

## Каракульское землетрясение 16 октября 1963 г.

16 октября 1963 г. в 15 ч. 43 м. (время гринвичское) на Северном Памире в Горно-Бадахшанской автономной области ТаджССР к югу от оз. Кара-Куль произошло землетрясение, сила которого в плейстоценовой зоне превысила 7 баллов. Эпицентр землетрясения находился, по инструментальным данным, в 15—20 км к юго-западу от поселка Джинга-жир, расположенного около южной оконечности оз. Кара-Куль, который наиболее сильно пострадал в результате землетрясения.

Инструментально определенный эпицентр имел координаты  $\varphi = 38^{\circ} 8' 8''$  с. ш.;  $\lambda = 78^{\circ} 0'$  в. д., вычисленные с точностью  $\pm 20$  км. Интенсивность землетрясения составляет  $M = 6,5$ .

В результате землетрясения были повреждены отдельные строения в населенных пунктах, расположенных вдоль автомагистрали Ош—Хорог—Душанбе. Сотрясениями была охвачена вся Горно-Бадахшанская автономная область и частично другие районы Таджикистана и Киргизии. За главным ударом последовал ряд афтершоков довольно значительной силы.

Изучение последствий землетрясения проводилось летом 1964 г. При обследовании авторы разделились: О. П. Сапов в основном изучал эпицентральную зону Каракульского землетрясения (геоморфологические последствия) и описал повреждения в постройках, расположенных севернее оз. Кара-Куль. Н. Н. Леонов главное внимание обратил на сбор макросейсмических данных в населенных пунктах, расположенных южнее оз. Кара-Куль, а также посетил плейстоценовую зону. О. В. Соболевой были обработаны инструментальные данные и определен механизм очага Каракульского землетрясения.

### Геоморфологические последствия землетрясения

По инструментальным данным эпицентр Каракульского землетрясения располагался к юго-западу от оз. Кара-Куль в районе перевала Кожуйбель. Плейстоценовая зона охватывает верховья рек Кожуйбель и Баланд-Кшик. Для этого района характерен обычный ландшафт высокогорной пустыни Восточного Памира — широкие плоские днища ледниковых долин и сравнительно невысокие водоразделы, сложенные черными метаморфическими сланцами.

Вдоль южного берега оз. Кара-Куль проходит в субширотном направлении Южно-Каракульский красной разлом, разделяющий Дарваз-Сарыкольскую и Каракульскую подзоны Северного Памира [4]. Один из разломов, оперяющих основное нарушение, пересекает плейстоценовую зону с запада на восток (фиг. 1).

Изучение плейстоценовой зоны позволило О. П. Сапову обнаружить геоморфологические последствия описываемого землетрясения. Основные значительные нарушения в грунте обнаружены по правому борту долины р. Кожуйбель к западу от устья р. Куль-Айсык, ее правого притока, до перевала Кожуйбель и в меньшей степени в верховьях р. Баланд-Кшик. В торфяных почвах долины р. Кожуйбель (1, фиг. 1) были обнаружены сравнительно крупные трещины шириной до 3 см и протяженностью в не-

## Каракульское землетрясение 16 октября 1963 г.

16 октября 1963 г. в 15 ч. 43 м. (время гринвичское) на Северном Памире в Горно-Бадахшанской автономной области ТаджССР к югу от оз. Кара-Куль произошло землетрясение, сила которого в плейстоценовой зоне превышала 7 баллов. Эпицентр землетрясения находился, по инструментальным данным, в 15—20 км к юго-западу от поселка Джинга-жир, расположенного около южной оконечности оз. Кара-Куль, который наиболее сильно пострадал в результате землетрясения.

Инструментально определенный эпицентр имел, координаты  $\varphi = 38^{\circ} 8' \text{ с. ш.}$ ;  $\lambda = 73^{\circ} 0' \text{ в. д.}$ , вычисленные с точностью  $\pm 20 \text{ км}$ . Интенсивность землетрясения составляет  $M = 6,5$ .

В результате землетрясения были повреждены отдельные строения в населенных пунктах, расположенных вдоль автомагистрали Ош—Хорог—Душанбе. Сотрясениями была охвачена вся Горно-Бадахшанская автономная область и частично другие районы Таджикистана и Киргизии. За главным ударом последовал ряд афтершоков довольно значительной силы.

