

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ НА ВЫСОКОГОРНОМ РУДНИКЕ КУМТОР И ИХ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Торгоев И.А.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Введение. Три геотехнические проблемы серьёзно осложняют и сдерживают планомерное и безопасное освоение недр на руднике Кумтор (рис.1): массовые гравитационные обрушения высокого и крутого борта в северо-восточной части (зоне штокверка) Центрального карьера (ЦК); сползание в ЦК первоначальных отвалов и глетчерного льда ледника Давыдова в юго-восточной части (зоне SB) карьера, в так называемой «зоне сильных движений или деформаций» (рис.1) и

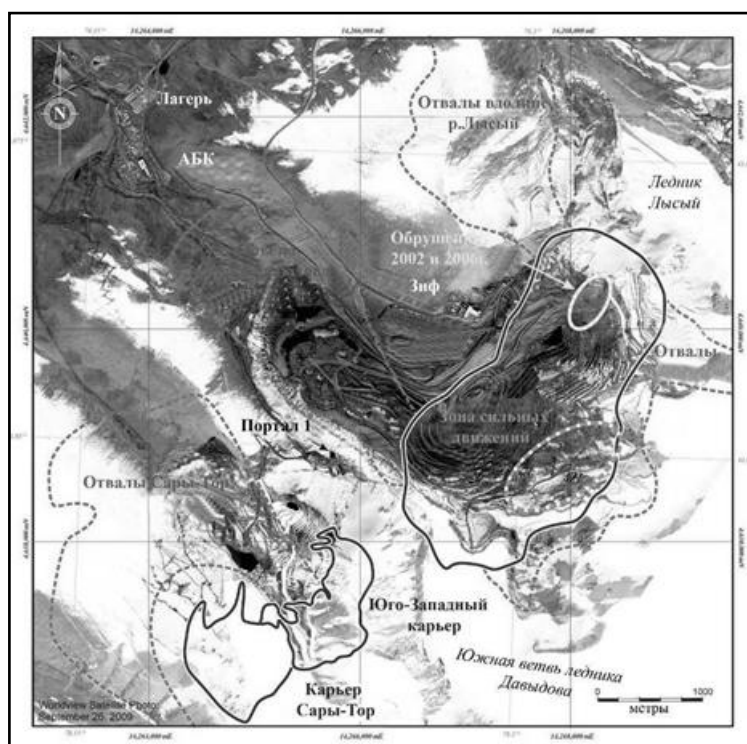


Рис.1. Космоснимок (2009г.) рудника Кумтор с ледниками, контурами отвалов, карьеров и с проблемными участками Центрального карьера, выделенными овалами /2/.

подвижки ледово-каменной массы отвалов вниз по долине р. Чон Са-рытор с реальной угрозой разрушения объектов производства и инфраструктуры рудника.

При сдаче в 1999 г. Центрального карьера в эксплуатацию Госгортехнадзор был против приёмки, и направил всем членам Государственной приёмочной комиссии особое мнение. В нём указывалось на отсутствие проекта разработки карьера, в котором должны были бы отражены вопросы устойчивости бортов, проблемы водоотлива, и другие аспекты, требуемые нормативными документами по промышленной безопасности. По этой же причине Госгортехнадзор в 2000 г. отказал КОК в согласовании плана развития горных работ. Однако тогдашнее Правительство страны разрешило разработку месторождения без проекта. Подобная практика, ставшая для КОК нормой на все последующие годы, отрицательно отразилась на горных работах в период строительства и эксплуатации основных объектов рудника (карьера, отвалов и хвостохранилища), породив ряд проблем.

Одной из главных причин возникновения геотехнических проблем в ЦК стали ошибки и просчёты при проектировании карьера и формировании отвалов. В первую очередь эти просчёты связаны с недостаточно полным учётом гляциологических и геокриологических особенностей геологической среды в рассматриваемом гляциально-нивальном поясе Тянь-Шаня, характеризующимся наличием современного оледенения с господством активных ледников (рис.1), снежников, морен и многолетней (вечной) мерзлоты.

Ошибки проектирования ЦК и игнорирование особенностей уникальных природных условий месторождения обусловили и без того высокий уровень капитальных затрат, лишив Кыргызстан дивидендов от прибыли. Перерасход финансовых средств связан с повторным переносом значительной массы отвальных пород, первоначально уложенных на леднике Давыдова (78 млн. долл. США), изъятием и

транспортировкой только в 2012 около 60 млн. м³ льда ледника Давыдова, а также с необходимостью осушения ЦК. Рассматриваемые ниже геотехнические проблемы значительно усложнили горно-добычные работы в ЦК из-за того, что вначале был заблокирован доступ к зоне штокверка, а затем и к зоне богатого оруденения SB. Перебои в работе рудника стали причиной остановки ЗИФ с конца июля по 17 сентября 2012 г. В настоящее время подвижки ледово-каменной массы вниз по долине р. Чон Сарытор привели к разрушению здания административно-технического корпуса КОК, представляют угрозу разрушения электроподстанции и других объектов рудника.

