

ИТОГИ ИЗУЧЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД

DOI 10.25296/1993-5056-2017-6-58-64

УДК 624.131.38



Источник: http://rogunges.tj/ru/wp-content/uploads/2016/09/13920511_1103071743096344_4729080766100793726_o.jpg

КАЛИНИН Э.В.

Московский Государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, Kalinin@sumail.ru

Аннотация

В 60–80-е гг. кафедра грунтоведения и инженерной геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова активно участвовала в инженерно-геологических исследованиях для обоснования строительства крупных гидротехнических сооружений в Средней Азии и Восточной Сибири и вела работы по оценке условий разработки месторождений полезных ископаемых. Одной из важных проблем, которые стояли перед исследователями, был вопрос о естественном напряженном состоянии пород как слагающих высокие склоны речных долин, так и залегающие на больших глубинах. Для изучения полей естественных напряжений на кафедре была организована лаборатория моделирования, в которой поляризационно-оптическими методами и методом эквивалентных материалов изучалось распределение напряжений и деформации в склонах речных долин и бортах карьеров. На участке проектируемой Саяно-Шушенской ГЭС на р. Енисей и на участке строящейся Токтогульской ГЭС на р. Нарын были выполнены натурные исследования естественных напряжений методом разгрузки. Одновременно были начаты работы по применению методов математического моделирования для изучения напряженно-деформированного состояния массивов горных пород. С помощью аналитического решения было изучено распределение напряжений в окрестности глубоких каньонообразных речных долин. В результате сотрудничества с кафедрой механики композитов механико-математического факультета МГУ была разработана методика решения целого ряда задач с применением численного моделирования. Это позволило изучить напряженно-деформированное состояние неоднородных по деформационным свойствам массивов горных пород, обладающих неровными внешними и внутренними границами, испытывающих воздействия тектонических сил, оценить влияние на перераспределение напряжений в породах распространения сейсмической волны, определить величину оседания поверхности при откачке нефти и решить другие задачи.

По результатам изучения напряженного состояния массивов горных пород на кафедре было защищено 10 кандидатских и одна докторская диссертация.

Ключевые слова:

напряженно-деформированное состояние; устойчивость склонов; тектонические силы; сейсмичность; горные выработки; метод конечных элементов

Ссылка для цитирования:

Калинин, Э.В., 2017. Итоги изучения напряженно-деформированного состояния массивов горных пород. Инженерная геология, № 6, с. 58–64. DOI 10.25296/1993-5056-2017-6-58-64

THE RESULTS OF THE STUDY OF STRESS-STRAIN STATE OF ROCK MASSIFS

KALININ E.V.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, Kalinin@sumail.ru

Abstract

In the 60–80th years, the Department of Soil Science and Engineering Geology (Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University) took an active part in engineering and geological studies to substantiate the construction of large hydraulic structures in Central Asia and Eastern Siberia and conducted work to assess the conditions for the mining of mineral deposits. One of the important problems faced by the researchers was the question of the natural stress-strain state of rocks forming high slopes of river valleys and lying at great depths. To study laboratory the fields of natural stresses, a modeling laboratory was organized at the Department. In this laboratory the distribution of stresses and deformations in the slopes of river valleys and flank of an open casts was studied by polarization-optical methods and the method of equivalent materials. At the site of the projected Sayano-Shushenskaya HPS on the Yenisei river and the Toktogul HPS on the Naryn river (Kyrgyzstan) field observations of natural stresses were conducted using the method of unloading. Simultaneously, the application of mathematical modeling methods to study the stress-strain state of rock massifs was begun. Stress distribution in the vicinity of deep canyon river valleys was studied using an analytical solution. As a result of cooperation with the Composite Mechanics Department of the Faculty of Mechanics and Mathematics of the Moscow State University, a methodology for solving a number of problems with the use of numerical modeling was developed. It made it possible to study the stress-strain state of rock massifs that are inhomogeneous in deformation properties and possess uneven external and internal boundaries, experiencing the effects of tectonic forces. Besides, this method allowed to assess the effect of seismic wave propagation on the redistribution of stresses in the rocks and to determine the surface subsidence upon pumping out oil and solve other problems. Using the results of studying the stress-strain state of rock massifs, 10 candidate and one doctoral thesis were defended at the department.

