

УДК 550.34

## **ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ ЗЕРНИСТОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ МЕЖБЛОЧНОГО КОНТАКТА НА РЕЖИМЫ СКОЛЬЖЕНИЯ**

**Фалалеев Г.Н., Омуралиев С.Б.**

Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Кыргызской Республики

В статье рассматриваются результаты лабораторных экспериментов по изучению влияния состава и структурных свойств заполнителя трещин на формирование различных режимов скольжения. На изготовленной нами установке типа «слайдер» -модели определены прочностные показатели сопротивления сдвигу и кинематические характеристики трех типов зернистого заполнителя: кварцевого песка, хлорида натрия и полисахарида. Установлено, что основным параметром, который определяет режим скольжения, является структура заполнителя трещины.

**Ключевые слова:** Лабораторный эксперимент, «слайдер» -модель, трещины, режим скольжения, заполнитель, гранулометрический состав, кинематические характеристики, сцепление, скорость смещения.

## **БЛОКТОР АРАЛЫК БАЙЛАНЫШЫНДА БҮРТҮК ТОЛТУРГУЧТУН КУРАМДАРЫ ЖАНА СТРУКТУРАЛЫК КАСИЕТТЕРИ АР КАНДАЙ ЖЫЛЫМА РЕЖИМДЕРДИН ПАЙДА БОЛУШУНА ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИ**

**Фалалеев Г.Н., Омуралиев С.Б.**

Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын Геомеханика жана жер казынасын өздөштүрүү институту

Макалада жаракта толтургучтун курамынын жана структуралык касиеттеринин ар кандай жылма режимдердин пайда болушуна тийгизген таасирин изилдөөчү лабораториялык тажрыйбалардын натыйжалары каралат. Үч түрдөгү бүртүк толтургучтун: кварц куму, натрий хлориди жана полисахариддин жылышуу каршылыгынын күч көрсөткүчтөрү жана кинематикалык мүнөздөмөлөрү биз орноткон "слайдер" моделинде аныкталды. Жылма режимди аныктоочу негизги параметр болуп, жаракта толтургучтун түзүмү экени аныкталды.

*Баштапкы сөздөр:* лабораториялык эксперимент, "слайдер" модели, жаракалар, жылышуу режими, толтургуч, бөлүкчөлөрдүн чоңдугунун бөлүштүрүлүшү, кинематикалык мүнөздөмөлөрү, илиниш, жылышуу ылдамдыгы.

## **INFLUENCE OF THE COMPOSITION AND STRUCTURAL PROPERTIES OF THE GRANULAR AGGREGATE OF THE INTERBLOCK CONTACT ON THE SLIDING MODES**

**Falaleev G.N., Omuraliev S. B.**

Institute of Geomechanics and Subsoil Development of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic

The article deals with the results of laboratory experiments to study the influence of the composition and structural properties of the crack filler on the formation of sliding modes. The strength parameters of shear resistance and kinematic characteristics of three types of granular aggregate: quartz sand, sodium chloride, and polysaccharide were determined on the slider-model installation made by us. It is established that the main parameter that determines the sliding mode is the structure of the crack filler.

*Keywords:* laboratory experiment, slider model, cracks, sliding mode, filler, granulometric composition, kinematic characteristics, adhesion, sliding speed.

В настоящее время доказано, что динамические явления в земной коре происходят не в результате образования новых разломов, а при проскальзывании блоков по уже имеющимся нарушениям. При этом на участках скольжения накапливается определенный объем перетёртого зернистого материала. Следовательно, появляется необходимость исследования закономерностей деформирования этих нарушений на макро, мезо и микроуровнях.

В последние годы все больше внимания уделяется изучению медленных деформационных событий: движение ледников, оползней в блочно-трещиноватых массивах пород. При этом структура и соотношение между компонентами заполнителя оказывают сильное влияние на распределение скоростей деформаций. Для проведения лабораторных исследований используются установки типа слайдер-модели.

Выявление различного режима деформирования (от стабильного до прерывистого) позволяет проследить закономерности изменения параметров скорости смещения в зависимости от структуры заполнителя.

В лабораторных условиях необходимо было провести исследования сдвигового деформирования моделей, представленных контактами блоков с заполнителем различного состава.

