

Касымканова Х.М.,  
Джангулова Г.К.,  
Бектур Б.К., Туреханова В.Б.,  
Байдаулетова Г.К.

**Исследование  
геомеханического состояния  
горного массива  
с применением метода  
теплометрии**

Kassymkanova H.M.,  
Jangulova G.K.,  
Bektur B.K., Turekhanova V.B.,  
Baidauletova G.K.

**The searching of geomechanic  
condition of solid rock applying  
method of heat measuring**

Касымканова Х.М.,  
Джангулова Г.К., Бектур Б.К.,  
Туреханова В.Б.,  
Байдаулетова Г.К.

**Теплометриялық  
әдісті қолдана отырып, тау-кен  
массивінің геомеханикалық  
жағдайын зерттеу**

В статье рассматриваются вопросы влияния структурно-тектонических особенностей и физико-механических свойств горных пород на устойчивость откосов с учётом фактора времени и массовых взрывов, буровзрывных работ на устойчивость уступов и бортов карьеров, сложенных скальным и полускальными трещиноватыми породами, предлагаются частные решения. Способы ведения взрывных работ на карьерах в значительной мере влияют на прочность, а следовательно, и на устойчивость пород. Обрушение отдельных уступов, а иногда и групп уступов, во многих случаях вызвано тем, что при подходе к предельному контуру не соблюдался противодеформационный режим взрывных работ. Действие взрывной волны распространяется на поверхность, вызывая упругие и остаточные деформации, при этом напряжение по отдельным направлениям, в особенности в местах их концентрации, достигают значительной величины, превышающей предел прочности пород, что вызывает необратимую деформацию уступов и их разрушение. Исследована методика теплометрического способа экспресс-оценки нарушенности горного массива

**Ключевые слова:** разработка месторождений, нарушенность горного массива, техногенные обрушения, пылеподавление, карьер, массив горных пород, устойчивость, укрепление, ослабленные участки.

This article discusses the impact of structural and tectonic characteristics and the physical and mechanical properties of rocks on the slope stability, taking into account the time factor and massive explosions. Questions about the impact of blasting on the stability of pit walls and ledges stacked rock and semi fractured rocks, which offered partial solutions. Methods of blasting in quarries greatly affect the strength, and hence the stability of rocks. Collapse of the individual benches, and sometimes groups of ledges, in many cases due to the fact that the approach to the limit circuit is not observed protivodeformatsionny blasting mode. The action of the detonation wave propagates surface, causing the resilient and permanent deformation, the voltage in some areas, especially in places of their concentration reaches a significant magnitude greater than the tensile strength of rock, which causes irreversible deformation and destruction of the ledges. The studies revealed that at the approach of drilling and blasting to the project outline career, in order to avoid deformation processes in the quarry slopes, which have already been delivered in the design position, for further safety mining in the underlying horizons for their adjustments need to explore the mountain for its internal disturbance. Studied technique teplometricheskogo way to a rapid assessment of the rock mass disturbance

**Key words:** Mining, disturbance of the massif, man-made collapse, dust suppression, quarry, rock mass, stability, strengthening weakened areas.

Мақалада уақыт факторына байланысты жаппай аттыру (жару) барысындағы тау жыныстарының тұрақтылығы мен физика-механикалық қасиеттері, құрылымдық және тектоникалық әсері ерекшеліктері қарастырылған. Ашық әдіспен қазымдау кезінде тау-кен жұмыстарындағы жарғабақты және жартылай жарғабақты жарықшақты құрылымды тау жыныстарын бұрғылап аттыру барысындағы кертпешелер мен карьер кемерлерінің тұрақтылығы. Ашық тау-кен жұмыстарындағы тау жыныстарының тұрақтылығы мен беріктігіне байланысты бұрғылап аттыру жұмыстарын жүргізу. Жеке және топты кертпешелердің бұзылуы мен құлау әсері, аттыру жұмыстары барысында деформацияның алдын алу шараларының дұрыс қолданбауы ескерілген. Белгіленген беріктік шегінен тыс жарылыс толқыны болатын серпімді қалдықты деформациялар әсері және кертпешелер мен карьер кемерінің қайтпас деформациялық бұзылуына әкеліп соғады.

