

УДК 551/435/28 (235/216)

СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОДНОГО МАССИВА ТЯНЬ-ШАНЯ И ВОПРОСЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПОРОДНОГО МАССИВА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Ш.А. Мамбетов, А.Р. Абдиев, К.Д. Изабаев, А.А. Раимжанов

Приведены структурно-механические особенности Тянь-Шаня, по которым реконструируются направления действия главных нормальных напряжений для составления прогнозной карты и геодинамической модели месторождения.

Ключевые слова: Тянь-Шань; структура; механика; прогнозирование; вергентность.

STRUCTURAL AND MECHANICAL FEATURES PEDIGREE ARRAY OF TIEN SHAN AND QUESTIONS OF FORECASTING STATES OF PEDIGREE ARRAY OF DEPOSITS

Sh. A. Mambetov, A.R. Abdiev, K.D. Izabaev, A.A. Raimzhanov

It is given the structural and mechanical features of Tien Shan are driven on that directions of action of the main normal tensions for drafting of forecast map and geodynamic model of deposit.

Key words: Tien Shan; structure; mechanics; features; forecasting; vergenz.

1. Вергентность структурных форм – направления действия тектонических напряжений. Тянь-Шань – одна из величайших горных систем земного шара; протяженность ее более 2500 км; ширина 250–300 км. Горный узел Хан-Тенгри делит Тянь-Шань на западную и восточную части. Западный Тянь-Шань широкий, с множеством параллельных хребтов (рисунк 1, а, б).

Восточный Тянь-Шань (зарубежный) отличается сравнительно простым строением с поднятиями, расположенными куполообразно по отношению друг к другу.

Неотектонические движения региона в целом, единый и сложный процесс: это развитие различных морфологических разрывных структур – сбросов, сдвигов и надвигов; асимметричные и симметричные структуры и т. д.

В вергентной структуре, имеющей короткое крутое и длинное пологое крыло, существует сближение области поднятия и размыва, с одной стороны, и области аккумуляции – с другой; с крутого крыла вергентной структуры он сносится интенсивнее, чем с пологого.

На крутом крыле вергентной структуры развиты разломы типа надвигов и взбросов, по которым палеозойские массы мегантиклинали надвинуты на кайназойские накопления соседней депрессии. Поэтому на крутом крыле вергентной структуры возникают сжатия, а на пологом – растяжения.

Вергентные новейшие структуры описываются как трехмерные фигуры, обладающие протяженностью, шириной, высотой и охватывают не только верхнюю часть земной коры (10–15 км), но и всю литосферу Тянь-Шаня. В этих условиях общее напряженное состояние породного массива в горных районах представляется в следующем виде:

$$\sigma = \sigma_p + \sigma_T, \quad (1)$$

где σ – полные, действующие в массиве, напряжения; σ_p – суммарные напряжения, обусловленные весом пород и влиянием рельефа; $\sigma_p = \sigma_{гн} + \sigma^p$; $\sigma_{гн}$ – напряжения, обусловленные весом пород до поверхности; σ^p – напряжения под действием рельефа; σ_T – тектонические напряжения.

Для выявления природы геодинамических полей напряжений были использованы известные данные неотектоники. Анализ показал, что современная тектоника Тянь-Шаня представляет собой остаточные деформации литосферы, созданные интенсивными горизонтальными геодинамическими напряжениями, в которых принимают участие не одна пара, а множество структур. Градиент скорости горизонтальных движений в 10 и более раз превышает аналогичное значение для вертикальной составляющей.

