

УДК 622.831.312

**Абдиев Арстанбек Раимбекович**

кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры открытых горных работ  
и взрывного дела,  
Кыргызский государственный университет геологии,  
горного дела и освоения природных ресурсов  
им. акад. У. Асаналиева,  
720001, Кыргызстан, г. Бишкек,  
Проспект Чуй, д. 215  
e-mail: [abдиев\\_arстан@mail.ru](mailto:abдиев_arстан@mail.ru)

#### **РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОРОДНЫХ МАССИВАХ**

*Аннотация:*

*В пределах горной системы Тянь-Шань установлено наличие значительных горизонтальных тектонических напряжений с зональным распределением векторов, обуславливающих геомеханическое состояние массивов при ведении горных и горно-строительных работ.*

*Своевременная и объективная оценка геомеханического состояния породного массива не только предотвращает воздействие негативных геомеханических процессов, но и в целом предопределяет технико-экономические показатели ведения горных и горно-строительных работ.*

*Вместе с тем практика проектирования, строительства и эксплуатации горных предприятий и других объектов строительства в республике показывает высокий уровень проявления негативных геомеханических процессов в породных массивах на этапах их строительства и эксплуатации.*

*С целью изучения геомеханических процессов, протекающих в породных массивах на протяжении геологической истории исследуемых объектов, накопленных в так называемой «геологической памяти», прогнозирования их возможного проявления и управления ими, был разработан метод зонального и поэтапного прогнозирования геомеханического состояния породного массива, включающий метод геологической оценки на первом этапе в пределах складчатой зоны, метод горно-геологической оценки в пределах месторождения на втором этапе и методы горно-технологической оценки и контроля состояния породного массива вблизи горной выработки или обнажения в динамике ведения работ на третьем этапе.*

*Применение разработанных методов оценки геомеханического состояния породных массивов некоторых рудных (Терексай, Хайдаркан, Трудовое) и угольных (Кара-Кече, Мин-Куш, Кок-Мойнок, Таи-Комур) месторождений дало положительные результаты при выборе мест заложения вскрывающих выработок и отвалов, оптимальных параметров ведения вскрышных, добычных, проходческих и очистных работ, проектирования и планирования новых участков.*

*Раскрыта суть метода оценки первого этапа – геологической оценки породного массива складчатой зоны расположения месторождения, позволяющего перейти на методы оценки второго и третьего этапов, способствующих созданию геомеханической модели объекта, что будет освещено в последующих публикациях автора.*

*Ключевые слова:* сложное геологическое строение, структура, тектоническая единица, разрывные нарушения, физико-механические свойства, тектоническое движение, горизонтальные напряжения, геомеханические процессы.

DOI: 10.25635/2313-1586.2020.01.049

**Abдиев Арстанбек R.**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor,  
Department of open cast mining and blasting,  
Kyrgyz State University of Geology, Mining  
and Development of Natural Resources  
named after Academician U.A. Asanaliev,  
Kyrgyzstan, 720001, Bishkek, 215 Chuy Ave  
e-mail: [abдиев\\_arстан@mail.ru](mailto:abдиев_arстан@mail.ru)

#### **DEVELOPMENT OF FORECASTING METHODS FOR GEOMECHANICAL PROCESSES IN ROCK MASS ARRAYS**

*Abstract:*

*Significant horizontal tectonic stresses with a zonal distribution of vectors that determine the geomechanical state of the massifs during mining and construction works have been established within the Tien Shan mountain system.*

*Timely and objective assessment of the geomechanical state of the rock mass not only prevents the impact of negative geomechanical processes, but also generally determines the technical and economic indicators of mining works and mountainous construction activities.*

*At the same time, the practice of designing, building and operating mining enterprises and other construction objects in the republic shows a high level of manifestations of negative geomechanical processes in rock massifs at the stages of their construction and operation.*

