

УДК 550.34

Абдрахматов К.Е., Омуралиева А.,  
Омуралиев М., Калысова Ж.  
Институт сейсмологии НАН КР,  
г.Бишкек, Кыргызстан

## ДИНАМИЧЕСКАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ, СЕКТОРИЗАЦИЯ И СЕЙСМИЧНОСТЬ АКТИВНЫХ СТРУКТУР КЫРГЫЗСКОГО ПОДНЯТИЯ НА СОЧЛЕНЕНИИ ТЯНЬ-ШАНЯ И КАЗАХСКОГО ЩИТА

**Аннотация:** Приведены статические и динамические (в течение первых десяти лет) сегменты, динамические секторы активных структур Кыргызского поднятия, сформированного на отрезке зоны сочленения Тянь-Шаня и Казахского щита. Показаны результаты определения цикличности сейсмической активизации, выделения области концентрации землетрясения, векторов сейсмической активизации, оценки районов ожидаемых землетрясений в аномальных и межаномальных областях поля плотности сейсмогенных разрывов, закона Гутенберга-Рихтера, среднего времени повторения землетрясений, статистической закономерности высвобождения сейсмической энергии, цикличности периодов проявления определенных групп механизмов очагов землетрясений. Отмечены возможности оценки вероятной сейсмической опасности.

**Ключевые слова:** Поднятие, активная структура, сегментация, секторизация, динамика сейсмичности, цикличность сейсмической активизации, вектор активизации

## ТЯНЬ-ШАНДЫН ЖАНА КАЗАК ЩИТИНИН КОШУЛГАН ЖЕРИНДЕГИ КЫРГЫЗ ТООСУНУН АКТИВДҮҮ СТРУКТУРАЛАРЫН КӨТӨРҮҮНҮН ДИНАМИКАЛЫК СЕГМЕНТТЕШТИРИЛИШИ, СЕКТОРЛОШТУРУЛУШУ ЖАНА СЕЙСМИКАЛУУЛУГУ

**Кыскача мазмуну:** Тянь-Шань жана Казак щитинин ажыроо зонасындагы кесилиште калыптанган Кыргыз бийиктигинин активдүү структурасынын статикалык жана динамикалык сегменттери (алгачкы он жыл ичиндеги), динамикалык секторлору келтирилген. Сейсмикалык активдүүлүктүн циклдерин аныктоонун, жер титирөөлөрдүн топтошуу тармактарын, сейсмикалык активдүүлүктүн векторлорун бөлүүнүн жыйынтыктары, сейсмогендүү ажыроолордун жыштык талаасынын аномалдуу жана аномаль аралык областтарындагы күтүлгөн жер титирөөлөрдүн райондоруна баа берүүлөр, Гутенберг-Рихтер мыйзамы, жер титирөөлөрдүн кайталануусунун орточо убактысы, сейсмикалык энергиянын бошонуусунун статистикалык мыйзам ченемдери, жер титирөө очокторунун механизмдеринин белгилүү топторунун көрүнүү мезгилдеринин циклдүүлүгү көрсөтүлгөн. Мүмкүн болгон сейсмикалык кооптуулукка баа берүү мүмкүндүгү белгиленген.

**Негизги сөздөр:** тоо аймагы, активдүү структура, сегменттерге бөлүнүшү, секторлорго бөлүнүшү, жер титирөөлөрдүн динамикасы, сейсмикалык активдештирүүнүн циклдери, активдештирүүнүн вектору.

## DYNAMIC SEGMENTATION, SECTORING AND SEISMICITY OF ACTIVE STRUCTURES IN THE KYRGYZ RANGE AT THE JUNCTION OF THE TIEN SHAN AND THE KAZAKH SHIELD

**Abstract:** Static and dynamic (during the first ten years) segments, dynamic sectors of active structures of the Kyrgyz Range formed at the junction section between the Tien Shan and the Kazakh Shield are presented. The results of determination of cyclicity of seismic activation, areas of earthquake concentration, vectors of seismic activation, assessment of areas of expected

earthquakes in anomalous and inter- anomalous areas of seismogenic ruptures density field, the Gutenberg-Richter law, the average time of earthquake recurrences, the statistical regularities of the seismic energy release, cyclical periods of certain groups of earthquake focal mechanisms appearance are shown. The possibilities of seismic hazard assessment are indicated.

**Keywords:** Range, active structure, segmentation, sectorization, dynamics of seismicity, cyclicity of seismic activation, vector of seismic activation.

### Введение

Рассматриваемый регион является густонаселённым с развитыми социально-экономическими базами. Имеются крупные города, как Бишкек и Алматы. Определение оценки сейсмической опасности этого региона является важной и актуальной задачей.

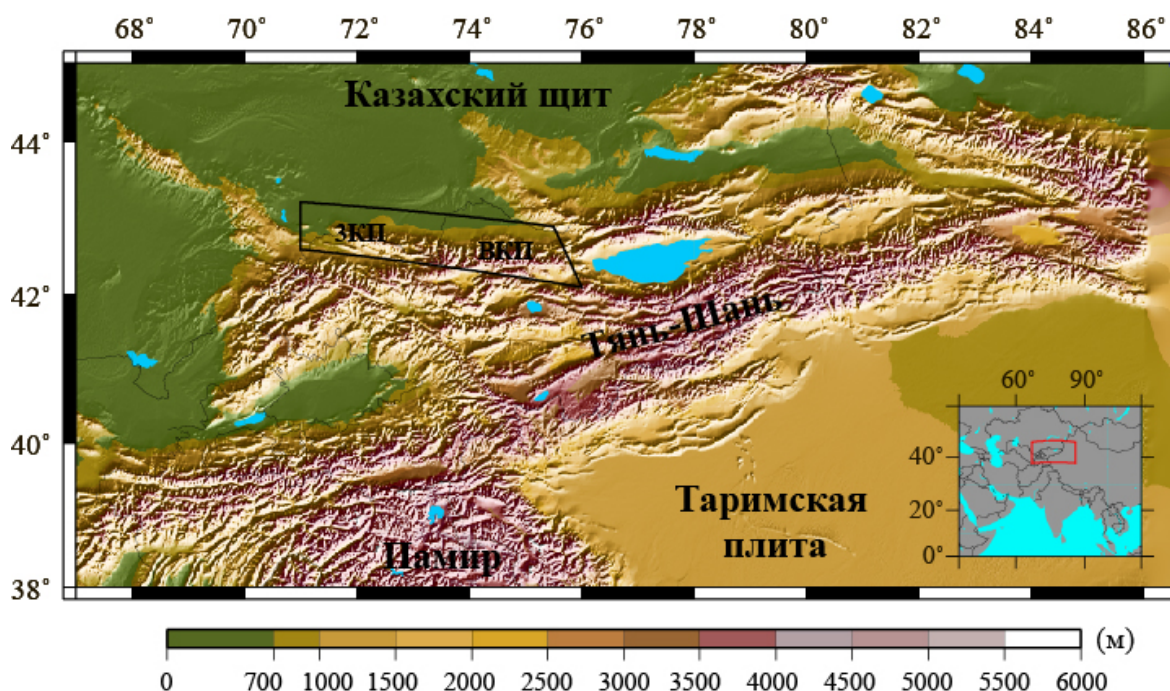
На сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита сформировались новейшие и современные активные структуры Кыргызского, Заилийского и Кунгейского поднятий, а также Чуйской, Илийской, Иссык-Кульской впадин. Литосфера Казахского щита поддвигается в южном направлении, а литосфера Тянь-Шаня надвигается в северном направлении [1, 2]. Данные поднятия образовались на всяких крыльях активных разломов и состоят из локальных антиклинальных структур протяжённостью 30-60 км. Это означает, что разломы разделяются на сегменты различного порядка (отрезки разного масштаба) как по простиранию, так и по падению на глубинах. В зонах активных разломов проявились исторические сильные и катастрофические землетрясения [3], такие как Меркенское (1865,  $M_{LN}=6,4$ ), Беловодское (1885,  $M_{LN}=6,9$ ), Верненское (1887,  $M_{LN}=7,3$ ), Чиликское (1889,  $M_{LN}=8,3$ ), Кеминское (1911,  $M_{LN}=8,2$ ), Кемино-Чуйское (1938,  $M_{LN}=6,9$ ), Жаланаш-Тюпское (1978,  $M_{LN}=6,6$ ), Байсорунское (1990,  $M_{LN}=6,0$ ). Широко развиты сейсморазрывы и сейсмооползны сильных палеоземлетрясений.

### Активные структуры Кыргызского поднятия и статические неотектонические сегменты

Кыргызское устойчивое поднятие (рисунок 1) на меридиане около  $73.5^\circ$  (между долинами рек Аспар и Жарды-Каинды) разделяется на два поднятия относительно меньшего масштаба: Западное Кыргызское и Восточное Кыргызское, которые представляются, в определённой мере, статическими сегментами следующего уровня [4].

Западное Кыргызское поднятие (ЗКП) представляет собой южно-вергентную асимметричную антиклинальную структуру. Высота поднятия достигает 4000 м. Южное крыло его оборвано зоной Предкыргызского разлома взбросового типа северного падения. Именно данный разлом обусловил формирование Западного Кыргызского поднятия. Северное крыло этого поднятия осложнено Каракыштакским разломом протяжённостью около 45 км, также взбросового типа северного падения. На северном всячем крыле Каракыштакского разлома образовалась одноимённая южно-вергентная асимметричная антиклинальная структура. Западное Кыргызское поднятие и Чуйская впадина (примыкающая с севера), вероятно, ограничены Южно-Чуйской (назовём для определённости) флексурно-разрывной зоной. Предкыргызский разлом по мере своего развития ответвлялся. Ветви разлома распространялись в южном направлении в сторону Таласской впадины. На всяких крыльях этих ветвей образовались инверсионные поднятия:

Ортоого, Кунгей, Каражылга (северное крыло Таласской впадины вовлекается в поднятие), которые имели протяжённость около 30 км, 15 км, 25 км, соответственно.



**Рисунок 1.** Схема расположения района изучения (черная рамка) – Кыргызское поднятие на сочленении Казахского щита и Тянь-Шаня. ЗКП – Западное Кыргызское поднятие, ВКП – Восточное Кыргызское поднятие. Вкладка в нижнем правом углу показывает географическое положение Тянь-Шаня, который оконтурен красной рамкой.

Восточное Кыргызское поднятие (ВКП) представляет собой северо-вергентную асимметричную антиклинальную структуру. Высота поднятия достигает 4900 м. Северное крутое крыло складки оборвано зоной Чункурчакского разлома взбросового типа южным азимутом падения. На северном крыле разлома поэтапно образовались ветви - Шамси-Тюндюкский и Иссык-Атинский разломы, вероятно, в позднем неогене и среднечетвертичное время, соответственно. Эти ветви Чункурчакского разлома распространялись в сторону Чуйской впадины в северном направлении. На висячих южных крыльях Шамси-Тюндюкского и Иссык-Атинского разломов сформировались высокие и низкие зоны предгорий – инверсионные поднятия южного крыла Чуйской впадины. Ширина предгорных зон составляет около 10 км. Шамси-Тюндюкский разлом по простиранию сочленяется с Чункурчакским разломом в пределах долины р.Иссык-Ата- на востоке, и западнее долины р.Аларча - на западе, а Иссык-Атинский разлом сочленяется с Чункурчакским разломом в пределах долины р.Аксу - на западе.

Восточнее долины р. Шамси Восточное Кыргызское поднятие периклинальной частью Кунгейского поднятия разделяется на две ветви: Северо-восточную и Юго-восточную. Северо-восточная ветвь поднятия состоит из локальных южно-вергентных антиклинальных структур, типа Окторкойская, Чолокская и т.д. Протяжённость их изменяется от 10 км до 30 км. Они образовались на висячих северных крыльях разломов взбросового типа. Юго-восточная ветвь поднятия образовалась на висячем юго-западном крыле Иссык-Атинского (точнее Чункурчакского) разлома, простирается до южного крыла западной центроклинальной части Иссык-Кульской впадины и постепенно погружается.

Здесь на северном крыле Чункурчакского разлома сформировалась Кызыл-Омпольская северо-вергентная асимметричная антиклинальная структура. Активный разлом, который обрывает северное крутое крыло Кызыл-Омпольской структуры, очевидно, является ответвлением Чункурчакского разлома, распространённое в сторону Иссык-Кульской впадины.