Горный рельеф, созданный в результате новейших и современных движений, представлен крупными антиклинальными складками различной

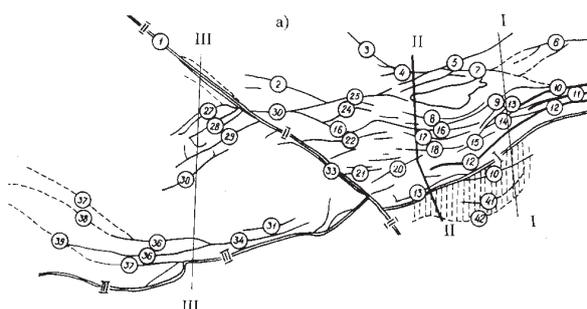


Рисунок 1а – Схема расположения осей мегантиклиналей (хребтов) Тянь-Шаня:

- I – мегантиклинали, поднятые до 3000 м (1 – Кара-Тоо, 37 – Нура-Тоо, 38 – Ак-Тоо, 39 – Заравшанский);
 II – мегантиклинали, поднятые от 3000 до 5000 м (2 – Таласский, 3 – Киндиктас, 4 – Кастек, 5 – Заилийский Ала-Тоо, 6 – Кетмень, 7 – Кунгей Ала-Тоо, 8, 9 – Терской Ала-Тоо, 13 – Акшыйрак, 15 – Борколдой, 16 – Байдулла-Капкатас, 17 – Атойнок, 18 – Нарын-Тоо, 19 – Ортыс, 20 – Атбашинский, 21 – Кызарт, 21 – Укок, 24 – Жумгалский, 25 – Кыргызский, 27 – Угам-Тоо, 28 – Пекем-Тоо, 29 – Чаткальский, 30 – Курамин-Тоо, 31, 33 – Ферганский, 34 – Алайский, 36 – Заравшанский, 37 – Гисарский, 40 – Майдантаг); III – мегантиклинали, поднятые на 5000 м и более (5 – Сарыджазский, 11 – Энилчекский, 12 – Кокшальский);
 IV – глубинные разломы: I – Кокшальский, II – Таласо-Ферганский, III – Гисаро-Восточно-Алайский

вергентности. Сопоставительный анализ результатов измерения напряжений некоторых месторождений Кыргызстана в натурных условиях с данными неотектоники, указывает на непосредственную связь между измеренными и тектоническими полями напряжений (рисунок 2). Так, Алайская система волновых движений земной коры (XV) охватывает одноименные горные системы и ориентирована на север. Азимуты направлений максимальных горизонтальных напряжений, измеренных в массивах месторождений Хайдаркан, Кадамджай, расположенных на юго-западе Фергано-Кокшальской складчатой области, совпали с азимутом неотектонических напряжений. А Чаткало-Ферганская (XI) система волновых движений земной коры ориентирована на юг. Азимуты направлений максимальных горизонтальных напряжений, измеренных в массивах месторождения Терексай, расположенного в Чаткало-Кураминской складчатой зоне, совпали с азимутом направлений неотектонических напряжений.

Анализ осей напряжений в очагах землетрясений: Ташкентского (1966 г.), Жамбульского (1971 г.),