Центральный карьер рудника Кумтор. В геологическом отношении месторождение Кумтор сложено рассланцованными и смятыми в складки филлитами и ассоциируется с двумя минерализованными зонами Кумторского разлома (КР) шириной около 400 м и длиной в пределах концессионной зоны -10 км. Месторождение нагорно-глубинного типа представлено тремя зонами оруденения: основной центральной и двумя периферийными – северной и южной /3/. Породы в рудной зоне характеризуются кварц-полевошпат-пиритным составом. По геолого-структурным характеристикам породы делятся на четыре основные зоны, контакты между которыми ориентированы параллельно КР. Породы первой зоны состоят из рассланцованных углистых пелитовых филлитов висячем боку КР. Плоскости сдвига в этой верхней зоне ЦК содержат углеродистый материал. Породы второй зоны по большей части представляют собой руду, состоящую из филлитов, которые содержат смесь глины и линзы кварца. Центральная часть ЦК сложена породами третьей зоны, представляющими собой филлиты алевролитовой и пелит-алевролитовой текстуры. В этой зоне встречаются также углистые сланцы, местами – графитовые участки разломов, ответвляющихся от КР. Четвёртая зона представлена также филлитами пелитовой и алеврит-пелитовой текстуры. Места с повы-

Предварительный проект рудника Кумтор в формате технико-экономического обоснования (ТЭО) был разработан в 1993 г. специализированной фирмой Kilborn Western Engineering в соответствии со сводом Правил, регулирующих разработку месторождений полезных ископаемых в провинции Саскечеван, Британская Колумбия (Канада). Оработка месторождения осуществляется открытым способом с помощью гидравлических экскаваторов и большегрузных самосвалов. Для большей части срока службы карьера производительность его по горной массе составляет 17.5 млн. м³/год, включая 5.2 млн. тонн руды в год. Плановая производственная мощность золотоизвлекательной фабрики (ЗИФ) для всего срока службы рудника составляет 14,5 тыс. тонн руды в сутки.



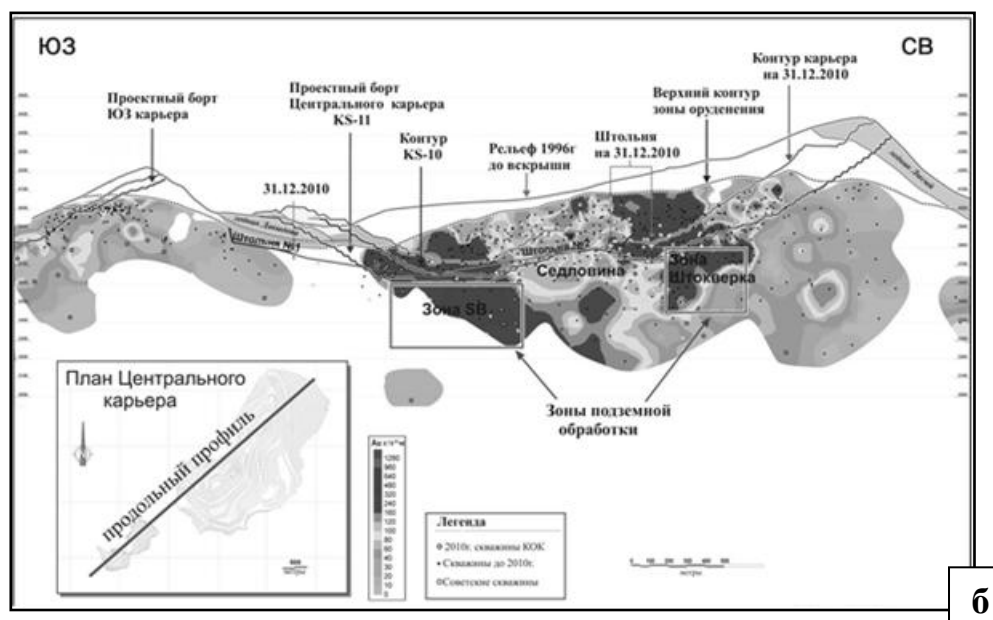


Рис.2. План Центральной части Кумторского золоторудного месторождения (а), продольный разрез карьеров и зоны оруденения (б) по проектам КС-10 и КС-11 /2/.

В соответствии с пространственным положением зоны оруденения ЦК вытянут в направлении с юго-запада на северо-восток (рис.2а) и представляет собой открытую горную выработку с двумя углублёнными зонами, приуроченными к наиболее богатым участкам месторождения - штокверковой зоне в северной части и зоне SB в южной части карьера. В настоящее время удлинённая северо-восточная часть ЦК имеет высоту от 350 до 470 метров, максимальную ширину вкрест простирания рудного тела - 1200 метров, длину по верху - 1300 метров /1/. Южная часть ЦК представляет собой круглую яму диаметром около 1000 метров и глубиной - 200 м. Сужающаяся часть карьера между северной и южной частями имеет ширину около 800 м. Вскрышные породы и золотосодержащая руда месторождения имеют коэффициент крепости по шкале М.М. Протодяконова $f = 1.5 - 1.7$ и большую часть года находятся в мёрзлом состоянии. При открытом способе разработки месторождений необходимо учитывать значительные изменения прочности вмещающих горных пород, подвергаю-

щихся резким перепадам температуры. Согласно имеющимся данным по физико-механическим свойствам пород Кумтора, величина предела прочности на сжатие изменяется в пределах 48.2-53.2 МПа, значение прочности на разрыв - 7.2-62.7 МПа /4/. Физико-механические свойства вмещающих пород (филлитов) следующие: модуль Юнга - 70 ГПа; коэффициент Пуассона – 0.25; объёмный вес – 2.75 г/см³; сцепление - 5.54 МПа; угол внутреннего трения -60°.