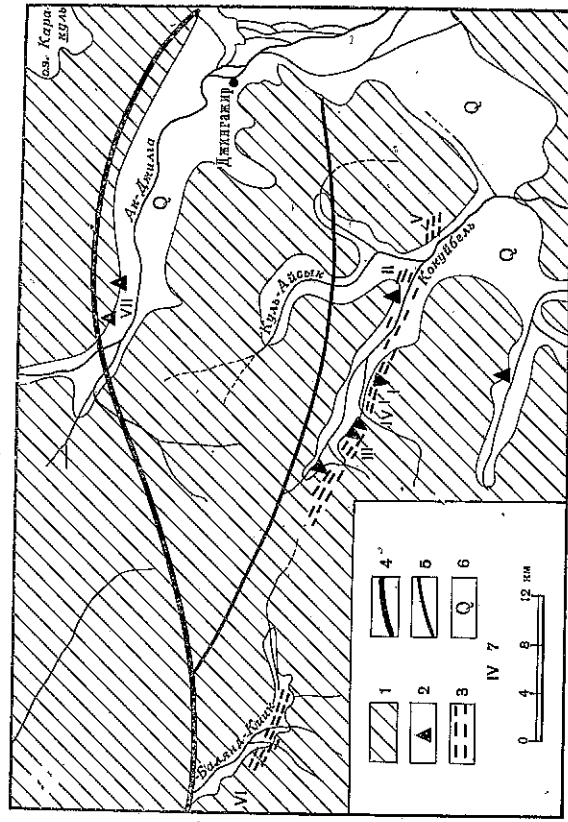
Изучение последствий землетрясения проводилось летом 1964 г. При обследовании авторы разделились: О. П. Сапов в основном изучал эпицентрально-зону Каракульского землетрясения (геоморфологические последствия) и описал повреждения в постройках, расположенных севернее оз. Кара-Куль. Н. Н. Леонов главное внимание обратил на сбор макросейсмических данных в населенных пунктах, расположенных южнее оз. Кара-Куль, а также посетил плейстоценовую зону. О. В. Соболева были обработаны инструментальные данные и определен механизм очага Каракульского землетрясения.

### Геоморфологические последствия землетрясения

По инструментальным данным эпицентр Каракульского землетрясения располагался к юго-западу от оз. Кара-Куль в районе перевала Кокуйбель. Плейстоценовая зона охватывает верховья рек Кокуйбель и Баланд-Клик. Для этого района характерен обычный ландшафт высокогорной пустыни Восточного Памира — широкие плоские днища ледниковых долин и сравнительно невысокие водоразделы, сложенные черными метаморфическими сланцами.

Вдоль южного берега оз. Кара-Куль проходит в субширотном направлении Южно-Каракульский краевой разлом, разделяющий Дарваз-Сарыкольскую и Каракульскую подзоны Северного Памира [1]. Один из разломов, оперяющихся основное нарушение, пересекает плейстоценовую зону с запада на восток (фиг. 1).

Изучение плейстоценовой зоны позволило О. П. Сапову обнаружить геоморфологические последствия описываемого землетрясения. Основные значительные нарушения в грунте обнаружены по правому борту долины р. Кокуйбель к западу от устья р. Куль-Айсык, ее правого притока, до перевала Кокуйбель и в меньшей степени в верховьях р. Баланд-Клик. В торфяных почвах долины р. Кокуйбеля (I, фиг. 1) были обнаружены сравнительно крупные трещины шириной до 3 см и протяженностью в не-



Фиг. 1. Схема распространения геоморфологических последствий в эпицентральной зоне Каракульского землетрясения

1 — выходы сланцев пород; 2 — обвалы; 3 — трещины в грунте; 4 — Южно-Каракульский глубинный разлом; 5 — Джингажирский разлом; 6 — выходы четвертичных отложений; 7 — номера нарушений в грунте

сколько метров. В плане они имеют вид ломаной линии. Система подобных трещин прослеживается вниз по течению до устья Куль-Айсык (левый приток р. Кокуйбель), где они имеют вид многоугольной мозаики. Наиболее многочисленны они у устья правого притока р. Кокуйбель, где и достигают ширины 5 см (II). Здесь же образовался провал между двумя трещинами, глубиной 30—40 см при ширине 40—50 см и длиной около 4 м. По направлению к левому борту трещины сливаются в одну, и отчетливо видно, как эта трещина из торфяников переходит в коренные сланцы, где она фиксируется зоной дробления и притертости. Рядом на расстоянии 1,5—2 м расположена еще одна такая же трещина. Обычный разрез отложений, в котором образовались трещины после землетрясения, представляет собой мощную толщу галечников, перекрытых пластом торфа, мощностью 0,5—0,7 м, с тонким (5—10 см) почвенным и глинистым верхним слоем. Уровень грунтовых вод колеблется в пределах 0,5—0,8 м.