*In order to study the geomechanical processes that took place in the rock masses throughout the geological history of the studied objects accumulated in the so-called "geological memory", to predict their possible manifestation and control them, we offer a method of zonal and phased forecasting of the geomechanical state of an array including: a method of geological assessment at the first stage within the folded zone, a method of mining and geological assessment within the field at the second stage and methods of mining and technological assessment and monitoring of the state of the rock mass near the mining area or exposure in the dynamics of work at the third stage.*

*Application of the developed methods for assessing the geomechanical condition of rock masses of some: ore deposits – Tereksai, Khaidarkan, Trudovoye; coal deposits – Kara-Keche, Min-Kush, Kok-Moinok, Tash-Komur, gave positive results when choosing the location of the open pit openings and dumps, the optimal parameters for stripping, mining, sinking and second works, design and planning of new sites.*

*In this article, the author reveals the essence of the method of assessing the first stage – the stage of geological assessment of the rock massif of the folded zone of the field location, which allows switching to the second and third stages of the assessing methods, which contribute to the creation of a geomechanical model of the object, which will be highlighted in subsequent publications of the author.*

*Keywords:* complex geological structure, constitution, tectonic unit, discontinuous disturbances, physical and mechanical properties, tectonic movement, horizontal stresses, geomechanical processes.

### *Введение*

Кыргызстан территориально занимает основную часть Тянь-Шаня, для которой характерна ярко выраженная тектоническая зональность, отражающая разновозрастность образующих ее складчатых систем [1 – 4]. По возрасту основных фаз тектогенеза в пределах Тянь-Шаня выделяются каледонская складчатая область Северного Тянь-Шаня, герцинская складчатая область Южного Тянь-Шаня и разделяющая их складчатая область Срединного Тянь-Шаня, где проявились как каледонские, так и герцинские тектонические движения [9, 21 – 23]. Накоплен огромный информационный материал многочисленных ученых, что объективно отмечается в работах [1 – 23], и задача современных недропользователей – объективно, умело использовать его в эффективном и безопасном освоении месторождений полезных ископаемых, строительстве сооружений и объектов различного назначения [17 – 20].

#### *Анализ геомеханического состояния породного массива Жумгальской складчатой зоны*

Анализ в пределах Жумгальской складчатой зоны и месторождения Кара-Кече, а также построение модели формирования тектонической структуры последнего показывает, что поле напряжений в породном массиве месторождения формируется под влиянием многих факторов, действие которых распространяется в масштабах от нескольких метров до десятков километров геологических структур. То есть породный массив месторождения Кара-Кече – это результат действия следующих факторов: физико-механических свойств горных пород массива, слоистости и сланцеватости, трещиноватости, которые характеризуют раздробленность породного массива, водоносности, напряженного состояния массива, времени [20].

Как показывает анализ практики ведения горных работ, в основном причины неудач в борьбе с геомеханическими процессами заключались в проведении локальной оценки мероприятий и игнорировании необходимости учета зональных особенностей напряженно-деформированного состояния породного массива в высокогорном регионе, связанных с главенствующей ролью горизонтальных движений в эволюции земной коры; зональными распределениями полей тектонических напряжений; влиянием рельефа [20].

Складчатая зона Жумгал, в том числе месторождение Кара-Кече, составляют звено региона Северного Тянь-Шаня [20 – 23].

Горообразовательные движения в Тянь-Шане во времени и пространстве протекали вполне закономерно, образуя ряд преимущественно широтно вытянутых «силовых полей», в пределах которых ориентировка движений была строго направленной: либо с юга на север, либо с севера на юг. Каждое такое «поле» в структурном плане объединяет определенную систему мегаантиклиналей (хребтов) и мегасинклиналей (межгорных впадин), связанных единством процесса формирования, со свойственными ей чертами строения и взаимоотношения структурных форм, а также миграцией областей сноса и осадконакопления.

Все это дает основание принять неотектоническое районирование [1, 3, 9] для геологической оценки складчатой зоны. Для Тянь-Шаня установлено, что высшие формы складчатых нарушений являются определяющими по отношению к низшим, это дает возможность перейти к следующему этапу прогнозирования напряженного состояния породного массива уже в пределах рассматриваемого месторождения. Напряженное состояние прогнозируется на базе тектонических сведений района месторождения, благодаря использованию структурных способов восстановления поля напряжений, в случае необходимости – экспериментальных [23].

