

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ. МЕХАНИКА ГРУНТОВ

УДК 624.131+551.24

С.Н. Чернышев

ФГБОУ ВПО «МГСУ»

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРИРОДНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ГРУНТОВОМ МАССИВЕ

Обозначена область применимости гипотезы Гейма и приведены геологические признаки расположения осей напряжений в массивах за пределами области, что необходимо для моделирования и прямых измерений в натуре. Для расчета оснований задаются начальные и граничные условия: 1) геологический разрез; 2) характеристики грунтов; 3) напряжения в массиве. В изысканиях развиты методики определения условий 1 и 2. Расчетчики определяют напряжение моделированием в предположении, что оно создано весом грунтов. Показано, что этого недостаточно для точного решения задач по расчету оснований, фундаментов и подземных сооружений.

Ключевые слова: геомеханика, инженерная геология, инженерные изыскания, подземные сооружения, напряжения в грунтовом массиве, тектоника, трещины горных пород, тектонические разрывы, складки.

Выдающийся ученый, основатель кафедры инженерной геологии МГСУ (1934 г.), один из основоположников инженерной геологии профессор Иван Васильевич Попов придавал большое значение тектонике, как базовой геологической науке в решении задач региональной инженерной геологии и динамической инженерной геологии. Широта его интересов простиралась от чисто геологических вопросов до геомеханики. В 1937 г. он опубликовал учебник «Механика грунтов».

Работы И.В. Попова актуальны и сегодня. В память о нем автор предлагает статью по вопросам тектоники и геомеханики. Цель ее — сблизить инженерно-геологические и геомеханические модели, указать на пробел в методах изысканий, затрудняющий точное решение задач по расчету оснований, фундаментов и подземных сооружений.

Природное поле напряжений в грунтовом массиве складывается преимущественно из поля гравитационных напряжений и поля тектонических напряжений. Свой вклад вносят температурные и приливные от Солнца и Луны напряжения. Сила тяжести действует в вертикальном направлении, тектонические силы — преимущественно горизонтально. Расчлененность земной коры разрывами и литологическая неоднородность горных пород (по плотности и деформируемости) вызывают неоднородность поля напряжений. Неоднородности существуют на разных уровнях. Соседние тектонические блоки в орогенах имеют несколько разные напряжения. Об этом свидетельствуют землетрясения. Если в каком-либо перенапряженном блоке возникает сейсмогенерирующий разрыв, то не обязательно разрушение захватывает со-

седние блоки, которые менее напряжены. Локализованный в одном тектоническом блоке разрыв вызывает слабое землетрясение. Таких землетрясений множество. После сильного землетрясения возникают афтершоки, которые свидетельствуют о перестройке поля напряжений в области гипоцентра, о перенагрузении отдельных блоков, разрушение которых создает относительно слабые толчки.

После Ташкентского землетрясения 1966 г. на протяжении нескольких месяцев записано около 700 афтершоков. Если сооружение (туннель), пересекая тектонический разрыв, переходит из одного тектонического блока в другой, то поле напряжений перед забоем может существенно измениться. В объеме зоны влияния туннеля поле напряжений неоднородно на другом уровне. Его создает литологическая неоднородность и сеть трещин. Соседние блоки трещинной отдельности, например, в массиве известняков несут разные напряжения из-за трещин и карстовых пустот. Внутри блока разные его части также нагружены по-разному. Картина напряжений в соседней с известняками пачке глинистая в силу гомогенности глинистого грунта. Присутствие напорных, особенно высоконапорных, подземных вод [1] выравнивает напряжения, делает поле напряжений более однородным. О влиянии напорных вод на поле напряжений свидетельствуют возбужденные землетрясения прежде всего случай в г. Деневере (США), где в связи с закачкой жидких отходов в глубокие горизонты в 1962—1965 гг. зафиксировано 700 подземных толчков с магнитудой до 4,3. Техногенные воздействия существенно перераспределяют напряжения, повышают неоднородность поля.