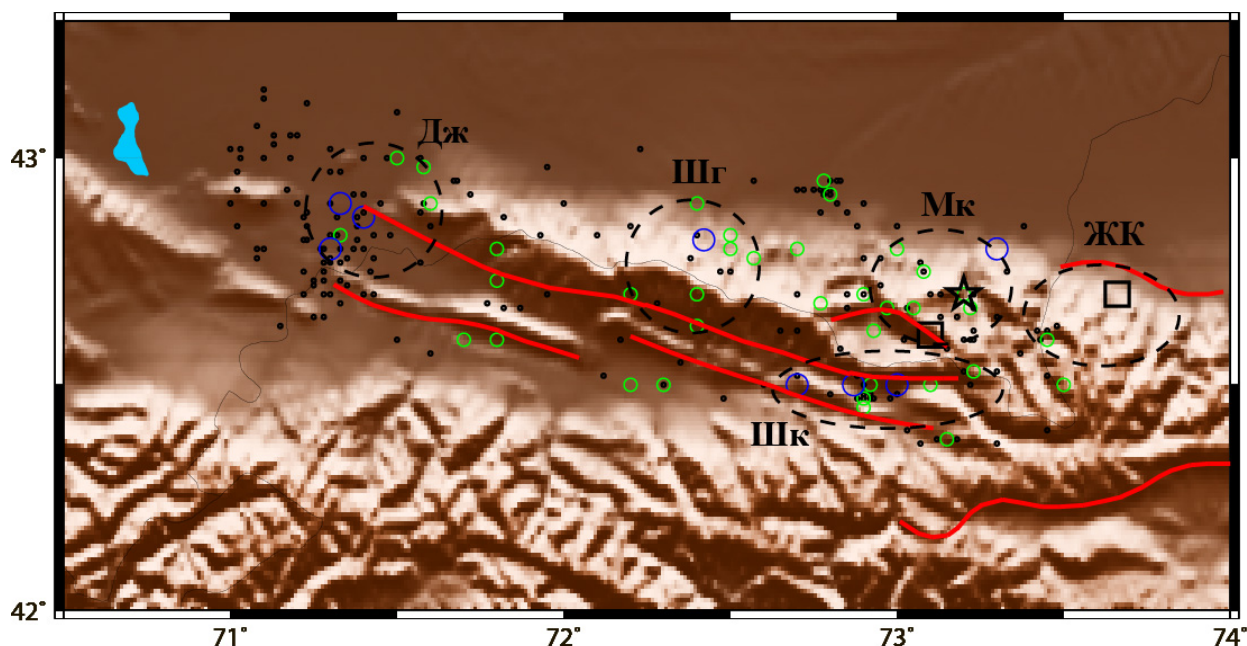
Следует отметить, что долины рек в пределах устойчивого поднятия развивались закономерно по ходу формирования его антиклинальных структур. В долинах рек происходит вынос материалов. В водоразделах и долинах рек современные поля напряжений, тепломассоперенос и др. различны. Соответственно, эти геодинамические процессы могут играть определённую роль в динамической (в течение первых десяти лет) сегментации активных структур. Например, в пределах Восточного Кыргызского поднятия имеются глубокие долины рек, такие как (с запада на восток) Мерке, Жарды-Каинды, Карабалта, Аксу, Сокулук, Аларча, Аламедин, Иссык-Ата, Кегети, Шамшы (ранее Шамси) и другие, секущие в меридиональном направлении. Глубина вреза достигает около 1500-2000 м. Расстояние между долинами колеблется от 10 км до 22 км.

**Сейсмичность и динамическая сегментация зоны активного разлома** исследуются на основе анализа распределения землетрясений разного энергетического класса в пространстве и во времени [5, 6], на основе слежения изменения поля плотности сейсмогенных разрывов – параметра  $K_{ср}$  во времени [5, 7] и на основе распределения механизмов очагов землетрясений в пространстве и во времени [8].

В пределах активных разломов Западного Кыргызского поднятия проявились значительные землетрясения: Меркенское в 1865 г. с магнитудой  $M_{ЛН}=6,4$  в Южно-Чуйской флексурно-разрывной зоне; Джамбульские в 1908 г., 1971 г. и 1984 г. с магнитудами  $M_{ЛН}=6,4, 5,7, 4,8$  соответственно на западном конце Предкыргызского разлома. Имеются следы сильных палеоземлетрясений: сейсмооползень на восточном конце Каракыштакского разлома и сейсморазрыв Жарды-Каиндинский на западном конце Чункурчакского разлома

Нами рассмотрено распределение эпицентров землетрясений с  $K \geq 8$  (по данным Института сейсмологии НАН КР) в интервале времени 1950-2013 гг.; с  $K \geq 11$  в интервале времени 1932-1949 гг.; с  $K \geq 14$  в интервале времени 1885-1931 гг., в полосах ширинами  $\pm 5$  км,  $\pm 10$  км,  $\pm 15$  км,  $\pm 20$  км,  $\pm 25$  км,  $\pm 30$  км вдоль активных структур Западного Кыргызского поднятия. В качестве примера на рисунке 2 приведено распределение эпицентров землетрясений с  $K \geq 8$  в полосе шириной  $\pm 30$  км. При этом выделяются области концентрации землетрясений (ОКЗ), зоны разломов (активные сегменты) с относительно частыми проявлениями событий с  $K \geq 10$ : Джамбульская (Дж), Шунгурская (Шг), Шумкарская (Шк), Меркенская (Мк), Жарды-Каиндинская (ЖК). ОКЗ разделены областями с рассеянными эпицентрами – доменами землетрясений с  $K=8-9$ .

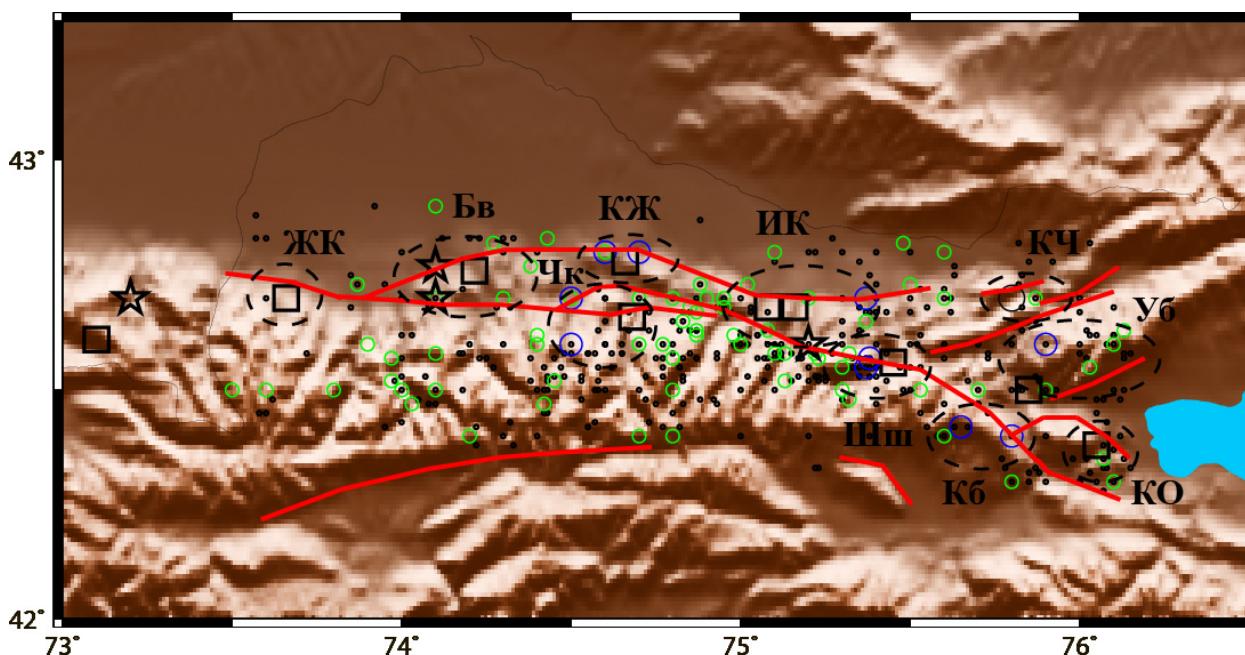
В пределах активных разломов Восточного Кыргызского поднятия проявились сильные землетрясения (рисунок 3): Баласагынское в 1475 г. с  $M_{ЛН}=6,5$ , Беловодские в 1770 г. и 1885 г. с магнитудами  $M_{ЛН}=6,0$  и  $6,9$  соответственно, на Иссык-Атинском разломе; Кемино-Чуйское в 1938 г.  $M_{ЛН}=6,9$  на Окторкойском разломе. Здесь широко развиты следы сильных палеоземлетрясений: сейсморазрыв Жарды-Каиндинский на Чункурчакском разломе, Сокулукские сейсморазрывы на Иссык-Атинском разломе, Чункурчакские сейсморазрывы на одноименном разломе, Кокжарский, Иссык-Атинский, Кегетинский сейсморазрывы на Иссык-Атинском разломе, Шамшинский сейсморазрыв и сейсмооползень на Иссык-Атинском разломе, Кызыл-Омпольский сейсморазрыв на Предкызыломпольском разломе.



**Рисунок 2.** Распределение эпицентров землетрясений в пределах активных структур Западного Кыргызского поднятия с  $K \geq 8$  за 1950-2013 гг. в полосе шириной  $\pm 30$  км. Землетрясения с  $K = 8-9$  обозначены кружками черного цвета, с  $K = 10-11$  – зелёного цвета, с  $K \geq 12$  - синего цвета, сильные исторические землетрясения - звёздочками чёрного цвета, сильные палеоземлетрясения - квадратами чёрного цвета. Линии активных разломов указаны красными линиями. Области концентрации землетрясений (ОКЗ) околнурены эллипсами (кружками) чёрного цвета: Дж - Джамбульская, Шг - Шунгурская, Шк - Шумкарская, Мк - Меркенская, ЖК - Жарды-Каиндинская.

В пространственном распределении землетрясений с  $K \geq 8$  в интервале времени 1950-2012 гг. в полосе шириной  $\pm 30$  км вдоль поднятия выделяются области концентрации землетрясений (ОКЗ) зоны разломов (активные сегменты) с относительно частыми проявлениями землетрясений с  $K \geq 12$ : ЖК - Жарды-Каиндинская, Бв - Беловодская, Чк - Чункурчакская, КЖ - Кокжарская, ИК - Иссыката-Кегетинская, Шш - Шамшынская, КЧ - Кемино-Чуйская, Кб - Керкебашская, КО - Кызыл-Омпульская. ОКЗ разделены областями с рассеянными эпицентрами – доменами землетрясений с  $K = 8-11$ . Следует отметить, что ОКЗ представляют собой области зоны разлома, где происходят частые вспаривания очагов значительных землетрясений.

В пределах Иссык-Атинского разлома ранее были выделены пять сегментов: А, Б, В, Г, Д [9]. При этом отмечено, что сегмент А протягивается от долины р. Аксу до долины р. Сокулук и имеет протяжённость около 22 км; сегмент Б – от долины р. Сокулук до долины р. Аламедин, протяжённость около 35 км; сегмент В – от долины р. Аламедин до долины р. Иссык-Ата, протяжённость около 37 км; сегмент Г – от долины р. Иссык-Ата до долины р. Бурана, протяжённость около 20 км; сегмент Д охватывает восточную часть разлома, протяжённость около 35 км. Эти сегменты могут быть уточнены областями концентрации землетрясений (ОКЗ): Жарды-Каиндинской, Беловодской, Кокжарской, Иссыката-Кегетинской, Шамшынской, Керкебашской, Кызыл-Омпульской и Кемино-Чуйской. Расстояние между ними составляет около 40 км, 55 км, 45 км, 40 км, 35 км, 25 км соответственно. Расстояние между ОКЗ Шамшынской и Кемино-Чуйской составляет около 35 км. В случае, если сильные землетрясения проявляются, в основном, в центральных частях сегмента, то протяжённость сегмента может быть равна 47 км, 50 км, 42 км, 37 км и 29 км соответственно, как сумма половины расстояния между областями концентрации землетрясений.

