

## К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОДРАБОТАННОМ МАССИВЕ ПОРОД

*Н.А. Милетенко, В.Н. Одинцев, Е.В. Федоров  
ИПКОН РАН, г. Москва, Россия*

**Аннотация:** В статье обсуждается схема моделирования взаимодействия геомеханических и гидрогеологических процессов в подработанном массиве пород с учетом деформации массива пород, его напряженного состояния, разрушения (образования магистральных водопроводящих трещин) и геофильтрации воды из магистральных трещин в горную выработку. Особенность схемы заключается в том, что в ней рассматривается последовательность задач моделирования геопроцессов. В рамках этой последовательности можно включить в расчет особенности процессов на каждом шаге вычислений, что позволяет действенно корректировать условия взаимодействия геопроцессов. Последовательный анализ взаимосвязи геопроцессов позволяет лучше понять механизм гидрогеомеханических явлений в подземных горных выработках и разработать адекватную методику их прогноза.

**Ключевые слова:** геомеханические процессы, напряженное состояние массива, геофильтрация, гидрогеологические процессы, водопроводящие трещины, моделирование.

## ON THE ISSUE OF MODELING THE INTERACTION OF GEOMECHANICAL AND HYDROGEOLOGICAL PROCESSES IN AN UNDERWORKED ROCK MASSIVE

*N.A. Miletenko, V.N. Odintsev, E.V. Fedorov  
IPKON RAN, Moscow, Russia*

**Abstract:** A scheme for modeling the interaction of geomechanical and hydrogeological processes in a sub-worked rock mass is discussed. This scheme takes into account the deformation of the rock mass, its stress state, destruction (formation of main water supply cracks) and geofiltration of water from main cracks into the mining. The main peculiarity of the scheme is that it considers the sequence of tasks of modeling geoprocesses. Within this sequence, it is possible to include in the calculation the features of the processes at each step of the calculations, which makes it possible to effectively adjust the conditions of interaction of geoprocesses. A consistent analysis of the relationship of geoprocesses makes it possible to better understand the mechanism of hydro-geomechanical phenomena in underground mine workings and to develop an adequate methodology for their prediction.

**Keywords:** geomechanical processes, stress state of the massif, geofiltration, hydro-geological processes, water-supply cracks, modeling.

При разработке месторождений твердых полезных ископаемых происходит масштабное воздействие на геосреду, которое порождает различные техногенные геопроцессы. Особую роль играют геомеханические и гидрогеологические процессы, поскольку они во многих случаях определяют вопросы безопасности и экологии разработки. К настоящему времени сложилось убеждение в том, что эти процессы надо рассматривать во взаимосвязи, и эта взаимосвязь должна отражаться в прогнозных исследованиях и в геомониторинге состояния геосреды.

Традиционно геомеханические и гидрогеологические исследования выполнялись в рамках разных научных дисциплин, которые имеют разные математический аппарат описания и методику экспериментальных исследований [1-4]. В последние десятилетия наметилась тенденция объединения методик исследований с целью более эффективного

прогноза опасных явлений, имеющих сложную, многофакторную природу. В этой связи рассматриваются различные схемы и подходы путем объединения геомеханических и гидрогеологических исследований [5-14].

Здесь мы рассматриваем одну из схем, в которой учитывается деформационное состояние массива пород, его напряженное состояние, разрушение (образование магистральных водопроводящих трещин) и геофильтрация воды из магистральных трещин в горную выработку.

Цель исследований: моделирование взаимодействия геомеханических и гидрогеологических процессов в подработанном массиве пород.

### Методика исследований

*Особенности моделирования геомеханических процессов*

Исторически геомеханический анализ состояния подработанной толщи базировался на двух подходах. Первый (ин-

женерный) основан на анализе деформаций, второй — на анализе напряжений.

К настоящему времени в оценках состояния подработанной толщи пород наибольшее распространение получил деформационный подход с оценкой состояния массива по величине техногенных деформаций [2]. В этом подходе рассматривается, главным образом, «провисающая» часть подработанной толщи, в которой появление водопроводящих трещин связывается с деформациями растяжения массива пород.

В другом, «силовом», подходе к геомеханическому анализу состояния подработанной толщи рассматривается напряженное состояние массива пород (исходное и техногенное). В рамках теории трещин, основанной на анализе напряженного состояния, исследуются особенности развития техногенных трещин (их конфигурация, связь с перераспределением напряжений в массиве, режим развития, возможность служить каналами для движения воды) [15–18]. Подход к геомеханическому анализу на основе напряжений получил методологическое развитие на основе принципа «малых приращений» [19], который определяет условия перехода от одного геомеханического состояния массива к другому и, тем самым, определяет сам геомеханический процесс.