Следовательно, изучение влияния различных геомеханических параметров на закономерности скольжения на границах раздела блоков горных пород является актуальной научной задачей.

Практически с самого начала инструментальных наблюдений за деформациями земной поверхности стало ясно, что релаксация избыточных напряжений, накапливаемых в тектонически активных регионах, происходит не только путем динамического разрушения участков земной коры, но и через непрерывное асейсмическое скольжение (крип) по разломам. Землетрясения интерпретировались как квазихрупкое разрушение горной породы, а крип - как пластическая деформация [1].

Между тем до сих пор остается неясным, какие макроскопические параметры разломов или какие их характеристики на микро- и мезоуровне являются ответственными за реализацию того или иного деформационного режима. Исследование условий возникновения и эволюции переходных режимов деформирования нарушений сплошности представляет большой интерес для исследователей в области сейсмотектоники и горных наук. Построение модели этих событий может оказаться крайне полезным при разработке научного направления, связанного с исследованиями возможности искусственной трансформации напряженно-деформированного состояния локальных участков массива горных пород.

Поскольку натурные измерения, как правило, не обладают необходимой детальностью, особенности различных режимов скольжения удобно исследовать в лабораторном эксперименте. Локализация сдвига в очень узкой зоне магистрального сместителя разлома [3] может в известной степени служить основанием простой постановки лабораторных экспериментов и поиска качественных соответствий между полученными результатами и явлениями, наблюдаемыми в природе.

В качестве основного параметра, характеризующего интенсивность динамических событий, используется максимальная скорость смещения верхнего блока во время срыва. Для исследования закономерностей формирования различных режимов межблокового скольжения в ряде работ [ 1-3 ] была выбрана классическая постановка эксперимента типа «слайдер»-модели, в которой блок под действием приложенного сдвигового усилия скользит по поверхности раздела (Рис.1.).

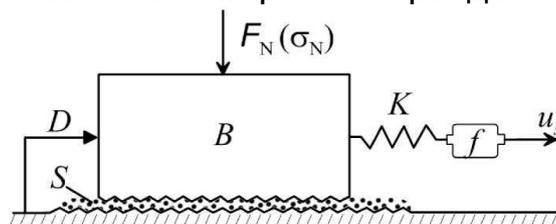


Рис. 1. Схема проведения лабораторных экспериментов на традиционной установке типа «слайдер»-модели [2].

Гранитный блок (B) размером 8 x 8 x 3 см<sup>3</sup> располагался на неподвижном гранитном основании. Контакт между шероховатыми

поверхностями (средняя глубина неоднородности составляла 0,5-0,8 мм) заполнялся слоем дискретного материала (S) и имитировал зону магистрального сместителя разлома. Толщина межблокового контакта могла меняться в диапазоне от 0 до 10 мм.

Нормальная нагрузка  $F_N$  прикладывалась через специальное приспособление, которое исключало появление сдвиговых усилий на верхней грани подвижного блока. Величина  $\sigma_n$  варьировалась в пределах от  $2 \cdot 10^3$  до  $2 \cdot 10^5$  Па. Сдвиговое усилие прикладывалось к блоку через пружинный элемент (K), жесткость которого могла меняться от  $1 \cdot 10^4$  до  $4 \cdot 10^5$  Н/м. Установка была оснащена электрическим приводом с комплексным редуктором, который позволял выдерживать скорость деформирования  $u_s$  пружинного элемента с высокой точностью в диапазоне от 0,08 до 25 мкм/с. Создаваемое сдвиговое усилие контролировалось датчиком силы f CFT/5kN (HBM, Германия) с точностью 1 Н. Перемещения блока относительно подложки измерялись датчиком (D) LVDT (Микромех, Россия) с частотой 1 Гц и точностью 1 мкм или лазерным датчиком ILD2220-10 (MicroEpsilon, Германия) в диапазоне частот 0-5 кГц с точностью 0,1 мкм. Сигналы с датчиков поступали на вход АЦП с частотой оцифровки 100 кГц и затем записывались компьютером.

В качестве заполнителя модельной трещины использовались различные природные и искусственные материалы: кварцевый песок, гранитная крошка, сухая глина, тальк, пиррофиллит, поваренная соль, стеклянные шарики, искусственный грунт.