Расчет подземных сооружений и оснований методами геомеханики ведется путем решения краевых задач при определенных начальных и граничных условиях, заданных геометрических параметрах грунтового массива (инженерно-геологический разрез), деформационных и прочностных характеристиках грунтов, слагающих массив и начальных параметрах поля напряжений в грунтах массива. Три группы параметров геологической среды равноправно входят в основные уравнения механики грунтов, соответственно они предусмотрены аппаратом для численного решения инженерных задач.

Современные методы инженерных изысканий позволяют построить геологические границы инженерно-геологических элементов (ИГЭ), необходимые для расчетной модели, с удовлетворительной точностью позволяют определить расчетные значения прочностных и деформационных характеристик грунтов. Но изыскания не решают задачу определения естественного поля напряжений в массиве, хотя расчетчиками она четко сформулирована. С позиций механики напряженно-деформированное состояние (НДС) в точке грунтового массива вполне определено, когда известны компоненты, характеризующие главные нормальные напряжения по трем осям декартовых координат, три пары касательных напряжений, три пары линейных и три пары угловых деформаций, а также три компоненты перемещений. Всего 15 компонент.

При отсутствии данных о напряжениях в геомеханических расчетах обычно принимают, в соответствии с гипотезой А. Гейма, ось максимального главного нормального напряжения вертикальной и линейный закон возрастания напряжения с глубиной пропорционально плотности грунтов, слагающих

массив. Такая гипотеза возникла в XIX в., и представлялась справедливой в эпоху господства геотектонических представлений о первичности вертикальных движений земной коры. Теперь же, с утверждением в геотектонике идей мобилизма, гипотеза о преобладании гравитационного поля в формировании напряжений в массиве некорректна.

В горном деле и геологии создан метод разгрузки для определения напряжений в массиве. Различные его модификации позволяют определить нормальные напряжения по трем осям. Метод трудоемок, требует для корректной обработки результатов провести измерения обязательно в плоскостях, перпендикулярных осям главных нормальных напряжений. В противном случае поле напряжений в обуреваемом образце не симметрично и переход от деформаций к напряжениям невозможен [2].

Метод не применяется в отечественной практике инженерных изысканий из-за трудоемкости и неполноты получаемой информации. Неполнота эта связана с тем, что не удастся характеризовать все 15 компонент тензора напряжений, а также с тем, что измерение в точке (на площади около 20 см²), длительное и дорогостоящее, не дает достаточного представления о НДС массива в силу неоднородности поля напряжений, вызванной неоднородностью структуры массива, связанной с мелкой трещиноватостью и переслаиванием разных горных пород в массиве, разгрузкой массива у поверхности земли [3]. Однако многочисленные измерения, проведенные этим методом с научными целями, все же позволяют сделать вывод [4], что тектоническая составляющая поля напряжений является определяющей в горно-складчатых областях и в пределах щитов. Превышение измеренных горизонтальных напряжений над расчетными, по Гейму, наблюдалось уже на глубине 6...15 м в Швеции, Финляндии, США. Ниже в горно-складчатых областях на антиклиналях горизонтальные напряжения в 2,9...3,8 раз превышают расчетное геостатическое напряжение. В зонах подвижных тектонических разломов это превышение в среднем несколько меньше, равно 1,6...3,8 от расчетного геостатического [5].

В условиях дефицита информации об НДС оснований наземных и среды подземных сооружений НДС грунтовых массивов для геомеханических расчетов определяется моделированием [6—9]. Отсутствие изыскательской информации о тектонических силах и реликтовых напряжениях в массивах снижает точность моделирования. Можно предложить в изыскательских заключениях, наряду с инженерно-геологическими разрезами и таблицей характеристик грунтов, давать краткую историко-геологическую справку, в которой сообщалось бы, сколько лет назад и от какой нагрузки освобожден рассматриваемый массив. Так, в Москве на водоразделах, где залегает морена и сохранился западинный рельеф ледникового периода, разгрузка от ледника произошла 120...150 тыс. лет назад [10]. Эрозионной разгрузки от ледниковых отложений здесь, судя по рельефу, не было. До этого на протяжении более 600 тыс. лет с перерывами на две эпохи межледниковья территория была нагружена ледяным покровом.