Таким образом, считаем, что понятие геомеханический процесс характеризует последовательное изменение напряженно-деформированного состояния массива, и, следовательно, элементами моделирования должны быть математические параметры изменения, которые задают условия перехода от одного состояния массива к последующему. При этом внимание должно быть уделено не только деформациям и напряжениям, но и другим факторам, какими могут быть, например, конфигурация и размер области обрушения, смещение дневной поверхности, нагрузка на искусственные несущие элементы, техногенные трещины, динамические проявления горного давления. Поэтому существует необходимость дополнить деформационный и силовой подходы в исследованиях подработанной толщи принципом малых приращений, позволяющем проводить геомеханический анализ с учетом истории текущих геомеханических и технологических изменений. Частично работы по разработке нового подхода к анализу геопроцессов в налегающей толще были опубликованы в [6, 16, 17, 19].

Одна из особенностей нового подхода к исследованиям геомеханического процесса с учетом истории его развития состоит в возможности учета взаимосвязи этого процесса с гидрогеологическими изменениями. Это касается и геометрии задачи, и выбора значений параметров. Например, согласно решению задач область развития водопроводящих трещин, в которой локализуются гидрогеологические изменения, зависит от конфигурации выработанного пространства, закладки выработанного пространства, влияния новых выработок, обрушения пород и т.п.

Ниже рассматривается простой модельный пример применения нового подхода в анализе напряженно-деформированного состояния (НДС) массива пород при отработке горизонтального пласта полезного ископаемого. Главное внимание уделено особенностям зоны растягивающих напряжений, в которой возможно развитие открытых водопроводящих трещин. Для исследования напряженно-деформи-

рованного состояния массива пород используется метод последовательных циклов [19], согласующийся с принципом малых приращений и предполагающий последовательный расчет изменения НДС. В каждом расчетном цикле используется упругая модель, однако по совокупности расчетов можно учесть последовательное изменение свойств массива и закладки. В частности, нами было учтено постепенное нагружение массива закладки по мере удаления очистной выработки. Метод последовательных циклов позволяет отразить нелинейный характер деформирования геосреды в целом.

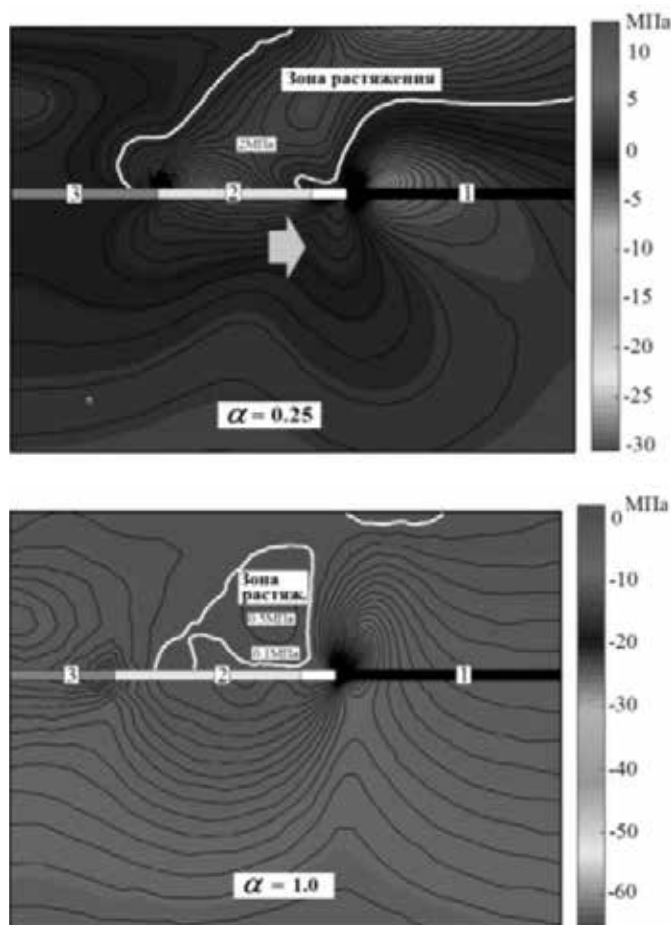


Рис. 1. Зоны напряжений растяжения в подработанной толще при разных значениях коэффициента бокового распора  $\alpha$ : 1 - пласт; 2 - область в выработанном пространстве с неполной посадкой кровли; 3 - область полной посадки толщи. / Fig. 1. Zones of tension stresses in the underworked thickness at different values of the lateral expansion coefficient  $\alpha$ : 1 - the formation; 2 - the area in the developed space with incomplete roof planting; 3 - the area of full thickness planting.

