

**А.М. Погоров\***

\*Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

**Информация об авторе:**

Погоров Алихан Магомедович – магистрант, Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан  
<https://orcid.org/0000-0001-9313-6190>, email: p.ali.01@mail.ru

## **ВЛИЯНИЕ СЛОИСТОСТИ И ВИДА ПОВЕРХНОСТНОГО ГРУНТА НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКОГО РАЗЛОМА**

**Аннотация.** В статье рассматриваются лабораторные исследования по моделированию тектонического разлома в грунтах разных типов и анализ их распространения в приповерхностных слоях. Экспериментальные исследования максимально приближены к реальным условиям возможного напластования слоев. Такие исследования позволяют расширить познания и правила поведения тектонических разломов при сейсмических колебаниях.

**Ключевые слова:** геодинамика, слоистость массива грунта, тектонический разлом, разрыв, влияние распространения.

### **Введение**

В определенный период времени наука теоретически считала, что земная кора находится в неподвижном состоянии, но районы активного вулканизма не попадали под данные предположения. С течением времени при развитии электроники и вычислительных систем для создания измерительной техники была пересмотрена наука тектоники, и стало очевидным, что земная кора постоянно находится в движении [1]. Такие движения проявляют незначительные амплитуды, и они не заметны глазу, однако, могут оказывать существенное воздействие как на массив грунта, так и на инженерные сооружения.

*Тектонический разлом* – это зона примыкания двух грунтовых массивов, между которыми образовалась нарушенная сплошность массива, то есть место примыкания имеет разрыв связности на два блока. Разломы имеют практическое значение, поскольку их порождают землетрясения. Поэтому важно изучать разломы для обеспечения сейсмостойкости и сейсмоустойчивости проектирования. Инженеры должны понимать основные особенности разломов, чтобы оценивать их поведение.

Изучая разломы и их последствия, можно многое узнать о размерах и интервалах повторяемости землетрясений и выстроить познания в ряде предотвращения влияния разломов на сооружения. Первоначально участок земной коры может просто изгибаться под давлением и занимать новое положение или замедленное движение (известное как сейсмическая ползучесть), а также может беспрепятственно продолжаться вдоль плоскости разлома [2]. Однако напряжения часто продолжают нарастать, пока не превысят прочность породы на дан-

ном участке коры. В этом случае порода разрушается, и происходит землетрясение, иногда с выбросом огромного количества энергии, что пагубно влияет на сооружения.

Тектонический разлом и его влияние на слоистых грунтах проявляет разные положения конечного результата при движении литосферы [3]. Распространение в гетерогенных массивах, в местах разлома имеет на данный момент статус непредсказуемого исхода – как поведет себя слоистое грунтовое основание при тектонических движениях в зоне разлома [4].

*Надземные сооружения* в большей степени подвержены разрешениям при тектонических движениях, чем подземные сооружения. Воздействия вертикальных изломов массива грунта в зоне разлома меняют несущие свойства основания и нарушают ее целостную структуру, вследствие этого сооружения, находящиеся в зоне влияния, подвержены осадкам и опрокидыванию. Последствия, к которым приводят тектонические разломы при строительстве и эксплуатации надземных зданий и сооружений в зоне разлома являются негативными. В одних случаях они нарушают вертикальность или герметичность соединений, в других – могут привести к катастрофическим последствиям, то есть послужить причиной сильного напряжения в основании и выразить неравномерное давление (см. рис. 1), что послужит последовательному разрушению сооружения [3]. Чаще всего при движении тектонического разлома предсказать влияние распространения на слоистых породах трудно, так как физические характеристики грунтов различны исходя из климатических условий и местности их зарождения.