В районах активных тектонических движений показателем расположения осей главных нормальных напряжений могут быть тектонические трещины складок и трещины оперения разрывов [11, 12]. Среди них есть системы тре-

щин скола и отрыва, которые различаются по форме поверхности. На крыльях крупной складки в условиях гармоничной складчатости трещины скола образуют две системы. Они взаимно почти перпендикулярны. Один угол между ними — острый, но близкий к 90° , дополнительный угол — тупой. Ось максимального главного нормального напряжения σ_1 перпендикулярна линии пересечения трещин скола и шарниру складки и совпадает с биссектрисой острого угла между ним. Ось минимального главного нормального напряжения σ_3 совпадает с биссектрисой упомянутого тупого угла. Она параллельна шарниру складки. Ось σ_2 совпадает с линией пересечения систем сколовых трещин и перпендикулярна слою. Одна из систем трещин отрыва параллельна, другая перпендикулярна шарниру складки. Соответственно в одной из них лежит ось максимальных, а в другой — ось минимальных главных нормальных напряжений. Все четыре системы тектонических трещин складки перпендикулярны плоскости напластования. Названные оси главных нормальных напряжений лежат в плоскости слоя. Третья ось главных нормальных напряжений σ_2 перпендикулярна слою и совпадает с линией пересечения тектонических трещин, которая также перпендикулярна слою. Очевидно, на крыле складки происходит переориентация осей напряжений ввиду анизотропии слоистой толщи, включающей обычно более жесткие и относительно пластичные слои, компетентные и некомпетентные по тектонической терминологии. В замке складки строение сети трещин не меняется. Но в связи с выходом слоя на горизонтальное положение (точнее перпендикулярное осевой плоскости складки, которая в общем случае не вертикальна), все трещины становятся вертикальными, а ось максимальных главных нормальных напряжений — горизонтальной (точнее перпендикулярной осевой плоскости).

В зоне разрыва его оперение включает множество систем трещин скола и отрыва. Преобладают сколовые трещины. Все они пересекаются между собой и с тектоническим разрывом по параллельным линиям. Согласно законам механики, ось максимальных главных нормальных напряжений σ_1 перпендикулярна линии пересечения трещин скола. Она параллельна плоскости тектонического разрыва и совпадает с вектором скорости смещения горных пород по разрыву. Ось σ_2 главных нормальных напряжений также лежит в плоскости тектонического разрыва. Она перпендикулярна упомянутому вектору и его изображению на плоскости разрыва в виде борозд скольжения. Нами по трещинам у сейсмогенного разрыва, возникшего при Моготском 10-балльном землетрясении в Монголии (рис. 1, 2), определено положение осей главных нормальных напряжений на момент возникновения разрыва, т.е. на момент землетрясения, и на последующее время, когда шло движение по разрыву и от трения формировались оперяющие трещины.

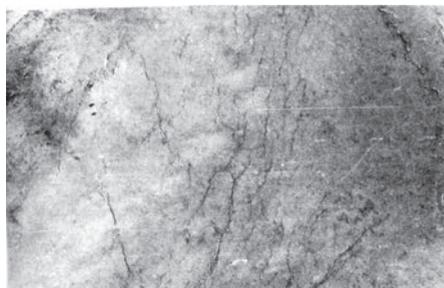


Рис. 1. Трещины оперения сеймотектонического разрыва у п. Могот в Монголии (Аэрофотоснимок автора 1973 г. Площадь на снимке $200 \times 300 \text{ м}^2$)