Очень часто блоки торфяников вдоль берега реки образуют «отвалы» до 2 м ширины, при этом наблюдаются трещины шириной до 15—20 см (III). Кроме того, вдоль берега реки в угловатых галечниках с плоской сланцевой галькой, напоминающей хорошо уложенную мостовую, фиксируются слегка замкнутые и заглаженные трещины.

Система трещин в грунте, как уже упоминалось выше, протягивается узкой полосой в субширотном направлении. В западной части, как и на востоке зоны трещиноватости, трещины уменьшаются и становятся еле заметными (IV).

Землетрясение 16 октября 1963 г. сопровождалось, по рассказам очевидцев, обильными камнепадами. Обвалы отмечались в основном по правому борту долины р. Кокуйбель. Самый восточный обвал, размером  $3 \times 5 \text{ м}$ , образовался близ устья р. Куль-Айсык, в приводообразельной части склона и отчетливо выделяется свежим сколом на фоне покрытого пустынным загаром склона (IV). Аналогичный обвал расположен на правом борту долины р. Кокуйбель в 1,5 км ниже устья второго правого притока. К этому

же участку приурочены значительные гравитационные насыпи и россыши отдельных обломков. Выше устья этого притока по правому борту долины р. Кокуйбель расположены еще два самых больших гравитационных конуса-выноса, сформировавшихся, по-видимому, в несколько этапов, — большая часть обломков сейчас погружена в почву, но значительное количество их подминает прошлогоднюю увядшую траву, что является прямым свидетельством тенетической связи их с Каракульским землетрясением. Подобные образования фиксируются в верховье р. Баланд-Кикик (VI).

Изучение долин рек Кызыл-Белес, Алак и Куль-Айсык, расположенных севернее и южнее долины р. Кокуйбель, показало полное отсутствие здесь трещин в почвах при аналогичном строении этих долин. Отмечены лишь небольшие обломки, лежащие сверху травяного покрова в долине р. Кызыл-Белес, на участке, ближайшем к долине р. Кокуйбель. Обращает на себя внимание факт отсутствия трещин даже на холмах, где развито мерзлотное всучивание, в верховьях долины р. Куль-Айсык.

Камнепады, связанные с описываемым землетрясением, появляются севернее в долине р. Ак-Джылга (VII), где они приурочены к более крутому левому борту трога, но трещины в грунте поймы здесь отсутствуют.

Таким образом, изучение геоморфологических признаков землетрясений показало их локальное распространение в виде узкой полосы субширокого направления, пересекающей долину и совпадающей с зоной дробления коренных сланцев. Аналогичные нарушения были обнаружены в долине р. Баланд-Кикик, на участке, где зона дробления пересекает пойму реки. К этому же месту приурочены обильные камнепады с левого борта долины и отвалы по берегу реки.

Таким образом, территориальная приуроченность проявления геоморфологических последствий землетрясения обнаруживает тесную связь образовавшихся в грунте нарушений с зоной разлома.

#### Распространение землетрясения

Изучение пострадавших от землетрясения населенных пунктов и отдельных построек позволило составить схему изосейст Каракульского землетрясения. Прежде чем перейти к описанию поврежденных построек, необходимо указать, что почти все населенные пункты на Памире и отдельные постройки расположены вдоль Памирского тракта и по долинам р. Пяндж и ее крупных правых притоков: Ванч, Барганг, Гунт. В связи с таким неравномерным размещением поврежденных построек проведение изосейст связано с большими трудностями и, следовательно, их достоверность не очень высокая.

Наиболее сильно пострадали постройки в пос. Джингажар. Здесь полностью разрушены два глинобитных здания: в большинстве других строений из сырцового кирпича образовались трещины в 1—2 см шириной в северо-западных стенах; выпали отдельные углы или образовались значительные трещины. Печные трубы и печи покрылись лишь трещинами. Постройки, расположенные ближе к склону, пострадали меньше, чем около поймы. Сила землетрясения должна оцениваться несколько больше 7 баллов, но меньше 8, так как при 8 баллах повреждения происходят в больших размерах, в частности, разрушаются печи и трубы. В населенных пунктах Уй-Булак, Музкол, в доме дормастера у перевала Ак-Байтал образовались в стенах сквозные трещины, обвалились куски штукатурки, были повреждены печи. Сила сотрясения несколько превышала 6 баллов. В этой же зоне слышался сильный гул, напоминающий рокот тяжелоотгруженной машины, идущей на подъеме. Отдельные постройки в этой зоне пострадали в меньшей степени.