Важнейшими характеристиками оценки массива вблизи горных выработок является величина и характер распределения напряжений в нем. Задача распределения напряжений аналитически решена в статике многими исследователями как в плоскости, так и

в объеме [9 – 11]. Определен характер распределения напряжений в массиве. Реальный массив в процессе ведения горных работ находится в условиях непрерывно меняющейся горнотехнической обстановки под действием изменчивого напряженного состояния, фактора времени и т.д. Под влиянием различных факторов изменяется динамика напряжений и деформаций. А для количественной оценки распространения зон концентрации напряжений и разрушения пород необходимо знать величину и направление главных напряжений, а также предел прочности породы, оперативное определение которых в натурных условиях затруднительно [9, 20].

Реконструкции осей главных нормальных напряжений по элементам залегания тектонических (складки и разрывы) структур в условиях месторождения Кара-Кече показали, что в породном массиве действуют горизонтальные тектонические силы, направленные к оси основной синклинали под углом  $84^\circ$ , то есть почти перпендикулярно [20]. Высокие горизонтальные тектонические напряжения с зональными распределениями по направлению действия будут являться источником формирования высоких концентраций напряжений вокруг открытых (откосов, берм, уступов) и подземных (штреков, квершлагов) горных выработок при размещении их поперек этих силовых полей.

Наличие горизонтальных полей напряжений с зональными распределениями по направлению действия, взаимосвязь складчатых и разрывных структур в складчатой зоне и месторождении указывают на то, что тектонофизический анализ представляется наиболее перспективным путем к отысканию способов прогнозирования состояния породного массива при ведении горных работ.

На основании установленных закономерностей и фактов – наличия горизонтальных тектонических напряжений с зональными распределениями по направлению действия в пределах складчатой зоны и месторождения – разработан способ прогнозирования геомеханических процессов в породных массивах (рис. 1).

В условиях неоднородной, сложно построенной геологической среды сложного соподчинения тектонических структур разного порядка, интерференции тектонических движений, связанных с множеством взаимодействующих факторов, имеющих разную природу, глубину заложения и проявляющихся на протяжении различных отрезков времени выделение определенных ступеней в иерархической лестнице тектонических структур оказывается возможным только благодаря тому, что каждая ступень может рассматриваться самостоятельно и функционировать как единое целое.

#### *Геологическая оценка породного массива в пределах тектонической зоны*

На основании проведенного тектонофизического анализа в пределах Жумгальской складчатой зоны установлено [20], что горный рельеф складчатой зоны, созданный в результате новейших тектонических движений, в плане представлен крупными складками. Складки в ходе своего развития осложнены многочисленными разрывными дислокациями. Разрывы пород разнообразны по величине: от крупнейших, осложняющих соотношение антиклинальных поднятий горных систем и синклиналиных прогибов межгорных впадин, до мелких и мельчайших.

Роль разрывных нарушений Жумгальской складчатой зоны в деформировании земной коры этого тектонически сложного региона огромна. На протяжении геологической жизни характер развития разрывных нарушений непрерывно менялся [20]. Следовательно, основными информативными параметрами массива в пределах складчатой зоны служат элементы крупных тектонических складчатых и разрывных нарушений.

Установлено, что в формировании структуры месторождения Кара-Кече основную роль играют мегантиклинали Северный Кавак-Тоо и Молдо-Тоо Жумгальской складчатой зоны, обрамляющие Каракечинскую впадину.

На основании геологической оценки по элементам залегания мегантиклиналей Северный Кавказ-Тоо и Молдо-Тоо определена ориентировка осей главных тектонических напряжений на современном этапе (рис. 2). Полученный азимут направления действия максимальных ( $\sigma_1=142^\circ$ ,  $\angle 2^\circ$ ) сжимающих тектонических напряжений совпадает с данными неотектоники региона.