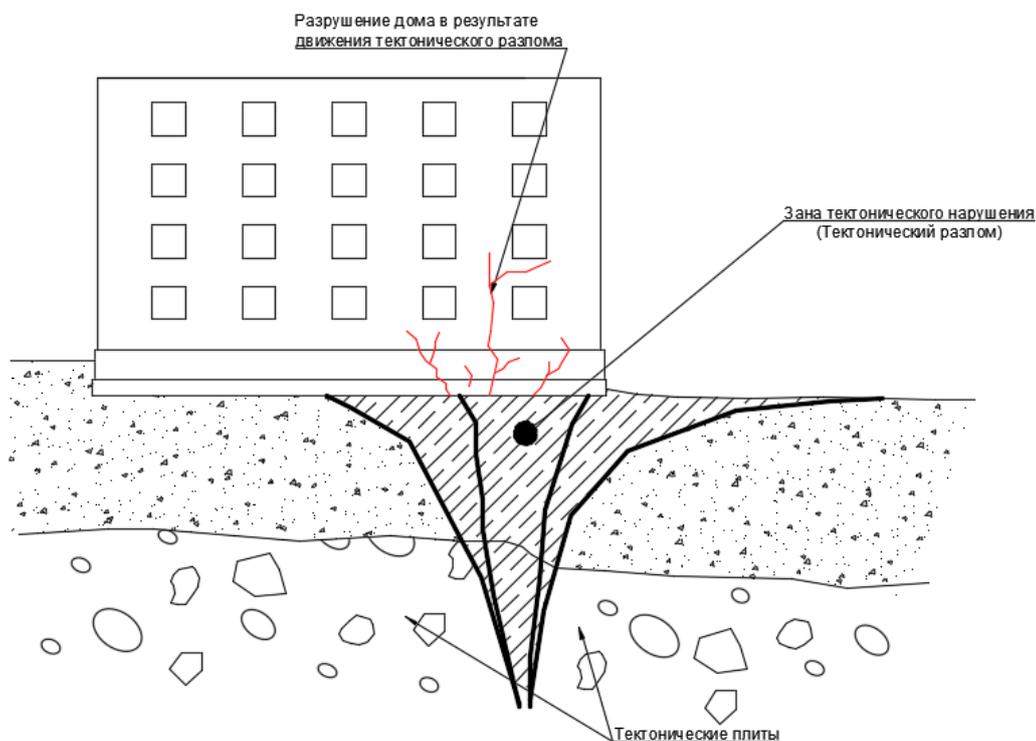


Рисунок 1 – Разрушение сооружения в зоне разлома [4].

### *Последствия явлений при тектоническом разломе на сооружения*

При движении тектонического разлома при сейсмических колебаниях проявляется не только разлом – разрыв, но и последовательные явления, такие как нарушение структуры грунта, осадки, подъемы и сжижение. Такие виды явлений совсем оставляют несущее основание сооружений без способности нормально воспринимать нагрузку от сооружения для дальнейшей устойчивости. В таких случаях необходимо изучение влияния на слоистость несущего массива грунта таких явлений.

#### *Разрыв поверхности*

Разрыв поверхности земли может быть вызван интенсивным и длительным сотрясением, а также движением разломов. При этом могут образовываться глубокие трещины и большие разрывы (размером от нескольких метров до нескольких километров). Во время землетрясения 1995 года в Японии наблюдался девятикилометровый поверхностный разрыв вдоль разлома Нодзима на острове Авадзи. Участок рисового поля справа был поднят более чем на 1 м; легкие повреждения получили здания даже на очень близком расстоянии от разлома.