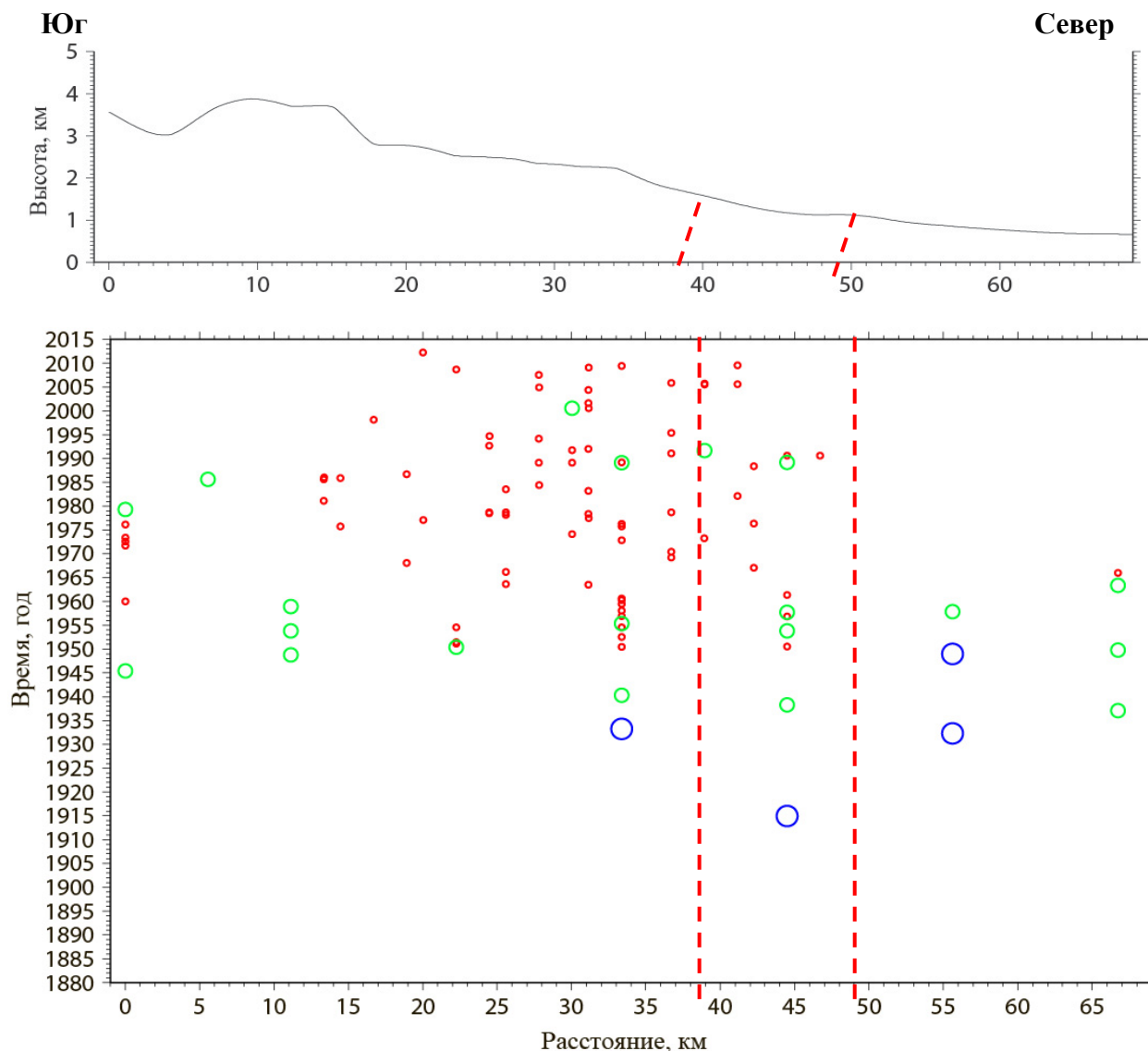


**Рисунок 3.** Распределение эпицентров землетрясений в пределах активных структур Восточного Кыргызского поднятия с  $K \geq 8$  за 1950-2013 гг. в полосе шириной  $\pm 30$  км. Землетрясения с  $K = 8-9$  обозначены кружками чёрного цвета, с  $K=10-11$  – зелёного цвета, с  $K \geq 12$  - синего цвета, сильные исторические землетрясения - звёздочками и кружочком чёрного цвета, сильные палеоземлетрясения - квадратики чёрного цвета. Линии активных разломов указаны красными линиями. Области концентрации землетрясений (ОКЗ) околнурены эллипсами чёрного цвета: ЖК - Жарды-Каиндинская, Бв - Беловодская, Чк - Чункурчакская, КЖ - Кокжарская, ИК - Иссykата-Кегетинская, Шш - Шамшынская, КЧ -Кемино-Чуйская, Кб - Керкебашская, КО - Кызыл-Омпольская. Уйбулакская (УБ) активная область находится в активных структурах Кунгейского поднятия.

### Сейсмичность и динамическая секторизация Кыргызского поднятия

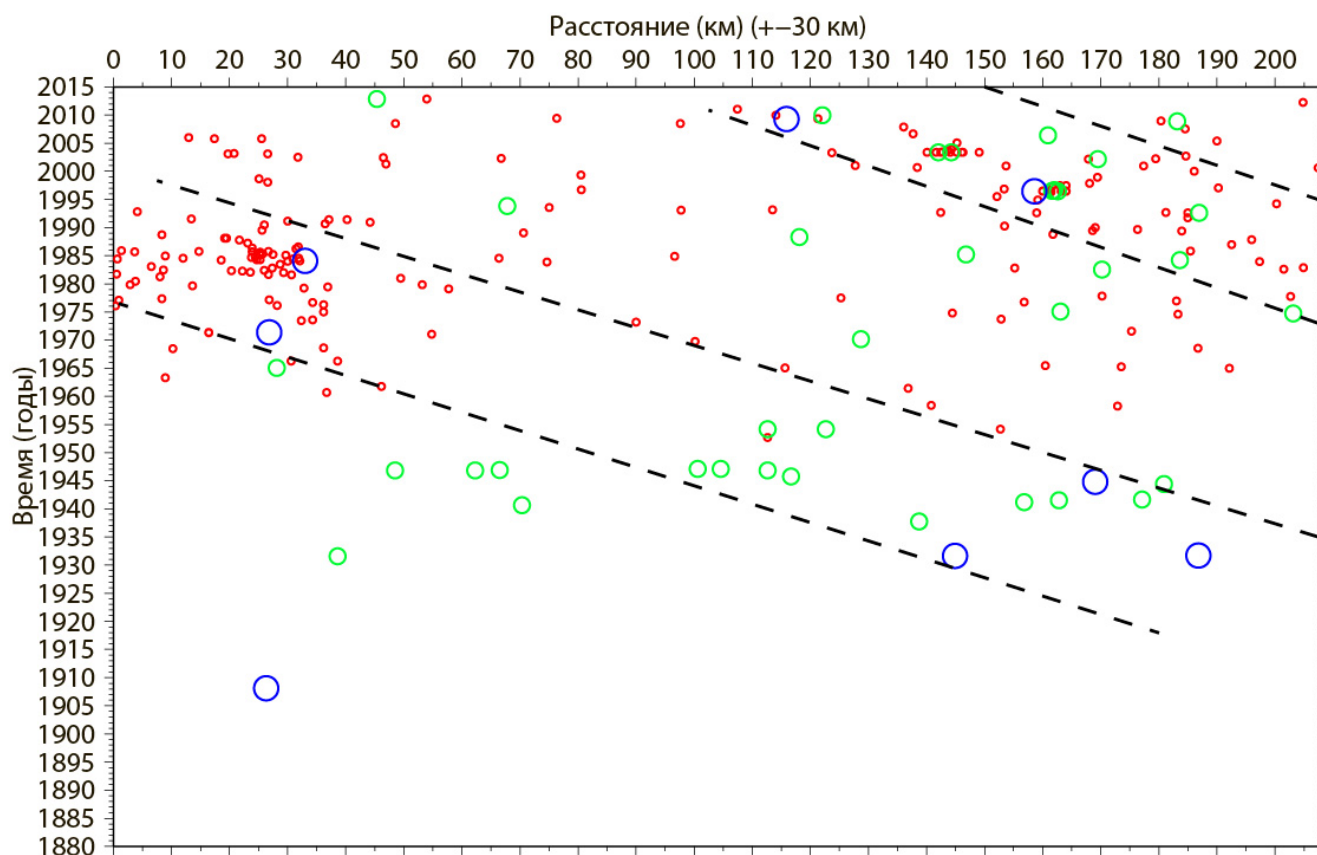
В распределении землетрясений ( $K \geq 8$ ) в пространстве и во времени на поперечных профилях активного Кыргызского поднятия на крыльях активных разломов выделяются своеобразные сейсмические «дорожки» - цепочки сейсмогенных разрывов. Эти сейсмические дорожки являются границами активных секторов поднятий. Например, на Западном Кыргызском поднятии на поперечном профиле через Джамбульскую ОКЗ ( $\lambda=71.36^\circ$ ) расстояние между дорожками (количество до 7) составляет около 1-3 км; на поперечном профиле через Меркенскую ОКЗ ( $\lambda=73.14^\circ$ ) расстояние между дорожками (количество до 3) – порядка 2-3 км.

На Восточном Кыргызском поднятии на поперечных профилях через Беловодскую, Кокжарскую, Чункурчакскую, Иссykата - Кегетинскую, Керкебашскую и Кемино-Чуйскую области концентрации землетрясений в период 1930-1965 гг. сейсмические дорожки расположены на расстоянии 11-12 км. После 1965 г. сейсмические дорожки проявлены более часто и расстояние между ними составляет 1.0 -2.5 км. Следует отметить, что выше отмеченные изменения сейсмических дорожек во времени частично обусловлены неоднородностью каталога. В качестве примера приведён поперечный профиль через Кокжарскую и Чункурчакскую ОКЗ ( $\lambda=74.65^\circ$ ) (рисунок 4).



**Рисунок 4.** Распределение землетрясений в пространстве и во времени по поперечному профилю  $\lambda=74.65^\circ$  (через Кокжарскую -КЖ и Чункурчакскую -Чк области концентрации землетрясений) структур Восточного Кыргызского активного поднятия. Активные разломы обозначены красными линиями. Землетрясения с энергетическими классами  $K=8-10$  обозначены красными кружочками,  $K=10-12$  – зелёными кружочками,  $K \geq 13$  – синими кружочками.

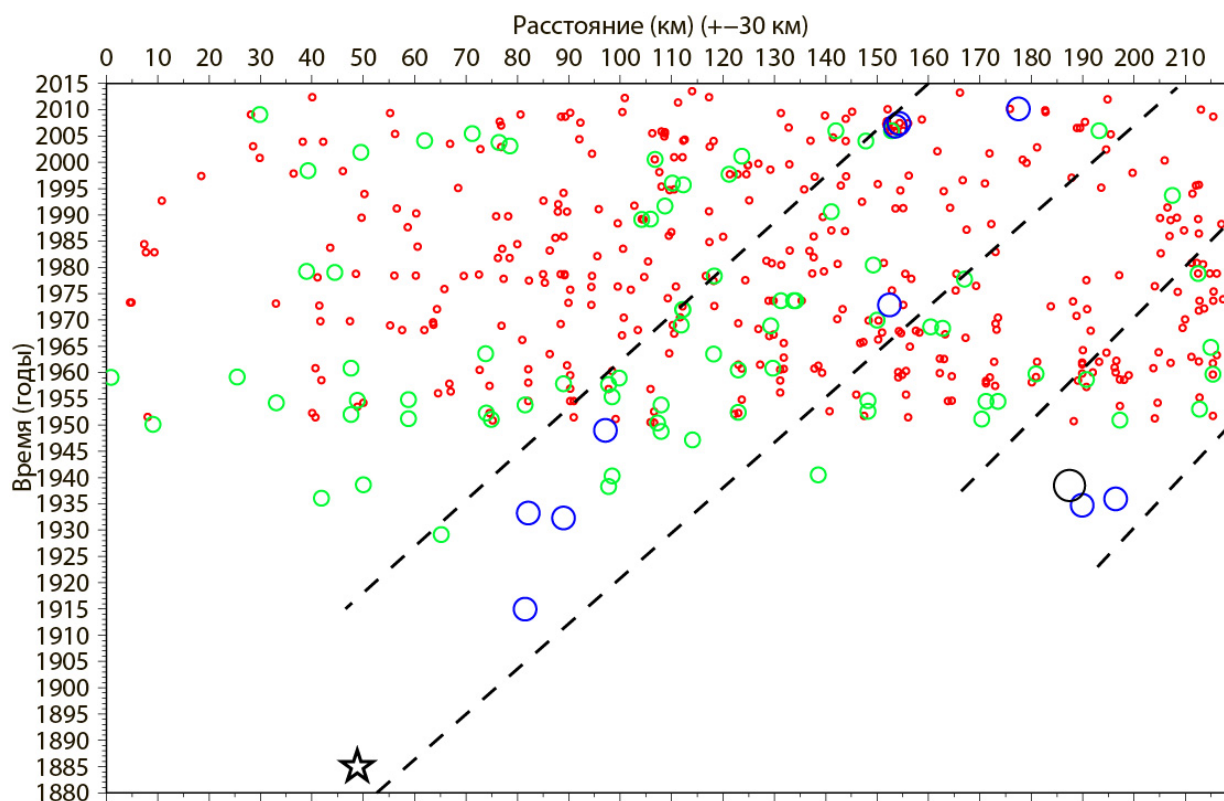
**Пространственно-временное распределение землетрясений в зонах активных структур** [5, 6] Западного Кыргызского поднятия за период с 1905 г. показано на рисунке 5. В распределении землетрясений выделяются вероятные векторы активизации, направленные с востока на запад. Скорость вектора активизации составляет 1.7-2.1 км/год. В активных областях отмечаются периоды активизации и затишья. Циклы повторения сейсмической активизации или разных векторов составляет 60-70 лет. Векторы активизации, очевидно, отражают напряжённо-деформационные (НД) волны. Соответственно, длина НД волны составляет около 150 км, а её скорость – 1.7-2.1 км/год.



**Рисунок 5.** Пространственно - временное распределение землетрясений с  $K \geq 8$  вдоль активных структур Западного Кыргызского поднятия за период с 1905 г. Ось абсцисс – расстояние от западного конца ( $\lambda = 71.0^\circ$ ), км; ось ординат – годы возникновения землетрясений. Пунктирными прямыми линиями указаны вероятные траектории векторов активизации активных структур Западного Кыргызского поднятия. Землетрясения с  $K=8-9$  обозначены кружками красного цвета, с  $K=10-11$  – кружками зелёного цвета, с  $K \geq 12$  – кружками синего цвета.

В пространственно-временном распределении землетрясений в зонах активных структур Восточного Кыргызского поднятия за период 1950-2013 гг. выделяются вероятные векторы активизации, направленные с запада на восток (рисунок 6). Скорость вектора активизации составляет около 1.2 км/год. В активных областях отмечаются периоды активизации и затишья. Циклы повторения сейсмической активизации составляет 65-75 лет.





**Рисунок 6.** Пространственно - временное распределение землетрясений с  $K \geq 8$  вдоль активных структур Восточного Кыргызского поднятия за период с 1885 г. по 2013 г. Ось абсцисс – расстояние от западного конца ( $\lambda = 73.5^\circ$ ), км; ось ординат – годы возникновения землетрясений. Пунктирными прямыми линиями указаны вероятные траектории векторов активизации активных структур Восточного Кыргызского поднятия. Землетрясения с  $K=8-9$  обозначены кружками красного цвета, с  $K=10-11$  – кружками зеленого цвета, с  $K \geq 12$  – кружками синего цвета. Историческое сильное Беловодское землетрясение (1885 г.) обозначено звездочкой чёрного цвета, а Кемино-Чуйское землетрясение (1938 г.) – кружком чёрного цвета.