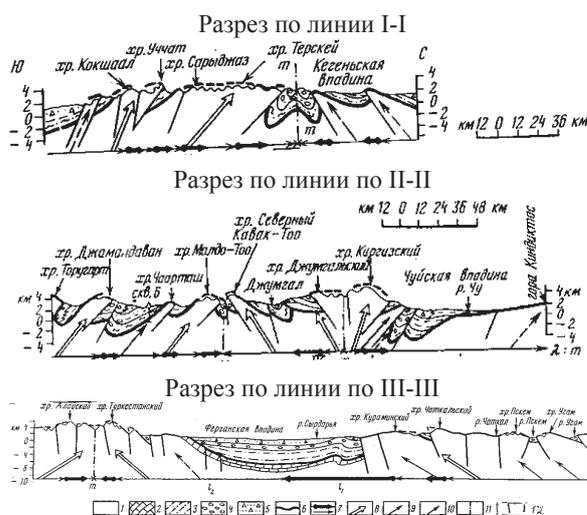


Рисунок 1б – Неотектонические профили, проведенные через восточную (линия I-I), среднюю (линия II-II) и западную (линия III-III) части Западного Тянь-Шаня: 1 – породы палеозойского основания; 2 – континентальные отложения платформенного типа: юры, мела, нижнего и среднего палеогена; 3 – породы орогенной молассы олигоцена – нижнего неогена; 4 – конгломераты неогена; 5 – четвертичные отложения; 6 – донегеновая поверхность выравнивания, выработанная на палеозойских породах; 7 – проекция короткого (l_1 – жирная стрелка) и длинного (l_2 – тонкая стрелка) крыльев вергентных структур; 8 – результирующее направление вергентных тектонических движений в новейших структурах, существующих с начала неотектонического этапа; 9, 10 – то же для поднятий, существующих: 9 – с верхнего неогена; 10 – с начала четвертичного времени; 11 – плоскость симметрии (m), фиксирующая антивергентный участок встречно-ориентированных тектонических движений земной коры; 12 – разломы

Сарыкамьшского (1970 г.), Жаланаш-Тюпского (1978 г.) и др. показал связи с азимутом направлений максимальных напряжений. Азимут оси напряжений сжатия преобладает в близмеридиональном направлении ($A_c = 150-170^\circ$ и $330-350^\circ$). Распределение оси сжатия в основном близгоризонтальное. Абсолютный максимум углов наклона осей приходится на интервал углов $0-25^\circ$.

Соответствие направлений деформации за новейшее время земной коры сейсмическим полям, современным движениям и полям измеренных напряжений в породных массивах, свидетельствует о наследовании современными деформациями новейших движений земной коры, что позволяет при-