Key words:

stress-strain state; slope stability; tectonic forces; seismicity; mine working; finite element method

For citation:

Kalinin E.V., 2017. The results of the study of stress-strain state of rock massifs. *Engineering Geology*, no. 6, pp. 58–64.
DOI 10.25296/1993-5056-2017-6-58-64

Во второй половине двадцатого столетия в связи с введением инженерно-геологических исследований в глубоких ущельях для обоснования строительства крупных гидротехнических сооружений, а также на территориях разработки глубоких месторождений полезных ископаемых для оценки устойчивости высоких горных склонов возникла острая необходимость детального изучения естественного напряженно-деформированного состояния массивов горных пород. Актуальность проблемы изучения естественных напряжений была отмечена на VIII Международном Конгрессе по большим плотинам (1964 г.), на совместном семинаре МГУ и института «Гидропроект» и на конференции изыскателей «Гидропроект» в 1966 г.

В 60–80-е гг. кафедра грунтоведения и инженерной геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова активно участвовала в инженерно-геологических исследованиях для обоснования строительства крупных гидротехнических сооружений в Средней Азии и Восточной Сибири и вела работы по оценке условий разработки месторождений полезных ископаемых. Одной из важных проблем, которые стояли перед исследователями, был вопрос о естественном напряженном состоянии пород как слагающих высокие склоны речных долин, так и залегающие на больших глубинах. Изучение полей естественных напряжений и обусловленных ими деформаций применительно к подземным сооружениям и устойчивости высоких склонов осуществлялось

методами расчетными (вариационно-разностными, конечных элементов), экспериментальными (на моделях из эквивалентных и фотоупругих материалов) и натурными (сейсмоакустическими, разгрузки) в шахтах г. Норильска и на участках строящихся Саяно-Шушенской, Токтогульской (Кыргызстан) и других ГЭС. В этот же период появилась идея применить методы математического моделирования для исследования напряженного состояния массивов горных пород.

В этот период на кафедре грунтоведения и инженерной геологии по инициативе И.В. Попова и Г.С. Золотарева была организована лаборатория моделирования, в которой поляризационно-оптическими методами и методом эквивалентных материалов изучалось распределение напряжений и деформации в склонах речных долин и морских побережий, в породах, залегающих в основании и бортах карьеров. Ю.А. Каменовой и С.Н. Максимовым в 1957–1962 гг. методом фотоупругости было изучено распределение максимальных касательных напряжений в основании откоса и в днище глубокой речной долины. Этими исследованиями было установлено, что концентрация максимальных касательных напряжений наблюдается в основании каньонообразной речной долины.

С 1963 г. для исследования напряженного состояния высоких склонов долин рек Енисей и Нарын, а также оползневых склонов района г. Одессы А.А. Шарием применялся метод тензометрической сетки, а в 1965–1966 гг. к исследованию напряженного состояния массивов пород,

слагающих высокие склоны долины реки Нарын, был привлечен метод эквивалентных материалов [16]. В 1970 г. А.А. Шарием была защищена кандидатская диссертация на тему «Экспериментальное изучение напряженного состояния глинистых пород в склонах и откосах».

Одновременно с лабораторными работами по изучению напряженного состояния массивов горных пород в течение ряда лет на участке проектируемой Саяно-Шушенской ГЭС на р. Енисей в Западном Саяне (1962–1963 гг.) и на участке строящейся Токтогульской ГЭС на р. Нарын в Тянь-Шане (1965–66 гг.) по поручению института «Гидропроект» отрядом инженерно-геологической экспедиции геологического факультета МГУ во главе с В.М. Кутеповым проводились натурные исследования естественных напряжений методом разгрузки [11]. В результате этих работ были установлены основные закономерности и зональность в распределении напряжений в массивах трещиноватых пород, слагающих склоны глубоких речных долин. В 1967 г. В.М. Кутеповым была защищена кандидатская диссертация на тему «Величины и распределение естественных напряжений в массивах трещиноватых кристаллических пород склонов речных долин».

