

Научная статья

УДК 624.131:553(574.52/.54+575.1+575.4)

doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_82-92

**Прогнозная оценка
инженерно-геологических условий
рудных месторождений
Центральных Кызылкумов****Г. А. Бимурзаев, А. М. Ахунжанов, Э. Ш. Курбанов**✉

ГУ «Институт гидрогеологии и инженерной геологии»,
Университет геологических наук Республики Узбекистан,
Ташкент, Узбекистан, elboy.qurbanov@mail.ru✉

Ключевые слова: прогнозная оценка, аналогии, осложнения, критерии, нарушения, деформации, интенсивность, трещиноватость

Для цитирования: Бимурзаев Г. А., Ахунжанов А. М., Курбанов Э. Ш. Прогнозная оценка инженерно-геологических условий рудных месторождений Центральных Кызылкумов // Региональная геология и металлогения. 2025. Т. 32, № 2. С. 82–92. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_82-92

Аннотация. Рассматривается актуальность прогнозной оценки инженерно-геологических условий разработки месторождений полезных ископаемых. Выделены объекты, где могут проявиться осложнения, выражающиеся в виде деформаций и оползания бортов карьеров, обрушения кровли подземных выработок, выдавливания пород в выработанное пространство. Определен комплекс критериев прогнозирования инженерно-геологических осложнений на шахтах и карьерах региона. Среди широко развитых на рудном поле разрывных нарушений выделяются две крупные группы: региональные разрывные структуры, пересекающие всю площадь рудного поля и выходящие далеко за его пределы, и разрывы местного характера, развивающиеся в основном в сводовой части на крыльях регионального разлома и имеющие различные размеры и направления. Структура рудных полей месторождений Центральных Кызылкумов определяется сочетанием дислокаций с дизъюнктивными нарушениями. Определены особенности рудовмещающей толщи: неоднородность переслаивания пород, неравномерное проявление в них вторичных изменений, различия физико-механических свойств, которые усложняют инженерно-геологические условия разработки месторождения. Анализ и обобщение инженерно-геологических материалов позволили составить карту прогнозной оценки инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых.

Original article

UDC 624.131:553(574.52/.54+575.1+575.4)

doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_82-92

**Predictive assessment
of ore deposit geotechnical conditions
in the Central Kyzylkum region****G. A. Bimurzaev, A. M. Akhunzhanov, E. Sh. Kurbanov**✉

SE “Institute of Hydrogeology and Engineering Geology”,
University of Geological Sciences, Tashkent, Uzbekistan,
elboy.qurbanov@mail.ru✉

Keywords: predictive assessment, analogies, hazards, criteria, faults, deformations, intensity, fracturing

Abstract. Predictive assessment of geotechnical conditions for developing mineral deposits is topical. There are identified objects where the following hazards may arise: deformations and quarry wall slip, roof caving of underground mines, and rock extrusion into the mined-out space. The analysis determines a set of criteria for predicting geotechnical hazards in the region's mines and quarries. There are two large groups of well represented faults in the ore field: regional fault structures that intersect the entire ore field area and extend far beyond it, as well as local faults mainly developed in the upper part of the region's fault wings, and having different sizes and directions. Disjunctive fault dislocation combinations determine



© Г. А. Бимурзаев, А. М. Ахунжанов,
Э. Ш. Курбанов, 2025

For citation: Bimurzaev G. A., Akhunzhonov A. M., Kurbanov E. Sh. Predictive assessment of ore deposit geotechnical conditions in the Central Kyzylkum region. *Regional Geology and Metallogeny*. 2025; 32 (2): 82–92. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_82-92

the ore field structure in the Central Kyzylkum ore deposits. The ore-bearing stratum specifies heterogeneous interbedding, irregular secondary alterations, differences in physical and mechanical properties, which complicate geotechnical conditions of the deposit development. The analyzed and summarized geotechnical data contributes to creating a predictive assessment map of mineral deposits geotechnical conditions.

ВВЕДЕНИЕ

Центральные Кызылкумы охватывают площадь горных возвышенностей Джитымтау, Бельтау, Даугызтау и Амантайтау. В геотектоническом отношении район располагается в системе складчатых сооружений Южного Тянь-Шаня, в пределах Ауминза-Бельтауской структурно-формационной подзоны Алай-Кокшаальской миогеосинклинальной структурно-формационной зоны [1]. Климат района резко континентальный, пустынный. Осадки выпадают в зимне-весенний период и составляют в среднем 120 мм в год, а в многоводный год — 160 мм. Испаряемость с открытой водной поверхности почти в 20 раз превышает среднегодовую норму осадков.

Поскольку на рудных месторождениях Центральных Кызылкумов пока не накоплены достаточно многочисленные данные, позволяющие использовать наиболее эффективные методы классификации, распознавания и др., представляется целесообразным применять в этих условиях главным образом методы аналогии, основанные на сопоставлении существующих факторов и показателей, установленных при разведке подлежащих оценке объектов, с аналогичными данными по месторождениям, уже разрабатываемым в сходных инженерно-геологических условиях [2].

Инженерно-геологическое прогнозирование по методу аналогии заключается в получении прогностической информации о природно-техногенных геосистемах путем перенесения на них значений, полученных в результате изучения природных объектов-аналогов, свойства которых с достаточной детальностью и достоверностью выяснены ранее [3]. Известный в этой области специалист Л. Б. Розовский [4] рассматривал метод аналогии как одну из разновидностей моделирования геологических систем и явлений (моделирование при помощи природных объектов). Однако в данном случае не реализуется такой важный признак моделирования, как возможность свободного оперирования моделью в исследовательских целях. Учитывая это, мы вслед за Г. С. Золотаревым, Е. П. Емельяновой и другими исследователями относим метод аналогии к особому классу прогностических процедур.