Конструкция бортов карьера была запроектирована исходя из рекомендаций геотехнической компании «Голдер ассошиэйтс» (ГА), представленных в ТЭО 1993 г. Для оценки устойчивости бортов ЦК использовался модифицированный метод анализа устойчивости склона Бишопа по специально разработанной ГА компьютерной программе SPLOPE. Большая часть уступов нагорной части ЦК была поставлена в предельное положение, борт карьера сформирован в основном строенными уступами высотой 24 м (3-8 м) с бермой безопасности шириной 12 м между ними. При угле откоса уступа 63.4° угол откоса борта составлял 45°. Отступление от этих параметров было сделано для наиболее высокого (550 м) северо-восточного участка борта ЦК. Ширина бермы безопасности в данной зоне была увеличена до 21 м, что привело к снижению угла откоса борта до 36° при том же угле откоса уступа. Такие же проектные параметры были заложены для северо-западного и западного бортов, которые сформированы в брекчиевых зонах Кумторского разлома.

Рудовмещающий Кумторский разлом северо-восточного простирания выражен мощной зоной дробления, будинажа, смятия и лимонитизации горных пород и представляет собой древний взбросо-надвиг, обновлённый при современных тектонических движениях. Влияние зоны Кумторского разлома проявляется как в субпараллельных нарушениях во всех зонах оруденения, так и в нарушениях, простирающихся перпендикулярно зоне разлома. Разломы, сдвиги и

сланцеватость являются структурами, предопределяющими устойчивость бортов карьера, и их влияние отчётливо проявилось в крупномасштабных обрушениях борта, рассмотренных ниже.

Горные работы на карьере начались в 1993 г. с удаления глетчерного льда, покрывавшего карьерное поле слоем, достигавшим 40-45 м. КОК ведет разработку бортов карьеров в сложных геоморфологических, гляциологических и геокриологических условиях высокогорья, на высоте 3700-4400 м над уровнем моря. В мировой практике нет опыта и, как следствие, отсутствуют научно-практические рекомендации о ведении горных работ в подобных условиях. Добыча руды в Центральном карьере в период с 2002 по 2012 гг. породила ряд геотехнических проблем, связанных, по мнению специалистов КОК и ГА с плохим качеством вмещающих пород, обусловленных интенсивными и сложными структурными деформациями /2/.

Массовые обрушения северо-восточного борта Центрального карьера

Первый обвал в карьере произошёл в августе 2001 г., причём в подробности этого первого обрушения борта карьера был посвящён очень узкий круг ведущих специалистов КОК. Поскольку этот обвал обошёлся без жертв, особого значения ему не придали.

Второе обрушение высокого и крутого северо-восточного борта объёмом свыше 2,7 млн. м³ или 7.6 млн. тонн горной массы (рис.3а,б) произошло 8 июля 2002 г. в 14⁵³, примерно через 1.5 часа после очередного взрыва, проведённого на отметке 4010 м без контурного взрывания, что являлось нарушением проекта буро-взрывных работ (БВР).