В 1968 г. под редакцией Г.С. Золотарева и С.Н. Максимова были опубликованы написанные на основании использования многочисленных литературных источников и на результатах собственных полевых и экспериментальных исследований методические указания, в которых рассмотрены методы изучения напряженного состояния пород в полевых условиях и при лабораторном моделировании [3]. Эта работа стала основой для изучения распределения напряжений в массивах горных пород в инженерно-геологических целях.

В шестидесятые годы для изучения распределения всех компонент напряжений в массивах горных пород начало применяться математическое моделирование. Впервые с помощью аналитического решения было изучено напряженно-деформированное состояние склонов глубоких симметричных долин. С помощью аналитического метода Э.В. Калининым было изучено распределение напряжений в породах крутых склонов каньонообразной долины р. Нарын в створе Токтогульской ГЭС [4]. В результате решения этой задачи установлены основные закономерности распределения различных компонент напряжений в породах вблизи глубокой речной долины. Так, например, концентрация касательных напряжений приурочена к основанию склона, а максимальные значения горизонтальных и максимальных касательных напряжений наблюдаются в днище долины. С помощью аналитического решения, путем сравнения напряжений с прочностными характеристиками пород, в которых сформирована долина, можно определить ее предельную глубину и оценить условия нарушения устойчивости склонов. Кроме того, аналитическим методом было установлено, насколько изменятся напряжения в бортах и основании глубокой долины под влиянием заполнения водохранилища глубиной 200 м. По результатам этих исследований Э.В. Калининым в 1969 г. была защищена кандидатская диссертация на тему «Распределение напряжений в породах основания и склонов глубоких речных долин».

Применение методов поляризационно-оптического моделирования для изучения напряженного состояния

массивов горных пород было продолжено А.А. Махориным. Исследование напряженного состояния пород, слагающих склоны долины р. Ингури (Грузия), проводилось на плоских моделях стереотензометрическим способом, разработанным А.А. Махориным и Б.М. Фаминцыным на базе оптического и тензометрического методов. С помощью моделирования были установлены зоны повышенных максимальных касательных напряжений и отмечены растягивающие напряжения вблизи крутопадающих тектонических нарушений. Путем сопоставления установленных моделированием максимальных касательных напряжений с величинами сопротивления пород сдвигу в пределах склона были выделены зоны различной степени устойчивости. По данным этих исследований А.А. Махориным была написана и защищена в 1971 г. кандидатская диссертация на тему «Оползни, обвалы и оценка устойчивости склонов».

В 1973 г. под редакцией Г.С. Золотарева и С.Б. Ухова (МИСИ) была опубликована книга «Опыт оценки устойчивости склонов сложного геологического строения методом конечных элементов и экспериментальными на моделях», в которой излагались основы метода конечных элементов и предлагались пути для его применения при исследовании распределения напряжений в сложностроенных неоднородных массивах горных пород [12]. На основе использования метода конечных элементов П.Э. Роотом было изучено распределение напряжений в оползневых склонах долин реки Днестр на участке проектирования Днестровской ГЭС (Украина) и Волги вблизи города Чебоксары, а также в оползневом склоне в районе города Одессы. В результате выполненных расчетов была выявлена зависимость распределения напряжений от присутствия в массиве пород слабых прослоев, наличия тектонических трещин и планировочных работ на склоне, а также установлено наиболее вероятное положение поверхностей смещения, и произведена оценка устойчивости возможных оползневых массивов. На основании этих исследований П.Э. Роотом была защищена кандидатская диссертация на тему «Исследование напряженного состояния и оценка устойчивости высоких оползневых склонов сложного геологического строения с помощью метода конечных элементов».

В 1978 г. в журнале Сибирского отделения АН СССР «Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых» была опубликована статья Г.С. Золотарева «Геологические факторы, определяющие напряженное состояние массивов пород», в которой были сформулированы основные научные и практические проблемы геологии, горного и строительного дела, когда необходимо изучение закономерностей формирования, величин и распределения напряжений в массивах горных пород [1]. В этой статье Г.С. Золотарев подчеркивает, что «проблема изучения напряженно-деформированного состояния геологических тел разных категорий и объемов в инженерной геологии, геотектонике, сейсмологии и механике горных пород является ведущей, а закономерности формирования и распределения, а также величина и изменение компонент напряжений в массивах пород имеют существенно важное значение для следующих научных и практических проблем геологии, горного и строительного дела».