Следует более глубоко изучать процессы и явления в Центральных Кызылкумах по мере развития горных работ, а также выявлять и оценивать существенные геологические и технологические факторы этих процессов и явлений. Создание полноценной фактографической базы и систематический анализ полученных данных позволят перейти от текущих ориентировочных прогностических оценок к более

надежному, полному и достоверному многофакторному прогнозированию инженерно-геологических условий разработки рудных объектов. Весьма перспективными направлениями дальнейших работ следует считать создание автоматизированной базы данных и действующих на ее основе автоматизированных систем инженерно-геологического прогнозирования.

Главными факторами инженерно-геологических условий разработки рудных месторождений Центральных Кызылкумов выступают: наличие, ориентировка и морфология разрывных нарушений; характер сочетания разрывов о пликативные структуры; трещиноватость; наличие и характер тектонитов (дезинтегрированных пород, глинок трения, милонитов и др.); физико-механические свойства пород; процессы выветривания; гидрогеологические условия и др.

Основной задачей инженерно-геологического прогнозирования является выявление участков рудных полей, в пределах которых при разработке месторождений могут возникать те или иные инженерно-геологические осложнения. С этой целью, исходя из принципов прогнозирования по методу аналогии, могут и должны использоваться структурно-тектонические, физико-механические, гидрогеологические и другие критерии прогнозирования осложнений [5].

Объектами изучения стали осадочные и метаморфические образования, как наиболее распространенные при разработке на значительных глубинах.

Исходя из разнообразия геолого-структурного строения и инженерно-гидрогеологических условий горнодобывающих районов Узбекистана, а также связанных с ними различных типов и видов геологических процессов, образующихся при разведке и разработке месторождений твердых полезных ископаемых, прогнозирование зоны формирования инженерно-геологических процессов (далее — ИГП) рассматривается в двух аспектах: региональном и локальном. Региональное прогнозирование необходимо при планировании и расположении горнорудных сооружений [6]. При этом на площади карьерного или шахтного поля выделяются участки или зоны, охватывающие сравнительно большие площади, имеющие условия для образования возможного развития ИГП. Задачей локального прогноза является выделение отдельных зон формирования ИГП в горных выработках внутри региональной выделенной зоны для разработки мероприятий по приведению выработки в неопасное или малоопасное состояние [7].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для прогнозной оценки инженерно-геологических условий в настоящее время используются натурно-экспериментальные методы, а также методы математического, физического, физико-химического моделирования, распознавания, классификации, аналогии, интерполяции, экстраполяции, учета симптомов, экспертных оценок и т. д.

Для решения вопросов, связанных с прогнозом деформаций в горных выработках во времени, могут быть использованы методы аналогии и аналитических расчетов. Метод аналогии заключается в переносе инженерно-геологических данных, полученных при эксплуатации различных шахт и карьеров, на разведываемые месторождения, имеющие примерно аналогичное геологическое строение (условия залегания и литологический состав пород, обводненность и пр.) и сходные реологические показатели пород. Метод аналогии имеет наибольшее значение как предварительный метод, позволяющий уже на ранних стадиях разведки в первом приближении предсказывать те инженерно-геологические явления, которые могут возникнуть при разработке месторождений открытым способом при ведении горных работ. Он также позволяет оценивать необходимость осушения месторождений или других мероприятий для повышения устойчивости пород в горных выработках [8].

Исследования проводились на специально отобранных образцах слюдисто-углеродисто-кварцевого алевролита и кварцево-слюдистого метаморфизованного аргиллита (соответственно из шахтного горизонта +600 м месторождения Косманачи и карьера месторождения Мурунтау, относящихся к бесапанской свите ($P_{1-2}bs^3$)), а также филлитовидных сланцев (из шахтного горизонта +345 м), филлитовидных сланцев черного и желтовато-серого цвета, глиноподобной породы (из горизонта +225 м), углеродисто-кремнистого сланца (из шахтного горизонта +285 м месторождения Дж, относящегося к таскаганской свите (P_2ts)).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определены реологические характеристики горных пород в уплотненных глинах, аргиллитах, алевролитах и песчаниках (табл. 1). Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования развития деформаций пород во времени на глубоких горизонтах горнодобывающих предприятий Средней Азии. Для решения этой задачи применимы принципы аналогии.

Поскольку развитие пластических деформаций пород во времени в основном определяется их реологическими свойствами, следует считать, что при близких значениях реологических показателей β и на одних и тех же глубинах, т. е. при примерно одинаковом горном давлении, пластические деформации пород будут носить один и тот же характер. Реологические свойства аргиллитов и алевролитов Донбасса и Центральных Кызылкумов сходны между собой (табл. 1).

Критерии прогнозирования осложнений

Для прогнозирования были использованы структурно-тектонические, литолого-петрографические, физико-механические (в том числе реологические), гидрогеологические и другие критерии прогнозирования осложнений. Прогнозная оценка инженерно-геологических условий месторождений осуществляется на основе комплексного подхода к критериям прогнозирования осложнений. При инженерно-геологической оценке трещиноватости учитывались основные системы тектонических трещин в пределах региона, характер их ориентировки основных систем трещин параллельно дизъюнктивам, углы их падения и разломов в основном совпадают и составляют 60–80°. При взаимно перпендикулярном расположении трещины чаще имеют крутые углы падения.

Структурно-тектонические критерии прогнозирования осложнений. К числу структурно-тектонических критериев прогнозирования инженерно-

Таблица 1

**Средние значения характеристик ползучести для пород
Центральных Кызылкумов и Донецко-Макеевского геолого-промышленного района Донбасса**

Table 1. Mean values of rock creep characteristics in the Central Kyzylkum region and Donetsk-Makeevka geological and industrial region of Donbass

Район	Порода	$\beta_{\text{ср}}$	$\chi_{\text{ср}}$	χ/β
Донецко-Макеевский	Уплотненные глины	0,59	0,11	0,18
Центральные Кызылкумы		0,47	0,06	0,13
Донецко-Макеевский	Аргиллиты	0,70	0,06	0,08
Центральные Кызылкумы		0,36	0,05	0,13
Донецко-Макеевский	Алевролиты	1,01	0,14	0,14
Центральные Кызылкумы		0,67	0,03	0,04
Донецко-Макеевский	Песчаники	0,417–1,521	0,05–0,18	0,12
Центральные Кызылкумы		0,329	0,01	0,03

геологических осложнений отнесены наличие и характер тектонитов в разной степени механически разрушенных пород, принадлежащих к поверхностям сместителей (тектонические брекчии, глинки трения, лимониты). Важно выявлять наиболее интенсивно дезинтегрированные, сильно обводненные тектониты, с которыми могут быть связаны такие нежелательные инженерно-геологические осложнения, как выдавливание или даже прорывы породных масс в выработанное пространство.