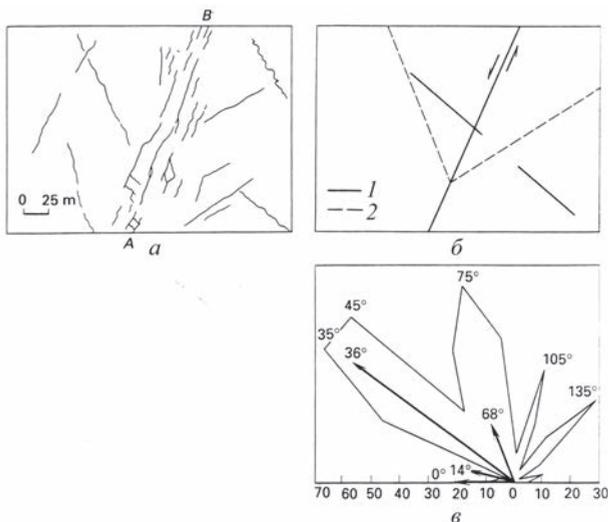


Рис. 2. Зарисовка трещин оперения Моготского сеймотектонического разрыва (а); генеральные направления трещин (б); роза-диаграмма трещин Моготского землетрясения (стрелки) и землетрясения в Янице (Турция, 18.03.1953) (в): 1 — главный разрыв и сопряженные трещины оперения первой генерации; 2 — трещины оперения второй генерации

Моготский разрыв длиной 40 км возник при землетрясении 5 января 1967 г. В полосе до 300 м от разрыва четвертичные суглинки разбиты вертикальными трещинами (см. рис. 1, 2). По простиранию они образуют четыре системы. Одна из них простирается вдоль разрыва, другая под углом 68° к нему. Это наиболее длинные трещины. Их следует отнести к опережающим, возникшим до слияния крупнейших из них в непрерывный разрыв. Судя по кулискому расположению, это — трещины скола, указывающие направление максимальных тангенциальных напряжений у поверхности земли в начале землетрясения, когда еще не сформировался разрыв. Вторая пара трещин образует между собой также угол 68° . Отклонение угла между трещинами от 90° зависит от угла внутреннего трения горных пород. Углы внутреннего трения глинистых горных пород в зоне разломов и их влияние на тектонические деформации экспериментально в последнее время исследовали [13]. В нашем случае равенство углов обусловлено постоянством прочности среды при формировании первой и второй пары систем трещин. Трещины первой и второй пары формировались в одном и том же глинистом грунте. Трещины второй пары расположены симметрично относительно главного разрыва. Он проходит по биссектрисе острого угла между ними. Это — вторичные трещины, которые возникли в конце землетрясения, когда по оформившемуся сплошному разрыву происходила подвижка, достигшая 2,6 м.

Используя теорию прочности Моора — Кулона, мы восстановили положение осей главных нормальных напряжений на момент возникновения разрыва в начале землетрясения и сопоставили (табл.) наш результат с сейсмологическими данными о положении осей главных нормальных напряжений в гипоцентре на глубине около 25 км. Расхождения могут быть связаны с трансформацией напряжений у поверхности земли.

Положение осей главных нормальных напряжений при Моготском землетрясении в Монголии 5 января 1967 г.

Ось	В гипоцентре по сейсмологическим данным		В эпицентре по сети трещин	
	Азимут, град.	Наклон к горизонту, град.	Азимут, град.	Наклон к горизонту, град.
σ_1	62	7	49	0
σ_2	347	42	319	80
σ_3	167	48	139	10

