности, была учтена, выявленная геофизическими наблюдениями, зона выклинивания ВЗТ, севернее скважины 232. Принципиальная схема геомеханического анализа по расчетному профилю представлена на рис. 2. На схеме изображены все рассматриваемые варианты отработки на исследуемом участке под рекой Усолка.

Для анализа деформирования подработанного массива во времени использовался реологический подход, основанный на математическом описании прогнозных графиков нарастания оседаний земной поверхности, согласно нормативному документу [2], и реализованный на основе модификации известного в практике реологического анализа метода переменных модулей упругости [3]. Математическое

моделирование поставленной задачи проводилось в упругопластической постановке для условий плоского деформированного состояния. Численная реализация осуществлялась методом конечных элементов [4]. Решение упругопластической задачи основывалось на методе начальных напряжений [5, 6]. Связь между деформациями и напряжениями на допредельной стадии описывалась законом Гука, а предельные напряжения в области сжатия определялись критерием Кулона-Мора [7]. Критическое напряжение в области растяжения ограничивалось пределом прочности на растяжение.

Анализ изменения напряженно-деформированного состояния водозащитной толщи и оценка ее устойчивости вдоль расчетного профиля выполнялись на моменты времени: через 5 лет, через 10 лет, через 20 лет после начала отработки запасов в пределах охранного целика под рекой Усолка и на конец процесса сдвижения с учетом применения дополнительных мер охраны в виде закладки очистных камер.