Сопоставление реологических показателей сланцевой толщи с данными по Донецкому бассейну позволило оценить степень ползучести $\varphi/\beta \approx 0,1$ как весьма слабую. Исключение в этом отношении составляют филлитовидные сланцы, для которых реологический показатель составил 0,5, что свидетельствует о высокой степени ползучести. При замачивании в шахтной воде степень ползучести пород при прочих равных условиях возрастет не во всех случаях.

Наиболее высокой ползучестью обладают углестые и глинистые породы. Установлено, что при глубине разработки полезных ископаемых в Центральных Кызылкумах (свыше 300 м) отмечается выдавливание вмещающих пород в горные выработки, которое должно учитываться при проектировании и эксплуатации глубоких шахт и карьеров. Наиболее высокой ползучестью, особенно при увлажнении в глубоких горизонтах, обладают метаморфизованные кварцево-сланцевые аргиллиты, филлитовидные сланцы и глиноподобные породы. С учетом реологического показателя подсчитанные расчетные значения длительной прочности горных пород отличаются от значений временного сопротивления сжатию, полученных в лабораторных условиях, на 2,2 МПа. Длительная прочность наиболее крепких пород изменяется от 88,5 до 137,1 МПа, для слабых разновидностей пород — от 1,8 до 16,4 МПа. С увеличением времени длительная прочность приближается к постоянно действующей нагрузке. Наиболее неблагоприятные условия связаны с широким распространением слабых и ползучих пород.

Рудные месторождения Центральных Кызылкумов, как правило, генетически и пространственно приурочены к элементам дизъюнктивной тектоники. Это обстоятельство определило большую роль разрывных нарушений как основного или одного из главных факторов возникновения инженерно-геологических осложнений.

В связи с этим при прогнозной инженерно-геологической оценке разведываемых и эксплуатируемых рудных месторождений необходимо выявлять, картировать и учитывать участки с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями, связанные с особенностями дизъюнктивной тектоники:

- сопряжение нескольких крупных разломов, ориентированных в разных направлениях, и сопутствующих им разрывов;

- совпадение простирания разрывов с ориентировкой борта карьера или ограничения подземной выработки при угле падения нарушений в сторону выработанного пространства;

- сочетание разрывных нарушений, сместители которых круто наклонены в направлении выработки, с интенсивно расслоенными, крутопадающими (особенно в сторону выработанного пространства) толщами осадочных и метаморфических пород.

При наличии перечисленных условий необходимо предусматривать возможность интенсивной деформации бортов карьеров и возникновение опасных обрушений пород в выработанное пространство подземных горных выработок.

На месторождениях Центральных Кызылкумов большинство тектонических нарушений типа надвигов, сбросов и сдвигов имеют преимущественно северо-восточное и северо-западное простирание, крутое падение и относительно небольшие амплитуды смещений. Зоны дробления мощностью до 10 м и более, независимо от расположения по отношению к бортам карьеров или горным выработкам, являются потенциально неустойчивыми участками, при вскрытии которых на бортах постоянно могут развиваться обвально-осыпные явления.

На участках, где разрывные нарушения имеют зоны дробления менее 1 м, основную роль играет их расположение по отношению к бортам карьера. При расположении таких нарушений параллельно бортам и падении их в сторону выемки самыми неблагоприятными в отношении устойчивости являются углы падения, близкие к углам наклона борта, но не более 75°. Такие зоны дробления могут служить плоскостями скольжения для крупных нарушений.

Нарушения, расположенные перпендикулярно бортам, не оказывают существенного влияния на устойчивость массива, однако близкое расположение разрывов на бортах может привести к небольшим местным осыпным явлениям.

Инженерно-геологические осложнения, обусловленные тектоническими факторами, фиксируются и могут проявиться на месторождениях Кос, Дж, Мютенбай, Высоковольное.

Важное значение при прогнозировании инженерно-геологических осложнений имеет всесторонний учет характера развития в породах трещиноватости, независимо от генезиса последней. Такому учету подлежит тектоническая трещиноватость, трещиноватость выветривания, развитая в приповерхностных горизонтах месторождений и в значительной мере унаследованная от тектонической, а также искусственная трещиноватость. Наличие зон интенсивно развитой трещиноватости служит причиной образования поверхностей ослабления в массивах горных пород и, соответственно, причиной деформации бортов карьеров, массового обрушения пород, слагающих кровлю подземных горных выработок в выработанное пространство [9].

При инженерно-геологической оценке трещиноватости и построении учитывающих ее прогнозов необходимо иметь в виду, что основные системы тектонических трещин в пределах региона обычно ориентированы параллельно или перпендикулярно по отношению к простиранию разломов. При ориентировке основных систем трещин параллельно дизъюнктиву углы падения трещин и разломов в основном совпадают и составляют от 60 до 80°.

При взаимно перпендикулярном расположении чаще имеют место крутые углы падения трещин, примерно такие же, как и при параллельном (табл. 2).

Установленные закономерности изменчивости трещиноватости пород на месторождениях Дж, Кос, Мютенбай, Кокпатас, Высоковольное, Косманачи и других позволяют считать, что с возрастанием глубины параметры трещиноватости могут изменяться в зонах разрывов и вблизи них. Наиболее серьезные инженерно-геологические осложнения

следует прогнозировать в местах, где горными выработками вскрываются интенсивно трещиноватые породы, пространственно и генетически связанные с разломами и характеризующиеся повышенными значениями коэффициента трещинной пустотности (далее — КТП).