Рельеф поверхности земли сильно влияет на НДС верхней части грунтового массива. Моделирование [6—8] и измерения [3] показывают, какие конкретные изменения претерпевает девиатор напряжений в эрозионных врезках. То же можно прочесть по сети трещин при геологической разведке скважинами, штольнями и методом съемки [11]. При исследовании основания плотины Усть-Илимской ГЭС на Ангаре нами под руслом был отмечен отрыв пластового тела сибирских траппов от подстилающих алевролитов и аргиллитов красноцветной формации ордовика. Отрыв зафиксирован резким повышением водопроницаемости в контакте магматических и вмещающих осадочных пород. Под зоной отрыва лежат плотные осадочные породы. Над зоной отрыва до поверхности массива прослеживается зона повышенной трещиноватости с наиболее раскрытыми трещинами в верхней части магматического тела. Очевидно, здесь произошел излом горизонтального пласта траппов с подъемом вверх и раскрытием трещин. Такой излом мог случиться только под действием горизонтального давления с двух бортов долины, когда сжатое пластовое тело изогнулось вверх и разошлось по первичным вертикальным трещинам отдельности. Следовательно, под руслом на глубину до 40 м главные нормальные напряжения переориентированы так, что максимальное главное нормальное напряжение σ_1 горизонтально, перпендикулярно оси долины и много больше вертикального.

В Братске геологический разрез по оси плотины сходен с усть-илимским: в русловой части горизонтально залегает трапповый силл. В котловане плотины здесь отмечено раскрытие горизонтальных трещин до 5...7 см, а также встречена зона повышенной трещиноватости, прослеживаемая вдоль оси долины. За извилистость в плане строители назвали ее Речкой. Это излом пластового магматического тела с незначительным выпором вверх под давлением бортов каньона, которые в Братске имеют высоту 80 м. Раскрытие горизонтальных трещин и появление излома-речки свидетельствуют о значительном превышении горизонтальных напряжений над вертикальными под дном долины.

В бортах долины обычно фиксируются трещины отрыва, названные геологами трещинами бортового отпора. Они параллельны борту долины, прослеживаются в глубину массива на 5...20 м. В зоне отпора горизонтальные напряжения сняты. В.М. Кутепов [3] методом разгрузки измерил здесь даже растягивающие напряжения в отдельных блоках, что свидетельствует о столь сильной неоднородности поля напряжений, что метод разгрузки, по его заключению, неприменим для определения напряженного состояния массива в целом. Ось минимальных главных нормальных напряжений σ_3 в зоне отпора лежит в плоскости, перпенди-

кулярной осевой плоскости долины. Главные нормальные напряжения вдоль долины и вертикальные могут быть равны или несколько различаться. Очевидно, напряжение в вертикальном направлении с глубиной возрастает и может стать больше напряжения вдоль долины. На глубине 5...20 м в бортах горных долин растяжение от разгрузки сменяется сжатием. Ось максимальных главных нормальных напряжений здесь расположена параллельно борту долины, в плоскости, перпендикулярной оси долины. А в днище долины — горизонтально и в той же плоскости. По абсолютной величине они много превышают расчетные, по Гейму, напряжения. Эти напряжения на Усть-Илиме раздавили и взломали пласт долеритов мощностью 40 м, оторвали его от подстилающих пород. Плотность долеритов — более 3 г/см³, сопротивление раздавливанию — более 180 Мпа.

В заключение отметим, что структурные исследования скальных массивов позволяют представить качественно положение осей главных нормальных напряжений. На горизонтальных участках рельефа в верхней части более чем до 5 м, массив полностью разгружен от тектонических напряжений, они релаксированы в ходе разгрузки от лежавших выше горных пород, а также в ходе температурных и приливных деформаций. Породы здесь раздроблены, выветрены, трещины раскрыты или заполнены рыхлым материалом, нагружены собственным весом. По степени гипергенных изменений это — зона А, согласно классификации ГОСТ 25100—2011. К глубине 15...30 м, по данным многочисленных определений водопроницаемости скальных массивов для строительства плотин [14, 15], экзогенные изменения, вызванные разгрузкой массива, заканчиваются. Ниже господствует региональное поле напряжений, в котором горизонтальные напряжения зачастую больше рассчитанных, по Гейму, через коэффициент Пуассона. Здесь расположены зоны экзогенных изменений В и Г, это — зоны слабо измененного (В) и сохранного (Г) массивов. В зоне Б, находящейся между зонами А и В, горные породы слабо изменены выветриванием, но сеть трещин сильно нарушена разгрузкой, трещины раскрыты. Повышенные горизонтальные напряжения в зоне Б сняты при раскрытии горизонтальных трещин. Наличие трещин при бурении и опробовании фиксируются повышенной водопроницаемостью. Тензор напряжений здесь, видимо, — переходный от регионального в глубине массива к гравитационному в зоне А.