В рассмотренном примере пласт находится на глубине 200 м и отрабатывается в направлении, указанном стрелкой на рис. 1. Мощность пласта — 1.5 м. Усредненный вес налегающих пород  $2.3 \text{ г/см}^3$ , так что природное горное давление на глубине пласта равно  $\gamma H = 4.6 \text{ МПа}$ . При увеличении пролета подработки массива кровля начинает опускаться в выработанное пространство, смещению кровли противодействует закладка. В конечном итоге кровля плотно садится на закладку, что означает окончательную посадку налегающей толщи с передачей полного горного давления толщи

на массив пород в почве пласта. В расчетах варьировались значения коэффициента бокового распора  $\alpha$ , который отражает влияние природных горизонтальных напряжений в среде), усредненного коэффициента Пуассона  $\mu$ , усредненного модуля Юнга налегающей толщи  $E$ , а также использовались разные зависимости вертикальной деформации материала закладки от давления на закладку.

Из расчетов следует, что как в отношении деформаций, так и напряжений существуют зоны растяжения. При этом конфигурации и местоположения областей различаются в зависимости от значений параметров. Согласно теории трещинообразования развитие трещин в материалах исследуется в рамках анализа напряжений, поэтому в наших исследованиях рассматриваются зоны растягивающих напряжений.

На рис. 2 представлены некоторые результаты расчетов — изолинии напряжений растяжения (наименьших главных напряжений) при различных значениях коэффициента бокового распора  $\alpha = 0.25$ ;  $\alpha = 1.0$ . Эти результаты относятся к случаю  $E = 5 \times 10^3$  МПа,  $\mu = 0.2$ . Черным цветом показана нетронутая часть пласта (1), светло-серым цветом — выработанное пространство с деформирующейся закладкой (2), темно-серым цветом (3) — область полной посадки толщи. Граница зоны растягивающих напряжений показана белой линией.

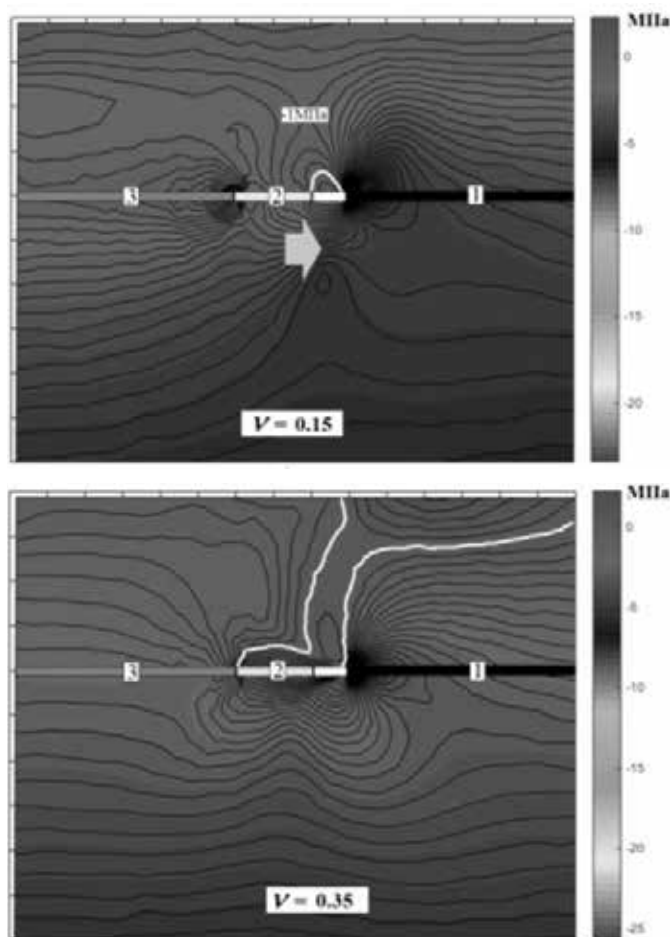


Рис. 2. Зоны напряжений растяжения в подработанной толще при разных значениях коэффициента Пуассона: а -  $\mu = 0.15$ ; б -  $\mu = 0.35$ . / Fig. 2. Zones of tensile stresses in the underworked thickness at different values of the Poisson's ratio: а -  $\mu = 0.15$ ; б -  $\mu = 0.35$ .

На рис. 2 представлены некоторые результаты расчетов зоны растягивающих напряжений в зависимости от значений коэффициента Пуассона  $\mu$  при усредненном модуле Юнга налегающей толщи  $E = 10^3$  МПа и коэффициенте бокового распора  $\alpha = 0.5$ .

По результатам проведенных расчетов можно сделать вывод о том, что размеры и конфигурация зон растягивающих напряжений в подработанной толще пород сильно зависят от величины горизонтальных природных напряжений — чем выше значения, тем меньше зона растягивающих деформаций. Таким образом, при высоких исходных боковых напряжениях (что характерно для тектонически активных регионов) зона растяжения незначительна, фактически она исчезает при  $\alpha \geq 1.5$ .