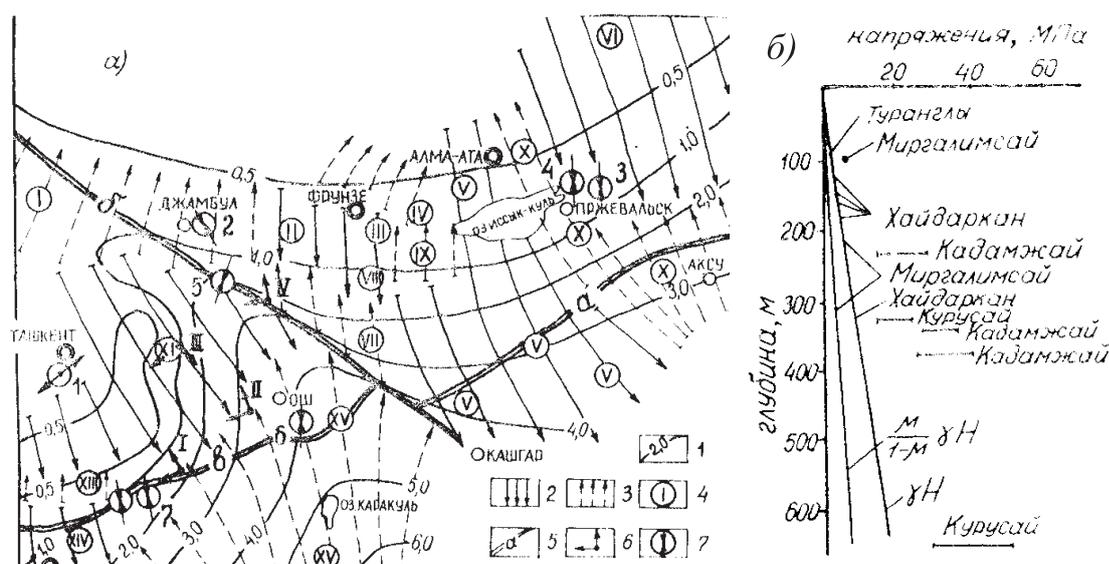


Рисунок 2 – Анализ напряженного состояния породного массива Тянь-Шаня на основе данных о современном движении земной коры и натурных измерений: а) 1 – средние скорости горизонтальных перемещений земной коры за новейшее время (мм/год); 2 – направления волновых движений земной коры, ориентированные на юг; 3 – направления волновых движений земной коры, ориентированные на север; 4 – система волн и их номера: I – Каратау-Таласская, II – Аспаринская, III – Чуйско-Киндиктасская, IV – Байбичесоурская, V – Трантяныпанская, VI – Джунгарско-Тенгританская, V – Тяньшанская, VI – Джунгарско-Тенгританская, VII – Кетментюбинско-Арпинская, VIII – Джумгалская, IX – Кочкорская, X – Кокшаал-Зайлииская, XI – Чаткальско-Ферганская, XII – Нуратауская, XIII – Туркестанская, XIV – Гиссаро-Байсунтауская, XV – Памиро-Алайская; 5 – глубинные разломы: а – Кокщаальский, б – Таласо-Ферганский, в – Гиссаро-Восточно-Алайский; 6 – направления максимальных горизонтальных напряжений, измеренные методом разгрузки: I – месторождение Хайдаркан, II – Улу-Тоо, III – Терексай, IV – Токтогульская ГЭС; 7 – направления максимальных напряжений сжатия по сейсмологическим данным: I – Ташкентское 26.04.1966 г.; 2 – Джамбульское 10.05.1971 г.; 3 – Сарыкамышское 05.06.1970 г.; 4 – Жаналаш-Тюпское 03.1978 г.; 5 – Чаткальское 03.12.1946 г.; 6 – Алайское 04.1978 г.; 7 – Баткенское 02.1977 г.; б) Распределение суогоризонтальных напряжений по измерениям в рудниках региона

влекать результаты исследований новейших движений земной коры для задач прогнозирования тектонических полей напряжений в породном массиве.

В моновергентном неотектоническом движении, являющемся следствием горизонтальных напряжений земной коры, принимает участие также не одна пара структур, а их множество. Такие однотипные ассиметричные структуры, распространенные на определенной площади названы системами. Такие системы структур Тянь-Шаня представлены на неотектонических профилях (рисунок 1, б) и карте-схеме вергентных структур (рисунок 2). Стрелками показаны направления вергентных неотектонических движений, и по существу, они являются силовыми полями горизонтальных напряжений. Они имеют различные направленности в различных складчатых областях региона.

2. О взаимосвязи складчатых и разрывных нарушений в породном массиве. Рассматриваемая горная система, состоящая из глыбово-склад-

чатых морфоструктур, каждая из которых представлена новейшей деформацией герцинского пенеплена. Разрывы весьма типичны для тяньшанских глыбовых складок (рисунок 3). Они, как правило, зарождаются на крутых крыльях ассиметричных складок.

Среди новейших разломов Тянь-Шаня, в большей своей части унаследованных от герцинского, а в ряде случаев и от каледонского этапов, особо следует выделить трансорогенный Таласо-Ферганский, пересекающий весь Тянь-Шань, и делящий его на северо-восточный эпигерцинский щит и юго-западную эпигерцинскую плиту. Все остальные новейшие разломы в большинстве своем субширотны. В Чаткало-Кураминской системе хребтов и на востоке Алайского поднятия они имеют северо-восточное, а в Таласо-Ферганском хребте – северо-западное простирание.

Многоэтапность геологического развития региона, смена во времени тектонических режимов,

создавших сложное сочетание унаследованных и новообразованных структур; неоднократные и резкие изменения структурного плана обусловили сложность полей напряжений.

Структурному анализу подвергнуты разломы первого порядка: Таласо-Ферганского (1) с Пскемским (2), линией Николаева (33), Южно-Ферганским (9), Атбаши-Иныльчекским (37). Направления действия главных нормальных напряжений, определенных по элементам залегания указанных разломов, совпали с азимутом направлений неотектонических напряжений, приведенных на рисунке 2, т. е. существует взаимосвязь между складчатыми и разрывными нарушениями. Следовательно, складки и разрывы, по существу, являются “физической памятью” породного массива, хранят