Таким образом, гипотеза Гейма может надежно использоваться в скальных грунтах до глубины 5 м, ниже, до глубины 15...20 м при равнинном рельефе и вне активных тектонических зон, она так же может использоваться. Но в зонах тектонической активности уже на этих глубинах и, безусловно, ниже существует региональное поле тектонических напряжений, изменяющееся в зависимости от геологического строения массивов. Напряжения в грунтах под влиянием этого поля могут отличаться от рассчитываемых по Гейму в 2...3 раза.

Библиографический список

1. *Suppe J.* Fluid overpressures and strength of the sedimentary upper crust // *Journal of Structural Geology*. December 2014. Vol. 69. Part B. Pp. 481—492.
2. *Нестеренко Г.Т., Барковский В.М.* О возможности оценки напряженного состояния земной коры по натурным измерениям напряжений в шахтах и рудниках // *Напряженное состояние земной коры* : сб. тр. / под ред. П.Н. Кропоткина. М. : Наука, 1973. С. 12—20.

3. *Кутенов В.М.* Закономерности в распределении естественных напряжений в массивах скальных трещиноватых пород склонов речных долин // Напряженное состояние земной коры : сб. тр. / под ред. П.Н. Кропоткина. М. : Наука, 1973. С. 135—147.
4. *Кропоткин П.Н.* Тектонические напряжения в земной коре по данным непосредственных измерений // Напряженное состояние земной коры : сб. тр. / под ред. П.Н. Кропоткина. М. : Наука, 1973. С. 21—31.
5. *Пашкин Е.М., Каган А.А., Кривоногова Н.Ф.* Терминологический словарь-справочник по инженерной геологии. М. : КДУ, 2011. 950 с.
6. *Тер-Мартirosян З.Г., Ахпателов Д.М.* Напряженное состояние горных массивов в поле гравитации // ДАН СССР. 1975. Т. 220. № 2. С. 1675—1679.
7. *Калинин Э.В., Панасьян Л.Л., Широков В.Н., Артамонова Н.Б.* Моделирование полей напряжений в инженерно-геологических массивах. М. : МГУ. 2003. 261 с.
8. *Wan Guillong.* Modeling field tectonic stresses the East wing tectonic belt Badahan in Northern China tektonic era // Dixue gionyuan = Earth Sci. Front. 2012. Vol. 19. No. 6. Pp. 194—199. Chinese. CV Eng.
9. *Xia C., Gui Y., Wang W., Du S.* Numerical method for estimating void spaces of rock joints and the evolution of void spaces under different contact states // Journal of Geophysics and Engineering. December 2014. Vol. 11. No. 6. Article number 065004.
10. Москва. Геология и город / под ред. В.И. Осипова, О.П. Медведева. М. : Московские учебники и картолитография, 1997. 400 с.
11. *Чернышев С.Н.* Трещины горных пород. М. : Наука, 1983. 240 с.
12. *Chernyshev S.N., Dearman W.R.* Rock Fractures. Butterworth-Heinemann, London, UK, 1991. 272 p.
13. *Haines S., Marone C., Saffer D.* Frictional properties of low-angle normal fault gouges and implications for low-angle normal fault slip // Earth and Planetary Science Letters. December 2014. Vol. 408. Pp. 57—65.
14. *Конярова Л.П.* Опыт обобщения массовых определений показателей водопроницаемости трещиноватых скальных пород // Инженерно-геологические свойства горных пород и методы их изучения : сб. тр. М. : АН СССР, 1962.
15. Оценка точности определения водопроницаемости горных пород / под ред. Л.Д. Белого. М. : Наука. 1971. 150 с.