В статье «Инженерная геодинамика в Московском университете» [2], в основу которой положен доклад,

посвященный 40-летию деятельности кафедры грунтоведения и инженерной геологии геологического факультета МГУ, и опубликованной в «Вестнике Московского университета» в 1979 г., Г.С. Золотарев еще раз подчеркнул необходимость изучения естественных напряжений, их величин, распределения и режима в массивах пород на глубине и высоких склонах в районах разного геологического строения и с активными современными тектоническими движениями.

Исследование напряженно-деформированного состояния высоких склонов с целью оценки их устойчивости было продолжено экспериментами на моделях из эквивалентных и фотоупругих материалов. В 1975–1980 гг. Ю.А. Мамаевым было изучено напряженно-деформированное состояние склонов долин рек Днестра и Ангары на моделях из эквивалентных материалов и склона долины реки Вахш (Таджикистан) на фотоупругой модели. Так как склон долины р. Днестр сложен горизонтально залегающими породами, р. Ангары — полого падающими в сторону долины породами, а на склоне долины р. Вахш породы круто падают вглубь склона, то в результате этих экспериментов была установлена зависимость распределения напряжений в склонах от условий залегания пород. Кроме того, путем добавления в модели некоторого количества минерального масла создавались условия для постепенного снижения прочностных показателей глинистых прослоев, что вызывало нарушение устойчивости и образование в моделях оползневых деформаций, что позволяет прогнозировать характер возможного разрушения естественного оползневого склона. Ю.А. Мамаевым в 1980 г. была защищена кандидатская диссертация на тему «Исследование напряженно-деформированного состояния высоких склонов экспериментами на моделях».

В 1980 г. на основании сравнения данных численного и экспериментального моделирования распределения напряжений в склоне долины р. Вахш при приложении дополнительных горизонтальных сжимающих сил с результатами натурных измерений напряжений методом разгрузки в том же створе, выполненных В.Я. Степановым (Институт физики и механики горных пород АН Киргизской ССР), была установлена наиболее вероятная величина тектонических напряжений, действующих в левобережном склоне р. Вахш на участке створа Рогунской ГЭС [5]. По данным этих исследований величина сжимающих горизонтально действующих тектонических сил составила 12 МПа. Моделированием на эквивалентных материалах изучалось также влияние на перераспределение напряжений подрезки склонов, пригрузки от возводимой плотины, создания крупной подземной выемки и других техногенных воздействий.

С помощью вариационно-разностного метода в левобережном склоне долины р. Вахш на участке строительства Рогунской плотины было изучено перераспределение напряжений в массиве пород в результате сооружения в нем очень крупной выработки для машинного зала проектируемой ГЭС. Были установлены растягивающие напряжения, действующие в кровле выработки.

В семидесятые годы началось сотрудничество с кафедрой механики композитов механико-математического факультета МГУ (заведующий кафедрой профессор Б.Е. Победря), в результате чего была разработана методика решения целого ряда задач с применением чис-

ленного моделирования. Математические аналитические методы могут быть применены в основном для изучения распределения напряжений в однородных средах. Но так как массивы горных пород практически всегда неоднородны, то возникла необходимость создания методов для расчета напряженного состояния неоднородных сред. Совместно с кафедрой механики композитов был разработан оригинальный вариационно-разностный способ, и создана программа, с помощью которой было изучено распределение напряжений в неоднородных массивах Талнахского месторождения (Россия) [13, 14]. Этими исследованиями, выполненными Л.Л. Панасьян, было установлено влияние на распределение напряжений строения толщи, неоднородности деформационных свойств пород, тектонических нарушений и внешних усилий, а также других факторов. Созданные программные материалы были использованы для изучения природного напряженно-деформированного состояния массивов горных пород и его изменения под влиянием различных факторов на Талнахском месторождении, в районе Кольской сверхглубокой скважины и ряде других регионов Российской Федерации. Эта программа является инструментом, специально разработанным для изучения природного поля напряжений в различных по сложности строения неоднородных массивах горных пород. В этом и есть ее преимущество перед многими современными программами. В 1979 г. Л.Л. Панасьян защитила кандидатскую диссертацию на тему «Исследование структуры поля напряжений расчетными методами».