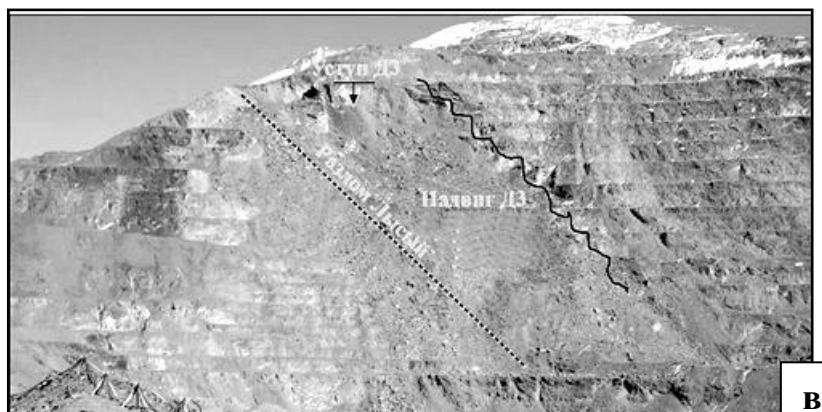
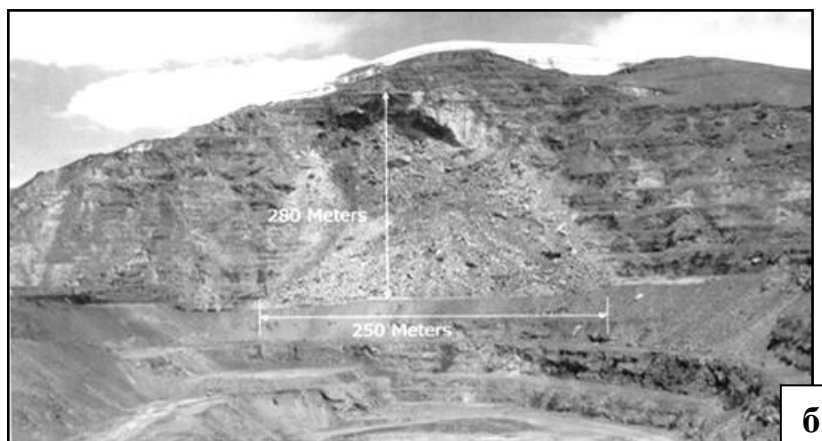
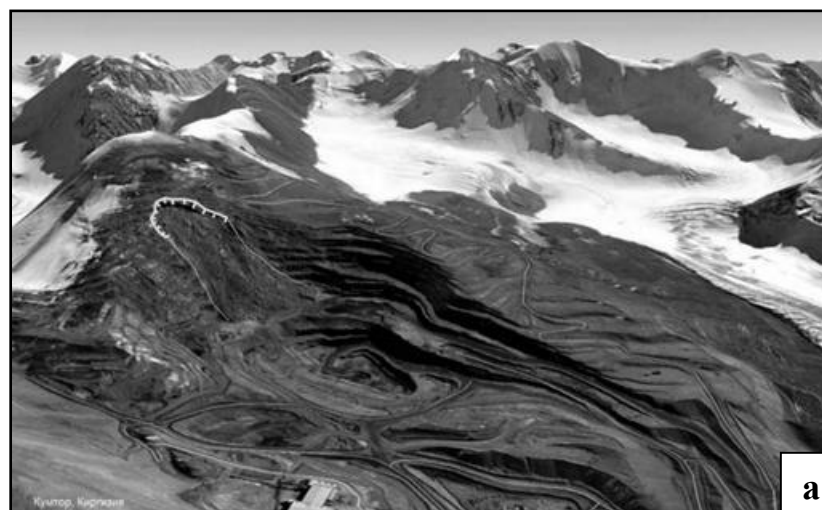


Рис.3. Неустойчивый северо-восточный борт Центрального карьера КОК: а) общий вид ЦК и участка обрушения; б) фото неустойчивого участка после обрушения 8 июля 2002 г.; в) фото участка после обрушения 13 июля 2006 г. и графическое представление механизма борта карьера /1/.

За неделю до обвала были начаты буровые работы на уступе 4018, находившемся непосредственно под стенкой отрыва обрушившейся породы, которые продолжались вплоть до момента обвала.

Участок обрушения находился между уступами 4298 4018 м, то есть высота участка обрушения составила 280 м, ширина у основания - 270 м (рис. 3б), средняя глубина отрыва обрушения от поверхности борта составила 40 м. Как видно на рис. 3б, на вершине участка обрушения обнажилась круто падающая геологическая структура, которая сформировала вершинный уступ обвала. На южной стороне отслоившейся массы образовалась вертикальная трещина, которая затем распространилась к северу. Горизонтальная трещина отрыва в верхней части откоса появилась за миг до того как вся масса рухнула вниз по склону. После обрушения основной массы в некоторых местах образовались выступы породы, которые продолжали обваливаться вплоть до 14 июля 2002 г. Выходов подземных вод (фильтрации, скопление воды, шпир льда) не наблюдалось ни до, ни во время, ни после обвала 8 июля 2002 г.

По мнению очевидцев, целый ряд параметров обрушения выходили за рамки типичных характеристик крупных обвалов, имевших место на карьерах. Так, весьма необычной была сильная раздробленность обрушившейся массы – вплоть до щебня, гравия и песка. По описаниям некоторых очевидцев, весьма необычными явились скорость и почти взрывоподобный характер обрушения. Большинство крупномасштабных обвалов характеризуются более поступательной динамикой и происходят за более продолжительное время. В данном же случае все произошло всего за десяток секунд. За несколько минут до обрушения с верхних уступов был зафиксирован небольшой вывал камней. Имеющаяся информация не содержит сведений о каких-либо особых сейсмических событиях в ближней зоне от рудника и экстремальных гидрометеорологических явлениях до обрушения, которые могли бы сыграть роль своеобразного спускового механизма обвала. В зоне обрушения имелось 5 точек геодезического мониторинга, проводившегося с частотой один раз в неделю. Однако по

утверждению КОК результаты наблюдений не показывали признаков развития разрушительного процесса, то есть не было зарегистрировано типичных для таких обвалов деформаций или предвестников, предшествующих крупномасштабному смещению массива горных пород.

В результате второго обвала погиб один человек, было уничтожено буровое оборудование общей стоимостью свыше 300 тыс. долларов и приостановлена добыча руды из-за того, что богатая золотом штокверковая зона (рис.2) оказалась временно недоступной. Обрушение борта повлекло за собой значительное снижение производственных показателей на длительный период времени. Горные работы на рассматриваемом участке карьера были возобновлены лишь в конце 2005 г.