Поступила в редакцию в январе 2015 г.

Об авторе: **Чернышев Сергей Николаевич** — доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор кафедры инженерной геологии и геоэкологии, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 9581148@list.ru.

Для цитирования: *Чернышев С.Н.* Геологические предпосылки к определению природных напряжений в грунтовом массиве // Вестник МГСУ. 2015. № 1. С. 44—53.

S.N. Chernyshev

GEOLOGICAL BACKGROUND OF THE ESTIMATION OF NATURAL STRESSES IN SOIL BODY

Initial and boundary conditions are always given for solving the problem of calculating the interaction of tunnels and other underground structures with soil and rocks. The same conditions are set for calculating the surface buildings. These initial data for calculation are divided into three groups: 1) the geometrical shape of the layers of rocks (geological structure); 2) the parameters of the strength and compressibility of rocks;

3) compressive stresses in the array. These data all over the world are set with engineering surveys. In engineering surveys there are good methods of determining the source of the data 1 and 2. But there is no available methodology for determining the natural stress state. Therefore, compressive and tensile stresses are usually determined by mathematical modeling. The calculation of the compressive stresses is done on the basis of the following hypotheses: compressive stresses are created by the weight of rocks; they go down in proportion to the density of rocks; the main normal stress is has a vertical direction; normal stress in horizontal direction is smaller. The value of the horizontal stress is was calculated using Poisson's ratio. This hypothesis of the nineteenth century was used another 50 years ago, when it was not known exactly about the movement of the continents and when compressive stresses in the earth's crust have not yet been measured.

Today a universal application of this hypothesis is not correct. Now the application of this hypothesis in many cases is not correct. In this research paper an attempt is made to specify the area, in which the above hypothesis can be used. This is done on the basis of current scientific evidence. Abroad this way of calculating tunnels and other underground structures and bases of buildings should be done taking into account the real field of natural stresses. The geological characteristics of the location of the axes of stresses in soil body are based on the study of fractures. Also the article shows the influence of the surface topography of the territory on stress in soil. In order to draw conclusions the author uses his observations of the construction in Siberia and Mongolia, as well as publications of other scientists. The author notes that in engineering surveys for construction of tunnels, high-rise dams, high rise buildings there is no good method of determining the natural stresses in rocks and soils, which is equal in accuracy to the methods of construction of geological sections and methods for determining the estimated characteristics of the soil. This gap needs to be filled. The possible direction of work is: to combine the methods of direct measurements of compressive stresses with indirect geophysical methods and computer modeling.

Key words: geomechanics, engineering geology, engineering surveys, underground structures, stresses in soil body, tectonics, rock fractures, tectonic breaks, folds.