Нами была предложена более простая установка такого же типа «слайдер» - модели из-за отсутствия прецизионных средств измерения, как прикладываемых нагрузок, так и величин наблюдаемых смещений. На Рис 2 представлена схема установки по изучению смещения блоков при сдвиге.

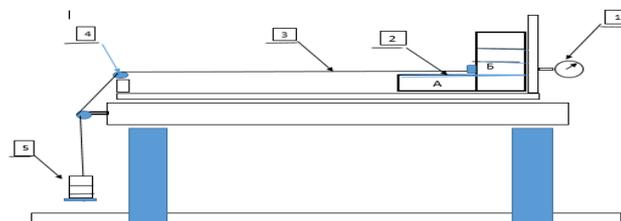


Рис. 2 Схема упрощенной экспериментальной установки типа «слайдер»-модели, разработанной в лаборатории УГП.

А – неподвижный блок, Б – подвижный блок с грузом, 1 – индикатор часового типа ИЧ-50, 2-заполнитель, 3-тросик, 4- направляющий ролик, 5- сдвигающая нагрузка.

Методика проведения лабораторных экспериментов по исследованию режимов скольжения по заполнителю на границе раздела блоков.

В качестве неподвижного основания был выбран составной блок из 2 гипсо-песочных образцов призматической формы с размерами 5х5х12 см. Подвижный блок, который смещался по заполнителю, то же был представлен гипсо-песочным образцом такого же формата. С помощью хомутика к нему крепился тросик из тонкой проволоки. Другой конец тросика посредством 2 латунных роликов был связан со стержнем, на который надевались калиброванные грузики - диски по 100 г каждый. Нормальная нагрузка на подвижный блок прикладывалась такими же гипсо-песочными образцами, предварительно взвешенными и пронумерованными. Максимальная нагрузка составляла 3 кг. Величину смещения по неподвижному блоку измеряли индикатором часового типа ИЧ-50 с ценой деления 0,01 мм. В качестве заполнителя были выбраны кварцевый песок, хлорид натрия и полисахарид. Все они были доведены до фракции менее 0,315 мм, при этом толщина заполнителя не превышала 2 мм. Контактующие с заполнителем поверхности имели шероховатость для лучшего сцепления. В результате проведенных испытаний на сдвиг по различному типу заполнителя были выявлены как качественные так и количественные особенности режима деформирования.

Методика испытаний на сдвиг по заполнителю в нашей установке слайдер модели состояла в следующем. Модельная трещина между блоками заполнялась различным типом заполнителя размером частиц менее 0,315 мм. Затем прикладывали начальную вертикальную нагрузку 1,2кг, включая и вес подвижного блока. Вертикальное напряжение при площади 60 см<sup>2</sup> составило 2 кПа. Последующие нагрузки составили 1,8 кг, 2,4 кг и 3,0 кг. Соответственно нормальное напряжение для них равнялось 3,4 и 5 кПа. Горизонтальные нагрузки в процессе опыта возрастали равными ступенями от 100 г (1Н) и до предельной, при которой происходил полный сдвиг.

Каждую следующую ступень нагружали через 60 сек и одновременно фиксировали величину смещения по индикатору ИЧ-50. Для контроля точной величины смещения внутри этого промежутка времени производили промежуточный отчет через 30 сек. По результатам проведенных испытаний на сдвиг были получены основные прочностные показатели: сцепление и угол внутреннего трения (Таблица 1.)

Таблица 1. - Показатели сопротивления сдвигу для материала – заполнителя.

Наименование заполнителя	Размер частиц, Мкм среднее	Сцепление, КПа	Угол внутреннего трения, град.
Сухой кварцевый песок	Менее 315	0	32
Полисахарид	Менее 315	0	33
Хлорид натрия	Менее 315	0	30

На основании предложенной методики изучения свойств различного вида заполнителя были замерены значения деформаций и сдвигающих усилий, Далее были построены графические зависимости смещений и скоростей смещений от времени, а также сдвигающих усилий от величины смещений (Рис 3-11).