Зависимость зон растягивающих напряжений от исходных горизонтальных напряжений, вообще говоря, была известна. Однако последовательный расчет напряжений позволил уточнить особенности этой зависимости для случая применения закладки выработанного пространства. Из расчетов следует, что закладка выработанного пространства существенно уменьшает размеры зон растягивающих напряжений и влияет на их конфигурацию.

На рис. 3 представлены некоторые результаты расчетов зоны растягивающих напряжений при разных значениях усредненного модуля Юнга налегающей толщи. Здесь коэффициент Пуассона  $\mu = 0.2$ , коэффициент бокового распора определяется гипотезой акад. А.Н. Динника  $\alpha = \mu/(1-\mu)$ .

Протяженность нависающей толщи пород, т.е. расстояние от забоя лавы до границы области полной посадки толщи, зависит от деформационных свойств нависающей толщи (модуля Юнга и коэффициента Пуассона). Чем меньше значение модуля Юнга, тем меньше протяженность нависающей толщи, т.е. тем быстрее происходит посадка толщи. Например, в условиях рассмотренного примера при модуле Юнга равном  $10^3$  МПа протяженность нависающей толщи составляет 150 м, а при модуле  $5 \times 10^3$  МПа — 250 м.

В свою очередь протяженность нависающей части толщи определяет конфигурацию распределения растягивающих напряжений в кровле и величины растяжения. Например, при протяженности нависающей части 150 м и коэффициенте Пуассона 0.35 сквозная область растяжения, проходящая через всю толщу пород, не образуется. Если коэффициент Пуассона равен 0.2, то сквозная область растяжения образуется и простирается почти вертикально от лавы к земной поверхности.

Если протяженность нависающей толщи составляет 250 м, то сквозная область растяжения напряжений ориентирована почти под углом 70 градусов к горизонтальной плоскости пласта. Величина растяжения зависит от величины горизонтальных напряжений в нетронутом массиве. Так, при условии акад. А.Н. Динника (коэффициент бокового распора 0.25) величина напряжений растяжения составляет 2 МПа, а при боковом распоре  $\alpha = 0.5$  растяжение равно 1 МПа. И в том, и в другом случае это большие величины, превышающие прочность породы на растяжение. Следовательно, в этих случаях в налегающей толще возможно образование трещин отрыва.

Таким образом, из расчетов следует, что в массивах пород с разными значениями параметров деформационных свойств могут формироваться существенно различные зоны

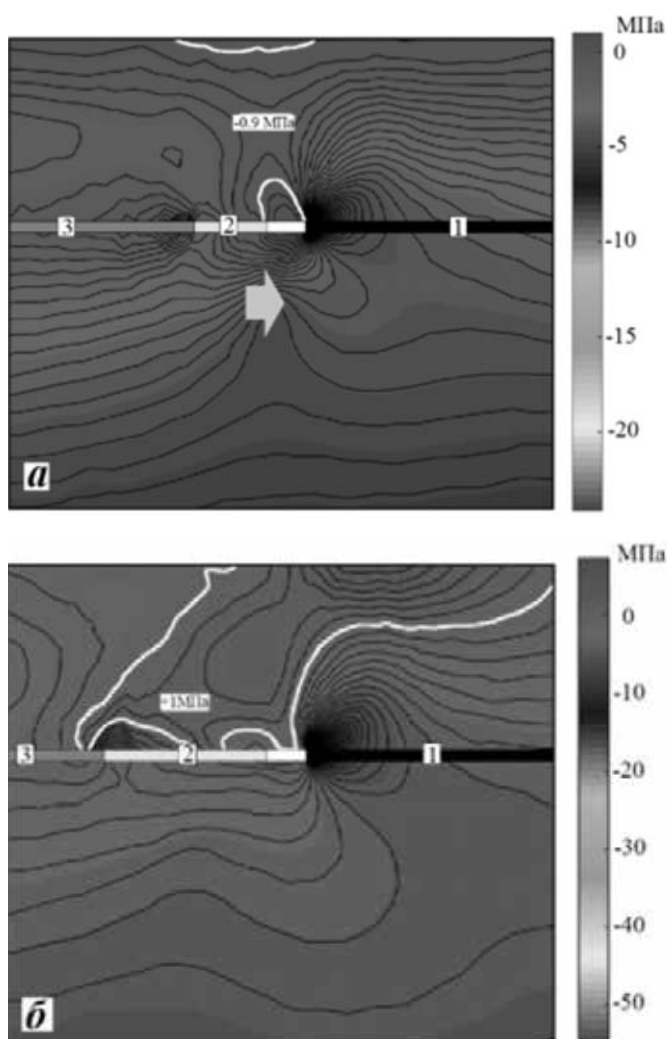


Рис. 3. Зоны напряжений растяжения в подработанной толще при разных значениях усредненного модуля Юнга налегающей толщи: а -  $E = 10^3$  МПа; б -  $E = 5 \times 10^3$  МПа. / Fig. 3. Zones of tensile stresses in the underworked thickness at different values of the averaged Young's modulus of the overlying thickness: а -  $E = 10^3$  МПа; б -  $E = 5 \times 10^3$  МПа.