Геологическая оценка является предварительным и одновременно долгосрочным (15 – 30 лет) прогнозированием состояния породного массива в пределах тектонической единицы – Жумгальской складчатой зоны [20].



Рис. 1 – Способ прогнозирования геомеханических процессов в породных массивах [9, 20]

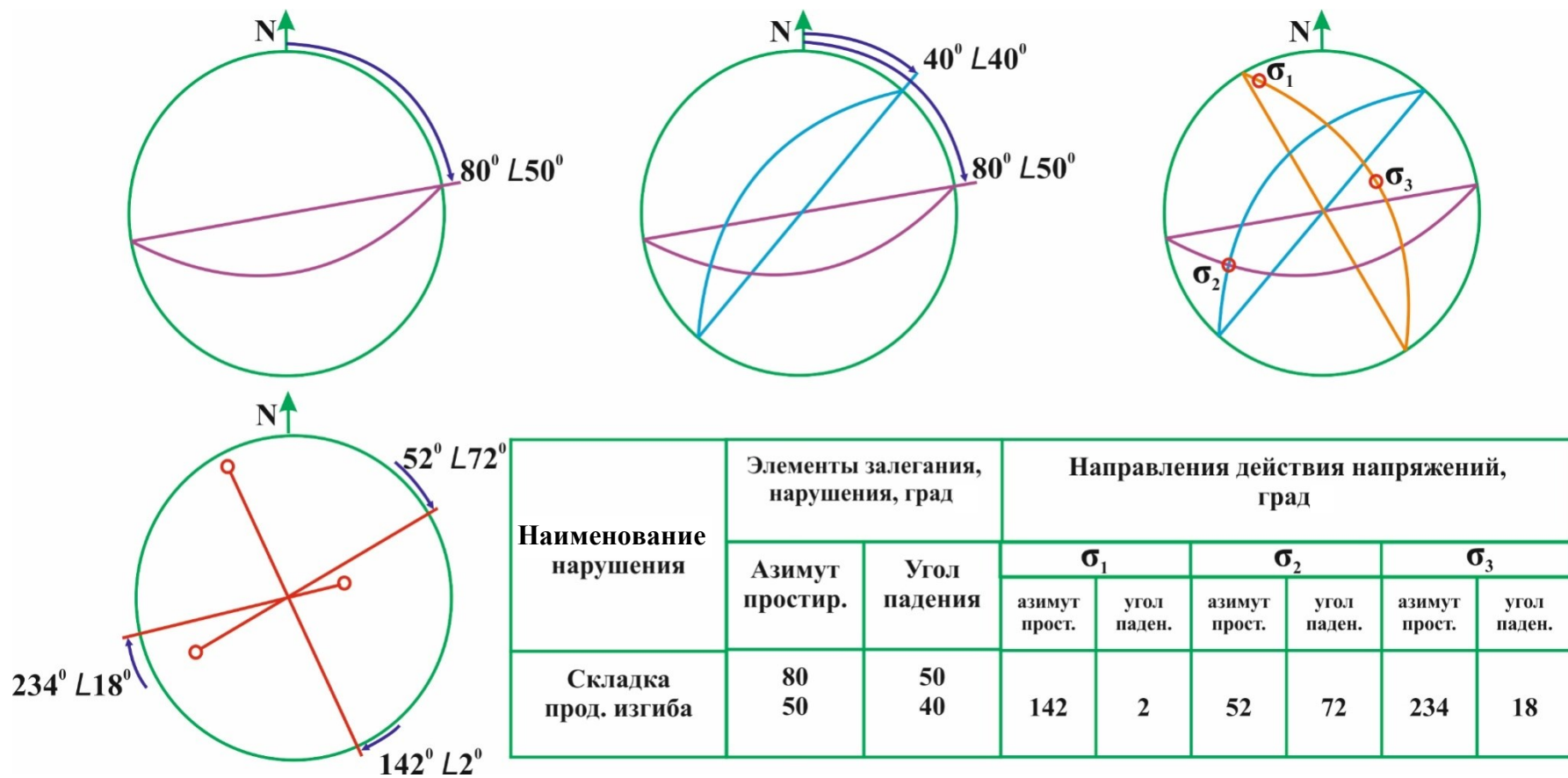


Рис. 2 – Схема выполнения операций и пример анализа складки продольного изгиба при способе оценки геомеханического состояния породного массива Жумгальской складчатой зоны [20]



### Заключение

Таким образом, тектонические структуры Жумгальской складчатой зоны – складки и разрывные нарушения различных порядков – несут информацию о характере деформационных процессов в породном массиве в прошлом.