#### *Осадки и подъемы*

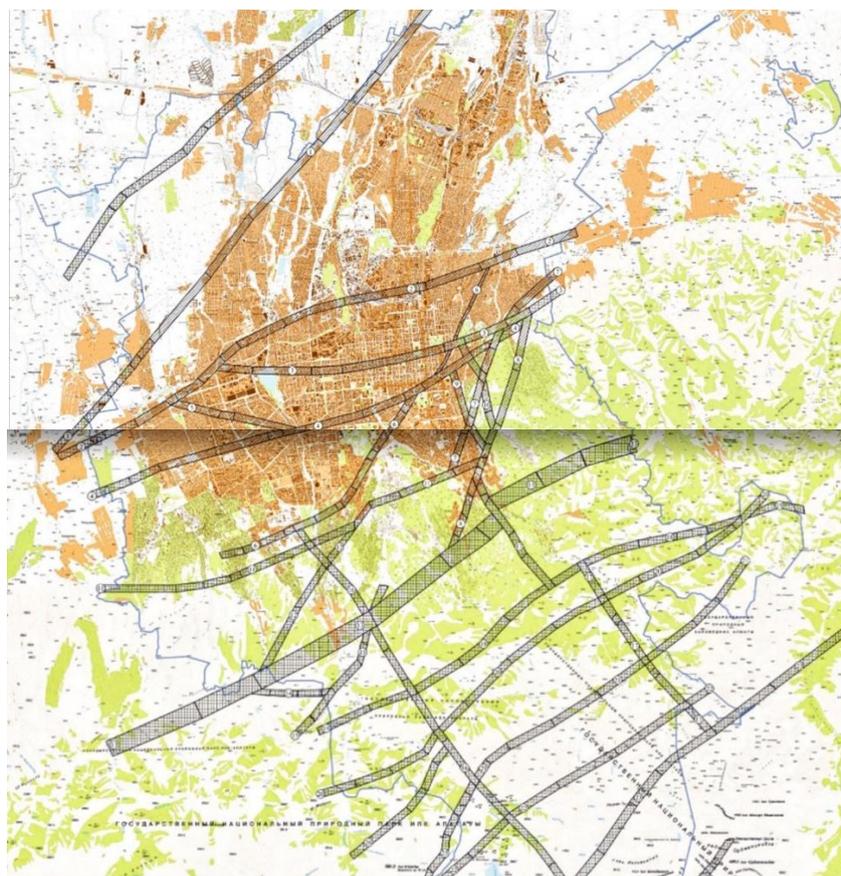
Разрывы разломов могут вызывать значительные вертикальные движения грунта, иными словами осадки и подъемы. Эти движения, в свою очередь, вызывают серьезные повреждения фундаментов зданий, опор мостов и подземных сетей. Такие вертикальные движения создают очень большое напряжение, которое выражена деформацией основания, и такая ситуация может стать роковым для сооружения, что приведет к разрушению и в худшем случае смерти людей.

Обрушение нескольких подъездных сооружений и опор мостов наблюдалось при землетрясениях в Сан-Фернандо (1971), Лома-Приета (1989), Нортридже (1994) и Кобе (1995). Осадка, опрокидывание и опускание зданий наблюдались после нескольких землетрясений во всем мире.

Оседание грунта на 6-7 м наблюдалось во время Ново-Мадридских землетрясений (1811-1812 гг.) в долине Миссисипи в США. Осадка территорий вблизи моря, озер и берегов рек может привести к затоплению портов, улиц и зданий.

#### *Тектоника Алматы*

В городе Алматы имеется порядка 50 тектонических разломов, из которых примерно половина имеют активность. Именно такие разломы могут проявить себя при землетрясении. Их становится больше из-за того, что происходит расширение города застройкой. Поэтому, те разломы, которые проходили по области, теперь располагают свои зоны в чертах города, и их необходимо исследовать и учитывать при застройке. Карта зон разломов г. Алматы показана на рис. 8. Опасность разломов города Алматы существенна, так как Алматы находимся в девяти и десяти бальной зоне сейсмичности.



Карта активных зон тектонических разломов города Алматы [3]

Горная и предгорная структуры Заилийского Алатау относятся к зонам девятибалльной и десятибалльной сейсмичности. Именно в этой зоне и расположен г. Алматы и города-спутники столичной агломерации с численности населения более 1500 тыс. человек. В северных отрогах Тянь-Шаня зарегистрированы очаги наиболее сильных землетрясений с магнитудами 6,5-8,4, эффект проявления которых соответствует девяти и десяти баллам. Особенность всех этих землетрясений – небольшая (менее 40 км) глубина расположения очага. Большая часть Алматинской области и город Алматы относятся к наиболее сейсмически опасному району, в котором пиковые ускорения колебаний частиц грунта (в долях  $g$ ), рассматриваются в диапазоне от 0,38 $g$  до 0,73 $g$ .