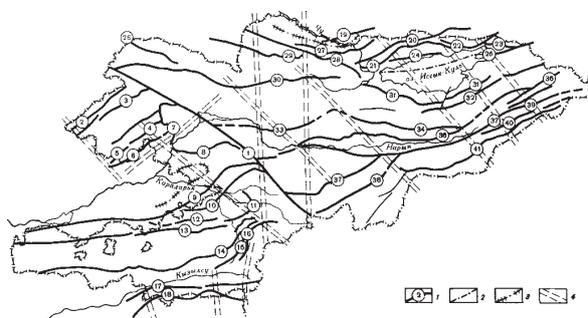


Рисунок 3 – Важнейшие новейшие разломы и линеаменты Тянь-Шаня на территории Кыргызстана: 1 – краевые разломы: 1 – Таласо-Ферганский, 2 – Пскемский, 3 – Чандалашский, 4 – Атойнокский, 5 – Алабукинский, 6 – Северо-Ферганский, 7 – Карасуйский, 8 – Арсланбобский, 9 – Южно-Ферганский, 10 – Мадинско-Талдысуйский, 11 – Тарский, 12 – Катарский, 13 – Южно-Наукатский, 14 – Заамин-Каравшинский (Кичикалайский), 15 – Гульчинский, 16 – Ойтальский, 17 – Заалайский (Вахшский), 18 – Дарваз-Каракульский, 19 – Предзаилийский, 20 – Кемино-Чиликский, 21 – Южно-Кунгейский, 22 – Северо-Аксуыйский, 23 – Талдысуйский, 24 – Культорский, 25 – Тасминский, 26 – Ичкелетауский, 27 – Иссыкатинский, 28 – Шамсинско-Тюндюкский, 29 – Чонкурчакский, 30 – Нарынский, 31 – Предтерсейский, 32 – Центрально-ТерСкейский, 33, 34 – линия Николаева, 35 – Сарыджазский, 36 – Нарынский, 37 – Атыаши-Иныльчекский, 38 – Чатыркельский, 39 – Каиндинский, 40 – Акшийракский, 41 – Борколдойский; 2 – разломы, выделенные по геофизическим данным; 3 – флексурно-разрывные зоны, выделенные по геофизическим данным; 4 – секущие линеаменты

обширную информацию о его структурно-геологических преобразованиях в прошлом и о его состоянии в настоящем.

Итак, модель напряженного состояния земной коры Тянь-Шаня сложная и источником напряжений в массивах являются не только гравитационные силы. Ориентировка тензора напряжений в пространстве зависит от многих факторов (наличия разгрузки, остаточных напряжений и др.), но главным образом от направленности естественных напряжений, созданных неотектоническими силами.

3. Прогнозирование напряженного состояния породного массива месторождения. Анализ неотектоники Тянь-Шаня позволил отметить еще одну ее особенность. Мегантиклиналь не только поднимается вверх, но и претерпевает процесс вергентности в сторону соседней впадины, приподнимая ее часть; в процессе вздымания образуется зона предгорий. Чем больше высота запрокидывающегося поднятия, тем больше ширина зоны предгорий. В Тянь-Шане, по данным О.К. Чедия [4], максимальные значения размаха рельефа по вертикали: нижнего яруса составляют 1500 м, среднего – 3500 м, и верхнего – до 7000 м. Ширина предгорий характеризует, по существу, величину передачи горизонтальных напряжений