Несколько различных экспертных комиссий, в их числе Госгортехнадзор, консалтинговая компания «Мотнгомери Уотсон Харза» и другие специалисты-геотехники высказали различные точки зрения по поводу причин массового обрушения северо-восточного борта ЦК. Однако единого мнения в экспертном сообществе не сформировалось до настоящего времени. Следует отметить, что среди различных мнений и гипотез особняком выделялось предположение К.Т. Тажибаева о том, что на этом участке борта ЦК произошёл глубинный горный удар /5/. Основанием для такого заключения послужили свидетельства некоторых очевидцев о скоротечности и взрывоподобном характере разрушения. Кроме того по мнению автора в пользу этой гипотезы свидетельствует скачкообразное, знакопеременное смещение горных пород (рис. 3), зафиксированное системой геодезического мониторинга КОК на бортах ЦК за 5 суток до внезапного массового обрушения, которое было выявлено при ретроспективном анализе данных мониторинга, после обрушения /5/.

Однако при сопоставлении графиков смещения (например, точки 4) с графиком изменения температуры грунта на глубине 50 см (рис.5) хорошо видно, что знакопеременные смещения точки 4 практически повторяют характер изменения температуры грунта, то есть, скорее всего, они вызваны температурными деформациями приповерхностных слоёв борта. Кроме того для обоснованного подтверждения гипотезы горного удара отсутствуют данные о напряжённо-деформированном состоянии массива на рассматриваемом участке месторождения до и после обрушения, в частности, инструментальные данные измерений величин и направлений действующих в массиве напряжений. Наконец, маловероятно возникновение горного удара в приповерхностной части массива горных пород, в одном и том же месте три раза подряд.

Следующее крупномасштабное обрушение произошло 13 июля 2006 г. на этом же участке борта карьера (рис. 3в), опять-таки выше штокерковой зоны, отработка которой была запланирована в 2006-2007 гг. По соображениям безопасности отработка этого участка была вновь отложена и ЗИФ была вынуждена перерабатывать бедные руды, что также сказалось на итоговых производственных показателях 2006-2007 гг.

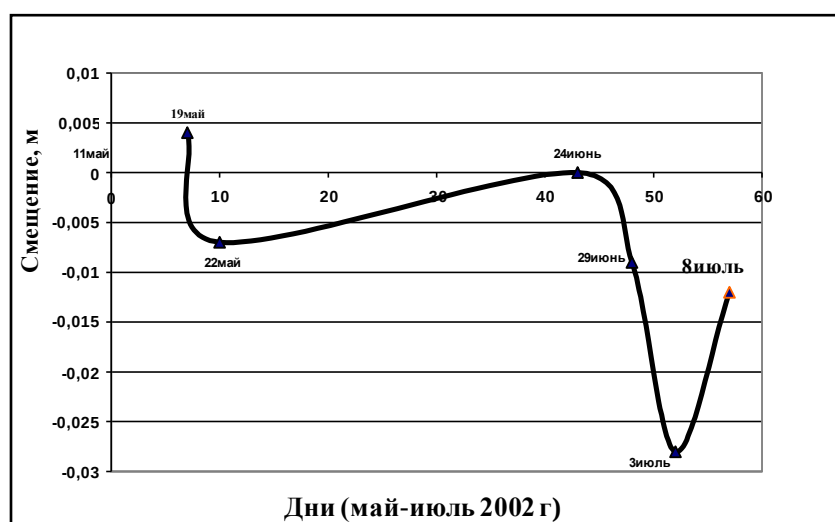


Рис.4. График смещения мониторинговой точки 4, установленной на поверхности уступа 4082 м в восточном направлении /4/.

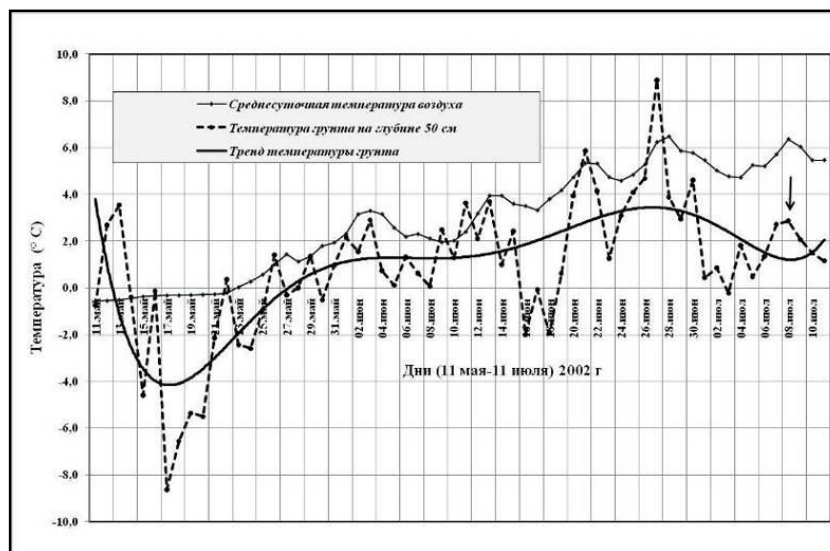


Рис.5. Характер изменения температуры воздуха и грунта на глубине 50 см по данным за период 11 мая -11 июля 2002 г. Стрелкой показан момент обрушения борта -8 июля 2012.