В нормативном документе СП РК 2.03-31-2020 «Застройка территории города Алматы с учетом сейсмического микрозонирования» информации о тектоническом разломе ограничены и находятся в стадии доработок [5], поэтому необходимо проводить больше исследований о влиянии тектонических разломов на устойчивость территорий и зданий и сооружений, что поможет повысить эксплуатационную надежность будущих застроек.

На сегодняшний день расчетные сейсмические воздействия на здания и сооружения рекомендуется определять в соответствии с положениями [6] СП РК 2.03-30-2017\* или НТП РК 08-01.1, принимая расчетное горизонтальное ускорение грунта  $ag$  по карте СМЗ-1<sub>design</sub>. В целом сейсмические воздействия определяются по спектрам упругих реакций [5], которые учитывают особенно-

сти грунтовых условий и особенности конструктивного решения здания. При определении спектров реакций, характеризующих горизонтальные сейсмические воздействия на здания и сооружения, расположенные в зонах возможного проявления тектонических разломов на дневной поверхности в нормах отсутствуют достаточно конкретные рекомендации. Используются повышающие коэффициенты, ухудшение грунтовых условий площадок строительства и рекомендуются более детальные исследования инженерно-геологических условий площадок строительства. Исследований влияния вида грунтов на распространенность зон проявления тектонических разломов очень мало.

### Материалы и методы

Целью испытаний является изучение, анализ и работы по дополнению к изученным материалам о тектонических движениях и их влияния распространения на слоистых поверхностных грунтах путем лабораторного моделирования разлома. Так как грунты являются основанием любого сооружения, и их нарушение может нести за собой разрушение и гибель людей, то такие исследования несут важный характер при проектировании зданий и сооружений.

#### *Описание установки*

Чтобы прийти к более обоснованным и достоверным результатам поведения слоистости грунта по линии тектонического разлома был проведен ряд лабораторных испытаний на установке моделирование тектонического разлома, рис. 1, для формирования стен разлома и распространения зоны к поверхности земли в зависимости от слоистости грунта.

Лотковая установка общей длиной 150 см, шириной 20 см и высотой 80 см, выполнена из металлического каркаса, которая трех сторон закрыта металлическими листами толщиной 8мм. Фасадная сторона из органического стекла толщиной 80 мм. Лобовая часть лотка с размерами 1500х800, расчерчена линейка из вертикальных и горизонтальных линий по 5 см.

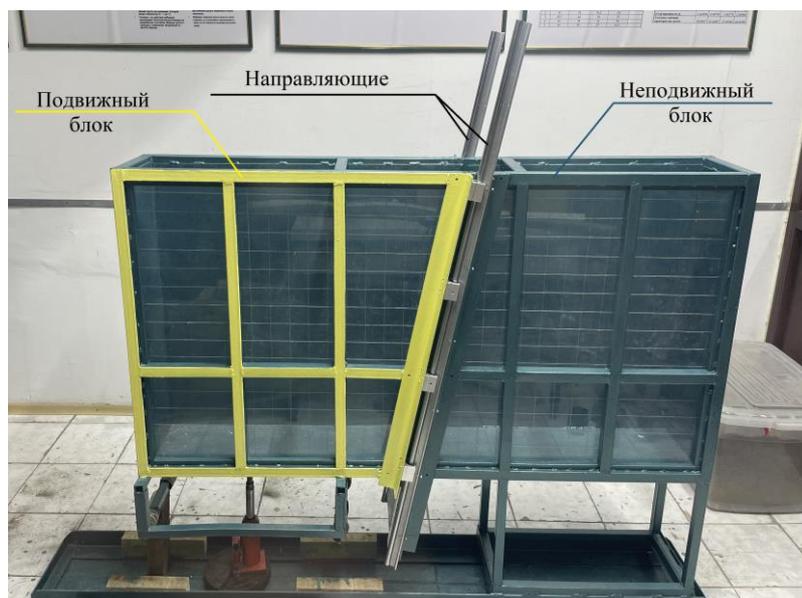


Рисунок 1 – Конструкция геотехнической лотковой установки [материал автора]

## Результаты и обсуждение

Для прогноза и изучения тектонических разломов были проделаны лабораторные испытания путем инициализирования модели, состоящей из подвижного и неподвижного блока.