растяжения. Зависимость конфигурации и размера зон растяжения от деформационных свойств определяется процессом последовательного перераспределения напряжений при

нагрузении закладки. В модельных исследованиях адекватная картина перераспределения напряжений может быть выявлена только при последовательном расчете напряжений методом последовательных циклов.

#### Геофильтрация из водопроводящей трещины в выработку.

В зоне растягивающих напряжений возможно развитие водопроводящих трещин. В случае блочного строения массива пород образуется система трещин, включающих границы боков, на что указывают натурные данные и лабораторные эксперименты. В случае условно монолитного массива, как показывает моделирование, возможно образование только одной магистральной водопроводящей трещины, которая в процессе своего роста подавляет развитие соседних трещин.

Ниже рассмотрен модельный пример фильтрации воды из одиночной магистральной трещины, которая может образоваться в зоне растяжения массива. Протяженные трещины отрыва могут зарождаться на земной поверхности и расти в массиве пород практически вертикально [20]. Эти трещины могут служить каналами для проникновения воды на нижние горизонты.

Моделирование показывает, что прорастание магистральных трещин отрыва с поверхности непосредственно в очистную выработку в общем случае маловероятно вследствие формирования локальных сжимающих напряжений непосредственно вблизи забоя выработки. Такие трещины могут подойти близко к выработанному пространству и служить источником фильтрационного потока воды в выработанное пространство (лаву).

Для анализа подобной ситуации рассмотрен модельный пример, схема к которому показана на рис. 4, а. Трещина заполнена водой, давление которой описывается законом гидростатики.

В рассмотренном примере коэффициент фильтрации массива был принят 1 м/сут, что по порядку величины соответствует водопроницаемым грунтам и трещиноватым массивам пород.

На рис. 4, б и 4, в приведены некоторые результаты расчета стационарной фильтрации воды из магистральной трещины при различной длине трещин  $L$ . На рис. 4, б для примера показаны изолинии скоростей фильтрационного потока в выработку для случая, когда расстояние от конца трещины до выработки составляет 25 м. На рис. 4, в результаты расче-

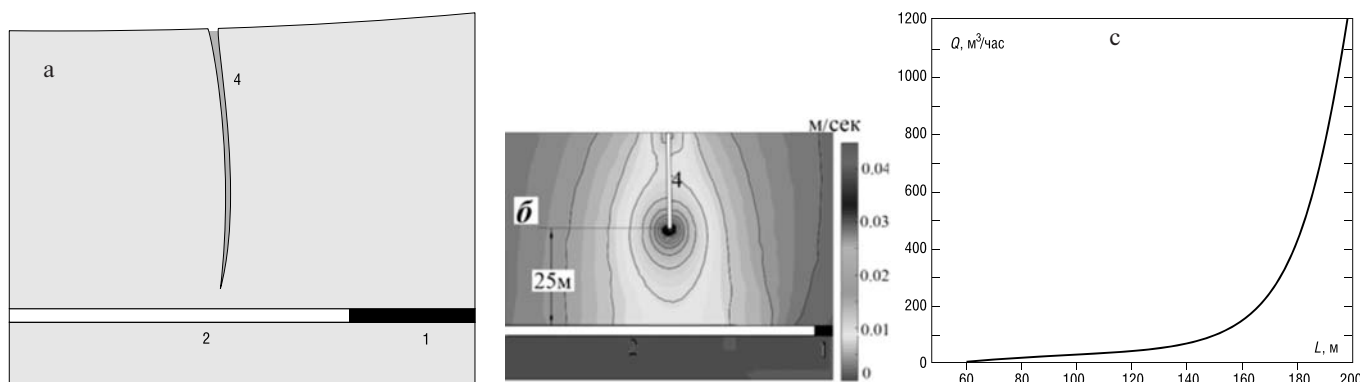


Рис. 4. Задача о фильтрационном потоке из магистральной водопроводящей трещины в подработанную часть пласта: а - схема к задаче; б - изолинии скоростей фильтрационного потока воды; в - зависимость величины потока воды в выработанное пространство от  $L$ . / Fig. 4. The problem of the filtration flow from the main water supply crack into the underworked part of the reservoir: а - the scheme for the problem; б - the isolines of the filtration flow rates of water; в - the dependence of the water flow into the developed space on  $L$ .

тов обобщены в виде зависимости величины потока воды в выработанное пространство в зависимости от длины трещины  $L$ .