Зерттеу барысында ашық тау-кен жұмыстарындағы бұрғылап аттыру жұмыстарын жүргізу барысында карьер кертпешелері мен кемерлерінің бұзылуын және деформациялық үдерістерін тау жынысын жарықшақтық пен бұзылғыштығын зерттеу арқылы алдын алу маңыздылығы зерттелген. Тау-кен массивінің бұзылуын экспресс-бағалаудың теплометриялық әдістемесі қарастырылған.

**Түйін сөздер:** Кен қорын игеру, кен массивінің бұзылуы, техногендік құламалар, шаңды басу, карьер, кен жынысының массиві, тұрақтылық, бекіту, босаңсу аймағы.

**ИССЛЕДОВАНИЕ  
ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО  
СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО  
МАССИВА С  
ПРИМЕНЕНИЕМ  
МЕТОДА  
ТЕПЛОМЕТРИИ**

**Введение**

Для современного этапа развития открытых разработок месторождений полезных ископаемых характерны: увеличение глубины карьеров, сроков службы откосов уступов и бортов карьеров, рост объемов вскрыши, интенсификация и концентрация горных работ, сложность инженерных, геологических и гидрогеологических условий разработки месторождений, низкое содержание полезных компонентов в руде. Свыше 70% карьеров имеют глубину свыше 200 м, многие карьеры отрабатывают горизонты 400 – 500 м от земной поверхности, а проектные глубины достигают 700 и более метров. С целью повышения эффективности и полноты отработки месторождения, улучшения технико-экономических показателей работы предприятия, обеспечения безопасности ведения горных работ в карьере требуется надежное обеспечение устойчивости карьерных откосов. При этом основной задачей является определение оптимальных параметров откосов, обеспечивающих их длительную устойчивость при минимальных объемах вскрышных работ.

Однако, несмотря на достигнутые при выполнении многочисленных исследований успехи и предпринимаемые при этом значительные усилия, проблема обеспечения устойчивости карьерных откосов изучена еще далеко не достаточно полно и требует дальнейшей разработки и совершенствования многих входящих в нее вопросов.

В данной статье рассматриваются вопросы влияния структурно-тектонических особенностей и физико-механических свойств горных пород на устойчивость откосов с учётом фактора времени и массовых взрывов. Вопросы о влиянии буровзрывных работ на устойчивость уступов и бортов карьеров, сложенных скальным и полускальными трещиноватыми породами, в которых предлагаются частные решения.

Эффективность открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых можно существенно повысить за счет применения инженерных способов управления, что, в свою очередь, обеспечивается путем получения достоверной информации о состоянии прибортового массива [1, 2].

Поэтому проблема обеспечения устойчивости карьерных откосов является важной, особенно для скальных и полускаль-

ных трещиноватых массивов, так как при высокой прочности отдельных монолитных блоков наличие в массивах поверхностей ослабления в виде трещин отдельности большого протяжения, поверхностей смесителей тектонических нарушений, контактов слоистых пород резко ухудшает устойчивое состояние откосов.

Из многих факторов, влияющих на устойчивость откосов с вмещающими скальными и полускальными породами, можно выделить три основных фактора, требующих обязательного учёта при исследовании геомеханических процессов:

- 1) структурно-тектонические особенности горного массива;
- 2) физико-механические свойства горных пород;
- 3) исследование влияния фактора времени и влияния массовых взрывов на устойчивость откосов.

Поэтому обеспечение устойчивости откосов и уступов карьеров является комплексной задачей, решение которой должно включать не только определение параметров устойчивых откосов, но и управление ими для достижения лучших экономических результатов и природных ресурсов.

### Объект исследования

Анализ опыта разработки, фактические данные о состоянии устойчивости бортов некоторых рудных карьеров Центрального Казахстана показывают, что эффективность открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых существенно повысится за счет применения инженерных способов управления, который, в свою очередь, обеспечивается путем получения достоверной информации о геомеханическом состоянии прибортового массива. Наиболее показательным объектом при исследовании устойчивости бортов карьера является месторождение Конырат, по основной добыче медной руды в сложных горно-геологических условиях.

В структурном плане Коныратское месторождение приурочено к штоку гранодиорит-порфиров, который расположен на пересечении нескольких разломов в ядре синклиальной складки и представляет собой апикальную часть большого интрузива гранитоидов, не вскрытого эрозией. Граниты штока крутопадающие и осложнены многочисленными апофизами различной мощности и формы [3-5].