Менее сильно пострадали селения следующей зоны, занимающей максимальную площадь. В ней расположено большое количество населенных



пунктов, где наблюдались легкие повреждения в отдельных строениях. Появились волосные трещины в углах, у проемов дверей и окон. В более крепких зданиях скрипели полы, звенели стекла, открывались двери; иногда падала посуда, раскачивались всякие предметы. Все жители в испуге выбегали на улицу.

В этой зоне выделяется район г. Мургаба, где сила сотрясения достигала 6 баллов. В Мургабе из 700 хозяйств было повреждено 42. Из них одна ветхая постройка, расположенная на пойме, обвалилась. В других строениях (даже в домах европейского типа из обожженного кирпича и под железной крышей) образовались сквозные трещины. Так, например, в пекарне в северо-западной стене возникла крупная сквозная трещина шириной до 1,5 см, проходящая сверху вниз через всю стену, и часть ее за печкой обрушилась. В других зданиях повреждения были несомненно меньше. Такие серьезные разрушения нельзя объяснить местными инженерно-геологическими условиями, так как пекарня расположена в таких же благоприятных условиях на II галечниковой террасе р. Мургаб, как и другие постройки в этой зоне. Г. Мургаб находится примерно в 125—130 км к юго-востоку от эпицентра.

В Хороге сила землетрясения, по данным зав. сейсмической станции Л. А. Арефьевой, не превышала 4 балла. Такая же сила сотрясения отмечалась в Ишкашиме, Харуше и других пунктах вдоль южной границы с Афганистаном. На севере в Алайской долине — в Сары-Таше — сила не превышала 4 баллов. Гарм является последним пунктом на западе, откуда имеются сведения, где на сейсмостанции землетрясение ощущалось не всеми. В Душанбе, Кулябе землетрясение не ощущалось. Изосейсты землетрясения вытянуты в широтном направлении (фиг. 2) вдоль геологических структур. Особо резко затухание распространения сейсмической энергии отмечается на восточном берегу оз. Кара-Куль. Однако возможно, что это только кажущееся сближение, так как к востоку от оз. Кара-Куль нет населенных пунктов, а уменьшение силы сотрясения в пос. Кара-Куль может быть местным. Резкое уменьшение силы сотрясения на 2—3 балла в отдельных пунктах известно даже в плейстоценовой зоне разрупительных землетрясений [2, 3].

Резкое затухание распространения сейсмической энергии отмечается к северу от оз. Кара-Куль. Здесь ширина пятибалльной зоны сокращается в 4 раза и четырехбалльной — в 3 раза. В то же время площадь пестибалльной зоны к северу и к югу от плейстоценовой зоны примерно одинакова.

#### О геологических условиях возникновения Каракульского землетрясения

Землетрясение произошло в тектонической зоне Северного Памира. Эпицентр его расположен на востоке северного крыла Баянд-Кинкского антиклинория, входящего в эту зону. Северной границей антиклинория является Южно-Каракульский краевой разлом второго порядка [4] (фиг. 3). С юга Баянд-Кинкский антиклинорий по широтному разлому, проходящему на востоке через оз. Кара-Куль и на западе уходящему в бассейн р. Оби-Хингоу, надринут на Дарвазский синклинорий.