А. Кварцевый песок . Нормальная нагрузка 18 Н

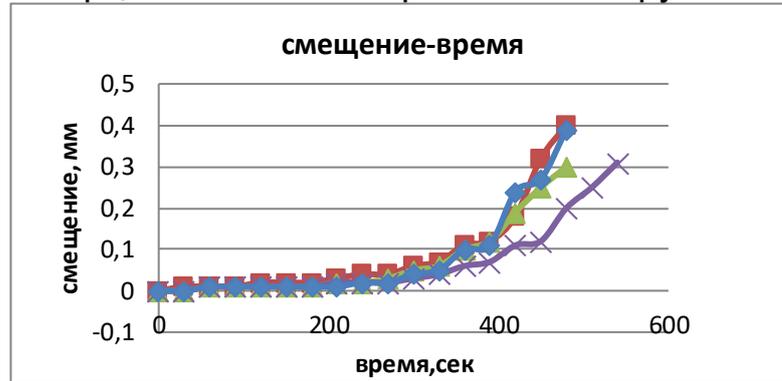


Рис. 3 Общие зависимости смещений по заполнителю от времени для 4-х образцов

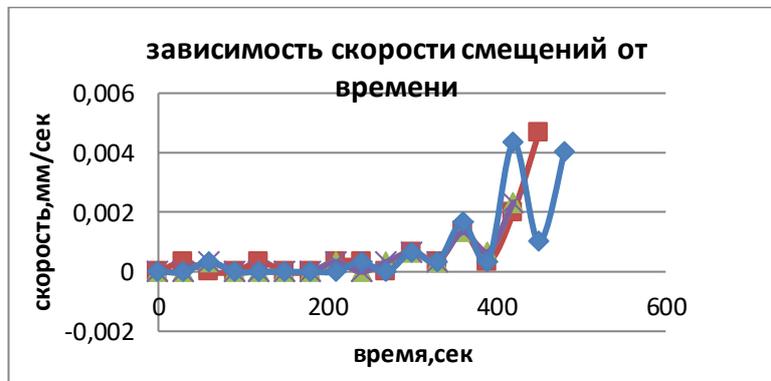


Рис. 4. Общие зависимости скоростей смещений по заполнителю от времени для 4-х образцов.

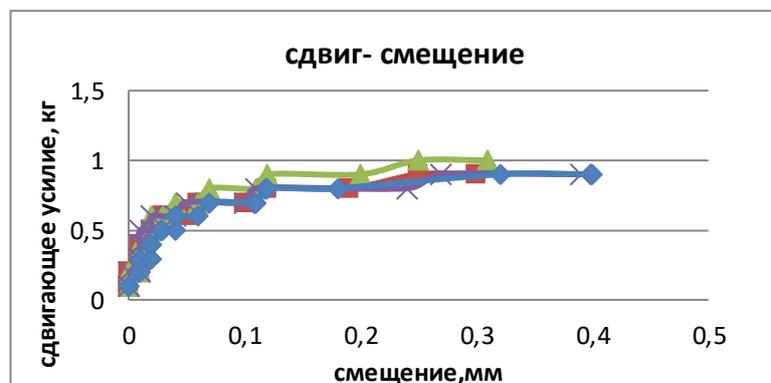


Рис. 5. Общие зависимости усилий сдвига по заполнителю от смещения для 4-х образцов.

Аналогичные зависимости были построены и для следующих нормальных нагрузок 24 Н и 30 Н. Так же для хлорида натрия и полисахарида зависимости, приведенные выше, были построены лишь для нормальной нагрузки 18 Н.

Б. хлорид натрия. Нормальная нагрузка 18 Н.

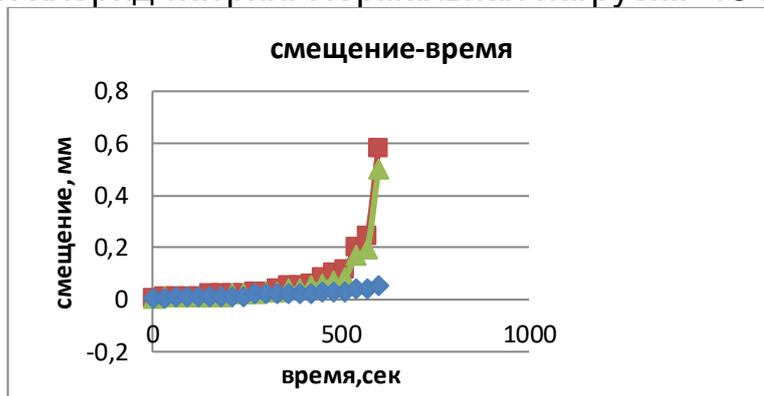


Рис. 6. Общие зависимости смещений по заполнителю от времени для 3-х образцов



Рис. 7. Общие зависимости скоростей смещений по заполнителю от времени для 3-х образцов