В ходе проведения испытания модельного тектонического разлома, было получены результаты распространения разлома в слоистых поверхностных грунтах. Так как следствием тектонического разлома являются проявления нарушений, такие как: сброс, взброс, сдвиг и надвиг, то испытания должны выполняться подобным поведением. Были выполнены испытания на сброс и взброс модельного массива грунта.

Проведены испытания таких типом модельных грунтовых пород, как: однослойный грунт, типа песчаник; двухслойный грунт: песчаный и галечниковый грунт; трехслойный грунт: песчаный, галечниковый грунты и суглинок.

Дальше приведены схемы результатов испытаний влияние разлома на слоистость массива грунта:



Рисунок 2 – Испытание №1. Результат сброса однослойный грунт – песчаный грунт [материал автора]

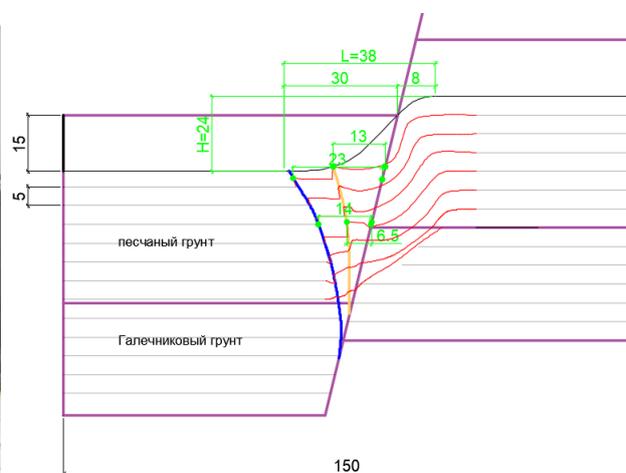


Рисунок 3 – Испытание №2. Двухслойная модель грунта испытанием сброса. Влияние тектонического разлома в реальном положении и схематичном [материал автора]



Рисунок 4 – Испытание №3. Двухслойная модель грунта испытанием взброса. Влияние тектонического разлома в реальном положении и схематичном [материал автора]

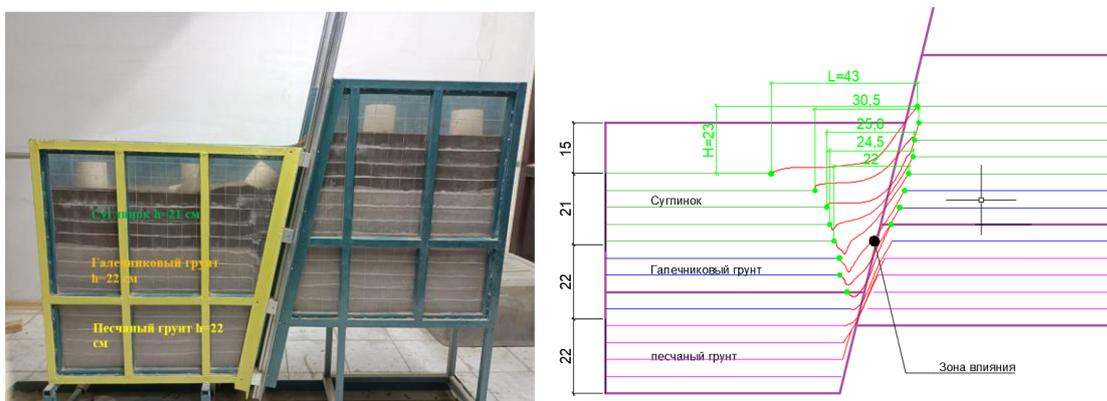


Рисунок 5 – Испытание №4. Трехслойная модель грунта испытанием сброса. Влияние тектонического разлома в реальном положении и схематичном [материал автора]