Как следует из расчетов, фильтрационный поток воды из трещины в лаву минимален, пока расстояние от трещины до кровли выработки не уменьшится до 25 м. При более короткой трещине фильтрация не должна каким-либо образом проявляться. Если трещина окажется ближе 25 м к кровле лавы, скорость фильтрации составит порядка 0.01 м/с и гидрогеологическая ситуация в лаве может измениться. Появление воды на поверхности кровли будет проявляться как капез.

Когда расстояние между кровлей выработки и трещиной станет менее 10 м фильтрационный поток резко усилится. Оценка по изолиниям скоростей фильтрационного потока показывает, что приток воды в лаву в этом случае может составлять около 1000 м<sup>3</sup>/час, если в кровле находятся породы типа глинистых песков, суглинки и т.п.

Важно подчеркнуть, что такой мощный приток воды в лаву не связан с непосредственным выходом водопрводящей трещины в выработку. Приток воды в лаву увеличивается постепенно по мере подхода водопрводящей трещины. Таким образом, постепенно усиливающийся капез воды может быть показателем близости магистрального водопрводящего канала. С другой стороны, капез может быть предвестником гидродинамического прорыва воды в выработку, поскольку при изменении конфигурации выработанного пространства может исчезнуть локальная зона сжимающих напряжений вблизи выработки и водопрводящая трещины достигнет выработки.

#### Обсуждение результатов

При всей условности постановки задач моделирования полученные результаты представляют интерес в связи с исследованием взаимодействия геомеханических и гидрогеологических процессов. Прежде всего следует отметить, что при использовании в модельных исследованиях принципа

малых изменений и метода последовательных циклов можно получить более реальную картину напряженно-деформированного состояния массива пород. Это позволяет отразить в расчетах посадку кровли как процесс, а не набор состояний. В процессе каждое последующее состояние обосновано всей совокупностью предыдущих состояний. Последовательный учет смещений пород при развитии очистных работ позволяет оценить степень быстроты перераспределения напряжений и восприятия закладкой давления налегающей толщи. Следует также заметить, что полная посадка толщи резко изменяет геомеханическое состояние налегающих пород. Таким образом, полная посадка толщи может быть целью технологических мер по управлению геомеханическими процессами.

#### Выводы

Выявление конфигурации и размеров зон растягивающих напряжений позволяет более адекватно ставить и решать задачи об образовании техногенных водопрводящих трещин. Из исследований следует, что даже одиночные водопрводящие трещины могут представлять опасность не только в связи с динамическим прорывом воды в выработку, но и в отношении формирования опасного фильтрационного потока воды в выработку. Показано, что уже при подходе техногенной водопрводящей трещины к выработке фильтрационный поток воды из нее в выработку может быть критическим, т.е. суммарно капез может превышать возможности откачки воды из выработки. Вместе с тем, появление сильного капеза со стенок выработки следует рассматривать как предвестник возможного опасного гидродинамического прорыва воды в выработку.

Ситуации с усиливающимся капезом воды требуют принятия практических мер по предотвращению негативных последствий. Поэтому целесообразно заблаговременно моделировать возможные сценарии развития геомеханических и гидрогеологических процессов, чтобы выбрать наиболее оптимальные меры по управлению этими процессами. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли (под ред. К. Н. Трубецкого) // М.: Изд-во Акад. горных наук, 1997. - 477 с.
2. Иофис М.А., Шмелев А.И. Инженерная геомеханика при подземных разработках // М.: Недра, 1985. 248 с.
3. Мироненко В.А., Румынин В.Г. Проблемы гидрогеоэкологии в 3-х томах // Москва: МГУ, 2002. - 611 с.
4. Норватов Ю.А. Изучение и прогноз техногенного режима подземных вод (При освоении месторождений полезных ископаемых) // Л.: Недра, 1988, 260 с.
5. Субботин А.И., Грицков В.В., Козаченко М.Г., Коняхина О.А. Инструкция по безопасному ведению горных работ у затопленных выработок. Выпуск 8. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль // М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2010.
6. Трубецкой К. Н., Иофис М. А., Милетенко И. В., Милетенко Н. А., Одинцев В. Н. Проблемы комплексного гидрогеологического и геомеханического техногенного воздействия на геосреду. // В сб. «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды». Т.1 // Новосибирск: Изд-во ИГД СО РАН, 2012. С. 23-28.
7. Журин С.Н., Колесников В. И., Стрельцов В. И. Геомеханический мониторинг обводненных массивов // М.: НИИ-Природа, 1997. - 188 с.
8. Kutepov J. I., Kutepova N.A., Pospelov G.B. Studying of hydrogeomechanical processes // Heft 2007-1. Statusbericht 2006: Institute of Geotechnical TU Bergakademie Freiberg, 2007. pp. 253-258.
9. Ягунов А. С. Принципы гидрогеомеханического обоснования выбора способов ликвидации шахт Кузбасса // Горная геомеханика и маркшейдерское дело: Сборник научных трудов // СПб.: ВНИМИ, 1999. - С. 132-136.
10. Hao Li, Haibo Bai, Jianjun Wu, Zhanguo Ma, Kai Ma et al. A Cascade Disaster Caused by Geological and Coupled Hydro-Mechanical Factors – Water Inrush Mechanism from Karst Collapse Column under Confining Pressure. Energies. 2017. Vol. 10, Iss. 12. DOI: 10.3390/en10121938
11. Ghani I, Koehn D, Toussaint R and Passchier CW (2015) Dynamics of hydrofracturing and permeability evolution in layered reservoirs. Front. Phys. 3:67. DOI: 10.3389/fphy.2015.00067
12. Мохов А. В. Модель водопроницаемости горного массива в зоне сдвижения на участках подземных разработок каменноугольных залежей // ДАН. 2017. Т. 473. № 4. С. 464-467.