В результате сотрудничества с кафедрой механики композитов, кроме создания программы для изучения распределения напряжений в неоднородных массивах горных пород, были разработаны программные комплексы для изучения напряженного состояния массивов с неровной верхней границей и с полостями при воздействии тектонических сил, для изучения распределения напряжений в анизотропных массивах пород, для оценки влияния на перераспределение напряжений распространяющихся сейсмических волн, для оценки оседания поверхности при откачке подземных вод, нефти или газа.

Опыт применения математического моделирования для расчетов напряженного состояния неоднородных массивов горных пород показывает, что не может быть полностью универсальной программы, и для решения каждого возникающего вопроса следует использовать наиболее подходящий для этого инструмент. Кроме того, на распределение напряжений в массиве горных пород воздействует множество как природных, так и техногенных факторов, и поэтому более рационально оценивать влияние каждого фактора в отдельности, условно «наращивая» их воздействие в процессе расчетов, для чего также необходимо создавать отдельные оригинальные программы.

Для изучения напряженного состояния пород, залегающих на глубине, была разработана оригинальная методика, позволяющая определять величины напряжений с помощью методов акустической эмиссии.

В 1987 г. была переведена с английского монография «Методы граничных элементов в механике твердого тела» (С. Крауч, А. Старфилд), в которой была опубликована программа для изучения распределения напряжений в однородных средах методом фиктивных нагрузок.

Эта программа, усовершенствованная созданием добавочного модуля, учитывающего действие гравитационной силы, была применена для изучения распределения напряжений в массиве пород с глубокими разнонаправленными разломами и в основании глубокой речной долины, осложненной открытым тектоническим разломом и испытывающей горизонтальное сжатие под воздействием тектонических сил.

При изучении распределения напряжений в склонах и основании глубокой долины р. Вахш в створе плотины Рогунской ГЭС были установлены конфигурация и мощность зоны динамического влияния тектонического разлома и величины перемещений свободной поверхности в условиях действия гравитации и тектонических сил. По этим материалам О.С. Барькиной в 2004 г. была защищена диссертация на тему «Инженерно-геологический анализ разрывных тектонических структур».

В статье «Инженерная геодинамика в Московском университете» [2], Г.С. Золотаревым отмечалась важность изучения перераспределения напряжений в массивах горных пород при прохождении через них сейсмических волн (природных и от крупных взрывов) и исследования напряженно-деформированного состояния флюидонасыщенных массивов пород с целью обоснования прогноза сдвижения пород и определения параметров мульды сдвижения на земной поверхности при подземных разработках и длительных откачках воды, нефти и газа.

В результате сотрудничества с кафедрой механики композитов механико-математического факультета МГУ в 1994 г. были разработаны уникальные программы, позволяющие следить во времени за перемещением зон концентрации интенсивности напряжений, возникающих в горных породах склонов при распространении волн растяжения-сжатия, обусловленных землетрясениями [7].

В результате Гиссарского землетрясения 1989 г. на северном склоне плато Уртабоз (Таджикистан) возникли сейсмодислокации и оползневые смещения. Применение математического моделирования позволило выявить зоны концентрации напряжений, которые возникли при выходе распространяющихся при землетрясении сейсмических волн на поверхность склона, и установить направление и характер их перемещения во времени. При этом были обнаружены зоны растягивающих напряжений вблизи бровки склона, что, вероятно, предопределило образование трещин закола и явилось причиной развития оползневого процесса [18]. Также было изучено изменение напряженного состояния пород склонов долины р. Мзымты (Россия) в районе строительства олимпийских объектов при землетрясениях, и произведена оценка их устойчивости [9].