Складчатые нарушения проявились в смятии вулканогенной осадочной толщи в крупную синклинальную складку северо-западного

простираения с крутым падением крыльев к юго-западу. Синклиналь местами осложнена дополнительными складками более высоких порядков. Последние имеют размеры, не превышающие первых сотен метров в поперечнике, и отмечены в юго-западной части месторождения.

Разрывные нарушения на месторождении по генезису и времени заложения разделяются на региональные дорудные системы трещин, развитые как в породах, слагающих месторождение, так и за его пределами, и локальные системы трещин (дорудного, внутрирудного и пострудного возраста), развитые исключительно в пределах самого месторождения.

Для Коныратского рудника характерны полускальные и скальные, разрушающиеся под воздействием влаги, горные породы, представленные отдельностями размером 0-1500 мм. Естественная влажность пород колеблется в пределах 2,5-3,0%.

Рудное поле месторождения сложено вторичными кварцитами, образовавшимися за счёт кислых эффузивов и дацит-порфиров. Основная масса руды приурочена к вторичным кварцитам, образованным по дацит-порфирам и, в меньшей степени, к вторичным кварцитам, образованным по эффузивным породам осадочно-метаморфической толщи. В слабо изменённых и неизменённых породах оруденение практически отсутствует.

Месторождение Конырат представлено штокверковым телом бедных вкрапленных и мелкопрожилковых руд. В плане штокверк имеет подковообразную, почти изометрическую форму. Максимальная его длина – 1200 м, ширина в среднем 700 м, глубина оруденения достигает 500 м от поверхности.

Промышленное значение на месторождении имеют медное и молибденовое оруденения, характером распределения которых определяется вертикальная и горизонтальная зональность месторождения. Зона окисления к настоящему времени отработана. Зона вторичного сульфидного обогащения развита очень широко и имеет важное промышленное значение. Нижняя граница этой зоны прослеживается на глубинах 350-400 м и имеет весьма сложную конфигурацию.

Среди зоны вторичного сульфидного обогащения нередко встречаются довольно крупные участки преобладающего распространения первичных минералов, меди; переходы между зоной вторичного сульфидного обогащения и зоной первичных руд постепенные, расплывчатые. Наблюдается образование «карманов», глубоко уходящих внутрь зон.

Ниже зоны вторичного сульфидного обогащения залегают первичные сульфидные руды, представленные вкрапленностью халькопирита и пирита. Характерной особенностью месторождения является уменьшение содержания меди с глубиной и к периферии штокверка.

Распределение меди отличается некоторой неравномерностью, вследствие чего выделяются участки бедных, средних и богатых руд. Молибденовое оруденение в целом для месторождения развито в тех же границах, что и медное, однако часто переходит за контуры медного, образуя независимые концентрации. Участки повышенных концентраций металла отчётливо тяготеют к фланговым зонам. Постоянным спутником молибденового оруденения является мышьяк в форме энаргита и блёклых руд.

Таким образом, вертикальная зональность рудного тела выражена постепенным снижением интенсивности сульфидного оруденения. Горизонтальная зональность проявлена в концентрическом строении рудного тела относительно его условного центра, совпадающего с безрудным ядром. По радиусам от последнего в

сторону контакта штока гранодиорит-порфиров интенсивность медного оруденения нарастает, но вблизи самого контакта она снова снижается, и здесь отмечаются самые высокие концентрации молибдена и мышьяка, часто ассоциирующиеся с андалузитом.

Основные концентрации серы связаны с пиритом, равномерно распределённым во всех участках месторождения, что определяет равномерное распределение серы на месторождении. Содержание железа несколько увеличивается с глубиной, что объясняется хлоритизацией, биотитизацией, магнетитизацией, развивающимися на нижних горизонтах.

Из всех полезных компонентов практическое значение имеют медь, молибден, сера, золото, серебро, рений, селен и теллур. Форма нахождения селена и теллура не выяснена. Основной минерал меди зоны первичных руд – халькопирит.

Исходя из генетических и структурно-морфологических особенностей, Коньратское месторождение относится к меднопорфировому промышленному типу. На рисунке 1 приведен структурный разрез по борту карьера.