**Закон повторяемости землетрясений Гутенберга–Рихтера** [10] Западного Кыргызского поднятия (с 1914 г.) выражается формулой:

$$\lg N = -0.392K + 3.7523, R^2 = 0.965, \quad (1)$$

где  $N$ – средняя годовая частота землетрясений,  $K$ – энергетический класс ( $\pm 0.5$ ),  $R^2$ –достоверность аппроксимации. Следует отметить, что за рассматриваемый период не проявлялись землетрясения с  $K \geq 15.0$ . Среднее время повторения землетрясений:

$$\lg T = 0.392K - 3.7523, R^2 = 0.965, \quad (2)$$

где  $T$ – среднее время повторения землетрясений,  $K$  – энергетический класс ( $\pm 0.5$ ),  $R^2$ –достоверность аппроксимации. На основании (2) можно определить вероятное среднее время повторения землетрясений с  $K=12, 13$  и  $14$ , равное около 15 лет, 35 лет и 80 лет соответственно.

Закон повторяемости землетрясений Восточного Кыргызского поднятия (с 1908 г.) выражается формулой:

$$\lg N = -0.3582K + 3.109, R^2 = 0.986, \quad (3)$$

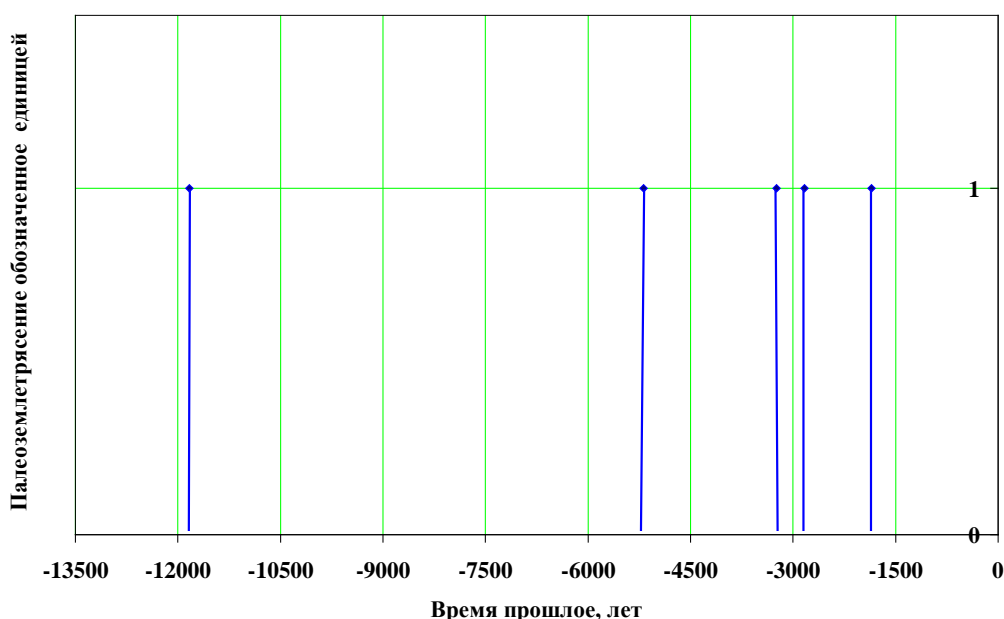
где  $N$ – средняя годовая частота землетрясений,  $K$  – энергетический класс ( $\pm 0.5$ ),  $R^2$ –достоверность аппроксимации. Следует отметить, что за рассматриваемый период не проявлялись землетрясения с  $K=14$  и  $15$ , хотя отмечалось землетрясение с  $K=16.0$  (в 1938 г.). Среднее время повторения землетрясений:

$$\lg T = 0.3582K - 3.109, R^2 = 0.986, \quad (4)$$

где  $T$  – среднее время повторения землетрясений,  $K$  – энергетический класс ( $\pm 0.5$ ),  $R^2$  – достоверность аппроксимации. На основании (4) можно определить вероятное среднее время повторения землетрясений с  $K = 12.0, 13.0$  и  $16.0$ , равное около 9 лет, 22 лет и 330 лет соответственно.

### Последовательность сильных палеоземлетрясений и цикличность сейсмической активизации

По данным изучения сейсмодислокаций проходкой траншеи на Иссык-Атинском разломе в долине р. Сокулук выявлены два повторных сильных палеоземлетрясения [11]. Результаты определения абсолютного возраста пород показали, что время относительно раннего палеоземлетрясения составляет в среднем (в семи пробах) около 11832 лет. Время второго палеосейсмического события составляет в среднем (в трёх пробах) 3241 лет. Промежуток времени между палеоземлетрясениями составляет 8591 лет. В Кок-Жарской траншее, пройденной на Иссык-Атинском разломе в долине р. Аламедин, отмечены [2] три повторных сильных палеоземлетрясения. Определение абсолютного возраста пород радиоуглеродным методом показало, что время их проявления составляет в среднем 5190 ( $\pm 100$ ) лет, 2830 ( $\pm 50$ ) лет и 1850 ( $\pm 40$ ) лет, соответственно. Промежуток времени между ними равен 2360 лет и 1000 лет. Последовательность сильных палеоземлетрясений, выявленных на Иссык-Атинском разломе в долинах рек Сокулук и Аламедин, приведена на рисунке 7.



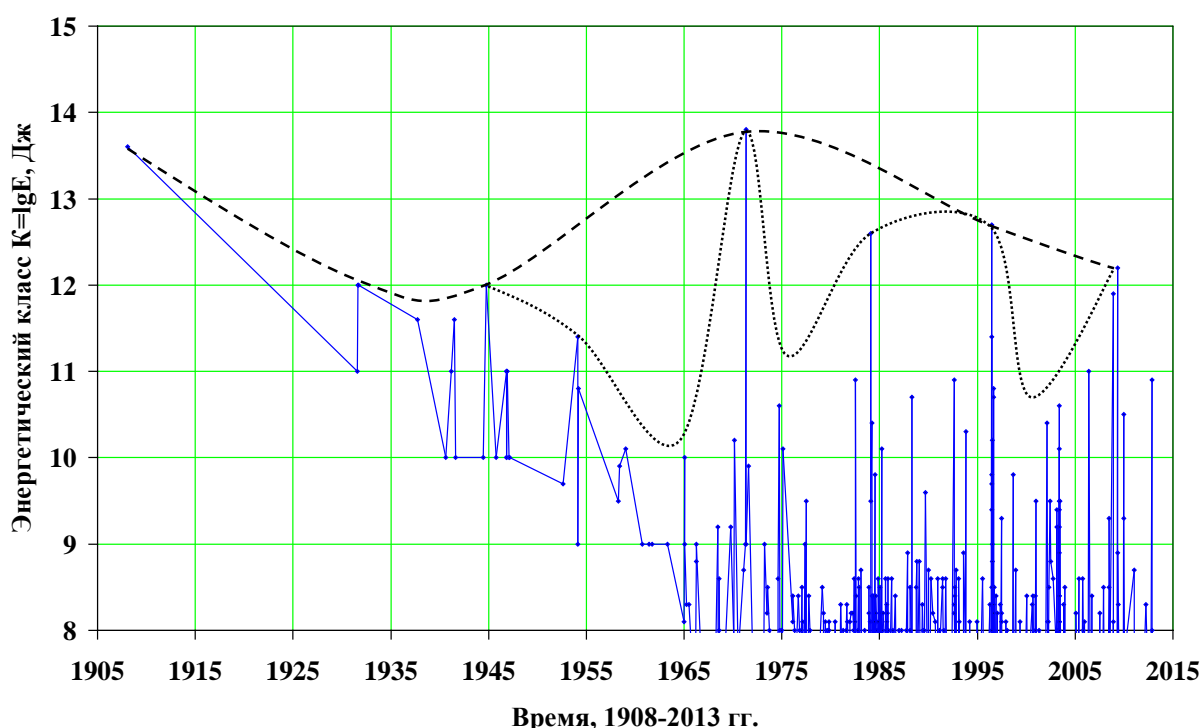
**Рисунок 7.** Последовательность сильных палеоземлетрясений, выявленных на Иссык-Атинском разломе в долинах рек Сокулук и Аламедин.

Здесь отмечаются периоды активизации и затишья в другом временном масштабе. Например, в интервале времени (-1850 лет) – (-3241 лет), вероятно, проявился период сейсмической активизации.

Рассматривая исторические сильные землетрясения с  $K \geq 15.6$ , такие как Баласагынское (1475 г.,  $K=15.6$ ), Беловодское (1885 г.,  $K=16.5$ ), Кемино-Чуйское (1938 г.,  $K=16.0$ ), можно отметить, что промежуток времени между ними составляет 410 лет и 53

года. В их распределении наблюдается миграция сначала в западном направлении, после - в восточном направлении.

**Последовательность землетрясений и проявление цикличности сейсмической активизации** [5, 6] Западного Кыргызского поднятия с 1908 г. приведены на рисунке 8. Каталог землетрясений неоднородный, до 1965 г. зафиксированы в основном ощутимые землетрясения. На графике видно, что в 1908 г. проявилось Джамбульское землетрясение с  $K=13.6$ , которое представляло собой пик сейсмической активизации. В 30х-40х гг. отмечался период затишья. В 1971 г. произошло повторное Джамбульское землетрясение с  $K=13.9-14.0$  на пике очередной (следующей) сейсмической активизации. Промежуток времени между ними составил 63 года. В дальнейшем наблюдался спад сейсмической активизации: в 1996 г. и 2009 г. произошли землетрясения с  $K=12.7$  и  $12.2$ . С 2010 г. наступает период сейсмического затишья. На фоне данной цикличности сейсмической активизации и затишья отмечается цикличность следующего порядка с периодом около 26 лет.



**Рисунок 8.** Последовательность проявления землетрясений с  $K \geq 8$  Западного Кыргызского поднятия с 1908 г. Каталог неоднородный - до 1965 г. зафиксированы в основном ощутимые землетрясения. Пунктирной и точечной линиями показаны цикличности сейсмической активизации разного порядка.

**Изменение кумулятивной сейсмической энергии** [12] Западного Кыргызского поднятия показано на рисунке 9. График неровный («ступенчатообразный»), его пределы флуктуации сверху и снизу очерчиваются параллельными прямыми линиями. Средняя линия (линейный тренд) выражается формулой:

$$E_k = (1.0575t - 1996.7) * 10^{12}, \text{ Дж}, \quad (5)$$

где  $E_k$  - кумулятивная сейсмическая энергия (Дж),  $t$  - время (год), коэффициент  $1.0575E+12$  представляет собой мощность выделения сейсмической энергии (Дж/год).

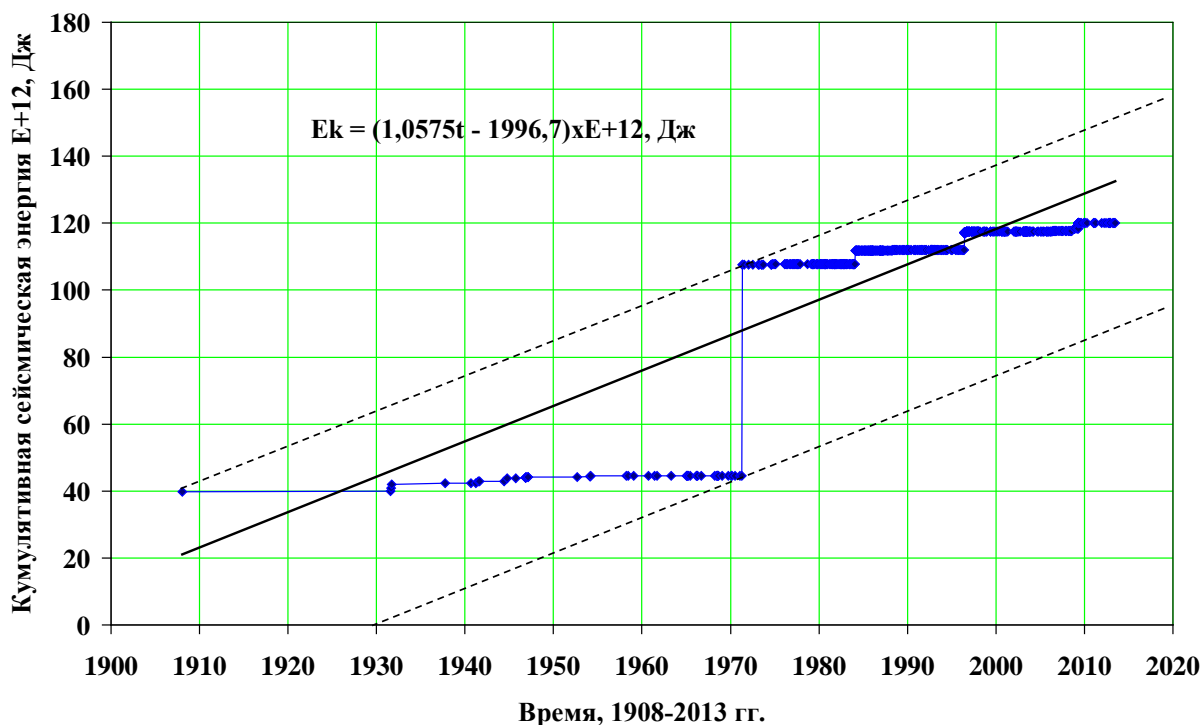
Верхняя линия выражается формулой:

$$E_k = (1.0575t - 1977.0) * 10^{12}, \text{ Дж}, \quad (6)$$

а нижняя линия - формулой:

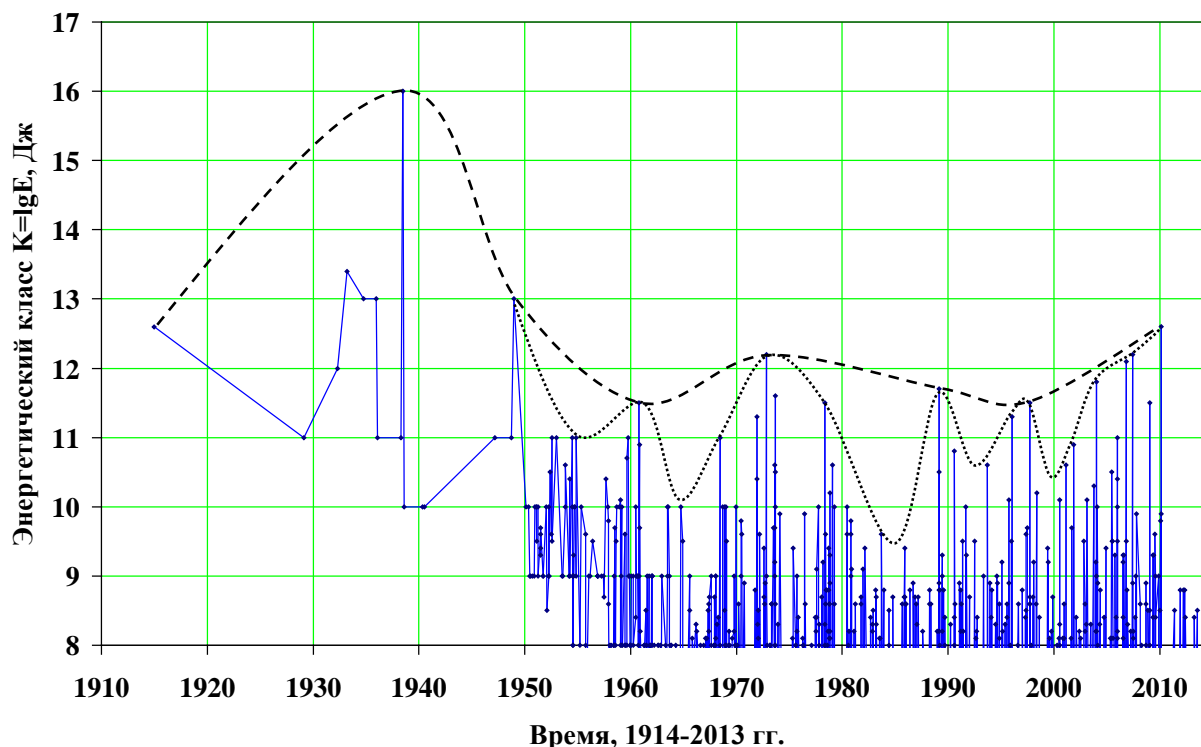
$$E_k = (1.0575t - 2040.0) * 10^{12}, \text{ Дж}, \quad (7)$$

где  $E_k$  - кумулятивная сейсмическая энергия (Дж),  $t$  – время (год). Величина от конца графика кумулятивной сейсмической энергии до верхней линии по вертикали составляет около  $30E+12$  Дж и представляет собой возможную суммарную сейсмическую энергию ожидаемых землетрясений.



**Рисунок 9.** Изменение кумулятивной сейсмической энергии, высвобожденной при землетрясениях в Западном Кыргызском поднятии с 1908 г.

**Последовательность землетрясений и проявление цикличности сейсмической активизации [5, 6] Восточного Кыргызского поднятия с 1914 г.** приведены на рисунке 10. Каталог землетрясений неоднородный, до 1948 г. зафиксированы в основном ощутимые события. Кемино-Чуйское землетрясение (1938 г.,  $K=16.0$ ) произошло, вероятно, на пике сейсмической активизации. После наблюдается спад активизации и в 1948 г. проявилось землетрясение с  $K=13.0$ . В 50х-60х гг. отмечался период затишья. В дальнейшем относительно слабая сейсмическая активизация сопровождалась в сентябре 1972 г. землетрясением с  $K=12.1$ . В 80х-90х гг. снова отмечался период сейсмического затишья. С сентября 2006 г. наступил период сейсмической активизации и в январе 2010 г. произошло землетрясение с  $K=12.6$ . Промежуток времени между последними пиками активизации составил около 39 лет.



**Рисунок 10.** Последовательность проявления землетрясений с  $K \geq 8$  Восточного Кыргызского поднятия с 1914 г. Каталог неоднородный, до 1950 г. зафиксированы в основном ощутимые землетрясения. Пунктирной и точечной линиями показаны циклические сейсмической активизации разного порядка.

**Изменение кумулятивной сейсмической энергии [12] Восточного Кыргызского поднятия** показано на рисунке 11. График неровный («ступенчатообразный»), его пределы флуктуации сверху и снизу очерчиваются параллельными прямыми линиями. Средняя линия (линейный тренд) выражается формулой:

$$E_k = (0.152t - 287.18) * 10^{12}, \text{ Дж}, \quad (8)$$

где  $E_k$  — кумулятивная сейсмическая энергия (Дж),  $t$  — время (год), коэффициент  $0.152E+12$  представляет собой мощность выделения сейсмической энергии (Дж/год).

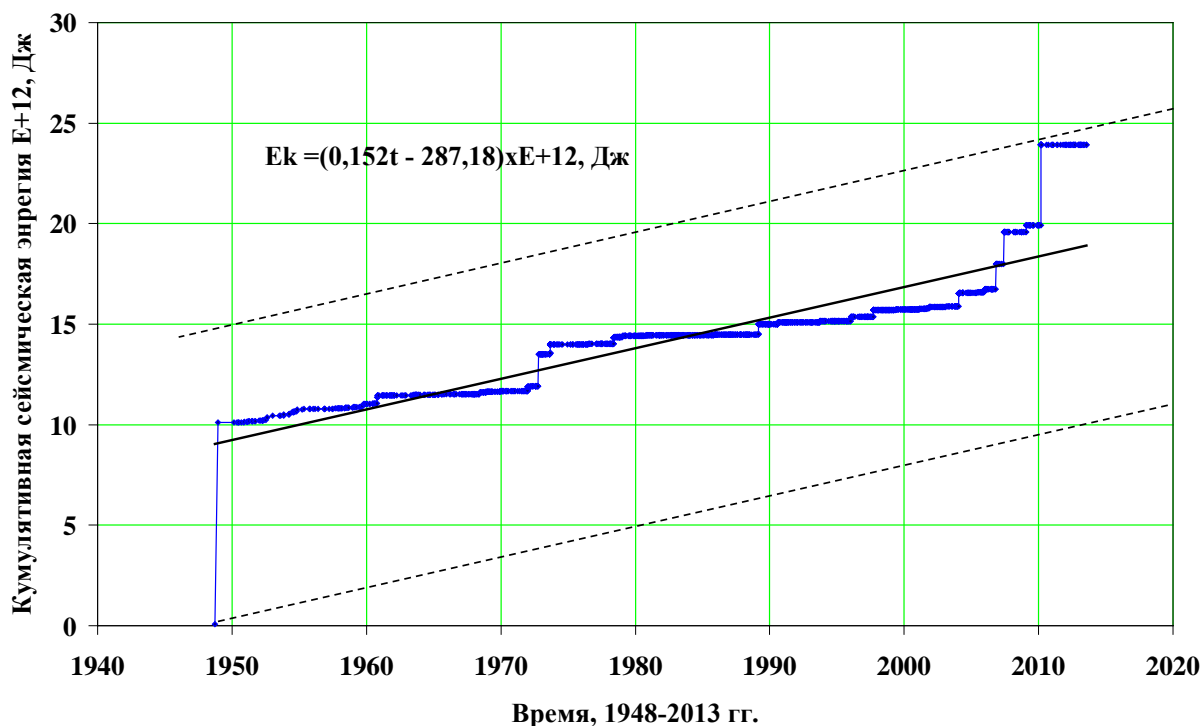
Верхняя линия выражается формулой:

$$E_k = (0.152t - 281.63) * 10^{12}, \text{ Дж}, \quad (9)$$

а нижняя линия — формулой:

$$E_k = (0.152t - 296.1) * 10^{12}, \text{ Дж}, \quad (10)$$

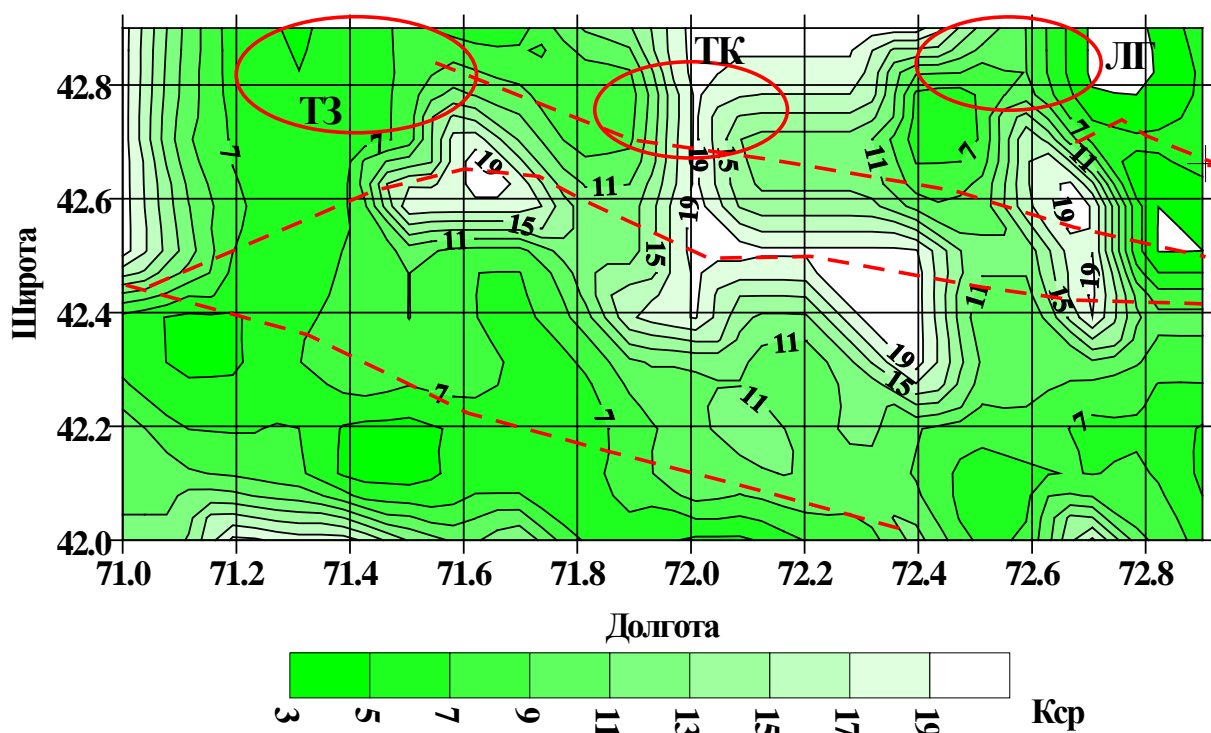
где  $E_k$  — кумулятивная сейсмическая энергия (Дж),  $t$  — время (год). Величина от конца графика кумулятивной сейсмической энергии до верхней линии по вертикали составляет около  $E+12$  Дж и представляет собой возможную суммарную сейсмическую энергию ожидаемых землетрясений.



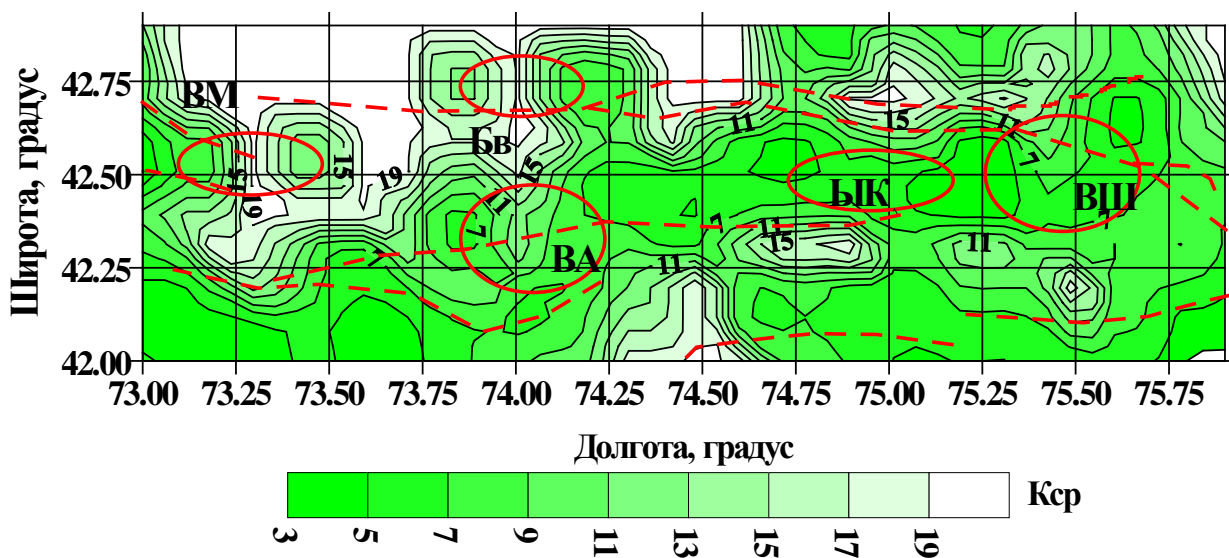
**Рисунок 11.** Изменение кумулятивной сейсмической энергии, высвобожденной при землетрясениях в Восточном Кыргызском поднятии с 1948 г.