Интенсивность трещиноватости в горных породах закономерно связана с расстоянием участков ее развития от тектонических разломов (табл. 3).

В тех же прогностических целях следует учитывать зависимость значений КТП от принадлежности

Таблица 2

Ориентировка трещиноватости в пространстве и относительно порождающих ее разломов

Table 2. Fracturing location: spatial and relative to generating its faults

Объект исследования	Места замера параметров трещиноватости и разрывных нарушений	Наименование разлома	Расположение основных систем трещин по отношению к разломам	Угол падения	
				разлома	основной системы трещин
Месторождение Дж	Горизонт +405 м	Дайковый	Параллельно и перпендикулярно	62–70	56–68
					63–67
		Широтный	Параллельно и перпендикулярно	69–73	63–72
					65–68
		Шахетауский	Параллельно и перпендикулярно	72–78	73–80
					66–71
	Горизонт +345 м	Дайковый	Параллельно и перпендикулярно	65–72	62–79
					65–72
		Широтный	Параллельно и перпендикулярно	72–77	62–75
					56–69
		Шахетауский	Параллельно и перпендикулярно	74–80	70–78
					65–80
Месторождение Кос	Горизонт 1475 м	Кварцевый	Параллельно и перпендикулярно	61–65	52–62
					65–80
		Амфиболитовый	Параллельно и перпендикулярно	75–80	70–77
					68–74
		Средний	Параллельно и перпендикулярно	76–79	77–80
					71–75
	Горизонт +395 м	Кварцевый	Параллельно и перпендикулярно	62–66	65–70
					60–65
		Амфиболитовый	Параллельно и перпендикулярно	73–78	73–75
					72–79
		Средний	Параллельно и перпендикулярно	75–80	75–80
					70–75
Месторождение Мютенбай	Горизонт +380 м	Южный	Параллельно и перпендикулярно	65–75	61–68
					61–67
		Северо-Мютенбайский	Параллельно и перпендикулярно	70–80	66–72
					65–73

Изменение значений коэффициента трещинной пустотности в зависимости от типов разрывных нарушений и удаления от них

Table 3. The joint hollowness coefficient value changes based on fault types and their distance

Наименование пород	Коэффициент трещинной пустотности, %			
	Наименование и типы разрывных нарушений, интервал замера трещиноватости	Сброс (дайковый разлом)	Взброс (широтный разлом)	Надвиг (центральный разлом)
Горизонт +405 м				
Углеродисто-кремнистые сланцы	1) в зоне	7,9	7,0	6,1
	2) 5 м от зоны	5,6	5,3	3,5
	3) 10 м от зоны	3,6	3,2	2,4
	4) 20 м от зоны	2,1	2,0	1,6
Филлитовидные сланцы	1) в зоне	6,3	6,5	4,8
	2) 5 м от зоны	4,2	3,8	3,2
	3) 10 м от зоны	3,1	2,9	2,4
	4) 20 м от зоны	2,1	1,7	1,6
Горизонт +345 м				
Углеродисто-кремнистые сланцы	1) в зоне	8,5	6,2	4,3
	2) 5 м от зоны	5,3	5,1	3,0
	3) 10 м от зоны	3,8	3,2	2,0
	4) 20 м от зоны	3,2	1,5	1,0
Филлитовидные сланцы	1) в зоне	6,6	6,2	4,9
	2) 5 м от зоны	4,5	4,2	3,0
	3) 10 м от зоны	3,2	3,1	2,0
	4) 20 м от зоны	1,7	1,4	1,1
Глиноподобная порода	1) в зоне	6,0	5,9	5,3
	2) 5 м от зоны	—	—	—
	3) 10 м от зоны	—	—	—
	4) 20 м от зоны	—	—	—

разрывов к тем или иным морфогенетическим типам (табл. 4). К числу структурно-тектонических критериев прогнозирования инженерно-геологических осложнений можно отнести наличие и характер тектонитов в разной степени механически разрушенных породах, принадлежащих к поверхностям сместителей. Наиболее неблагоприятные условия, связанные с интенсивным развитием трещиноватости, будут иметь место на месторождениях Дж, Кос, Высоковольтное.

Литолого-петрографические критерии прогнозирования осложнений. При инженерно-геологической оценке рудных месторождений Центральных Кызылкумов методом аналогии необходимо учи-

тывать, что при прочих равных условиях осложнения на шахтах и карьерах преимущественно связаны с литологическими и петрографическими типами пород, которые характеризуются низкой прочностью и высокой ползучестью, а также приурочены к контактам литологических разностей пород и петрографически различным геологическим телам [8].

Механически наиболее слабыми породами рудных месторождений Центральных Кызылкумов являются филлитовидные и углеродисто-кремнистые сланцы, а также различные глиноподобные образования. Эти породы должны рассматриваться при инженерно-геологическом прогнозировании

Изменение показателей инженерно-геологических свойств горных пород в зависимости от положения участков относительно разрывных нарушений

Table 4. Changes in rock geotechnical properties indicators based on the sites locations against faults

Степень трещиноватости пород	Расположение участков относительно разрывных нарушений	Коэффициент трещинной пустотности, %	Категории прочности	Предел прочности на сжатие, МПа
Интенсивно трещиноватые	В зонах на расстоянии до 5 м от разломов	6,0–8,0	Слабая	До 1
		4,5–6,0	Низкопрочная	1–3
Умеренно трещиноватые	5–15 от разломов	3,0–4,5	Прочная	3–5
Слабо трещиноватые	15–20 м от разломов	1,5–3,0	Высокопрочная	5–10

как потенциально неустойчивые, склонные к разрушению, сползанию и обрушению в выработанное пространство.