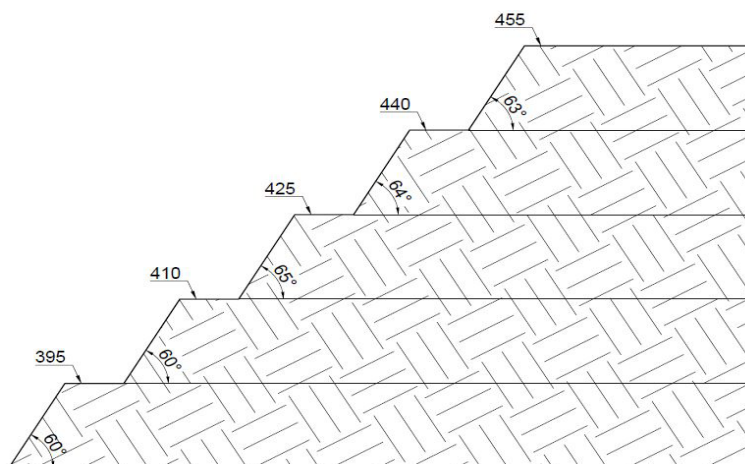


Рисунок 1 – Структурный разрез по борту

### Исходные данные и методы исследования

Установлено, что основными видами деформации уступов, сложенных скальными и полускальными трещиноватыми породами, являются осыпь и обрушение. На уступах осыпь и обрушение образуются из-за влияние последствий буровзрывных работ на устойчи-

вость породного массива. Имеющиеся по этому вопросу работы нами разделены на три группы.

1. Работы, в которых на основе маркшейдерских и сейсмометрических наблюдений, а также эмпирическим путем, определяются размеры зон нарушения сплошности массива в результате воздействия массовых взрывов.

2. Работы, в которых предлагаются методы определения дополнительных напряжений, возникающих в массиве уступа при производстве взрывных работ и учета их при расчетах углов откосов бортов карьеров.

3. Работы, в которых содержатся рекомендации общего характера.

Локальные исследования карьерного откоса, поставленного в предельное положение, в районе которого планируются буровзрывные работы, по обнаружению глубины нарушенности (трещины, сдвиги, разрывы и т.д.), нами рекомендовано проводить с использованием способа теплотрии.

Данный способ основан на взаимосвязи тепловой отдачи, когда регистрируется радиационная температура, инфракрасное излучение изучаемого участка горного массива на предмет нарушенности.

Экспериментальные исследования с использованием способа теплотрии проводились на различных образцах горных пород как целостных, так и с мелкой трещиноватостью.

Ученые Байконуров О.А., Мельников В.А. [6] в своих работах доказали, что интегральная излучательность любого тела  $E_T$  определяется соотношением

$$E_T = Z \cdot \sigma - T^4, \text{ (Вт/м}^2\text{)}, \quad (8)$$

где  $Z$  – степень черноты тела ( $0 \leq Z \leq 1$ ) и величина данного коэффициента, зависит от его материала, формы и состояния поверхности;

$\sigma$  – универсальная постоянная Стефана-Больцмана, которая определяется по формуле

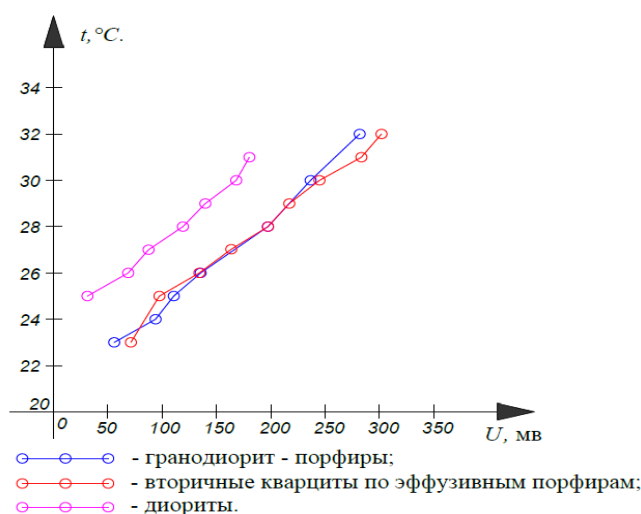
$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15 c^2 h^3} = 5,67 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2\text{град.}^4 \quad (9)$$

где  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – постоянная Планка;  
 $c = 3 \cdot 10^8$  м/с – скорость света в вакууме;  
 $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постоянная Больцмана;  
 $T$  – температура тела, С°.