**Распределение поля плотности сейсмогенных разрывов  $K_{ср}$  и модель развития области подготовки сильного землетрясения [7]** в пределах активных структур Западного Кыргызского поднятия за 2002-2012 гг. приведено на рисунке 12. Выделяются районы ожидаемых землетрясений (РОЗ): Таразская (ТЗ), Тоокарынская (ТК) и Луговая (ЛГ), где проявились межаномальные области в пределах долгот  $\lambda = 71.4^\circ, 72.0^\circ, 72.6^\circ$ , ограниченные аномальными областями. Аномальная область характеризуется малыми значениями  $K_{ср}$  - относительно большой плотностью сейсмогенных разрывов, а межаномальная область - относительно малой плотностью сейсмогенных разрывов. Опыт показал, что межаномальная область представляет собой своеобразный «барьер» между сегментами. Этот барьер разрушается и образуется очаг землетрясения.

В поле плотности сейсмогенных разрывов  $K_{ср}$  в пределах активных структур Восточного Кыргызского поднятия за 2002-2012 гг. (рисунок 13) выделяются РОЗ: Верхне-Меркенский (ВМ), Верхне-Аксуыйский (ВА), Беловодский (Бв), Иссыката-Кегетинский (ЫК), Верхне-Шамшынский (ВШ), где проявились межаномальные области (в пределах  $\lambda = 73.2^\circ, 74.0^\circ, 75.0^\circ, 74.5^\circ$ , соответственно), ограниченные аномальными областями.

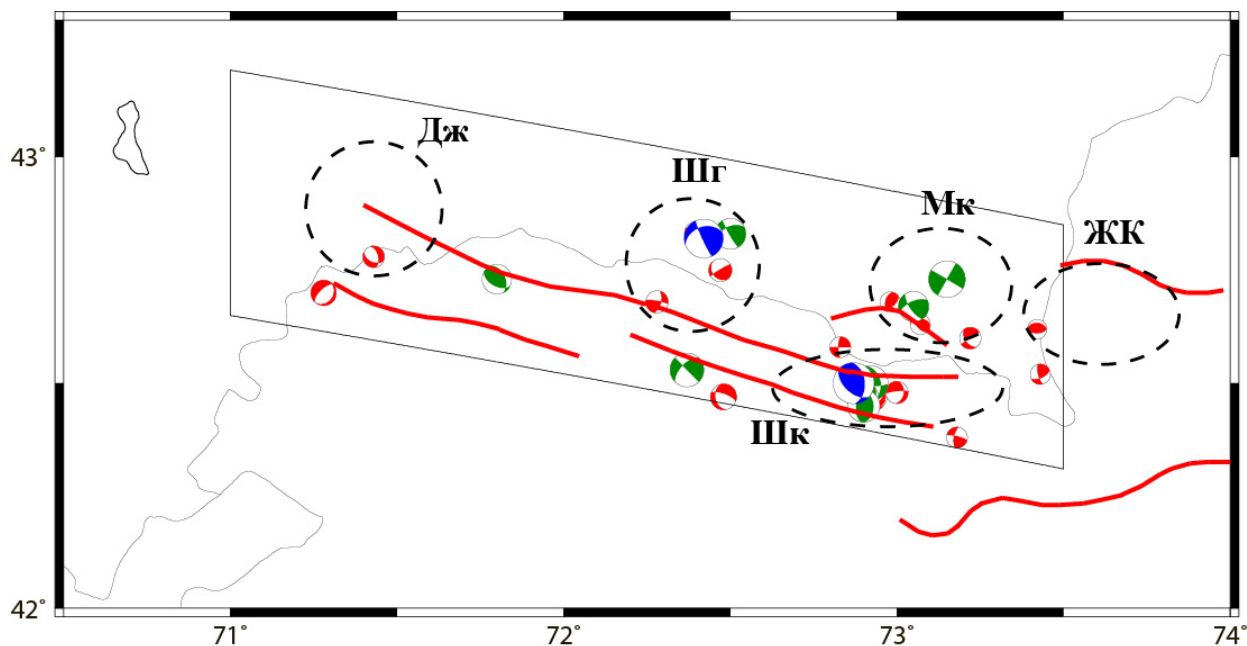


**Рисунок 12.** Поле плотности сейсмогенных разрывов - Кср в активных структурах Западного Кыргызского поднятия за 2002-2012 гг. Изолиниями показано поле Кср. Эллипсами обозначены районы ожидаемых землетрясений (РОЗ): Таразская (ТЗ), Тоокарынская (ТК) и Луговая (ЛГ). Основные активные разломы показаны пунктирными линиями красного цвета.



**Рисунок 13.** Поле плотности сейсмогенных разрывов - Кср в активных структурах Восточного Кыргызского поднятия за 2002-2012 гг. Изолиниями показано поле Кср. Эллипсами обозначены районы ожидаемых землетрясений (РОЗ): Верхне-Меркенский (ВМ), Верхне-Аксуыйский (ВА), Беловодский (Бв), Иссыката-Кегетинский (БК), Верхне-Шамшынский (ВШ). Основные активные разломы показаны пунктирными линиями красного цвета.

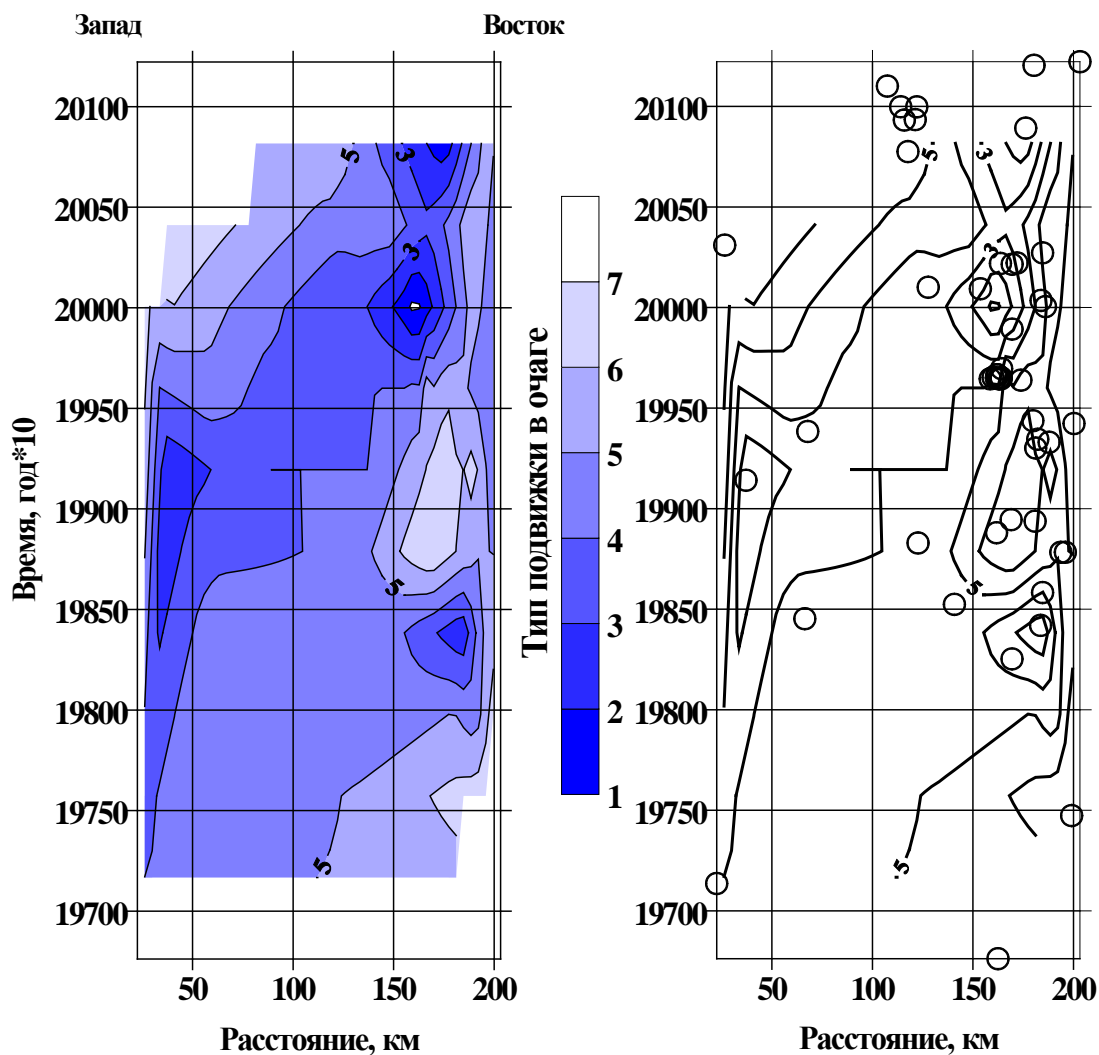
**Распределение механизмов очагов ряда землетрясений (МОЗ) в активных структурах Западного Кыргызского поднятия (Интегральный банк данных Института сейсмологии НАН КР) приведено на рисунке 14. МОЗ некоторых событий отсутствуют. На основе имеющихся данных можно отметить, что в Джамбульской ОКЗ имеется МОЗ сдвиго-сбросового типа, в ОКЗ Шунгурской, Шумкарской, Меркенской – МОЗ сдвиго-надвигового типа, взброс по крутой плоскости, в Жарды-Каиндинской ОКЗ имеется МОЗ взбросовый. МОЗ между ОКЗ преимущественно взброс по крутой плоскости и сдвиго-надвиговый.**



**Рисунке 14.** Распределение механизмов очагов ряда землетрясений в активных структурах Западного Кыргызского поднятия (Банк данных Института сейсмологии НАН КР). Эллипсами, проведенными пунктирными линиями черного цвета, обозначены области концентрации землетрясений (ОКЗ): Дж - Джамбульская, Шг – Шунгурская, Шк – Шумкарская, Мк- Меркенская, ЖК – Жарды-Каиндинская. Красными линиями показаны активные разломы.

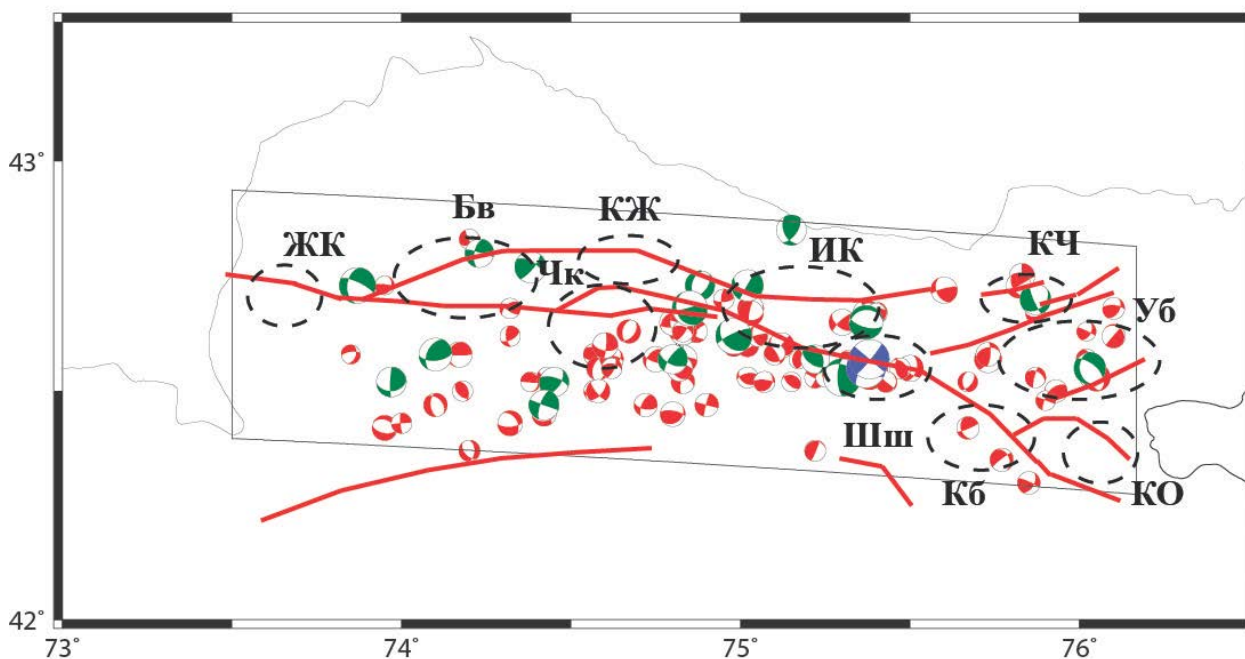
В пространственно-временном распределении типов подвижек вдоль структур отмечается своеобразная цикличность (рисунок 15). Так, в интервале расстояний 0-60 км вдоль Западного Кыргызского поднятия в 70-х гг. отмечался надвиговый тип подвижки, в 90-х гг. – сдвиго-сбросовый тип подвижки, а в 2003 г. – сдвиг по пологой плоскости. На расстоянии 65-130 км в 90-х гг. отмечался надвиговый тип подвижки, в 1994-2001 гг. – сдвиго-сбросовый, а с 2007 г. - сдвиго-надвиговый. На расстоянии 135-200 км в 1975 г. отмечался взброс по крутой плоскости, в 80-х гг. проявились типы подвижек: сдвиго-надвиговый и взброс по крутой плоскости, а после – сбросовый и сдвиго- сбросовый типы подвижек.