Опираясь на реологические свойства горных пород, следует подробнее остановиться на вопросах прогнозирования процессов выдавливания пород в выработанное пространство на нижних горизонтах месторождений в условиях характерного для значительных глубин повышенного горного давления.

Гипергенные критерии прогнозирования осложнений. К гипергенным критериям прогнозирования инженерно-геологических осложнений относятся закономерности выветривания рудоносных пород в приповерхностных условиях. Опыт эксплуатации Ангрен-Алмалыкских и других месторождений в Средней Азии показывает, что при длительном обнажении горных выработок в карьерах, шахтах и штольнях их устойчивость значительно снижается за счет выветривания и соответствующего снижения прочности пород.

Выветривание горных пород, главным образом физическое, является следствием резко континентального климата с колебаниями температур в течение суток, которые на поверхности скального массива достигают 60–70 °С, а в воздухе — 40–50 °С. При прогреве пород возникает термическое напряжение, приводящее к их расширению. При резком охлаждении формируются трещины скола и отрыва, которые на обнаженных поверхностях ослабляют верхнюю часть породного массива, что приводит к осыпным явлениям. На территории карьерного поля Алмалыкских месторождений повсеместно распространены осыпные явления. Чаще всего осыпные массы накапливаются у подножья откосов уступов, приурочены они к зонам дробления разломов сильно трещиноватых пород. В течение 5 лет на нерабочем борту Кургашинского карьера высота скопившегося осыпного материала составила от $\frac{1}{2}$ до $\frac{2}{3}$ высоты уступа, или в среднем 12–15 м. Угол залегания — 35–50°. Инженерно-геологические исследования практического состояния карьера на месторождениях

Центральных Кызылкумов показали, что наиболее широко здесь распространены осыпные явления, в меньшей степени — обрушения.

Аналогичные изменения (например, снижение устойчивости) возможны и на месторождениях Центральных Кызылкумов. В связи с этим прогноз устойчивости рекомендуется производить на разные периоды эксплуатации, оценивая современную устойчивость (начальный период эксплуатации) и устойчивость через 20–25 лет эксплуатации. Для оценки текущей устойчивости используется расчетный метод. Для расчета устойчивости после длительного существования горных выработок применяются данные об изменении прочностных показателей во времени, полученные на Ангрен-Алмалыкском инженерно-геологическом полигоне, согласно которым в течение 20–25 лет эксплуатации месторождений прочностные показатели изменились (снизились) на 10–15 % (в среднем на 12 %). Поэтому расчеты на длительное время эксплуатации следует осуществлять с учетом уменьшения прочностных показателей в среднем не менее чем на 12 %. С учетом гипергенных критериев наиболее неблагоприятными могут считаться условия разработки месторождений.

Гидрогеологические критерии прогнозирования осложнений. При прогнозной оценке инженерно-геологических условий необходимо учитывать значительное влияние подземных вод как фактора, существенно изменяющего физико-механические свойства горных пород. Инженерно-геологические исследования, проведенные в разведочных выработках месторождений Дж, Кос, Кокпатас, Высоковольное, Мютенбай и других, позволяют сделать вывод, что на всех упомянутых месторождениях проявляются примерно одинаковые типы и сочетания деформаций пород. Однако интенсивность деформаций при прочих равных условиях в значительной степени зависит от обводненности массивов: в условиях интенсивного обводнения инженерно-геологические процессы протекают более активно, чем на других участках с равными геолого-тектоническими

и горнотехническими условиями. Это связано с тем, что при водонасыщении прочность пород падает до 25 %. Таким образом, гидрогеологический фактор немаловажно ухудшает состояние горных выработок [10].

Необходимо учитывать значительное влияние обводненности на повышение ползучести горных пород и на возможность формирования подвижных, склонных к выдавливанию минерально-водных масс, как это было на месторождении Дж в кваршлаге 412. Осложняющее влияние гидрогеологических условий может сказаться на разработке наиболее обводненных месторождений Кос, Дж и Высоковольное.

Карта прогнозной оценки инженерно-геологических условий

Анализ и обобщение инженерно-геологических материалов позволили составить карту прогнозной оценки инженерно-геологических условий месторождений Дж, Кос (рисунок), Мютенбай и др. Эти карты представлены в двух вариантах. Первый вариант — карта районирования, на которой по интенсивности изменения инженерно-геологических условий эксплуатации открытым способом выделяются участки: неизменяющиеся, слабо изменяющиеся, очень сильно изменяющиеся. Второй вариант — собственно прогнозная карта инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых.

Результаты проведенных исследований позволили обосновать возможность практического применения методики многофакторного инженерно-геологического прогнозирования на основе комплексной оценки и учета важнейших геологических факторов.

Методика сводится к построению крупномасштабных (1:1 000 000, 1:2 000 000 и более) прогнозных карт. Общий процесс их создания заключается в следующем.

При выделении участков учитывались особенности литологического строения пород, тектонические особенности, гидрогеологические и инженерно-геологические условия, а также параметры карьера и характер изменения инженерно-геологических условий при эксплуатации месторождения. Такие карты составлены для месторождений Кос, Высоковольное и Мютенбай.

Карта составляется по категории инженерно-геологического потенциала изменения природных условий в связи с предполагаемыми горными работами, которая основана на учете выявленных закономерностей изменения инженерно-геологических характеристик пород, развитых в них процессов, а также прогнозируемых элементов.

При составлении данной карты были использованы, кроме основных (геолого-тектонического строения, гидрогеологических условий), такие косвенные данные, как геофизические (каротажные) материалы и сведения о состоянии крепи в горных выработках.

Участки по интенсивности изменения инженерно-геологических условий подразделяются на: А — неизменяющиеся, В — слабо изменяющиеся,

С — сильно изменяющиеся, Д — очень сильно изменяющиеся.

При оценке инженерно-геологического потенциала учитывается комплекс следующих факторов: состав и свойства пород, глубина залегания подземных вод, инженерно-геологические процессы и имеющиеся явления (ожидаемые обрушения и выдавливания в горных выработках).