Основываясь на этом, нами были проведены лабораторные исследования по установлению зависимостей интенсивности теплового излучения от температуры для разных по степени черноты типов пород.

На базе лабораторного оборудования (контактный полупроводниковый термометр, который фиксирует температуру поверхности образца; милливольтметр; таймер; измеритель излучения поверхности образца на базе пироэлектрического фотоприёмника, модулятор теплового потока; осциллограф) зафиксированы выходное напряжение фотоприёмника (имитирующее инфракрасное излучение) и теплофизические характеристики образцов горных пород.

Зависимость выходного напряжения фотоприёмника (имитация теплового потока) от температуры поверхности образца для гранодиорит-порфира, вторичных кварцитов по эффузивным порфирам, диоритов представлено на рисунке 2 и в таблице 1



**Рисунок 2** – Зависимость выходного напряжения фотоприёмника от температуры поверхности образцов – излучателей для различных пород

**Таблица 1** – Результаты зависимости выходного напряжения фотоприёмника (имитирующего интенсивность теплового потока) от температуры поверхности образца

Наименование образца горной породы	Температура окружающей среды, град.	Интенсивность теплового потока, мВт.	Температура поверхности образца, град
1	2	3	4
гранодиорит-порфиры	23,0	288	32
		-	31
		239	30
		-	29
		195	28
		-	27
		137	26
		110	25
		90	24
		58	23
вторичные кварциты по эффузивным порфирам	22,0	306	32
		281	31
		246	30
		221	29
		195	28
		162	27
		133	26
		97,5	25
		-	24
		73	23
диориты	23, 3	-	32
		179, 5	31
		161	30
		140	29
		117	28
		88	27
		63	26
		36	25
		-	24
		-	23

## Выводы

Также был проведён опыт по исследованию времени охлаждения уже трещиноватого образца гранодиорит-порфира, что дало возможность увидеть характер остывания нарушенного образца и провести сопоставимую оценку с охлаждением монолитного образца. Данные, полученные опытным путем на образцах горных пород показывают, что в начале трещиноватый образец охлаждается быстрее монолитного, но потом скорость процесса его охлаждения замедляется и в конце трещиноватый образец охлаждается медленнее монолитного, потому что глубокие слои трещиноватого образца сохра-

нили больше тепла по сравнению с монолитным образцом.

Следовательно, теплотрический способ по проведению экспресс-оценки нарушенности горных массивов отличается точностью, быстродействием измерений при простоте работ, установлению границы однородных зон по степени нарушенности карьерного откоса и на основании этих данных можно скорректировать ведение буровзрывных работ на участке, примыкающем к карьерному откосу, поставленному в проектное положение, что повысит устойчивость бортов карьера для эффективного и безопасного ведения горных работ по добыче полезных ископаемых на нижележащих горизонтах.