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

Вергентность структурных форм складчатой зоны, по существу, является направлением действия неотектонических напряжений.

Сопоставительный анализ неотектонических данных [1, 3] и результатов натуральных измерений напряжений в породных массивах ряда месторождений и гидротехнических сооружений показывает [9 – 11, 20], что в регионе действуют горизонтальные тектонические силы неотектонической природы с зональным распределением по направлению действия.

Результаты первого этапа оценки – геологической оценки геомеханического состояния породного массива Жумгальской складчатой зоны, где расположено высокогорное месторождение Кара-Кече – демонстрируют свою сходимость с результатами, полученными в регионе. В складчатой зоне также действуют горизонтальные тектонические силы неотектонической природы, но отличные по направлению действия. Очевидно, можно утверждать, что они сыграли определяющую роль в геологическом строении месторождения Кара-Кече и, соответственно, в геомеханических процессах, протекавших в породном массиве месторождения. Для достижения задач разработанного метода зональной и поэтапной оценки геомеханического состояния породного массива – разработки геомеханической модели и прогнозной карты объекта исследований – необходимо выполнить второй этап оценки – горно-геологическую оценку породного массива объекта с учетом зон влияния рельефа местности в плане и на глубину, что позволит на стадии проектирования и строительства принять оптимальные варианты генерального плана объекта строительства. А затем по результатам третьего этапа оценки вблизи горных выработок и обнажений в динамике ведения работ нужно дополнять разработанную геомеханическую модель объекта.

### Литература

1. Садыбакасов И. Неотектоника высокой Азии / И. Садыбакасов. – М.: Наука, 1990. – 180 с.
2. Seltmann R., Konopelko D., Biske G., Divaev F., Sergeev S. Hercynian post-collisional magmatism in the context of Paleozoic magmatic evolution of the Tien Shan orogenic belt / рецензируемое сетевое периодическое научное издание/ Journal of Asian Earth Sciences. 2011. - Vol. 42. No. 5. - P. 821 – 838. – [Электронный ресурс] - Режим доступа: // <http://elibrary.ru>
3. Буртман В.С. Тектоника и геодинамика Тянь-Шаня в среднем и позднем палеозое / В.С. Буртман // Геотектоника: рецензируемое сетевое периодическое научное издание. - 2015. - № 4. - С. 67 – 85. [Электронный ресурс] - Режим доступа: // <http://elibrary.ru>
4. Макаров В.И. Межгорные и внутригорные впадины Тянь-Шаня: формационные, структурные и геодинамические различия / В.И. Макаров // Геология и геофизика: рецензируемое сетевое периодическое научное издание. - 2012. - Т. 53. № 4. - С. 476 – 488. [Электронный ресурс] - Режим доступа// <http://elibrary.ru>
5. Charvet J., Shu L., Laurent-Charvet S., Wang B., Faure M., Cluzel D., Chen Y., Jong K. D. Palaeozoic tectonic evolution of the Tianshan belt, NW China // Science China Earth Sciences: рецензируемое сетевое периодическое научное издание. - 2011. - Vol. 54. Iss. 2. P. - 166 – 184. [Электронный ресурс] – Режим доступа: // <http://elibrary.ru>
6. Гущенко О.И. Анализ ориентировок скальных тектонических смещений и их

тектонофизическая интерпретация при реконструкции напряжений / О.И. Гущенко // ДАН СССР. – 1973. – Т. 220, № 2. – С. 331 - 335.