На месторождении выделяются категории участков с различной степенью инженерно-геологической устойчивости и изменения природных и горнотехнических условий:

1. Участки с высоким ИГП сложены гранатами, углеродисто-кремнистыми сланцами, алевролитами (породы массивные), слабо трещиноватыми (КТП < 1,5 %), высокопрочными (бсж = 50–100 МПа и более), ползучесть проявляется на 300 м от поверхности земли (степень ползучести весьма слабая — до 0,1), ожидаются осыпание и вывалы горных пород, не превышающие 1–2 м³.

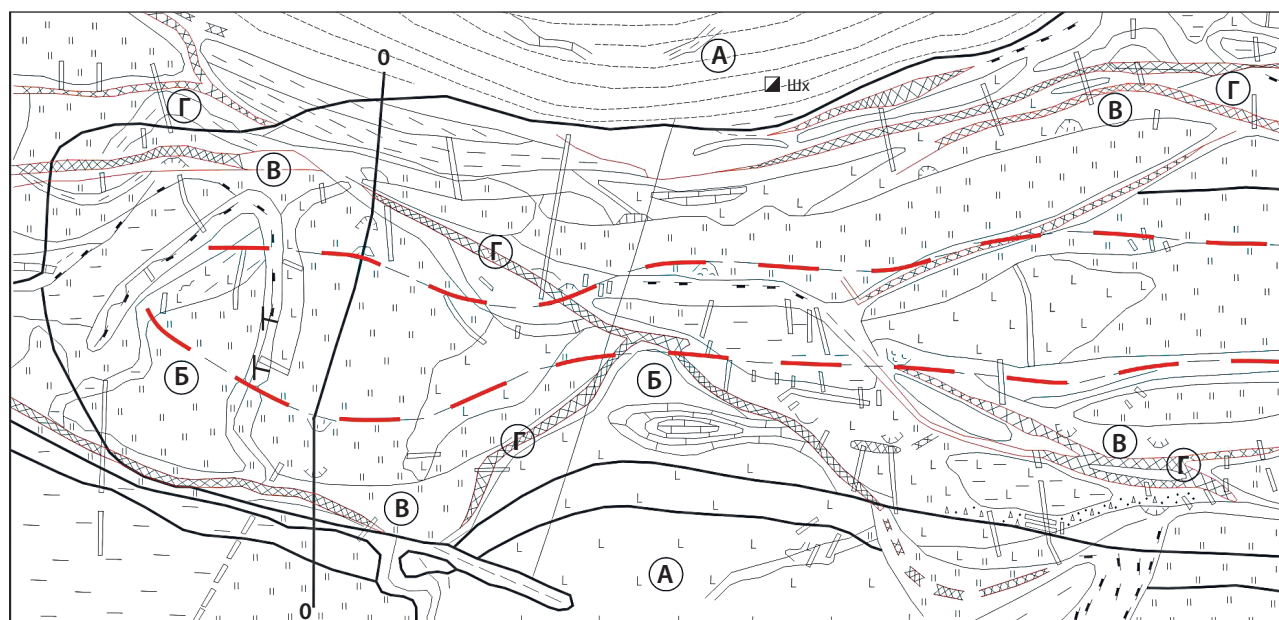
2. Участки со средним инженерно-геологическим потенциалом сложены углеродисто-кремнистыми, реже филлитовидными сланцами, слабо и среднеизмененными, умеренно трещиноватыми (КТП — 2,5–5,0 %), прочными (бсж = 30–50 МПа). Зоны разрывных нарушений заполнены глиной трения, степень ползучести (на глубине 300 м) слабая (0,1–0,2) и средняя (0,2–0,3). Ожидаются обрушения и вывалы горных пород объемом 50–60 м³, часто обрушения объемом 10–15 м³, редко возможны прорывы подземных вод (до 3 м³).

3. Участки с низким инженерно-геологическим потенциалом сложены филлитовидными сланцами, глиноподобными породами, тектонитами, сильноизмененными, интенсивно трещиноватыми (КТП от 4,6 до 8,0 %), слабо- (бсж до 10 МПа) и низкопрочными (бсж = 10–30 МПа). Наиболее неустойчивыми являются зоны дробления при разломной и контактной части. Более 70 % пород увлажнены; ползучесть проявляется с глубины 180 м, степень ползучести изменяется от 0,3 до 0,5 и более. Ожидаются обрушения, вывалы, прорывы подземных вод, выпор и выдавливание грунтовых масс.

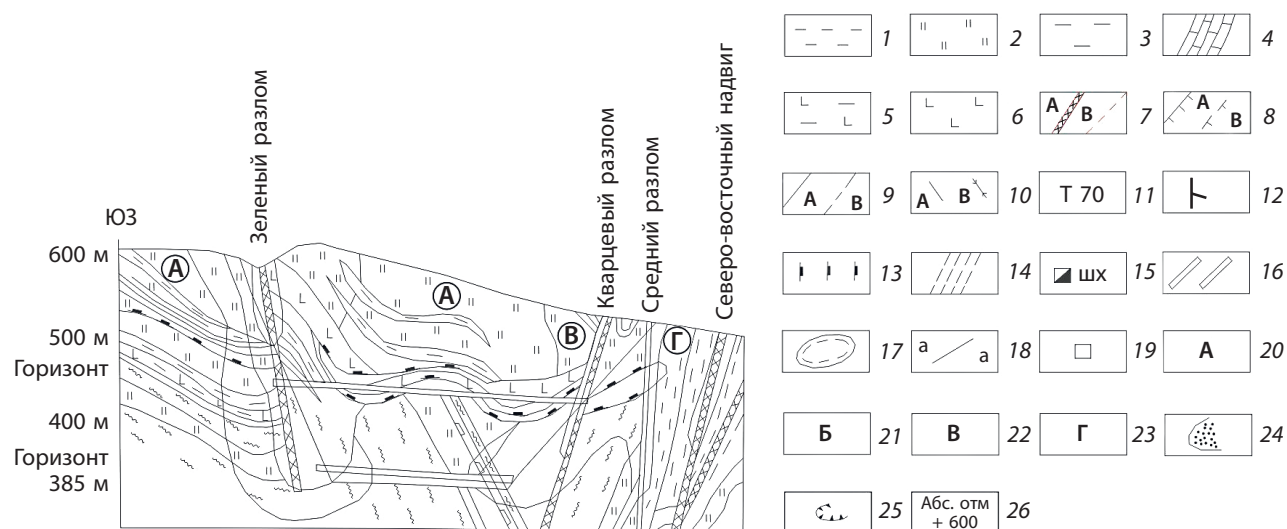
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов комплексного анализа условий и факторов, вызывающих инженерно-геологические осложнения, определен комплекс структурно-тектонических, литолого-петрографических, гипергенных, гидрогеологических критериев прогнозирования инженерно-геологических осложнений на шахтах и карьерах региона. С учетом этих критериев методом аналогии выделены объекты, где могут проявляться осложнения, выражающиеся в виде деформаций и оползания бортов карьеров, обрушения кровли подземных выработок выдавливания пород в выработанное пространство.