Для изучения деформирования многослойных горизонтально залегающих толщ при откачке флюидов использовалась теоретическая модель М. Био, для реализации которой совместно с кафедрой механики компо-

зитов был разработан комплекс современных программ, позволяющих оценивать изменение давлений при откачке нефти и определять вызванное падением давления флюида развитие оседания поверхности земли во времени [10, 17]. С помощью этой программы Н.Б. Артамоновой проводилась оценка оседания поверхности при откачке нефти на ряде нефтяных месторождений Западной Сибири и других регионов. В 2004 г. Н.Б. Артамоновой была защищена кандидатская диссертация на тему «Экспериментальное обоснование расчетных параметров и исследование напряженно-деформированного состояния флюидонасыщенных слоистых массивов на основе модели Био».

Итоги этих исследований с применением математического моделирования были подведены в докторской диссертации Э.В. Калинина «Напряженное состояние массивов горных пород склонов и его анализ методами математического моделирования», защищенной в 1992 г., и опубликованы в монографии «Моделирование полей напряжений в инженерно-геологических массивах» в 2003 г. [8].

Большую роль в перераспределении напряжений играет анизотропия деформационных свойств массивов горных пород. Для ее оценки при участии кафедры композитов создана программа, основанная на использовании численного метода [6]. С ее помощью изучалось влияние залегания слоистых массивов на распределение напряжений в породах склонов.

Для изучения напряженного состояния анизотропного массива пород, пройденного Кольской сверхглубокой скважиной, И.К. Фоменко был разработан аналитический метод [15]. По результатам этих исследований в 2001 г. И.К. Фоменко была защищена кандидатская диссертация на тему «Математическое моделирование напряженного состояния инженерно-геологического массива, сложенного анизотропными горными породами (на примере Кольской сверхглубокой скважины)».

Таким образом, на протяжении почти 40 лет на кафедре грунтоведения и инженерной геологии (ныне кафедра инженерной и экологической геологии) при проведении инженерно-геологических исследований успешно изучалось напряженно-деформированное состояние массивов горных пород в связи с оценкой устойчивости склонов и при разработке глубоких месторождений полезных ископаемых и проходке подземных выработок. В настоящее время на кафедре инженерной и экологической геологии существует набор программных модулей, с помощью которых можно решать широкий круг задач о напряженно-деформированном состоянии сложенных неоднородных массивов горных пород с неровными внешними и внутренними границами, испытывающих влияние внешних силовых природных и техногенных воздействий. Разработанные на кафедре программы используются для решения научных и практических вопросов и в педагогическом процессе. 🌐

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотарев, Г.С., 1978. Геологические факторы, определяющие напряженное состояние массивов пород. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, № 12. Наука, Сибирское отделение АН СССР, Новосибирск, с. 26–34.
2. Золотарев, Г.С., 1979. Инженерная геодинамика в Московском университете. Вестник Московского университета. Серия 4: Геология, № 6, с. 86–92.