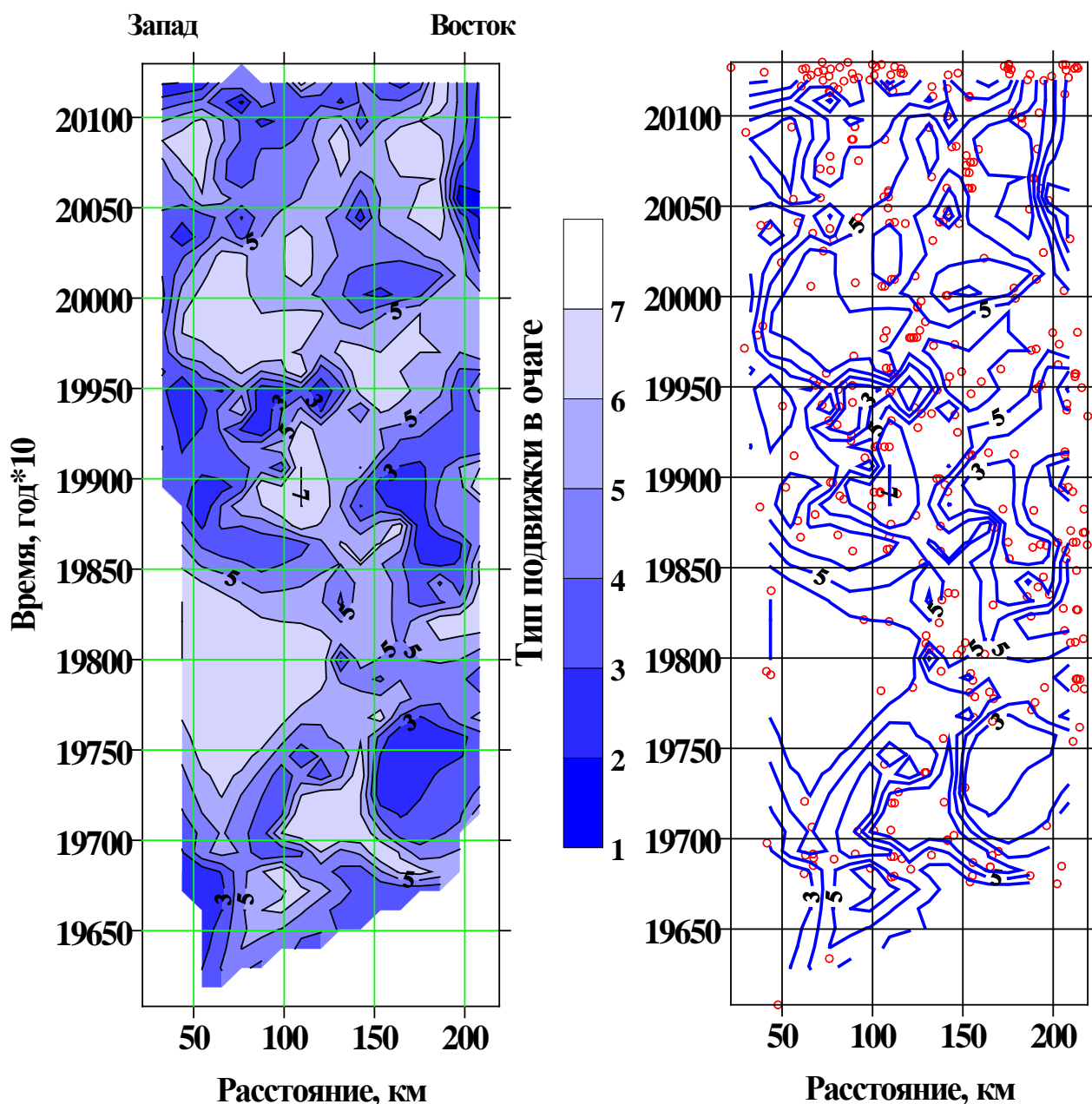
**Рисунок 15.** Пространственно-временное распределение типов подвижек в очагах землетрясений вдоль активных структур Западного Кыргызского поднятия за 1970-2012 гг. Типы подвижек в очагах: 1 - сдвиг, 2 - сброс, 3 - сдвиго-сброс, 4 - надвиг, 5 -сдвиго-надвиг, 6 - взброс по крутой плоскости или сдвиг по пологой, 7- взброс. Кружочками чёрного цвета показаны землетрясения, где определены механизм очага и тип подвижки.

Распределение механизмов очагов ряда землетрясений в активных структурах Восточного Кыргызского поднятия (по данным Института сейсмологии НАН КР) приведено на рисунок 16. В области концентрации землетрясений (ОКЗ) Беловодской отмечены МОЗ сдвиго-надвиговой и взброс по крутой плоскости, в ОКЗ Чункурчакской и Исыкката-Кегетинской - МОЗ сбросовый, сдвиго-сбросовый, в ОКЗ Шамшынской, Кемино-Чуйской, Керкебашской - МОЗ сдвиго-надвиговой и взбросовый. В остальных областях концентрации МОЗ событий отсутствуют.



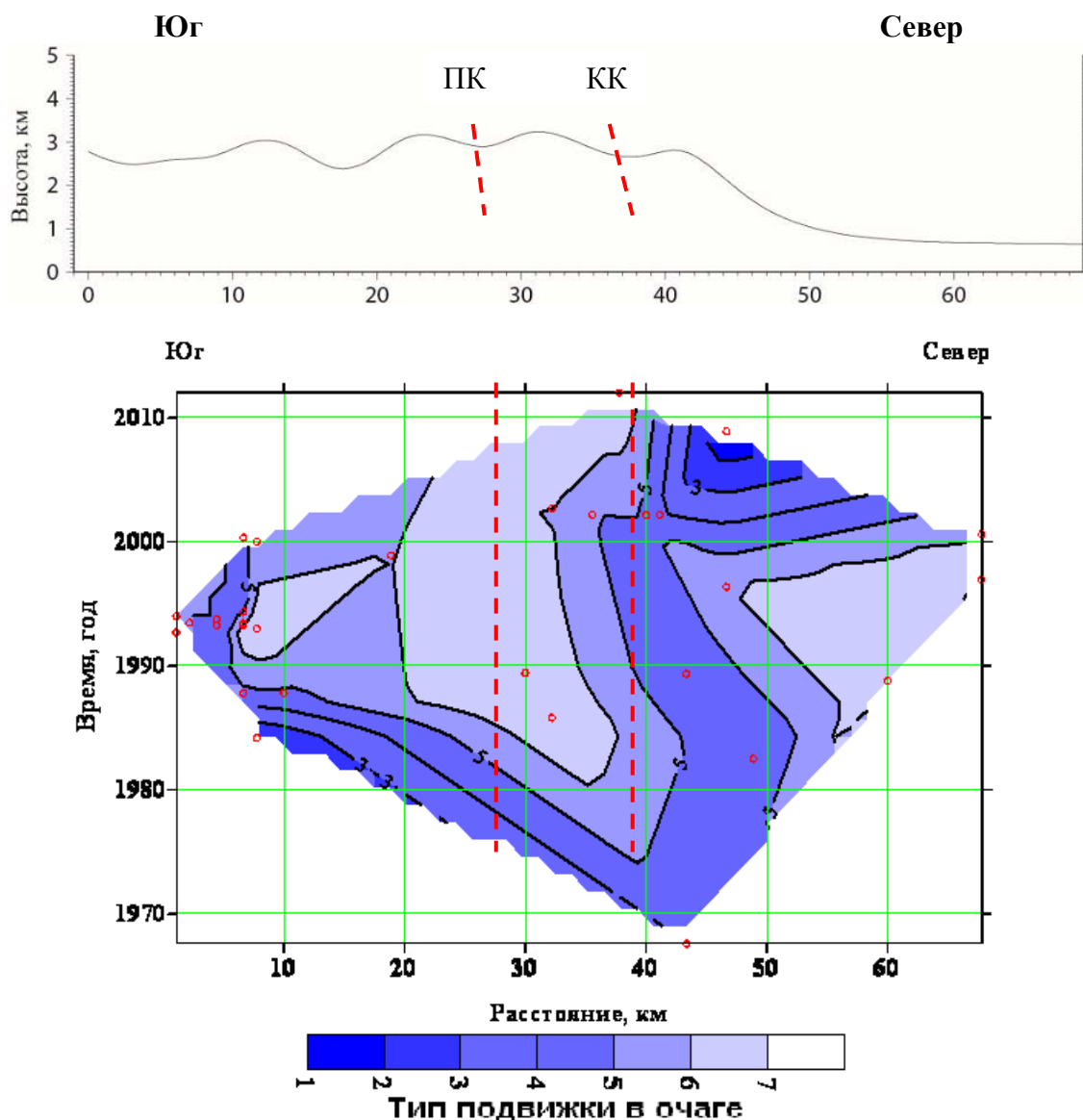
**Рисунок 16.** Распределение механизмов очагов ряда землетрясений в активных структурах Восточного Кыргызского поднятия (Банк данных Института сейсмологии НАН КР). Эллипсами, проведёнными пунктирными линиям чёрного цвета, обозначены области концентрации землетрясений (ОКЗ): ЖК- Жарды-Каиндинская, Бв – Беловодская, Чк – Чункурчакская, КЖ - Кокжарская, ИК-Иссыката -Кегетинская, Шш – Шамшынская, КЧ - Кемино-Чуйская, Кб - Керкебашская, КО - Кызыл-Омпольская. Красными линиями показаны активные разломы.

В пространственно-временном распределении типов подвижек в очагах землетрясений вдоль Восточного Кыргызского поднятия отмечается своеобразная цикличность (рисунок 17). На расстоянии 0-100 км вдоль Восточного Кыргызского поднятия (начало  $\lambda=73.5^\circ$ ) в 1960-1964 гг., 70-х гг., 1986-1995 гг., 2003-2005 гг., 2010-2013 гг. отмечены преимущественно сдвиго-сбросовый и надвиговый типы подвижек. Между этими периодами в 1964-1968 гг., до 1984 г., 1996-2003 гг. и 2005-2009 гг. проявились сдвиго-надвиги и взбросы по крутой плоскости. В интервале 100-150 км преобладают следующие типы подвижек: сдвиго-надвиговый и взброс по крутой плоскости. Однако, в интервалах около в 1967-1969 гг., 1974-1976 гг., 1980-1981 гг., 1993-1996 гг., 1998-2005 гг. и 2010-2013 гг. отмечались сдвиго-сбросовый и надвиговый типы подвижек. В интервале 150-220 км преобладают сдвиго-сбросовый и надвиговый типы подвижек. Вместе с тем в интервалах времени 1967-1969 гг., 1980-1992 гг., 1994-2001 гг., 2002-2009 гг. проявлялись следующие типы подвижек: сдвиго-надвиговый и взброс по крутой плоскости. При анализе распределения типов подвижек всего Восточного Кыргызского поднятия отмечается миграция двух групп типов подвижек (одна группа - сдвиго-надвиговый и взброс по крутой плоскости, другая группа - сдвиго-сбросовый и надвиговый) в восточном направлении.



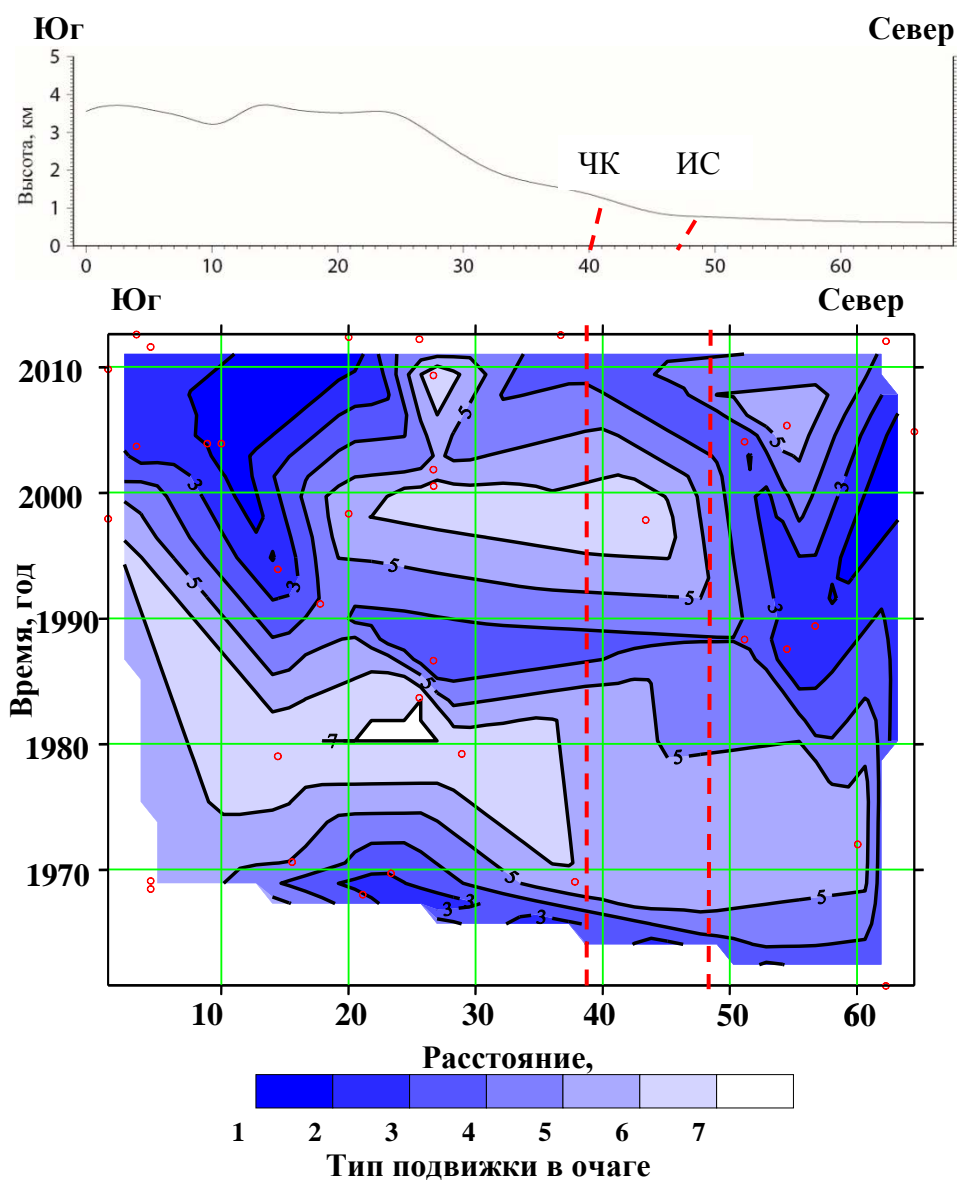
**Рисунок 17.** Пространственно-временное распределение типов подвижек в очагах землетрясений в пределах активных структур Восточного Кыргызского поднятия за 1960-2012 гг. (в изолиниях). Типы подвижек в очагах: 1 - сдвиг, 2 - сброс, 3 - сдвиго-сброс, 4 - надвиг, 5 - сдвиго-надвиг, 6 - взброс по крутой плоскости или сдвиг по пологой, 7 - взброс. Кружочками красного цвета показаны землетрясения, где определены механизм очага и тип подвижки.