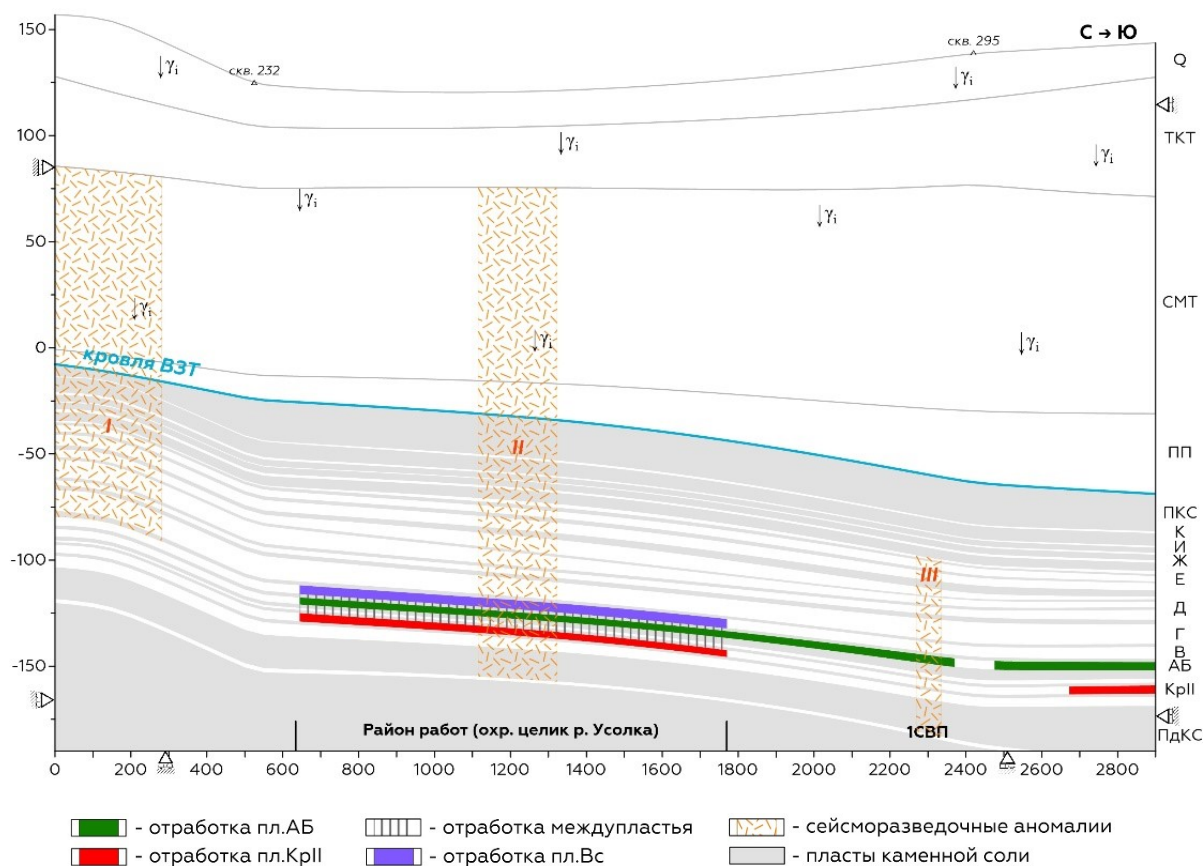


Рис. 2. Принципиальная схема расчета

На рис. 3 представлены оседания земной поверхности вдоль расчетного геомеханического профиля на все рассматриваемые временные промежутки при различных параметрах отработки. Все варианты имеют подобный характер нарастания оседаний с течением времени. По мере развития процесса сдвижения оседания получились незначительными, нарастание прослеживается с невысокими скоростями, вырисовывается пологая мульда сдвижения, что является следствием принятой в расчетах системы разработки жесткими целиками. На конец процесса сдвижения отмечается более выраженная мульда сдвижения, с явными градиентами оседаний в краевых частях подработанного массива.

Согласно полученным результатам именно на конец процесса сдвижения ожидается появление техногенной нарушенности ВЗТ в краевых частях подработанного массива,

что иллюстрируется на рис. 4. Основная зона субвертикальной трещиноватости сконцентрирована на севере рассматриваемого участка на границе с неотработанным массивом и охватывает нижние пласты ВЗТ, не превышая отметку карналитового пласта Д.