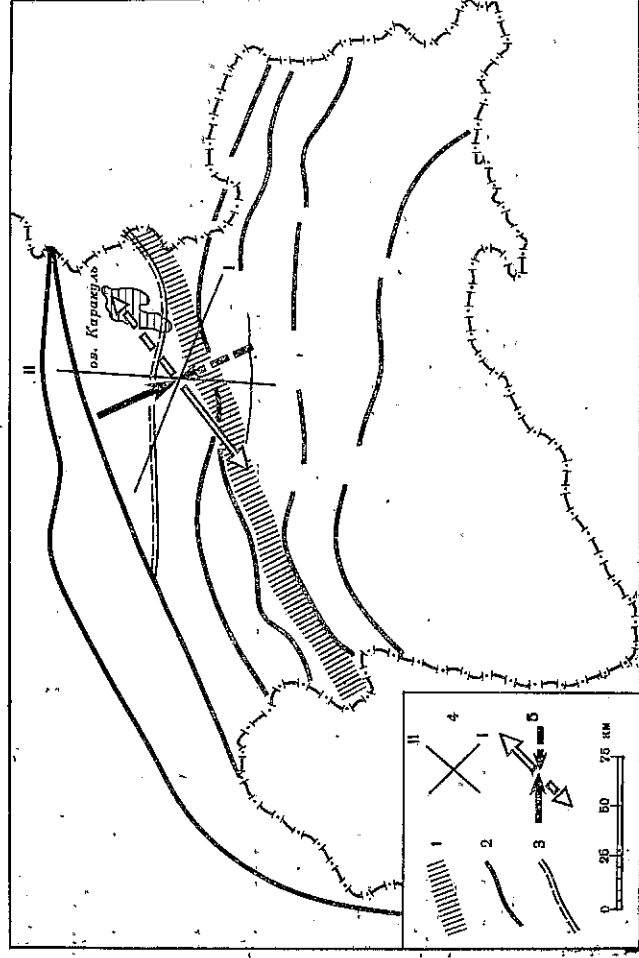
Через оз. Кара-Куль проходит молодое Зулумартское сводовое поперечное поднятие. Это поднятие проходит от пика Ленина на севере до Саревского озера на юге и фиксируется деформациями речных террас.

Для выявления геологических условий возникновения Каракульского землетрясения необходимо выявить глубину очага и его механизм. Большой интерес также представляет рассмотрение строения земной коры.

йках.  
В бо-  
верн;  
в ис-  
ости-  
. Из  
ругих  
аца и  
имер,  
щина  
ль ее  
олько  
нже-  
таких  
как  
125—

андив  
отме-  
ницы  
ла не  
е, от-  
злось  
ейсты  
еоло-  
миче-  
днако  
от оз.  
сени  
отря-  
госей-  
аеся  
щает-  
щадь  
имер-

мира.  
ского  
норди  
а [1]  
лому,  
щему  
попе-  
вере  
чных  
ьского  
Больш  
лы.



Фиг. 3. Схема тектоники Каракульской тектонической зоны и механизм очага землетрясения

1 — зона резкого изменения мощности земной коры; 2 — краевые разломы первого порядка; 3 — краевые разломы второго порядка; 4 — направление плоскостей разрыва в очаге; 5 — направление осей главных напряжений в очаге

Глубина очага была определена как по формулам, так и по палеткам для соотношения балла,  $M$  и глубины очага [7] и находится в интервале 30—40 км. Был определен также вероятный механизм очага.

### Механизм очага Каракульского землетрясения

При определении механизма очагов землетрясений, т. е. направлений осей главных напряжений и разрывов в очагах, сопоставляют распределение знаков первых вступлений продольных и поперечных волн от реального очага и теоретического источника возмущений. В настоящей работе теоретической моделью очага считается ограниченная площадь разрыва, грани которой мгновенно смещены друг относительно друга в плоскости скольжения. Поля смещений в волнах  $P$  и  $S$  для такой модели рассчитаны А. В. Введенской [6]. Существующая методика позволяет определить два возможных положения поверхности разрыва в очаге и дать направление осей главных напряжений.

При исследовании механизма очага Каракульского землетрясения использовались сейсмограммы станций Советского Союза и бюллетени некоторых зарубежных станций. Интерпретация проводилась по знакам первых вступлений продольной волны, так как на большинстве сейсмограмм вступление поперечной волны не удалось определить достаточно уверенно. Положение nodальных плоскостей определено достаточно надежно (ошибка в азимуте простирания равна  $\pm 3^\circ$ ). Одна из предполагаемых плоскостей разрыва (1, фиг. 3) имеет азимут простирания  $140^\circ$ , т. е. ориентирована в направлении, близком к широтному, и довольно круто

погружается к северо-северо-востоку (угол падения равен  $70^\circ$ ). Движение северного крыла в этой плоскости происходит вниз и к востоку.

Вторая предполагаемая плоскость разрыва простирается с юга на север и погружается к западу под углом  $50^\circ$ . В этой плоскости преобладает сдвиговая компонента, западное крыло смещается к югу и вниз.