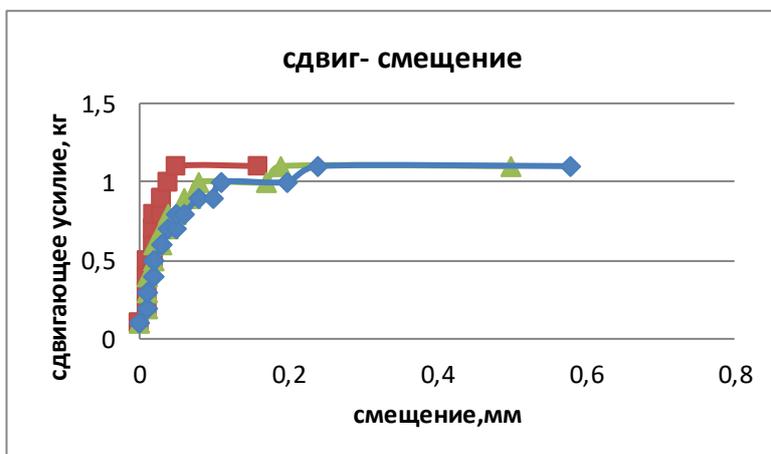


Рис. 8. Общие зависимости усилий сдвига по заполнителю от смещения для 3-х образцов

Б. Полисахарид. Нормальная нагрузка 18Н.

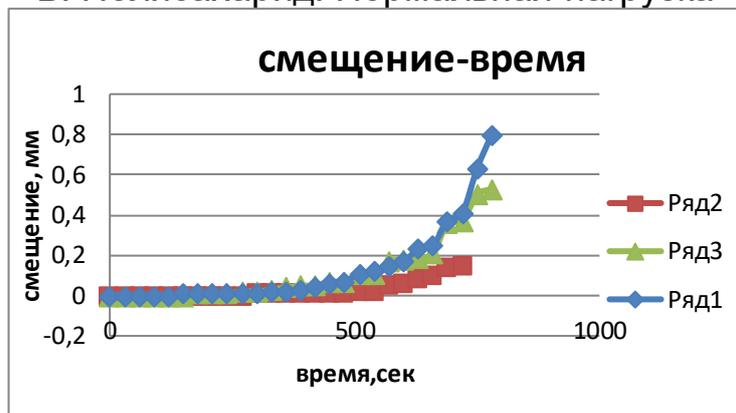


Рис. 9. Общие зависимости смещений по заполнителю от времени для 3-х образцов

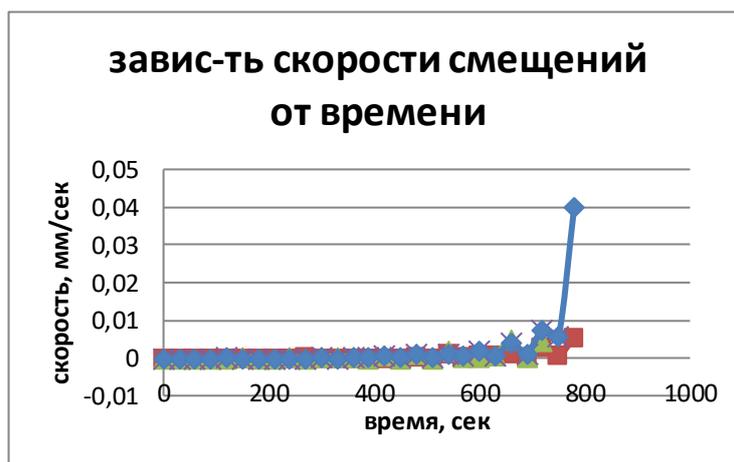


Рис. 10. Общие зависимости скоростей смещений по заполнителю от времени для 4-х образцов