После этого третьего по счёту обвала по заданию КОК, консалтинговая компания SRK Consulting провела геотехнические (бурение) и структурно-геологические исследования на участке обвалов с целью определения механизма обрушения и разработки мер по обеспечению устойчивости борта карьера /2/. При анализе обрушения было признано, что этот обвал был вызван повышением порового давления в массиве за счёт подтока талой воды ледника Лысый, места высачивания которой проявились вблизи вершинного оползневого уступа (рис.3в). Следует иметь в виду, что резкие перепады температур воздуха и грунта, характерные для Кумтора, сопровождаются фазовыми переходами воды в лёд и обратно.

По результатам этих исследований был пересмотрен первоначальный проект ЦК. В целях повышения устойчивости было произведено выполаживание угла наклона борта на этом обвалоопасном участке с первоначальных 36° до 30° /2/. Анализ устойчивости высокого и крутого северо-восточного борта ЦК для углов откоса 37° и 30° , выполненный ГА, дал следующие значения коэффициента запаса устойчивости (КЗУ) для влагонасыщенных и сухих условий (табл. 1).

Согласно нормативам величина $KЗУ > 1.2$ считается приемлемой. Предыдущие геотехнические исследования и мониторинг бортов, выполненные ГА, показали, что откос борта между уступами 4070 и 3950 м находился в мёрзлом состоянии. В это случае откос может считаться сухим или, по крайней мере ненасыщенным влагой и, следовательно, должен быть устойчивым ($KЗУ > 1.2$). Однако в верхней части склона были и остаются открытые трещины, из которых высачиваются воды (возможно под давлением). Из табл.1 следует, что для водонасыщенных условий склон является неустойчивым даже при угле откоса в $30^\circ/2/$. Для снижения влияния гидравлического давления талых вод на устойчивость борта ГА рекомендовало обустроить разгрузочные скважины и удалить лёд в гребневой части с тем, чтобы свести к минимуму объём талых вод, которые могут просачиваться в карьер.

Таблица 1. Коэффициент запаса устойчивости
северо-восточного борта ЦК /2/

Угол откоса	37°	30°
Влагонасыщенный откос	0.8	1.0
Сухой откос	1.2	1.4

Кроме этого геотехнические исследования и структурно-геологическое картирование, выполненное SRK Consulting, позволили выяснить причину обрушения северо-восточного борта карьера, триггерным механизмом которого стал очередной массовый взрыв. Большой неглубокий клин в зоне тектонического надвига ДЗ сформировал поверхность обрушения вдоль линии пересечения этого надвига с разломом Лысый (рис. 2б). Таким образом, одной из причин обвала (обрушения) по мнению SRK Consulting стало оттаивание многолетне-мёрзлых пород на самом высоком борту карьера и обводнение зоны тектонического нарушения талыми ледниковыми водами /2/. По нашему мнению талые воды ледника в условиях суточного замерзания-

оттаивания оказали расклинивающее воздействие на породы (филлиты) прибортовой зоны по разломам и трещинам. Как известно, при замерзании воды её объём увеличивается на 9.2%. По данным лабораторных исследований давление на стенки трещин в породе при замерзании воды может достигать $1 \cdot 10^7$ Па (10 МПа). Этого вполне достаточно для разрушения некоторых массивных горных пород месторождения, в частности выветрелых филлитов.

Как отмечалось выше, обрушившийся откос до начала разработки был сложен смёрзшимися, сильноизменёнными филлитами-мелонитами, которые крошатся под воздействием горных работ и при оттаивании. Возможно, это обстоятельство и обусловило сильную раздробленность обрушившихся горных масс. Кроме того следует отметить, что не случайно все три обрушения произошли в июле-августе месяцах, т.е. в период наибольшего оттаивания обнажённых пород борта карьера. В дополнение к этому в результате происходящего потепления климата, в частности повышения среднегодовой температуры воздуха, повысилась температура горных пород в прибортовой части массива северо-восточного борта карьера, что, скорее всего, привело к разобщению слоя сезонного промерзания–оттаивания с многолетнемёрзлой толщей пород в глубине массива филлитов. Указанный фактор имеет особое значение для северо-восточного борта в связи с тем, что он обнажился в результате горных работ гораздо раньше других участков борта карьера. По-видимому, стимулирующую роль в обрушении борта сыграли также сезонные деформации прибортовой части откоса за счёт многократного промерзания-оттаивания раздробленных филлитов зоны тектонического нарушения, включая расклинивающее действие талой воды по разломам. Обнажение в верхней части отрыва явно указывало на то, что обрушение произошло по крутопадающему разлому (рис.3б,в).

Л. Бьеррум с коллегами из Норвежского института геотехники /6/, изучив около 300 неустойчивых скальных откосов, установили в качественной форме, что морозное воздействие, химическое выветривание, колебания температуры, прямое воздействие воды и снежного (в нашем случае ледяного) покрова делают невозможными сколько-нибудь длительную устойчивость крутых склонов в трещиноватых скальных породах, если они не покрыты защитным слоем щебня или крутизна склона превышает угол естественного откоса ($\approx 37^\circ$) несцементированных обломков из того же материала.