13. Гусев В.Н. Геомеханика техногенных водопроводящих трещин // СПб.: С.-Петербург. гос. горн. ун-т им. Г.В. Плеханова, 1999. - 156 с.
14. Тагильцев С. Н., Кибанова Т. Н. Гидрогеомеханические структуры растяжения и сжатия в поле современных тектонических напряжений // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2017. № 7. С. 63-69.
15. Барях А. А., Самodelкина Н. А., Паньков И. Л. Разрушение водоупорных толщ при ведении крупномасштабных горных работ. Ч.1. // ФТПРПИ. - 2012. - №5. - С.3-14.
16. Одинцев В. Н., Милетенко И. В., Милетенко Н. А. Геомеханическая оценка изменения гидрогеологических условий налегающих пород при скважинной гидродобыче железных руд // Маркшейдерия и недропользование. 2010. № 5 (49). С. 51-54.
17. Одинцев В. Н., Милетенко И. В., Милетенко Н. А. Новый геомеханический подход к прогнозу опасных гидрогеологических процессов при подземной разработке твердых полезных ископаемых // ГИАБ. 2011. № 7. С. 103-108.
18. Zhou Qinglong. Modeling and Risk Assessment of Fault-Induced Mine Water Inrush. Doctoral Thesis. -Universidad Polit?cnica de Madrid. 2017. Pp.152.
19. Одинцев В. Н. Методологические принципы моделирования техногенного геомеханического процесса // Маркшейдерия и недропользование. 2018. № 4 (96). С. 34-39.
20. Цяо Ц., Батугин А.С., Батугина И.М., Юй Л., Чжао Ц. Условия проявления геодинамических явлений на шахте Хуафэн в Китае // М.: Спутник, 2016. 143 с.

## REFERENCES

1. Mining sciences. Development and preservation of the Earth's bowels (edited by K. N. Trubetskoy). - M.: Publishing House of the Academy of Sciences, 1997. 477 p.
2. Iofis M.A., Shmelev A.I. Engineering geomechanics in underground mining. - M.: Nedra, 1985. 248 p.
3. Mironenko V.A., Romanin V.G. Problems of hydrogeoeology. in 3 volumes. - Moscow: Moscow State University, 2002. - 611 p.
4. Norvatov Yu.A. Study and forecast of the technogenic regime of groundwater (During the development of mineral deposits). - L.: Nedra, 1988, 260 p.
5. Subbotin A.I., Gritskov V.V., Kozachenko M.G., Konyakhina O.A. Instructions for safe mining operations at flooded workings. Issue №8. Protection of mineral resources and geological surveying control. - Moscow: CJSC STC PB, 2010.
6. Trubetskoy K. N., Iofis M. A., Miletenco I. V., Miletenco N. A., Odintsev V. N. Problems of complex hydrogeological and geomechanical technogenic impact on the geo-environment. In the collection «Fundamental problems of formation of technogenic geomeidia». Vol.1. - Novosibirsk: Publishing House of IGD SB RAS, 2012. pp. 23-28.
7. Zhurin S.N., Kolesnikov V. I., Streltsov V. I. Geomechanical monitoring of watered massifs. M.: NIA-Nature, 1997. - 188 p.
8. Kutepov J. I., Kutepova N.A., Pospheov G.B. Studying of hyrogeomechanical processes. Heft 2007-1. Statusbericht 2006: Institute of Geotechnical TU Bergakademie Freiberg, 2007. - pp. 253-258.
9. Yagunov A. S. Principles of hydrogeomechanical substantiation of the choice of methods of liquidation of Kuzbass mines. Mining geomechanics and surveying: Collection of scientific papers. St. Petersburg: VNIMI, 1999. - pp. 132-136.
10. Hao Li, Haibo Bai, Jianjun Wu, Zhanguo Ma, Kai Ma et al. A Cascade Disaster Caused by Geological and Coupled Hydro-Mechanical Factors - Water Inrush Mechanism from Karst Collapse Column under Confining Pressure. Energies. 2017. Vol. 10, Iss. 12. DOI: 10.3390/en10121938
11. Ghani I, Koehn D, Toussaint R and Passchier CW (2015) Dynamics of hydrofracturing and permeability evolution in layered reservoirs. Front. Phys. 3:67. DOI: 10.3389/fphy.2015.00067
12. Mokhov A.V. A model of water permeability of a mountain massif in the zone of displacement at the sites of underground mining of coal deposits. DAN. 2017. Vol. 473. No. 4. pp. 464-467.
13. Gusev V.N. Geomechanics of technogenic water supply cracks - St. Petersburg: St. Petersburg State Mining University named after G.V. Plekhanov, 1999. - 156 p.
14. Tagiltsev S. N., Kibanova T. N. Hydrogeomechanical structures of tension and compression in the field of modern tectonic stresses. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal. 2017. No. 7. pp. 63-69.
15. Baryakh A. A., Samodelkina N. A., Pankov I. L. Destruction of water-resistant strata during large-scale mining operations. Part1. FTPRPI. 2012. No. 5. pp. 3-14.
16. Odintsovo V. N., Miletenco I. V., Miletenco N. A. Geomechanical assessment changes in hydrogeological conditions of overlying rocks during bore-hole hydraulic extraction of iron ores. Surveying and subsurface use. 2010. No. 5 (49). pp. 51-54.
17. Odintsovo V. N., Miletenco I. V., Miletenco N. A. A new geomechanical approach to the prediction of hazardous hydrogeological processes in the underground mining of solid minerals. GIAB. 2011. No. 7. pp. 103-108.
18. Zhou Qinglong. Modeling and Risk Assessment of Fault-Induced Mine Water Inrush. Doctoral Thesis. -Universidad Polit?cnica de Madrid. 2017. Pp.152.
19. Odintsev V. N. Methodological principles of modeling of technogenic geomechanical process. Surveying and subsoil use. 2018. No. 4 (96). pp. 34-39.
20. Qiao Ts., Batugin A.S., Batugina I.M., Yu L., Zhao Ts. Conditions for the manifestation of geodynamic phenomena at the Huafeng mine in China. - M.: Sputnik, 2016. 143 p.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS