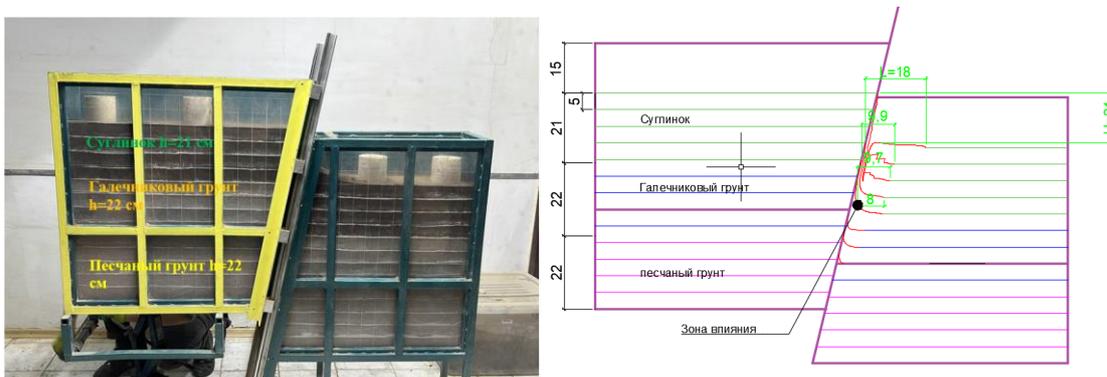


Рисунок 6 – Испытание №5. Трехслойная модель грунта испытанием взброса. Влияние тектонического разлома в реальном положении и схематичном [материал автора]

В процессе выполненных лабораторных исследований по моделированию тектонического разлома сброса и взброса, получены результаты влияния разломов на характер развития зоны повреждения грунтов при формировании стены разломов и распространения зоны к поверхности земли в зависимости от вида грунта. В таблице 1 представлены полученные значения, где:  $L$  – длина зоны разлома по поверхности грунта;  $H$  – высота разлома по поверхности грунта.

Таблица 1

№ п/п	Модель грунтового основания	Тип разлома	L, (см)	H, (см)
1	Песок	сброс	34	26
2	Галечник и песок	сброс	38	24
3	Галечник и песок	взброс	35	19
4	Суглинок, галечник и песок	сброс	43	23
5	Суглинок, галечник и песок	взброс	18	21

Из полученных результатов лабораторного исследования выявлено, что влияние распространения разлома выражен больше у испытания №4 (рис. 5) – трехслойный тип массива (сброс).

### Заклучение

Тектонический разлом в сейсмических района очень опасен для зданий и сооружений и строительства в целом. Такие тектонические движения несут нарушение грунтового основания, что повлечет за собой разрушение зданий и сооружений. К разломам и их влияния распространения необходимо отнестись с детальным изучением.

Изучение, анализирование и учет данного нарушенного массива земной кары в местах повышенной сейсмоактивности, позволит правильно подходить к строительству в метях разлома и даст прийти к пониманию поведения структуры грунта при тектоническом разломе. Анализ повреждений конструкций, вызванных тектоническими разломами, являются важной задачей современной науки, так как позволяет критически подойти к проектированию новых сооружений.

Были проведены комплексные лабораторные испытания по моделированию влияния разломов на характер развития зоны повреждения грунтов при формировании стены разломов и распространения в слоистых грунтовых массивах. Во время испытания выявлены взаимодействие видов грунта при тектоническом движении.

Испытание показало, что разлом может послужить причиной разрушения сооружения, так как изменение поверхности грунта сказывается на равномерном напряжении фундамента на основание и может рассредоточить напряжения у основания. Даже небольшие смещения по разломам могут вызвать появление растягивающих напряжений, являющиеся неким источником трещин, сколов и разрушения конструкций.