В пространственно-временном распределении типов подвижек в очагах землетрясений поперек структур также наблюдаются своеобразная миграция, цикличность и динамическая секторизация. Рассмотрим в качестве примера распределение типов подвижек по поперечному профилю ( $\lambda=73.14^\circ$ ) Западного Кыргызского поднятия (рисунок 18). В 1965-1975 гг. в пределах Каракыштакского и Предкыргызского активных разломов проявлялись подвижки в очагах сейсмособытий: сдвиго-сброс, надвиг и сдвиго-надвиг. После в 1985 г. отмечались взбросовые подвижки. С 2000 г. на северном крыле Каракыштакского разлома проявлялись подвижки: сдвиго-сброс, сброс.



**Рисунок 18.** Изменение типов подвижек в очагах землетрясений по поперечному профилю  $\lambda=73.14^\circ$  структур Западного Кыргызского поднятия. Активные разломы: Предкыргызский (ПК), Каракыштакский (КК) обозначены красными линиями. Типы подвижек: 1- сдвиг, 2- сброс, 3- сдвиго- сброс, 4-надвиг, 5- сдвиго - надвиг, 6- взброс по крутой плоскости, 7- взброс. Кружками красного цвета показаны землетрясения, где определены механизм очага и тип подвижки.

На поперечном профиле ( $\lambda=74.13^\circ$ ) активных структур Восточного Кыргызского поднятия (рисунок 19) за 1965-1970 гг. проявились сдвиго-сбросы, сдвиго-надвиги. После до 1985 г. отмечались взбросы. В дальнейшем наблюдались надвиговые типы подвижек. В 1995-2000 гг. в срединной части поднятия отмечались сдвиго-надвиги, а в южной части поднятия и севернее в Чуйской впадине проявились сдвиго-сбросы, сбросы в очагах землетрясений.



**Рисунок 19.** Изменение типов подвижек в очагах землетрясений по поперечному профилю  $\lambda=74.13^\circ$  структур Восточного Кыргызского поднятия. Активные разломы: Чункурчакский (ЧК), Иссыккатынский (ИС) обозначены красными линиями. Типы подвижек: 1- сдвиг, 2- сброс, 3- сдвиго- сброс, 4-надвиг, 5- сдвиго - надвиг, 6- взброс по крутой плоскости, 7- взброс. Кружками красного цвета показаны землетрясения, где определены механизм очага и тип подвижки.

В связи с этим можно сказать, что в активных структурах Кыргызского поднятия проявляются процессы динамической секторизации, выраженные циклами различных типов подвижек.

### Заключение

1. Кыргызское устойчивое поднятие формировалось на отрезке зоны сочленения Казахского щита и области внутриконтинентального горообразования Тянь-Шаня, где их литосферы поддвигаются и надвигаются, соответственно. В этой зоне происходят активные геодинамические процессы, которые предопределяют развитие

активных структур и проявление, в частности, землетрясений. Кыргызское поднятие образовалось на висячих крыльях активных разломов взбросового, надвигового и сбросо-сдвигового характера. Оно состоит из серии антиклинальных структур, отражающих сегменты активных разломов.

2. Данное устойчивое поднятие разделяется на Западное Кыргызское и Восточное Кыргызское поднятия, которые являются структурами следующего иерархического уровня. Западное Кыргызское поднятие формировалось на северном висячем крыле Предкыргызского разлома, а Восточное Кыргызское - на южном висячем крыле Чункурчакского разлома. Эти разломы по мере своего развития ответвлялись и поэтапно распространялись в сторону Таласской и Чуйской впадин, соответственно. На висячих крыльях вновь образованных разломов образовались инверсионные поднятия.
3. Установлено, что Западное Кыргызское и Восточное Кыргызское поднятия имеют свойственные закономерности распределения землетрясений и активных структур. В пространственном распределении землетрясений выделяются области их концентрации (ОКЗ), отражающие сегменты вдоль активных структур. Сильные землетрясения происходят, в основном, в пределах ОКЗ, а не на всём протяжении сейсмогенерирующей зоны. На поперечных профилях активных структур проявляется динамическая секторизация, разделённая сейсмическими «дорожками»- цепочками сейсмогенных разрывов. В пространственно-временном распределении событий отмечены векторы сейсмической активизации вдоль структур с определенным направлением и скоростью миграции. В последовательности проявления землетрясений установлена сейсмическая цикличность – чередование периодов сейсмической активизации и затишья. В последовательности сильных палеоземлетрясений, изученных в долинах рек Сокулук и Аламедин, выявлена сейсмическая цикличность (повторяемость) в другом (не реальном) временном масштабе.
4. Закон Гутенберга-Рихтера – повторяемости землетрясений (с 1914 г.) Западного Кыргызского поднятия выражается формулой:

$$\lg N = -0.392K + 3.7523, R^2 = 0.965,$$

где  $N$ - средняя годовая частота землетрясений,  $K$  – энергетический класс ( $\pm 0.5$ ),  $R^2$ -достоверность аппроксимации. Среднее время повторения землетрясений:

$$\lg T = 0.392K - 3.7523, R^2 = 0.965,$$

где  $T$ - среднее время повторения землетрясений,  $K$  – энергетический класс ( $\pm 0.5$ ),  $R^2$ -достоверность аппроксимации. Вероятное среднее время повторения землетрясений с  $K=12.0$ ,  $13.0$  и  $14.0$  равно около 15 лет, 35 лет и 80 лет соответственно.

5. Закон повторяемости землетрясений Восточного Кыргызского поднятия (с 1908 г.) выражается формулой:

$$\lg N = -0.3582K + 3.109, R^2 = 0.986,$$

где  $N$ - средняя годовая частота землетрясений,  $K$  – энергетический класс ( $\pm 0.5$ ),  $R^2$ -достоверность аппроксимации. Среднее время повторения землетрясений:

$$\lg T = 0.3582K - 3.109, R^2 = 0.986,$$

где  $T$ - среднее время повторения землетрясений,  $K$ - энергетический класс ( $\pm 0.5$ ),  $R^2$ -достоверность аппроксимации. Вероятное среднее время повторения землетрясений с  $K=12.0$ ,  $13.0$  и  $16.0$  равно около 9 лет, 22 лет и 330 лет соответственно.

6. В результате изучения изменения кумулятивной сейсмической энергии установлена статистическая закономерность – изменение кумулятивной сейсмической энергии для Кыргызского поднятия. Изменение кумулятивной сейсмической энергии Западного Кыргызского поднятия в среднем (тренд) выражается формулой:

$$E_k = (1.0575t - 1996.7) * 10^{12}, \text{ Дж},$$

где  $E_k$ -кумулятивная сейсмическая энергия (Дж),  $t$  – время (год), коэффициент  $1.0575E+12$  представляет собой мощность выделения сейсмической энергии (Дж/год). Изменение кумулятивной сейсмической энергии Восточного Кыргызского поднятия в среднем (тренд) выражается формулой:

$$E_k = (0.152t - 287.18) * 10^{12}, \text{ Дж},$$

где  $E_k$ -кумулятивная сейсмическая энергия (Дж),  $t$  – время (год), коэффициент  $0.152E+12$  представляет собой мощность выделения сейсмической энергии (Дж/год). В поле плотности сейсмогенных разрывов ( $K_{ср}$ ) выделены динамические сегменты активных разломов - районы ожидаемых землетрясений (РОЗ), где межаномальная область ограничена аномальными областями. Межаномальная область с относительно малой плотностью сейсмогенных разрывов представляет собой своеобразный «барьер». В барьере происходит вспарывание разрыва очага ожидаемого сильного землетрясения.

7. В результате изучения имеющихся данных механизмов очагов землетрясений (МОЗ) и типов подвижек в очагах определены характерные механизмы в пределах различных областей концентрации землетрясений (ОКЗ). Впервые отмечено, что на определённом отрезке Кыргызского поднятия, в определённый период времени проявляются избранные группы типов подвижек: сдвиго-сброс, надвиг или сдвиго-надвиг, взброс. Эти группы типов подвижек поочередно сменяются, вероятно, отражают распространение напряжённо-деформационных волн в литосфере. В период подготовки Суусамырского землетрясения (1992 г.,  $K=17.0$ ) на отрезке Восточного Кыргызского поднятия, севернее области подготовки этого землетрясения, проявились типы подвижек сдвиго-надвиг, взброс, а после главного толчка - сдвиго-сброс, надвиг.
8. Полученные результаты: расчёты по закону Гутенберга-Рихтера, среднее время повторения землетрясений, выделение ОКЗ, векторов сейсмической активизации, цикличности сейсмической активизации, выделение РОЗ, статических и динамических сегментов, секторов активных структур, статистической закономерности высвобождения сейсмической энергии, циклов проявления определённых избранных групп МОЗ и типов подвижек в очагах, могут быть использованы при оценки вероятной сейсмической опасности Кыргызского поднятия и Чуйской впадины - густонаселённого региона Кыргызстана.

*Рецензент: к.г.-м.н. Супанбаев К.С.*

### Литература

1. Omuralieva A., Nakajima J., Hasegawa A. Three-dimensional seismic velocity structure of the crust beneath the central Tien Shan, Kyrgyzstan: Implications for large- and small-scale

- mountain building. //Tectonophysics, 2009. V.465. P.30-44. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2008.10.010>
2. Omuraliev M., Omuralieva A. Late Cenozoic Tectonics of the Tien Shan, Kyrgyzstan, Central Asia. Bishkek: Ilim, 2004. С.166.
  3. Джанузаков К.Д., Омуралиев М., Омуралиева А., Ильясов Б.И., Гребенникова В.В. Сильные землетрясения Тянь-Шаня в пределах территории Кыргызстана и прилегающих районов стран Центральной Азии. Бишкек: Илим, 2003. С. 216.
  4. Омуралиев М. Карта новейшей тектоники территории Кыргызстана. Ташкентская картографическая фабрика, 1981.
  5. Омуралиев М., Омуралиева А. Сегментация и сейсмическая опасность зоны Таласо-Ферганского разлома Тянь-Шаня. //Наука и новые технологии, 2012. №3. С.70-83.
  6. Абдрахматов К.Е., Омуралиев М., Омуралиева А., Молдобекова С. Возможности оценки сейсмической опасности в области подготовки Каркыра-Сарыджазского землетрясения (2013,  $K=15,1$ ). //Вестник Института сейсмологии НАН КР.- 2013.- №1. интернет-журн. URL: [http://www.journal.seismo.kg/archive/journal\\_2013-1/article4.pdf](http://www.journal.seismo.kg/archive/journal_2013-1/article4.pdf)
  7. Омуралиев М., Омуралиева А., Молдобекова С. Динамическая сегментация активных разломов и модель развития очага землетрясения Тянь-Шаня. //Сборник материалов четвертого международного симпозиума 15-20 июня 2008 г. «Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы». Москва-Бишкек, 2009. С.446-452.
  8. Омуралиев М. Активные сегменты Таласо-Ферганского разлома и механизмы очагов землетрясений. //Известия НАН КР, 2010. №3. С.3-12.
  9. Абдрахматов К.Е., Томпсон С., Уилдон Р. Активная тектоника Тянь-Шаня. Бишкек: Илим, 2007. С.72.
  10. Gutenberg B., Richter C.F. Frequency of earthquakes in California.//Bull. Seismol. Soc. Am., 1944. #34. P. 185-188.
  11. Thompson C. Active tectonics in the central Tien Shan, Kyrgyz Republic. PhD thesis. University of Washington, 2001. P.141.
  12. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир, 1985. С. 264.