Анализ и обобщение инженерно-геологических условий месторождения позволили составить карту прогноза изменения инженерно-геологических условий при отработке месторождения Кос открытым



Инженерно-геологический разрез по линии 0-0



Карта прогноза изменения инженерно-геологических условий при отработке месторождения открытым способом (на примере месторождения Кос)

1 — алевролиты; 2 — углисто-кремнистые сланцы и микрокварциты; 3 — аргиллиты и филлитовидные сланцы; 4 — известняки и доломитизированные известняки; 5 — амфиболитовые филлитовидные сланцы; 6 — диабазовые порфириды и туфы основного состава; 7 — разломы, сопровождаемые зонами брекчирования смятия: А — установленные, В — предполагаемые; 8 — надвиги; 9 — границы литологических разностей пород; 10 — оси складчатых структур: А — антиклинальных, В — синклинальных; 11 — залегания пород; 12 — падения разрывных нарушений; 13 — выходы подземных вод; 14 — мочажина; 15 — шахта; 16 — канавы одиночные, магистральные, ручной и механической проходки; 17 — контур карьера; 18 — линия профиля; 19 — площадка изучения трещиноватости и место отбора образцов; категории участков: 20 — неизменяющиеся; 21 — слабо изменяющиеся; 22 — сильно изменяющиеся; 23 — очень сильно изменяющиеся; возможные типы и места формирования инженерно-геологических процессов: 24 — осыпи; 25 — обрушения; 26 — абсолютная отметка

Prediction map changes in geotechnical conditions during open-pit mining development (based on the Kos deposit)

1 — siltstones; 2 — carbonaceous-siliceous shales and microquartzites; 3 — argillite and phyllitic shales; 4 — limestone and dolomitized limestone; 5 — amphibolite phyllitic shales; 6 — diabase porphyrites and basic tufts; 7 — faults accompanied by shear breccia zones: A — established, B — inferred; 8 — thrusts; 9 — boundaries of lithological rock differences; 10 — fold structure axes: A — anticlinal, B — synclinal; 11 — rock bedding; 12 — fault dips; 13 — groundwater outcrops; 14 — hollow; 15 — mine; 16 — single, main, manual, and penetrated ditches; 17 — quarry outline; 18 — profile line; 19 — fracturing study area and sample site; area categories: 20 — unchanging; 21 — slightly changing; 22 — highly changing; 23 — extremely changing; possible types and locations of geotechnical processes formations: 24 — screes; 25 — falls; 26 — absolute mark

способом. Подобные карты рекомендуется строить при геолого-промышленной оценке разведываемых месторождений для учета возможных осложнений, влияющих на себестоимость добываемого сырья, а также на стадии проектирования шахт и карьеров для правильного выбора технологии горных работ и мероприятий, обеспечивающих предотвращение нежелательных последствий, обусловленных неблагоприятными процессами и явлениями.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Усманов С. Р., Ахунжанов А. М., Курбанов Э. Ш. Оценка инженерно-геологических процессов при разведке рудных месторождений Центральных Кызылкумов // Разведка и охрана недр. 2024. № 3. С. 88–90. https://doi.org/10.53085/0034-026X_2024_3_88.
2. Курбанов С. Д., Мирасланов М. М. Основные вопросы прогноза изменения инженерно-геологических условий месторождений Алмалыкского рудного узла // Научные основы и методы изучения и прогноза инженерно-геологических условий в процессе разведки месторождений полезных ископаемых : тез. докл. к всесоюз. семинару на ВДНХ СССР, 21–25 мая 1979 г. / науч. ред. Г. Г. Скворцов, Л. А. Соколовская. М. : ВСЕГИНГЕО, 1979. С. 27–28.
3. Смирнов Б. В. Теоретические основы и методы прогнозирования горно-геологических условий добычи полезных ископаемых по геологоразведочным данным. М. : Недра, 1976. 119 с.
4. Розовский Л. Б. Введение в теорию геологического подобия и моделирования (применение природных аналогов и количественных критериев подобия в геологии). М. : Недра, 1969. 127 с.
5. Гайдин А. М., Певзнер М. Е., Смирнов Б. В. Прогнозная оценка инженерно-геологических условий разработки месторождений твердых полезных ископаемых. М. : Недра, 1983. 310 с.
6. Мирасланов М. М. Инженерная геология, гидрогеология месторождений твердых полезных ископаемых Узбекистана. Ташкент : ГП «Институт ГИДРОИНГЕО», 2011. 228 с.
7. Мирасланов М. М., Закиров М. М. Инженерно-геологические процессы, развитые на месторождениях твердых полезных ископаемых Узбекистана: оценка и прогноз. Ташкент : ГП «Институт ГИДРОИНГЕО», 2015. 166 с.
8. Курбанов Э. Ш., Абдурахманов Б. М. Анализ и оценка инженерно-геологических процессов при подземной разработке месторождения Нилу // Разведка и охрана недр. 2022. № 10. С. 31–37. https://doi.org/10.53085/0034-026X_2022_10_31.
9. Особенности гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений Южно-Узбеки-

станского горнорудного района / Э. Ш. Курбанов [др.] // Региональная геология и металлогения. 2023. № 96. С. 27–36. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2023_96_27-36.