3. Золотарев, Г.С., Максимова, С.Н. (ред.), 1968. Изучение напряженного состояния массивов пород в инженерно-геологических целях. Изд-во МГУ, М.
4. Калинин, Э.В., Гольдштейн, Р.В., 1969. Опыт применения аналитического метода для оценки напряженного состояния массива горных пород в бортах и основании глубоких речных долин. Вестник Московского университета. Серия 4: Геология, № 5, с. 38–43.
5. Калинин, Э.В., Мамаев, Ю.А., Степанов, В.Я., Вдовин, Г.К., 1982. Напряженное состояние массива горных пород склона в районе Рогунской плотины и опыт оценки тектонических сил. В сб. статей «Природа и методология определения тектонических напряжений в верхней части земной коры», Материалы Всесоюзной школы-семинара «Измерение напряжений и их приложение в прогнозе землетрясений», Апатиты, 1982. Издательство КФАН СССР, Апатиты, с. 127–132.
6. Калинин, Э.В., Шешенин, С.В., Кузь, И.С., 1991. Напряженное состояние анизотропных массивов горных пород. Инженерная геология, № 1, с. 35–43.
7. Калинин, Э.В., Шешенин, С.В., Буяков, М.И., 1994. Изменение напряженно-деформированного состояния пород, слагающих склоны долин, при сейсмическом воздействии. Вестник Московского университета. Серия 4: Геология, № 6, с. 43–48.
8. Калинин, Э.В., Панасьян, Л.Л., Широков, В.Н., Артамонова, Н.Б., Фоменко, И.К., 2003. Моделирование полей напряжений в инженерно-геологических массивах. Издательство Московского университета, М.
9. Калинин, Э.В., Панасьян, Л.Л., Зеркаль, О.В., 2004. Изменение напряженно-деформированного состояния массивов горных пород при прохождении сейсмических волн. Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, № 3, с. 265–272.
10. Калинин, Э.В., Панасьян, Л.Л., Артамонова, Н.Б., 2006. Методика исследований при оценке инженерно-геологических условий нефтяных и газовых месторождений. Инженерная геология, ноябрь, с. 51–57.
11. Кутепов, В.М., 1966. Результаты изучения естественных напряжений в массивах трещиноватых пород горных склонов. Вестник Московского университета. Серия 4: Геология, № 6, с. 71–76.
12. Опыт оценки устойчивости склонов сложного геологического строения методом конечных элементов и экспериментальными на моделях, 1973. Изд-во МГУ, М.
13. Панасьян, Л.Л., Голодковская, Г.А., 1979. Исследование структуры поля напряжений с помощью расчетных методов. Труды Гидропроекта, с. 45–56.
14. Панасьян, Л.Л., 1983. Распределение напряжений в неоднородных массивах горных пород. В сб. статей «Вопросы инженерной геологии и грунтоведения», вып. VI. Изд-во МГУ, М., с. 277–286.
15. Фоменко, И.К., Калинин, Э.В., Панасьян, Л.Л., 2000. Оценка поля напряжений в окрестности Кольской сверхглубокой скважины. В сб. статей «Результаты изучения глубинного вещества и физических процессов в разрезе Кольской сверхглубокой скважины до глубины 12 261 м. МПГК-408». Апатиты, с. 165–167.
16. Шарий, А.А., Максимов, С.Н., 1968. Изучение напряженного состояния массивов пород, слагающих высокие склоны речных долин, методом эквивалентных материалов. Вестник Московского университета. Серия 4: Геология, № 6, с. 64–71.
17. Kalinin, E.V., Sheshenin, S.V., Artamonova, N.B., Kiselev, F., 1997. Numerical investigations of the influence of fluid extraction upon the stress state of rock masses. *Engineering Geology and the Environment*. Balkema, Rotterdam, pp. 725–728.
18. Kalinin, E.V., Panasiyan, L.L., Zerkal, O.V., 1998. The seismic wave effect in the slope stability. *Second Int. Conf. on Environmental Management (ICEM2)*, Australia, 1998, pp. 1065–1071.

REFERENCES

1. Zolotarev, G.S., 1978. Geological factors determining the stress-strain state of rock massifs. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, no. 12. Nauka, Sibirskoe otdelenie AN SSSR, Novosibirsk, pp. 26–34. (In Russ.).
2. Zolotarev, G.S., 1979. Engineering geodynamics at Moscow University. *Vestnik Moskovskogo universiteta*. Seriya 4: Geologiya, no. 6, pp. 86–92. (In Russ.).
3. Zolotarev, G.S., Maksimova, S.N. (eds), 1968. Study of stress-strain state of rock massifs in engineering-geological purposes. Publishing house of MSU, Moscow. (In Russ.).
4. Kalinin, E.V., Goldshtejn, R.V., 1969. The experience of using the analytical method for assessing the stress-strain state of rock massifs in the sides and the foundation of deep river valleys. *Vestnik Moskovskogo universiteta*. Seriya 4: Geologiya, no. 5, pp. 38–43. (In Russ.).
5. Kalinin, E.V., Mamaev, Yu.A., Stepanov, V.Ya., Vdovin, G.K., 1982. Stress-strain state of the rock massif in the Rogun dam area and the experience of assessing tectonic forces. In the collection of papers “Nature and methodology of determining tectonic stresses in the upper part of the Earth's crust”, Materials of the All-Union School-Seminar “Measurement of stresses and its application in the forecast of earthquakes”, Apatity, 1982. Publishing house of The Kola Branch of USSR Academy of Science, Apatity, pp. 127–132. (In Russ.).
6. Kalinin, E.V., Sheshenin, S.V., Kuz, I.S., 1991. Strain state in anisotropic rock masses. *Engineering geology*, no. 1, pp. 35–43. (In Russ.).
7. Kalinin, E.V., Sheshenin, S.V., Buyakov, M.I., 1994. Change in stress-strain state of rocks forming the slopes of valleys under seismic effect. *Vestnik Moskovskogo universiteta*. Seriya 4: Geologiya, no. 6, pp. 43–48. (In Russ.).
8. Kalinin, E.V., Panasiyan, L.L., Shirokov, V.N., Artamonova, N.B., Fomenko, I.K., 2003. Modeling stress fields in engineering-geological massifs. Publishing house of MSU, Moscow. (In Russ.).