По мнению этих авторов, коэффициенты устойчивости скальных откосов не могут быть определены теоретическими расчётами, поскольку нельзя установить относительное значение упомянутых выше факторов /6/. Поэтому в соответствии с этими данными наилучшим методом является сравнение по методу аналогий проектируемых откосов с уже существующими. Однако эмпирический подход не предусматривает рассмотрение механизма устойчивости (или неустойчивости) склонов. Поэтому теоретические исследования (расчёты) желательны, даже, если они не в состоянии обеспечить надёжные прогнозы.

Выше отмечалось, что неоднократные обрушения неустойчивого северо-восточного борта происходили после массовых взрывов, то есть взрывы послужили триггерным механизмом (спусковым крючком) обрушений борта ЦК. На карьере практически ежедневно производят массовые взрывы, при которых общая масса взрывчатого вещества (ВВ) составляет 15-20 тонн. По данным КОК за период 1996-2011 гг. для проведения взрывов на карьерах использовано 280 тыс. тонн ВВ /5/. В результате изучения сейсмического воздействия массовых взрывов на борта Центрального карьера было установлено, что при взрывании донной части карьера вертикальная составляющая скорости сейсмических колебаний в 3 раза и более превышает горизон-

тальные составляющие, а её влияние проявляется в сильном встряхивании массива горных пород верхних уступов, особенно при их оттаивании, приводя к оползням /7/.

По нашему мнению, наряду с выявленными структурно-геологическими и геодинамическими факторами, неоднократным обрушениям северо-восточного борта ЦК способствовали упомянутые выше геокриологические и гидрогеологические особенности Кумторского месторождения. К их числу в условиях потепления климата и техногенного воздействия относятся: разобшение сезонно-талого слоя с многолетнемёрзлыми породами в глубине массива за счёт повышения среднегодовой температуры воздуха и пород в прибортовой части; резкие перепады температур, вызывающие сезонные и суточные деформации за счёт промерзания-оттаивания филлитов и воды в прибортовой части массива горных пород; расклинивающее и смазочное действие талых вод ледника Лысый и снижение прочности пород (филлитов) в результате многократного промерзания-оттаивания. Так, по данным Института мерзлотоведения СО РАН прочность филлитов Кумторского месторождения снижается почти в 2 раза с 80.0 МПа до 41,5 МПа после нескольких циклов замораживания и оттаивания /4/.

Из-за проблем с обеспечением безопасности на северо-восточном борту Центрального карьера в настоящее время добыча руды из зоны штокверка отложена до 2015 г.

Проблема сползания льда и отвалов в Центральный карьер.

Начиная с 2007 г., добычные работы в ЦК рудника затормозились из-за значительной ползучести отвалов и глетчерного льда над зоной SB в пределах карьера, на участке южного борта протяжённостью около 800 м. (рис.6). Разработка зоны SB происходит ниже отработанного участка северной ветви ледника Давыдова, в юго-западной части месторождения Кумтор (рис.7). На сегодняшний день установлено, что деформация борта ЦК на рассматриваемом участке связана

с пригрузкой ледника отвалами, а также с повышением порового давления в зоне контакта подледниковой морены с коренными породами /1,2/.



Рис.6. Фото Центрального карьера 09.08.2012 г. с видом участка сползающих в карьер отвалов и льда. На борту ЦК хорошо видны потоки воды, стекающие на дно ЦК.