Использование знаков смещений не дает возможности определить, по которой из двух удаленных плоскостей происходит движение в очаге, но, зная геологические условия возникновения землетрясения, можно выбрать наиболее вероятную из них. Каракульское землетрясение произошло в зоне глубоких разломов, имеющих субширотное простирание (фиг. 3), поэтому более разумно предположить, что подвижка в очаге произошла по плоскости, параллельной разломам (фиг. 3, 1).

На фиг. 3 представлено также направление осей главных напряжений, действующих в очаге, и простирание геологических разрывов в районе Каракульского землетрясения. Черной стрелкой показана ось максимального сжатия, светлой — ось минимального сжатия (растяжения). Штриховая часть стрелки означает, что ось уходит под горизонт. Азимут стрелки соответствует азимуту оси, величина пропорциональна синусу угла, образованного осью с направлением на зенит. Ось максимального сжатия имеет угол наклона к горизонту  $45^\circ$  и ориентирована в направлении с северо-запада на юго-восток (азимут  $155^\circ$ ). Ось растяжения направлена с северо-востока на юго-запад и почти горизонтальна (угол наклона  $5^\circ$ ). Из фиг. 3 видно, что ось растяжения ориентирована вдоль геологических структур, а ось сжатия примерно перпендикулярна направлению наиболее крупных геологических разломов. Направление максимального сжатия соответствует зоне крутого поперечного поднытия, проходящей через весь Памир с севера на юг.

Каракульское землетрясение связано, по-видимому, с подвижками по глубокой зоне разломов. О глубинности этой зоны можно судить по данным изучения строения земной коры юго-востока Средней Азии, в том числе и Северного Памира. Изучение строения коры в этом районе, проведенное В. И. Уломовым<sup>1</sup>, показало, что в районе оз. Кара-Куль происходит резкое изменение мощности земной коры. Севернее этой линии глубина поверхности Мохоровичича постепенно нарастает с севера на юг и достигает  $75$  км в районе оз. Кара-Куль. Несколько южнее мощность коры резко уменьшается до  $45$  км. Это происходит в зоне глубокого заложения, где наблюдается резкий уступ, к которому приурочена узкая, круто падающая на север полоса мубокофокусных (до  $160-200$  км) землетрясений, расположенная несколько западнее оз. Кара-Куль.

Широкое распространение согрязений на юг от оз. Кара-Куль связано с приподнятым базальтовым слоем, который служит своеобразным водоном. Резкое погружение этого водонода к северу от оз. Кара-Куль и наличие мощной глубокой зоны разрывов обуславливают резкое затухание силы согрязения к северу.

Таким образом, Каракульское землетрясение возникло в зоне глубоких разломов, на пересечении этой зоны с молодыми растущим поперечным поднятием. Резкое затухание распространения сейсмической энергии на севере объясняется экраняющим действием Кара-Кульской глубокой зоны и резким погружением подошвы коры, а восточнее — наличием крупной зоны глубоких разрывов, проходящей вдоль западного Куль-Куля в субмеридиональном направлении, которую предполагает ряд исследователей [4, 5].

Авторы благодарны В. И. Буне за внимание к работе.

<sup>1</sup> В. И. Уломов. Изучение глубокого строения земной коры Юго-Востока Средней Азии по данным сейсмологии (диссертация). Ташкент, 1964.

## Литература

1. Б. П. Бархатов. Тектоника Памира. Изд-во ЛГУ, 1963.
2. Н. Н. Леонов. Хапское землетрясение 1949 г. и геологические условия его возникновения. — Изв. АН СССР, серия геофиз., 1960, № 3.
3. Гоби-Алтайское землетрясение. М., 1963.
4. Н. А. Беляевский. История тектонического развития центральной части Азиатской ветви Тетиса и сопредельных территорий. — Труды совещания по тектонике альпийской геосинклинальной области юга СССР. Баку, АН АзербССР, 1956.
5. В. С. Буртман, А. В. Пейве, С. В. Руженцев. Главные сдвиги Тянь-Шаня и Памира. — В кн. «Разломы и горизонтальные движения земной коры». Труды Геол. ин-та, 1963, вып. 80.
6. А. В. Введенская. Об определении напряжений, действующих в очагах землетрясений, по наблюдениям сейсмических станций. — Изв. АН СССР, серия геофиз., 1960, № 4.
7. Землетрясения в СССР. Изд-во АН СССР, 1961.