### Литература:

1. *Тектоника плит*, «А. Кокс, Р. Харт». Перевод с англ. яз. А. А. Калачникова, В. Л. Панькова, под редакцией А. Ф. Грачева. М.: «Мир», 1989.
2. *Кочарян Г.Г. Геомеханика разломов*. М.: ГЕОС, 2016.
3. *Fundamentals of Earthquake Engineering. From source to Fragility*. Amr S, Elnashai \* Luigi Di Saeno. This edition first published 2008. © 2015, John Wiley & Sons, Ltd.
4. *Faulting in Brittle Rocks. An Introduction to the Mechanics of Tectonic Faults/ Professor dr. Georg Mandl*. 2000.

5. СП РК 2.03-31-2020 «Застройка территории города Алматы с учетом сейсмического микроразделения».
6. СП РК 2.03-30-2017\* «Строительство в сейсмических зонах».

#### References:

1. Tektonika plit [Plate tectonics] (1989) «A. Koks, R. Hart». Perevod s angl. yaz. A. A. Kalachnikova, V. L. Pankova, pod redaksiyey A. F. Gracheva. - Moskva «Mir». (in Russ.)
2. Kocharyan G.G. (2016) Geomehanika razlomov [Geomechanics of faults] - Moskva GEOS. (in Russ.)
3. Fundamentals of Earthquake Engineering. From source to Fragility. Amr S, Elnashai \* Luigi Di Saeno. This edition first published 2008. © 2015, John Wiley & Sons, Ltd. (in Eng..)
4. Georg Mandl (2000) Faulting in Brittle Rocks. An Introduction to the Mechanics of Tectonic Faults. (in Eng.)
5. SP RK 2.03-31-2020 «Zastroyka territorii goroda Almatyi s uchetom seysmicheskogo mikrozonirovaniya» [SP RK 2.03-31-2020 "Development of the territory of the city of Almaty taking into account seismic microzoning"]. (in Russ.)
6. SP RK 2.03-30-2017\* «Stroitelstvo v seysmicheskikh zonah» [SP RK 2.03-30-2017\* "Construction in seismic zones"] (in Russ.)

#### А.М. Погоров\*

\*Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан

#### Автор туралы ақпарат:

Погоров Алихан Магомедович – магистрант, Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан  
<https://orcid.org/0000-0001-9313-6190>, email: p.ali.01@mail.ru

### ТЕКТНИКАЛЫҚ ЖЫЛЫҚТАРДЫҢ ТАРАЛУЫНА ҚАТТАР ЖӘНЕ БЕТ ТОПЫРАҚ ТҮРІНІҢ ӘСЕРІ

**Аңдатпа.** Мақалада әртүрлі типтегі топырақтардағы тектоникалық жарылысты модельдеу бойынша зертханалық зерттеулер және олардың жер бетіне жақын қабаттарда таралуын талдау қарастырылған. Эксперименттік зерттеулер мүмкін болатын қабаттасудың нақты шарттарына барынша жақын. Мұндай зерттеулер сейсмикалық тербеліс кезінде тектоникалық бұзылулардың мінез-құлқы туралы білім мен ережелерді кеңейтеді.

**Түйін сөздер:** геодинамика, топырақ массивінің қабаттасуы, тектоникалық бұзылыс, жыртылу, таралу әсері.

#### А.М. Pogorov\*

\*International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan

#### Information about the author:

Pogorov Alikhan Magomedovich – master's student, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan  
<https://orcid.org/0000-0001-9313-6190>, email: p.ali.01@mail.ru

### INFLUENCE OF LAYERING AND TYPE OF SURFACE SOIL ON THE SPREAD OF A TECTONIC FAULT

**Abstract.** The paper deals with laboratory research on modeling of tectonic faulting in different types of soils and analysis of their propagation in the near-surface layers. Experimental studies are as close as possible to the real conditions of possible layering of layers. Such studies will expand the knowledge and rules of the behavior of tectonic faults during seismic vibrations.

**Keywords:** geodynamics, ground mass layering, tectonic fault, rupture, spreading effect.