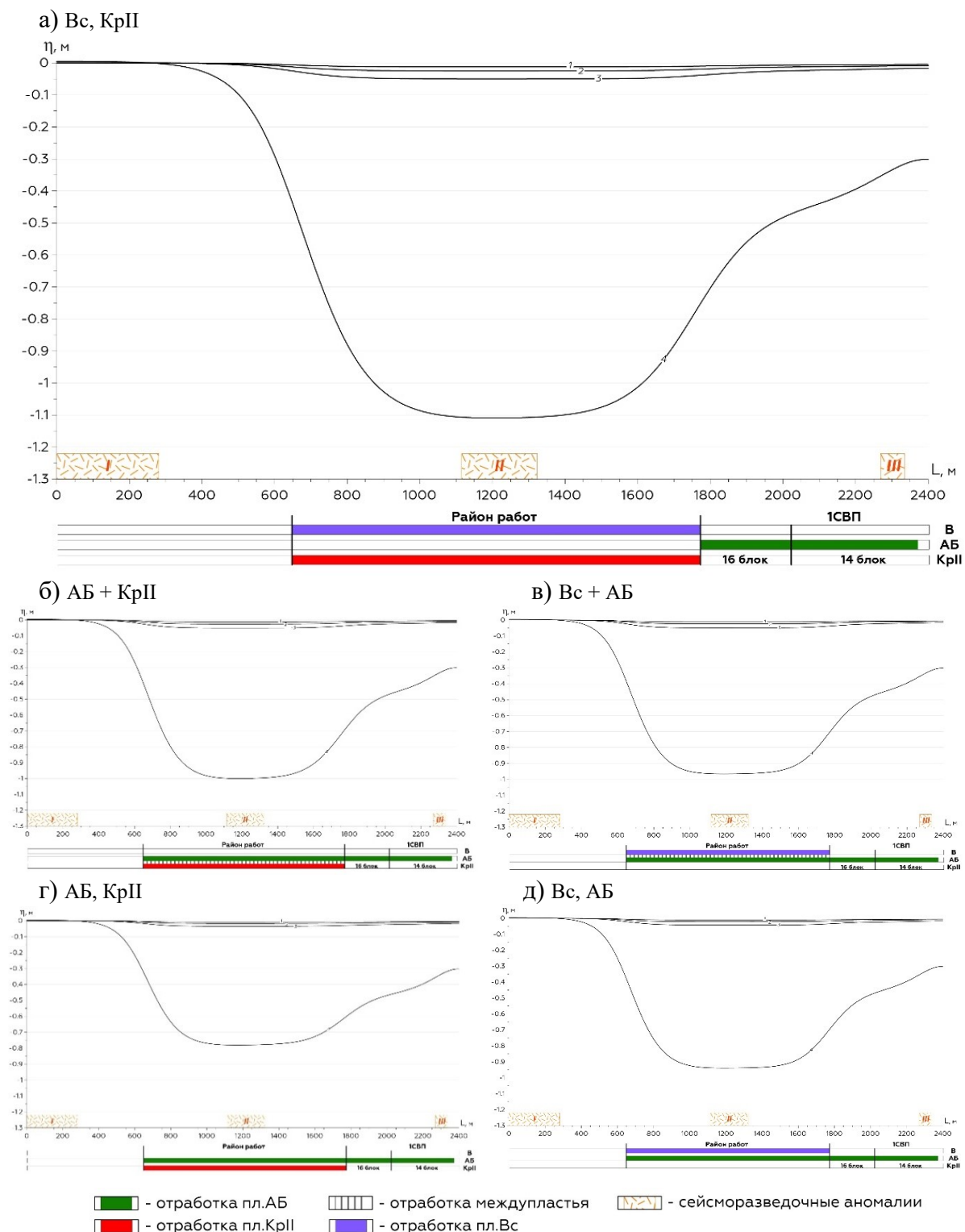


Рис. 3. Расчетные оседания земной поверхности вдоль расчетного профиля

Несмотря на исключение из интервала ВЗТ слоев каменной соли переходной пачки в связи с возможным наличием на данной территории исторических соляных скважин,

полученные результаты соответствуют выполнению критерия (2) безопасной подработки водозащитной толщи. Геомеханический анализ показал, что предложенные параметры отработки участка в пределах охранного целика реки Усолка обеспечивают сохранность ВЗТ вплоть до конца процесса сдвижения.