9. Kalinin, E.V., Panasyan, L.L., Zerkal, O.V., 2004. The change in the stress-strain state of rock massifs during the passage of seismic waves. *Geoekologiya*, no. 3, pp. 265–272. (In Russ.).
10. Kalinin, E.V., Panasyan, L.L., Artamonova, N.B., 2006. Methodology of studies in assessing the engineering-geological conditions of oil and gas fields. *Engineering geology*, November, pp. 51–57. (In Russ.).
11. Kutepov, V.M., 1966. The results of studying natural stresses in massifs of fractured rocks of mountain slopes. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4: Geologiya*, no. 6, pp. 71–76. (In Russ.).
12. The experience of assessing the stability of slopes of a complex geological structure by the finite element method and experimental on models, 1973. Publishing house of MSU, Moscow. (In Russ.).
13. Panasyan, L.L., Golodkovskaya, G.A., 1979. Investigation of the structure of the stress field using computational methods. *Trudy Gidroproekta*, pp. 45–56. (In Russ.).
14. Panasyan, L.L., 1983. Stress distribution in heterogeneous rock massifs. In collection of papers «Questions of engineering geology and soil science», issue VI. Publishing house of MSU, Moscow, pp. 277–286. (In Russ.).
15. Fomenko, I.K., Kalinin, E.V., Panasyan, L.L., 2000. Estimation of the stress field in the vicinity of the Kola Superdeep Borehole. In collection of papers “Results of the study of deep matter and physical processes in the section of the Kola Superdeep Borehole to a depth of 12,261 m. IGCP-40”. Apatity, pp. 165–167. (In Russ.).
16. Sharif, A.A., Maksimov, S.N., 1968. The study of the stress state of rock massifs forming high slopes of river valleys, using equivalent materials. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4: Geologiya*, no. 6, pp. 64–71. (In Russ.).
17. Kalinin, E.V., Sheshenin, S.V., Artamonova, N.B., Kiselev, F., 1997. Numerical investigations of the influence of fluid extraction upon the stress state of rock masses. *Engineering Geology and the Environment*. Balkema, Rotterdam, pp. 725–728.
18. Kalinin, E.V., Panasyan, L.L., Zerkal, O.V., 1998. The seismic wave effect in the slope stability. *Second Int. Conf. on Environmental Management (ICEM2)*, Australia, 1998, pp. 1065–1071.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КАЛИНИН Э.В.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

KALININ E.V.

Professor of Engineering and Ecological Geology Department, Geology Faculty, Lomonosov Moscow State University, DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, Russia



Уважаемые друзья и коллеги!

Обращаем Ваше внимание, что у журналов «Инженерные изыскания», «Инженерная геология», «Геотехника» и «ГеоРиск», выпускаемых издательством ООО «Геомаркетинг», появились аккаунты в соцсетях – сообщество

«ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ»



[https://vk.com/
engineeringsurvey](https://vk.com/engineeringsurvey)

[https://www.facebook.com/
InzhernyeIzyskaniya/](https://www.facebook.com/InzhernyeIzyskaniya/)