10. Физико-механические свойства горных пород рудных месторождений Узбекистана / Ф. М. Арипова [и др.]. Ташкент : ГП «Институт ГИДРОИНГЕО», 2006. 223 с.

REFERENCES

1. Usmanov S. R., Akhunzhanov A. M., Kurbanov E. Sh. Assessment of engineering and geological processes in the exploration of ore deposits in Central Kyzylkum. *Prospect of Mineral Resources*. 2024; (3): 88–90. https://doi.org/10.53085/0034-026X_2024_3_88. (In Russ.).
2. Kurbanov S. D., Miraslanov M. M. Key issues of forecasting changes in geotechnical conditions of the Almalyk ore cluster deposits. *Scientific foundations and methods of studying and forecasting geotechnical conditions in exploring mineral deposits: Extended abstracts of the All-Union Seminar at the USSR Exhibition of Economic Achievements*, 21–25 May 1970 / Sci. eds. G. G. Skvortsov, L. A. Sokolovskaya. Moscow: VSEGINGEO; 1979. P. 27–28. (In Russ.).
3. Smirnov B. V. Theoretical foundations and methods of forecasting mining and geological conditions for minerals extraction based on geological exploration data. Moscow: Nedra; 1976. 119 p. (In Russ.).
4. Rozovsky L. B. Introduction to the theory of geological similarity and modeling (Application of natural analogues and quantitative similarity criteria in geology). Moscow: Nedra; 1969. 127 p. (In Russ.).
5. Gaidin A. M., Pevzner M. E., Smirnov B. V. Predictive assessment of geotechnical conditions for developing solid mineral deposits. Moscow: Nedra; 1983. 310 p. (In Russ.).
6. Miraslanov M. M. Engineering geology, hydrogeology of deposits of solid mineral deposits in Uzbekistan. Tashkent: SE "Institute GIDROINGEO"; 2011. 228 p. (In Russ.).
7. Miraslanov M. M., Zakirov M. M. Engineering-geological processes developed at solid mineral deposits in Uzbekistan: Assessment and forecast. Tashkent: SE "Institute GIDROINGEO"; 2015. 166 p. (In Russ.).
8. Kurbanov E. Sh., Abdurakhmanov B. M. Analysis and evaluation of engineering and geological processes in the underground development of the Nilu deposit. *Prospect of Mineral Resources*. 2022; (10): 31–37. https://doi.org/10.53085/0034-026X_2022_10_31. (In Russ.).
9. Hydrogeological and engineering-geological conditions of deposits of the South Uzbekistan mining region / E. Sh. Kurbanov [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2023; (96): 27–36. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2023_96_27-36. (In Russ.).
10. Physical and mechanical properties of rocks of ore deposits in Uzbekistan. Tashkent: SE "Institute GIDROINGEO"; 2006. 223 p. (In Russ.).

Гани Амиргалиевич Бимурзаев

Доктор философии геолого-минералогических наук (PhD), директор

ГУ «Институт гидрогеологии и инженерной геологии», Университет геологических наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

<https://orcid.org/0009-0009-2336-7335>
Scopus Author ID 58480014400
Gany82@mail.ru

Gani A. Bimurzaev

PhD (Geology and Mineralogy), Director

SE "Institute of Hydrogeology and Engineering Geology", University of Geological Sciences, Tashkent, Uzbekistan

<https://orcid.org/0009-0009-2336-7335>
Scopus Author ID 58480014400
Gany82@mail.ru

Алимжон Махмуджанович Ахунжанов

Кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник

ГУ «Институт гидрогеологии и инженерной геологии»,
Университет геологических наук Республики Узбекистан,
Ташкент, Узбекистан

<https://orcid.org/0009-0002-1254-6935>
axunjanovolimjon@gmail.com

Alimzhon M. Akhunzhanov

PhD (Geology and Mineralogy),
Senior Researcher

SE "Institute of Hydrogeology and Engineering Geology",
University of Geological Sciences,
Tashkent, Uzbekistan

<https://orcid.org/0009-0002-1254-6935>
axunjanovolimjon@gmail.com

Элбой Шавкатович Курбанов

Доктор философии геолого-минералогических наук (PhD),
заведующий лабораторией

ГУ «Институт гидрогеологии и инженерной геологии»,
Университет геологических наук Республики Узбекистан,
Ташкент, Узбекистан

<https://orcid.org/0000-0003-3017-4696>
Scopus Author ID 58951834500
elboy.qurbonov@mail.ru

Elboy Sh. Kurbanov

PhD (Geology and Mineralogy),
Head of Laboratory

SE "Institute of Hydrogeology and Engineering Geology",
University of Geological Sciences,
Tashkent, Uzbekistan

<https://orcid.org/0000-0003-3017-4696>
Scopus Author ID 58951834500
elboy.qurbonov@mail.ru

Вклад авторов: Бимурзаев Г. А. — концепция исследования,
Ахунжанов А. М. — развитие методологии,
Курбанов Э. Ш. — развитие методологии и написание исходного текста.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: Bimurzaev G. A. — research concept,
Akhunzhanov A. M. — methodology development,
Kurbanov E. Sh. — methodology development and writing the draft.

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 16.08.2024
Одобрена после рецензирования 13.11.2024
Принята к публикации 20.06.2025

Submitted 16.08.2024
Approved after reviewing 13.11.2024
Accepted for publication 20.06.2025