## Литература

- 1 Горные науки и проблемы освоения недр Казахстана. / под редакцией А.А. Жарменова. – Алматы, 2008. – Т. 10. – С. 65-95.
- 2 Арсентьев А.И., Арсентьев В.А. Пути развития технологий в горнодобывающей промышленности США // Горный журнал. – 2002. – №6. – С.16-23.
- 3 Галиев С.Ж. Перспективы развития научно-технического потенциала горнодобывающего сектора в свете новой индустриально-инновационной политики Казахстана // Труды ИГД имени Д.А.Кунаева. Научно-техническое обеспечение горного производства. – Алматы, 2003. – Т. 65. – С.10-20.
- 4 Melnikov N.N., Kozyrev A.A., Reshetnyak S.P., Kasparian E.V., Rybin V.V., Melik-Gaikazov I.V., Svinin V.S., Ryzhkov A.N. Conceptual principles of open pit wall design optimization, the Kola peninsula // Proc. of the 8th International Symposium on Mining in the Arctic (edited by Nikolay N. Melnikov & Serguei P. Reshetnyak). Apatity, Murmansk Region Russia. – June 20-23 – 2005; Published by JSC “Ivan Fyodorov Printing House”, – St.-Petersburg, Russia, 2005, pp. 3-14.
- 5 Яковлев В.Л. Состояние, проблемы и пути совершенствования открытых горных разработок // Горный журнал. – 2009 – №11. – С.11-14.
- 6 Касымканова Х.М., Турсбеков С.В. Анализ факторов, влияющих на устойчивость карьерных откосов // Горный журнал Казахстана. – 2007 – №5. – С. 38-41.
- 7 Трубецкой К.Н. и др. Справочник. Открытые горные работы // – М.: Горное бюро, 1994. – 590 с.
- 8 Касымканова Х.М, Нурпеисова М.Б , Джангулова Г.К , Байдаuletova Г.К. Гармония недр в недропользовании // Вестник КазНУ. Сер. географ. – 2013. – №2. Т.38 – С.65-68.
- 9 Поспехов Г.Б. Инженерно-геологические изыскания для рекультивации земель, нарушенных при разработке Богословского бурогольного месторождения // Материалы Уральской горнопромышленной декады. УГГГА – Екатеринбург, 2004. – С. 18-20.
- 10 Асанакунунов М.А., Абдылдаев Э.Э., Машанов А.А., Абдылдаев Э.К. Учет трещиноватости массива и контактные условия // Materialy V11 mezinarodni vedecko-prakticka conference: Efektivni nastrole modernich ved – Praha, 2011. – С. 82-87.

## References

- 1 Gornye nauki i problemy osvoenija neдр Kazahstana. / Pod redakciej Zharmenova A.A. – Almaty, 2008. – Т. 10. – С. 65-95.
- 2 Arsent'ev A.I., Arsent'ev V.A. Puti razvitija tehnologij v gornodobyvajushhej promyshlennosti SShA // Gornyj zhurnal.- 2002. – №6. – С.16-23.
- 3 Galiev S.Zh. Perspektivy razvitija nauchno-tehnicheskogo potentsiala gornodobyvajushhego sektora v svete novoj industrial'no-innovacionnoj politiki Kazahstana // Trudy IGD imeni D.A.Kunaeva. Nauchno-tehnicheskoe obespechenie gornogo proizvodstva. – Almaty, 2003.- Т. 65. – С.10-20.
- 4 Melnikov N.N., Kozyrev A.A., Reshetnyak S.P., Kasparian E.V., Rybin V.V., Melik-Gaikazov I.V., Svinin V.S., Ryzhkov A.N. Conceptual principles of open pit wall design optimization, the Kola peninsula // Proc. of the 8th International Symposium on Mining in the Arctic (edited by Nikolay N. Melnikov & Serguei P. Reshetnyak). Apatity, Murmansk Region Russia. – June 20-23 – 2005; Published by JSC “Ivan Fyodorov Printing House”, – St.-Petersburg, Russia, 2005, pp. 3-14.
- 5 Jakovlev V.L. Sostojanie, problemy i puti sovershenstvovanija otkrytyh gornyh razrabotok // Gornyj zhurnal. – 2009 – №11. – С.11-14.
- 6 Kasymkanova H.M., Tursbekov S.V. Analiz faktorov, vlijajushhih na ustojchivost' kar'ernyh otkosov // Gornyj zhurnal Kazahstana. – 2007 – №5. – С. 38-41.

- 7 Trubeckoj K.N. i dr. Spravochnik. Otkrytye gornye raboty // M.: Gornoe bjuro, 1994. – 590 s.
- 8 Kasymkanova H.M, Nurpeisova M.B , Dzhangulova G.K , Bajdauletova G.K. Garmonija nedr v nedropol'zovanii // Vestnik KazNU. Ser. geograf.- 2013. – №2. T.38 – S.65-68.
- 9 Pospheov G.B. Inzhenerno-geologicheskie izyskanija dlja rekul'tivacii zemel', narushennyh pri razrabotke Bogoslovskogo burougol'nogo mestorozhdenija // Materialy Ural'skoj gornopromyshlennoj dekady. UGGGA – Ekaterinburg, 2004. – S. 18-20.
- 10 Asanakunov M.A., Abdyldaev Je.Je., Mashanov A.A., Abdyldaev Je.K. Uchet treshhinovatosti massiva i kontaktnye uslovija // Materialy V11 mezinarodni vedecko-prakticka conference: Efektivni nastrole modernich ved – Praha, 2011. – S. 82-87.