7. Гзовский М.В. Основы тектонофизики / М.В. Гзовский. – М.: Наука, 1975. – 535 с.

8. Xiao W., Windley B. F., Allen M. B., Han C. Paleozoic multiple accretionary and collisional tectonics of the Chinese Tianshan orogenic collage / рецензируемое сетевое периодическое научное издание/ Gondwana Research. 2013. - Vol. 23. No. 4. - P. 1316 – 1341. [Электронный ресурс] – Режим доступа: // <http://elibrary.ru>

9. Мамбетов Ш.А. Прогнозирование и контроль напряженно-деформированного состояния массива пород в высокогорных районах / Ш.А. Мамбетов. – Фрунзе: Илим, 1988. – 187 с.

10. Айтматов И.Т. Некоторые результаты измерения напряжений в пределах Курусай-Туранглинского рудного поля / И.Т. Айтматов, К.Д. Вдовин, К.Ч. Кожоголов // Измерения напряжений в массиве горных пород. Ч.2. – Новосибирск: ИТД СО АН СССР. – 1976. – С. 32 - 35.

11. Айтматов И.Т. Экспериментальные исследования напряженного состояния массива горных пород на месторождениях Средней Азии / И.Т. Айтматов, К.Д. Вдовин, Н.Г. Ялымов // Изв. АН Кирг. ССР. – 1978. - № 4. – С. 34 - 38.

12. Современная геодинамика литосферы Тянь-Шаня / Ф.Н. Юдахина, О.К. Чедия, Г.М. Сабитова и др. – М.: Наука, 1991 – 192 с.

13. Malyukova N. Hypogene zoning of polymetallic rare-earth and rare-metal deposits in the Ak-Tyuz ore field (Northern Tien Shan, Kyrgyzstan) // Second International Workshop on Tethyan Orogenesis and Metallogeny in Asia. – Wuhan: China University of Geosciences, 2015. - P. 59 – 63.

14. Айтматов И.Т. Геомеханика рудных месторождений Средней Азии / И.Т. Айтматов. – Фрунзе: Илим, 1987 – 246 с.

15. Барях А.А. О механизме формирования карстовых провалов на земной поверхности / А.А. Барях, А.К. Федосеев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2011. - № 4. - С. 12 – 22.

16. Сашурин А.Д. Современные геодинамические движения и их роль в формировании напряженно-деформированного состояния массива горных пород / А.Д. Сашурин // Геомеханика в горном деле: матер. Всероссийской науч.-техн. конф. с междунар. участием. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2014. - С. 3 – 12.

17. Мамбетов Ш.А. Геомеханические процессы в породных массивах / Ш.А. Мамбетов, А.Р. Абдиев: учебник в 2-х томах, Т. 2. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2013. – 198 с.

18. Ялымов Н.Г. Теоретические основы управления давлением пород при разработке месторождений в горных районах / Н.Г. Ялымов. – Бишкек: Илим, 1992. – 184 с.

19. Мамбетов Ш.А. Горные работы в условиях Тянь-Шаня / Ш.А. Мамбетов, А.Р. Абдиев, А.Ш. Мамбетов. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2013. – 282 с. – Режим доступа// [www.lib.krsu.edu.kg](http://www.lib.krsu.edu.kg)

20. Абдиев А.Р. Геомеханическое обеспечение горных работ в условиях месторождения Кара-Кече / А.Р. Абдиев. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2014. – 147 с.

21. 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 // Вестник КРСУ: рецензируемое сетевое периодическое научное издание. – [Электронный ресурс] - Режим доступа: [www.lib.krsu.edu.kg](http://www.lib.krsu.edu.kg)

22. Абдиев А.Р. Оценка геомеханического состояния горных структур Тянь-Шаня для рационального ведения горных и горно-строительных работ / А.Р. Абдиев, Р.Ш. Мамбетова, Ш.А. Мамбетов / Горный журнал – 2017. – № 4.

23. Мамбетов Ш.А. Геомеханическое состояние породного массива Тянь-Шаня / Ш.А. Мамбетов, А.Р. Абдиев. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2019.– 208 с.