References

1. Suppe J. Fluid Overpressures and Strength of the Sedimentary Upper Crust. *Journal of Structural Geology*. December 2014, vol. 69, part B, pp. 481—492. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsg.2014.07.009>.
2. Nesterenko G.T., Barkovskiy V.M. O vozmozhnosti otsenki napryazhennogo sostoyaniya zemnoy kory po naturnym izmereniyam napryazheniy v shakhtakh i rudnikakh [On the Possibility of Estimating the Stress State of the Crust in Situ Measurements of Stress in Mines]. *Napryazhennoe sostoyanie zemnoy kory : sbornik trudov* [Stress State of the Earth Crust : Collection of Works]. Moscow, Nauka Publ., 1973, pp. 12—20. (In Russian)
3. Kutepov V.M. Zakonomernosti v raspredelenii estestvennykh napryazheniy v massivakh skal'nykh treshchinovatykh porod sklonov rechnykh dolin [Regularities in the Distribution of Natural Stresses in the Hard Fractured Rocks of the Slopes of River Valleys]. *Napryazhennoe sostoyanie zemnoy kory : sbornik trudov* [Stress State of the Earth Crust : Collection of Works]. Moscow, Nauka Publ., 1973, pp. 135—147. (In Russian)
4. Kropotkin P.N. Tektonicheskie napryazheniya v zemnoy kore po dannym neposredstvennykh izmereniy [Tectonic Stresses in the Earth's Crust According to Direct Measurements]. *Napryazhennoe sostoyanie zemnoy kory : sbornik trudov* [Stress State of the Earth Crust : Collection of Works]. Moscow, Nauka Publ., 1973, pp. 21—31. (In Russian)
5. Pashkin E.M., Kagan A.A., Krivonogova N.F. *Terminologicheskii slovar'-spravochnik po inzhenernoy geologii* [Terminological Dictionary on Engineering Geology]. Moscow, KDU Publ., 2011, 950 p. (In Russian)
6. Ter-Martirosyan Z.G., Akhpatelov D.M. Napryazhennoe sostoyanie gornyykh massivov v pole gravitatsii [Stress State of Mountain Ranges in the Field of Gravity]. *DAN SSSR* [Proceedings of the USSR Academy of Sciences]. 1975, vol. 220, no. 2, pp. 1675—1679. (In Russian)
7. Kalinin E.V., Panas'yan L.L., Shirokov V.N., Artamonova N.B. *Modelirovanie poley napryazheniy v inzhenerno-geologicheskikh massivakh* [Modeling Stress Fields in Engineering Geological Bodies]. Moscow, MGU Publ., 2003, 261 p. (In Russian)

8. Wan Guillong. Modeling Field Tectonic Stresses the East Wing Tectonic Belt Badahan in Northern China Tectonic Era. *Dixue gionyuan = Earth Sci. Front.* 2012, vol. 19, no. 6, pp. 194—199. Chinese. CV Eng.
9. Xia C., Gui Y., Wang W., Du S. Numerical Method for Estimating Void Spaces of Rock Joints and the Evolution of Void Spaces under Different Contact States. *Journal of Geophysics and Engineering.* December 2014, vol. 11, no. 6, article number 065004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-2132/11/6/065004>.
10. Osipov V.I., Medvedev O.P., editors. *Moskva. Geologiya i gorod* [Geology and a City]. Moscow, Moskovskie uchebniki i kartolitografiya Publ., 1997, 400 p. (In Russian)
11. Chernyshev S.N. *Treshchiny gornyx porod* [Rock Fractures]. Moscow, Nauka Publ., 1983, 240 p. (In Russian)
12. Chernyshev S.N., Dearman W.R. *Rock Fractures.* Butterworth-Heinemann, London, UK, 1991, 272 p.
13. Haines S., Marone C., Saffer D. Frictional Properties of Low-Angle Normal Fault Gouges and Implications for Low-Angle Normal Fault Slip. *Earth and Planetary Science Letters.* December 2014, vol. 408, pp. 57—65. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2014.09.034>.
14. Konyarova L.P. Opyt obobshcheniya massovykh opredeleniy pokazateley vodopronitsaemosti treshchinovatykh skal'nykh porod [Statistical Summary of Mass Estimations of the Permeability of Fractured Rocks]. *Inzhenerno-geologicheskie svoystva gornyx porod i metody ikh izucheniya : sbornik trudov* [Engineering and Geological Properties of Rocks and Methods of Their Research : Collection of Works]. Moscow, AN SSSR Publ., 1962. (In Russian)
15. Belyy L.D., editor. *Otsenka tochnosti opredeleniya vodopronitsaemosti gornyx porod* [Estimating Determination Accuracy of Rock Permeability]. Moscow, Nauka Publ., 1971, 150 p. (In Russian)

About the author: **Chernyshev Sergey Nikolaevich** — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Department of Engineering Geology and Geoecology, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; 9581148@list.ru.

For citation: Chernyshev S.N. Geologicheskie predposylki k opredeleniyu prirodnykh napryazheniy v gruntovom massive [Geological Background of the Estimation of Natural Stresses in Soil Body]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 1, pp. 44—53. (In Russian)