**Милетенко Наталья Александровна:**  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник,  
ФГБУН Институт проблем комплексного освоения  
недр им. академик Н.В. Мельникова РАН,  
г. Москва, Россия,  
e-mail: nmilet@mail.ru,  
<http://orcid.org/0000-0002-5594-3036>

**Miletchenko Natalya Alexandrovna:**  
Candidate of Technical Sciences,  
Senior Researcher,  
Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral  
Resources Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russia,  
e-mail: nmilet@mail.ru,  
<http://orcid.org/0000-0002-5594-3036>



**Одинцев Владимир Николаевич:**  
доктор технических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
ФГБУН Институт проблем комплексного освоения  
недр им. академик Н.В. Мельникова РАН,  
г. Москва, Россия,  
e-mail: odin-vn@yandex.ru,  
<https://orcid.org/0000-0001-5740-2703>

**Odintsev Vladimir Nikolaevich:**  
Doctor of Technical Sciences,  
Leading Researcher,  
Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral  
Resources Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russia,  
e-mail: odin-vn@yandex.ru,  
<https://orcid.org/0000-0001-5740-2703>



**Федоров Евгений Вячеславович:**  
кандидат технических наук,  
заведующий отделом,  
ФГБУН Институт проблем комплексного освоения  
недр им. академик Н.В. Мельникова РАН,  
г. Москва, Россия,  
e-mail: evfedorov58@gmail.com,  
<https://orcid.org/0000-0001-9945-9193>

**Fedorov Evgeniy Vyacheslavovich:**  
Candidate of Technical Sciences,  
head of department,  
Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral  
Resources Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russia,  
e-mail: evfedorov58@gmail.com,  
<https://orcid.org/0000-0001-9945-9193>

## КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей. / The authors participated equally in the writing and collection of the material, as well as its processing.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.



## РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ (МГРИ)

Университет берет свое начало с геологоразведочного факультета Московской горной академии, созданной в сентябре 1918 г.

**Факультеты:**

- ◆ Геологоразведочный факультет,
- ◆ Факультет технологии разведки и разработки,
- ◆ Факультет геологии и геофизики нефти и газа,
- ◆ Гидрогеологический факультет,
- ◆ Факультет экономики и управления,
- ◆ Экологический факультет

Для зачисления в Университет в 2022 году необходимо подать заявление о согласии на зачисление и оригинал документа об образовании не позднее 18 часов 28 июля 2022 года.

**Контакты:** 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23; +7(495)255-40-20 10:00-18:00 e-mail: priem@mgri.ru,  
<https://www.mgri.ru/commission/poryadok-postupleniya/>



# WWW.N-GN.RU