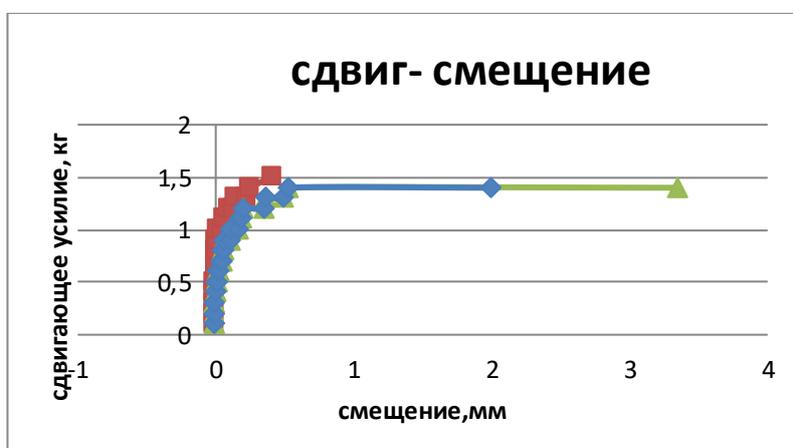


Рис. 11. Общие зависимости усилий сдвига по заполнителю от смещения для 3 - х образцов

Как уже говорилось выше, за основной параметр, характеризующий интенсивность динамических процессов, принимается максимальная скорость смещений по заполнителю. Были выделены на графиках скоростей смещений для различного вида заполнителя их максимальные значения (Таблица 3).

Таблица 3 –Максимальные скорости смещений мм/сек при различных нормальных нагрузках

Заполнитель	P = 18 Н	P = 24 Н	P = 30 Н
Кварцевый песок	0,0047	0,0045	0,0050
Хлорид натрия	0,014	0,016	0,016
Полисахарид	0,0063	0,0073	0,0080

Из анализа таблицы 3. следует, что наибольшими скоростями скольжения характеризуется заполнитель в виде поваренной соли (хлорида натрия).

Этот факт хорошо согласуется с литературными данными [3], где отражается увеличение интенсивности динамических срывов при увеличении удельной доли хлорида натрия.

Также нами отмечен различный режим скольжения для кварцевого песка и хлорида натрия. По сухому кварцевому песку отмечено медленное плавное скольжение, тогда как для хлористого натрия характерно прерывистое скольжение - (стик - слип). Это объясняется различием межгранулярных связей. Гранулы кварца обладают ковалентной связью, а зерна хлорида натрия - более сильной ионной связью. Поэтому зерна этого заполнителя испытывают более сильное межгранулярное сближение, чем гранулы кварцевого песка.

Таким образом, полученные нами результаты показали - даже на такой простейшей модели как наша модель, - что основным параметром, определяющим проявление различных режимов скольжения, является состав и межгранулярные связи материала заполнителя.

### ВЫВОДЫ

В результате проведенного литературного обзора по изучению формирования и перехода различных режимов скольжения по заполнителю трещин выбрана и обоснована методика проведения экспериментальных исследований на установке типа слайдер- модели по принципу простого сдвига.

Разработана и изготовлена простая установка для изучения кинематических параметров скольжения: смещений и скоростей смещений при заданных нормальных нагрузках

Проведены испытания при плоском сдвиге на 3 видах заполнителя, отличающихся как составом, так и морфологией зерен: кварцевый песок, полисахарид и хлорид натрия.

Выявлен различный характер режима скольжения для заполнителя в качестве которого использовали кварцевый песок (медленное скольжение) и хлорид натрия (прерывистое скольжение – стик - слип).

Установлено, что максимальной скоростью смещений характеризуется заполнитель типа хлорида натрия по отношению к кварцевому песку и к полисахариду, которая больше соответственно в 3 и 2 раза.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Адушкин В. В., Кочарян Г. Г., Новиков В. А. Исследование режимов движения по разлому.// Физика Земли,2016.с.5-15.
2. Кочарян Г.Г., Марков В.К., Остапчук А.А., Павлов Д.В. Мезомеханика сопротивления сдвигу по трещине с заполнителем//Физическая мезомеханика. 2013.Т.16. № 5. С. 5-15.
3. Кочарян Г.Г., Новиков В.А. Экспериментальное исследование различных режимов скольжения блоков по границе раздела. Часть 1. Лабораторные эксперименты // Физическая мезомеханика. 2015. Т. 18. № 4. С. 94-104