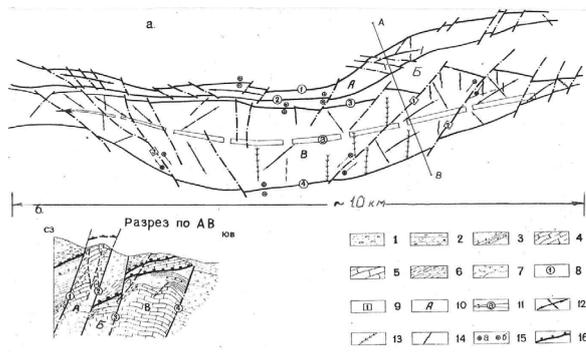


Рисунок 4 – Тектоническая схема (а) и обобщенный геологический разрез по линии А-В (б) месторождения Хайдаркан: 1 – четвертичные отложения; 2 – алудинские конгломераты; 3 – песчаные сланцы; 4 – тонкослоистые известняки; 7 – джаспероиды; 8 – субширотные разломы: 1 – Северный, 2 – Кара-Арчинский, 3 – Южный, 4 – Долинный; 10 – диагональные разломы: А – Северный; Б – Центральный; В – Южный; 11 – Направление основной антиклинальной складки; 12 – направление мелкой складчатости; 13 – дайки диабазовых порфиритов; 14 – меридиональные трещины отрыва; 15 – знаки, указывающие: а – блок опущен, б – блок поднят; 16 – ишметауский надвиг

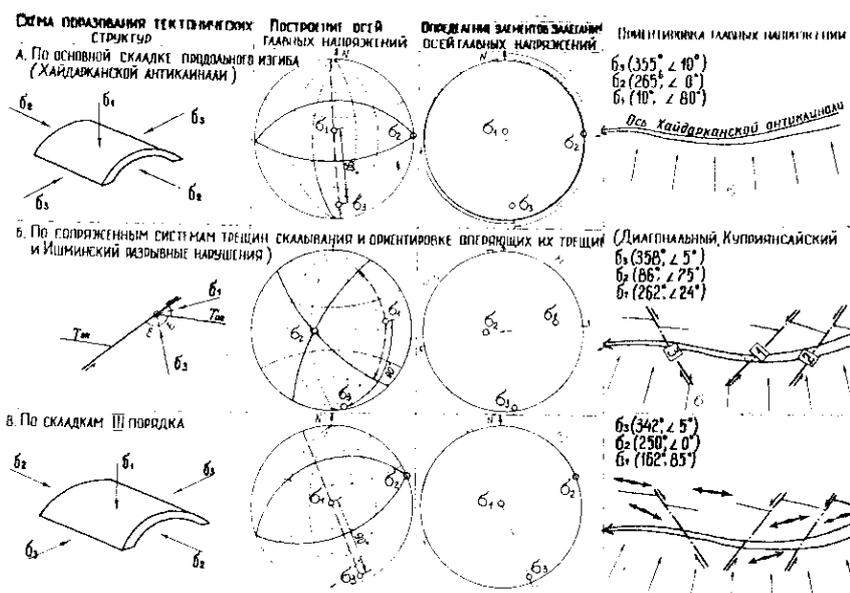


Рисунок 5 – Анализ тектонической структуры Хайдарканского месторождения на уровне антиклинали, разломов и по складкам третьего порядка

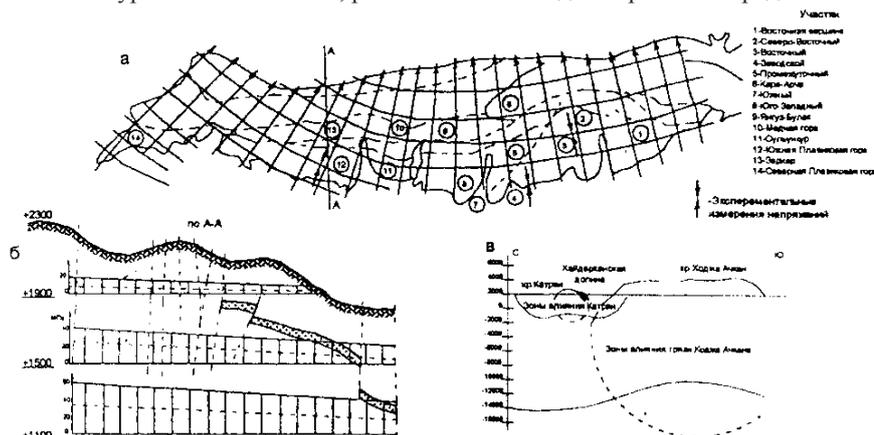


Рисунок 6 – Прогнозная карта породного массива Хайдарканского месторождения:

а – карта в плане на тектонической схеме месторождения; б – характерный разрез с эпорой напряжений на различных глубинах; в – распределение напряжений, показывающие влияние гор с глубиной

на расстояние. Так, например, Хайдарканское месторождение, занимая одноименную антиклинальную структуру, расположено в зоне высоких предгорий Алая. Она протягивается в широтном направлении более чем на 12 км, ширина ее 3 км. Основным складчатым сооружением месторождения является двугорбая антиклиналь асимметричного строения. Шарнир антиклинали вытянут в субширотном направлении. Крылья сложены разнотипным комплексом пород среднего и верхнего палеозоя. Они сложены рядом субпараллельных кулисообразно расположенных складок низших порядков (рисунок 4).

По результатам структурного изучения [10] месторождения произведен анализ складчатых и разрывных структур (рисунок 5), определены направления действия главных напряжений и составлена прогнозная карта направлений действия главных сжимающих напряжений в пределах месторождения по участкам (рисунок 6).

Таким образом, установлен факт существования вергентных систем структур на территории Тянь-Шаня, отражающих главные направления горизонтальных тектонических напряжений в плане, часто меняющих свои направления на противоположные – южные или северные. То есть, суще-

ствование взаимосвязи между складчатыми и разрывными нарушениями, причем высшие формы тектонических структур в породном массиве по отношению к низшим, являются определяющими.

Геометризация и тектонофизический анализ структуры конкретного месторождения в условиях Тянь-Шаня позволяет составить геодинамическую модель структуры, которая дает возможность реконструировать современные локальные поля напряжений в породном массиве изучаемого участка.

Литература

1. Садыбакасов И. Волновые движения земной коры и неотектоническое районирование Тянь-Шаня и Памира / И. Садыбакасов // Изв. АН Кирг. ССР. 1978. № 4. С. 20–29.
2. Садыбакасов И. Основные этапы тектонического развития в мезозойско-кайнозойское время / И. Садыбакасов // Изв. АН Кирг. ССР. 1978. № 6. С. 18–26.
3. Садыбакасов И. Неотектоника высокой Азии / И. Садыбакасов. М.: Наука, 1990. 180 с.
4. Чедия О.К. Морфоструктура и новейший тектогенез Тянь-Шаня / О.К. Чедия. Фрунзе: Илим, 1986. 314 с.
5. Уфимцев Г.Ф., Корженков А.М., Мамыров Э.М. Очерки рельефа и морфотектоники Тянь-Шаня / Г.Ф. Уфимцев, А.М. Корженков, Э.М. Мамыров. Новосибирск: Акад. изд. “Гео”, 2009. 127 с.
6. Мамбетов Ш.А., Баканов Н.Б. Геомеханическая оценка породного массива месторождения “Трудовое” / Ш.А. Мамбетов, Н.Б. Баканов // Изв. КГТУ им. И. Раззакова. 2009. № 16. С. 326–329.
7. Абдиев А.Р. Геомеханическое обеспечение горных работ в условиях месторождения Кара-Кече / А.Р. Абдиев. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2014. 147 с.
8. Мамбетов Ш.А. Прогнозирование и контроль напряженно-деформированного состояния массива пород в высокогорных районах / Ш.А. Мамбетов. Фрунзе: Илим, 1988. 187 с.
9. Мамбетов Ш.А., Абдиев А.Р., Мамбетов А.Ш. Зональная и поэтапная оценка напряженно-деформированного состояния породного массива Тянь-Шаня / Ш.А. Мамбетов, А.Р. Абдиев, А.Ш. Мамбетов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2003. 359 с.
10. Мамбетов Ш.А., Абдиев А.Р., Мамбетов А.Ш. Горные работы в условиях Тянь-Шаня / Ш.А. Мамбетов, А.Р. Абдиев, А.Ш. Мамбетов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2013. 181 с.