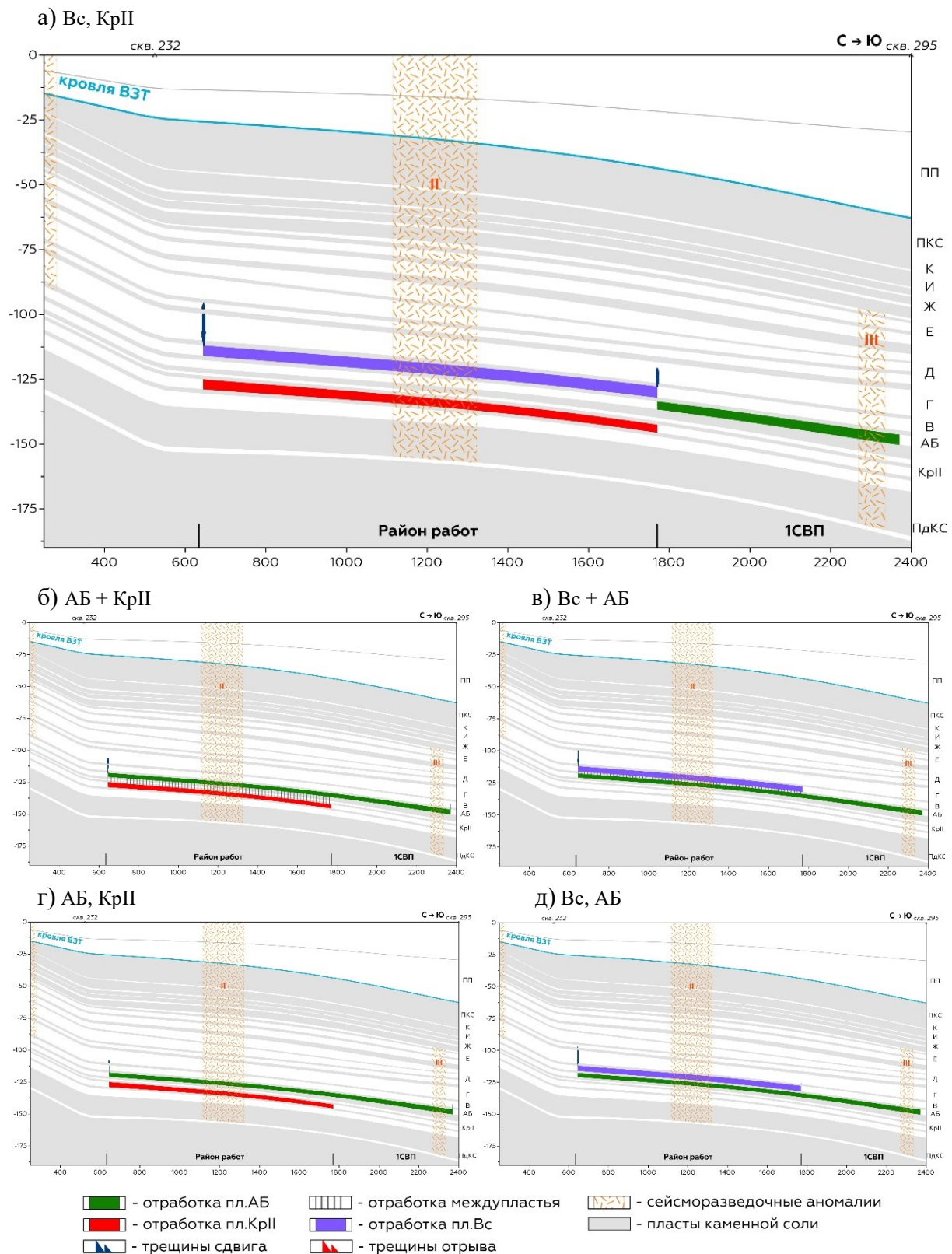


Рис. 4. Характер техногенного нарушения сплошности ВЗТ на конец процесса сдвижения

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богданов М.В. История солеварения Соликамска. – Соликамск, 2014. – 272 с.: ил.
2. Указания (мероприятия) по защите рудников ПАО «Уралкалий» от затопления и охране объектов на земной поверхности от вредного влияния подземных разработок на Верхнекамском месторождении солей. Ч. 1. Основные положения: утв. ПАО «Уралкалий». – Пермь, Березники, 2022 г. – 117 с.
3. Барях А.А., Самоделкина Н.А. Об одном подходе к реологическому анализу геомеханических процессов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2005. – № 6. – С. 32-41.
4. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.: ил.
5. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.
6. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.: ил.
7. Кузнецов Г.Н. Механические свойства горных пород. – М.: Углетехиздат. – 1947. – 180 с.

УДК 622.02

DOI:10.7242/echo.2024.2.4

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО И ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ИЗВЕСТНЯКА В УСЛОВИЯХ ТРЕХОСНОГО СЖАТИЯ ПО СХЕМЕ БЕКЕРА

И.Л. Паньков, В.С. Евсеев  
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

**Аннотация:** С целью ответа на вопрос о возможности применения критерия прочности, разработанного для оценки состояния горных пород, находящихся в условиях трехосного напряженного состояния, проведены исследования по изучению прочности образцов известняка в условиях трехосного сжатия по схеме Бекера ( $\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$ ). Исследования проводились на кубических образцах со стороной 37 мм в специальной испытательной установке, помещаемой между плитами электромеханического пресса Zwick/Z250. Получены кривые деформирования образцов и построена зависимость изменения прочности известняка при нагружении по схеме Бекера от величины минимального главного напряжения. По результатам экспериментальных исследований сделан вывод об удовлетворительной применимости предложенного критерия прочности.

**Ключевые слова:** прочность горных пород, трехосное сжатие, схема Бекера, кривые деформирования, критерий прочности.

При разработки месторождений полезных ископаемых в сложных горно-геологических условиях особое внимание уделяется вопросам геомеханического обеспечения безопасного ведения горных работ. В настоящее время, в связи с развитием вычислительных возможностей компьютерной техники, решение ряда геомеханических задач базируется на численном расчете напряженно-деформированного состояния пород подработанных массивов в трехмерной постановке. В этой связи, возникает необходимость в разработке новых критериальных зависимостей перехода пород в предельное состояние, учитывающих величину максимального ( $\sigma_1$ ), промежуточного ( $\sigma_2$ ) и минимального ( $\sigma_3$ ) главных напряжений. Пример подобного трехмерного критерия приведен в работах [1, 2]. Для обоснования возможности применения трехмерных критериев необходимо проведение сопоставительных испытаний горных пород в сложных объемных напряженных состояниях при различных схемах нагружения. Наиболее часто в экспериментальной геомеханике, приме-