

Моделирование пучения и выброса грунта в зоне вечной мерзлоты Ямала

Одинцев В.Н. (1), Бобин В.А. (1), Лапиков И.Н. (1), Макаров В.В. (2)

(1) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова Российской академии наук, Москва, Россия

(2) Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

e-mail: vl.odintsev@yandex.ru

В зоне вечной мерзлоты происходят опасные природные явления – выбросы грунта и газа с образованием на земной поверхности цилиндрических воронок глубиной и диаметром несколько десятков метров. Природа явлений до конца не понятна. Геомеханические исследования должны способствовать их изучению.

В работе рассматривается один из факторов, который может быть причиной выбросов, – разложение газогидратов. В ледогрунтовой толще могут находиться рассеянные и консолидированные твердые газогидраты. При климатическом потеплении среды разложение газогидратов сопровождается образованием газообразного метана с давлением порядка 2МПа. Газ может быть движущей силой геомеханических процессов. В этой связи разработана математическая модель образования полости, заполняемой газом при разложении газогидратов. В модели предполагается наличие горизонтального слоя газогидратов, расположенного на некоторой глубине от земной поверхности. В слое предполагается также наличие небольшой области ослабленных связей – зародышевой трещины. При изменении температуры грунта в трещине появляется свободный метан. Когда давление газа превысит горное давление грунтовой толщи, трещина раскрывается. Далее она развивается параллельно земной поверхности вдоль слоя газогидратов как открытая трещина отрыва Дагдейла-Панасюка, подпитываемая образующимся метаном. Конфигурация трещины изменяется в соответствии с условием минимальных энергетических затрат на образование свободной поверхности, поэтому трещина по мере развития приобретает в плане форму круга.

В проведенных расчетах с помощью МКЭ определены закономерности изменения напряженного состояния ледогрунтовой толщи по мере роста круговой горизонтальной трещины на глубине 30м от земной поверхности. Установлено, когда радиус трещины достигнет примерно 15м на всей ее границе возможно зарождение и развитие в направлении земной поверхности другой, цилиндрической вертикальной трещины такого же радиуса. Она может развиваться либо по механизму сдвига-отрыва с расхождением берегов, либо по механизму чистого сдвига без расхождения берегов. Здесь рассмотрен случай закрытой трещины, развивающейся по механизму чистого сдвига. Показано, при развитии вертикальной закрытой цилиндрической трещины горизонтальная трещина должна прекратить рост. При продолжающемся разложении газогидратов газовая полость с установившемся давлением газа приблизительно 1.5МПа должна увеличиваться за счет смещения вверх части грунта, ограниченного цилиндрической трещиной, которая может прорасти до поверхности. С ростом высоты полости давление газа должно снижаться, но это активизирует процесс разложения газогидратов. Взаимодействие процессов падения давления газа и разложения газогидратов предопределяет достаточно медленный процесс сдвижения сформировавшегося ледогрунтового цилиндра по вертикальной трещине вверх. На земной поверхности это сдвижение должно проявляться как пучение грунта – образование бугра высотой несколько метров.

Расчеты показывают, что перераспределение напряжений в грунтовой толще приводит к появлению областей растяжения с напряжениями до 0.2МПа. Это должно способствовать образованию наведенных трещинно-пор и насыщению изначально непроницаемого грунта свободным метаном, поступающим из газовой полости. При фильтрации метана в трещины-поры создаются

условия для последующего разрушения и выброса газонасыщенного материала по механизму послойного отрыва, описанного исследователями проблемы выбросов угля и газа в угольных шахтах. Квазистатическое равновесие сил, обусловленных весом сдвигающегося ледогрунтового цилиндра, давлением газа в полости, и сил сопротивления сдвигению на берегах трещины может быть нарушено началом разрушения цилиндра как целого по механизму послойного отрыва. Это послойное разрушение наряду со спровоцированным динамическим выталкиванием разрушающегося цилиндра давлением газа снизу можно интерпретировать как выброс грунта и газа с образованием цилиндрической воронки.

Проведенное исследование, основанное на использовании теории трещин, является продуктивным для понимания особенностей геометрии воронок и сдвижения грунта, но не исчерпывающим. Возможны другие постановки геомеханических задач в анализе особенностей выбросов грунта и газа.