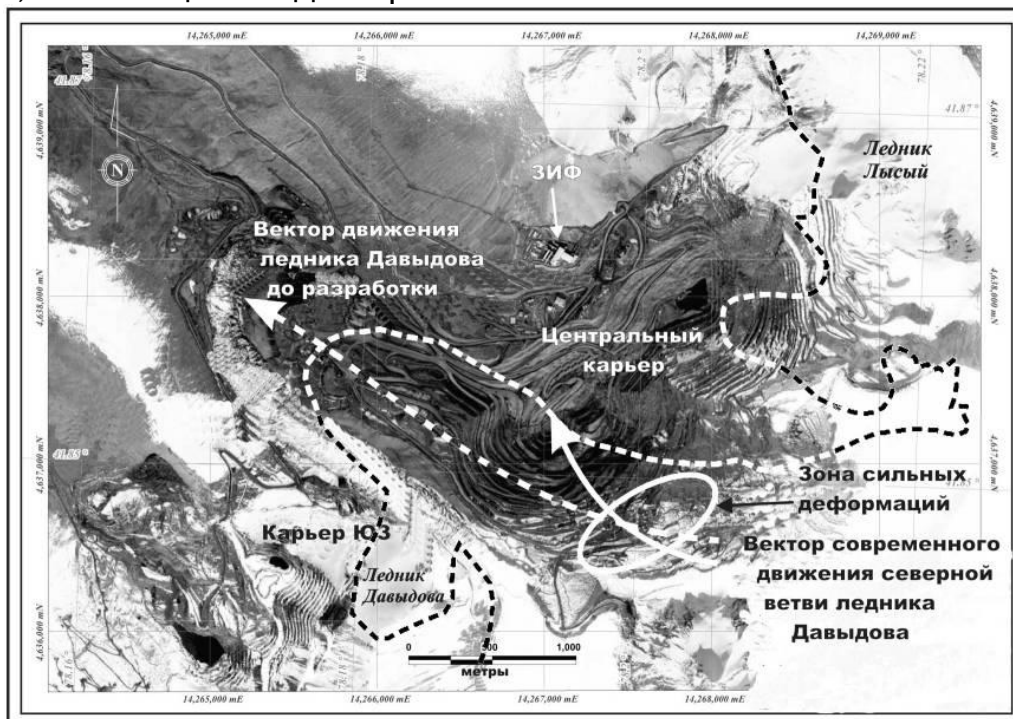


Рис. 7. Космоснимок центрального и юго-западного карьеров КОК 2009 г. с векторами движения ледника Давыдова в сторону ЦК. Жирной пунктирной линией показаны контуры ледников до начала разработки месторождения /8/.

Исторически ситуация с отвалами ЦК складывалась так, что вскрышные и пустые породы складировались в основном на леднике Давыдова. В самом начале вскрышные и отвальные породы укладывались вдоль северного края ледника Давыдова. По замыслу проектировщиков ГА это осуществлялось для того, чтобы вытеснить ледник за границы проектного контура ЦК и одновременно создать своеобразную буферную зону безопасности между движущимся ледником и активной областью горных работ в пределах карьера. Однако достичь этих целей не удалось, что значительно усложнило работу в карьере, в частности заблокировало доступ к зоне богатого оруденения SB на неопределённый период времени. В дальнейшем, до вскрытия зоны SB огромное количество пустой породы из ЦК укладывалось непосредственно на ледник Давыдова. Здесь следует отметить, что ЦК имеет очень большой коэффициент вскрыши (34:1), что обуславливает извлечение и накопление в отвалах гигантского количества пустых пород и льда.

Складирование пустых пород на активном леднике Давыдова, который испытал последнюю подвижку (пульсацию) сравнительно недавно, в 1974-77 гг. прошлого века /9/, привело к постепенному выдавливанию и подпруживанию льда на участке основного потока (рис.7). Подпруживание ледника Давыдова вскрышными породами общей массой свыше 500 млн. тонн в свою очередь вызвало коренное изменение естественного режима глетчера: изменение скоростей и направлений смещения различных его частей; постепенное сужение живого сечения ледникового потока в средней и нижней частях (рис.7); ускорение смещения суженного потока льда, особенно в языковой части /9/ с одновременным её вспучиванием и дефрагментацией. Другим неблагоприятным последствием отсыпки отвалов на леднике стало изменение его гидротермического режима с последовавшим усилением

ем таяния льда, что стало одной из причин непредвиденно большого водопритока в ЦК (рис.6). По этой причине, начиная с 2008 г., КОК проводит большую дорогостоящую программу осушения ЦК. Следует отметить, что отвалы, укладываемые вкрест течения ледника, подпруживая его, препятствуют естественному движению ледника Давыдова и подледниковому стоку и тем самым вызывают повышение давления воды на границе раздела ледника и морены.

Необходимо отметить, что при термобурении и радиолокационном зондировании ледника Давыдова в 1985 г. было установлено наличие моренно-обломочного материала между придонной толщей мореносодержащего льда и подстилающими коренными породами /10/. Авторы исследований 1985 г. указывали на то, что выявленные особенности гидротермического режима ледника, а именно наличие слоя теплого льда и воды на ложе ледника уменьшают прочность льда и трение на нижней границе ледника Давыдова. Это создаёт предпосылки для его механической неустойчивости и может стать причиной ускоренных подвижек ледника, как это имело место в 1974-77 гг. На основании измерений скорости движения в различных точках ледника был сделан вывод о механизме его движения, в виде скольжения ледника единым блоком по ложу.

Таким образом, складирование огромного количества пустых пород на активном леднике стало причиной уникальных геотехнических, гляциологических и гидрологических проблем, и в настоящее время обуславливает задержку добычи некоторых богатых участков зоны SB, в связи с необходимостью удаления отвалов и льда над этой зоной. В настоящее время в связи с проводящимися КОК крупномасштабными работами по удалению льда и повторному перемещению исторических отвалов техногенное воздействие на ледник Давыдова приобрело по выражению гляциолога В.А. Кузьмичёнка «агрессивный характер».

После обширных геотехнических исследований, включая бурение скважин, специалисты консалтинговой компании SRK Consulting (Канада) пришли к выводу, что основным механизмом сильной деформации отвалов и юго-восточного борта карьера является скольжение ледника Давыдова по кровле донной морены. Это скольжение, вызвано сочетанием повышенного напряжения сдвига, развивающегося на контакте ледник-морена от огромного веса отвалов горных пород в верхней части ледника и притока подледниковой талой воды, действующей как смазка /2/.

Специалисты «Centerra Gold Inc» считают, что ползучесть этой части борта карьера будет продолжаться в течение ближайших нескольких лет, несмотря на продолжение разгрузки материала отвалов, и реализацию мероприятий по понижению порового давления и осушению донной морены в этой части Центрального карьера с помощью сети скважин, пробуренных вдоль юго-восточного и юго-западного бортов карьера /1/.

Для управления процессом смещения (сползания) отвалов и льда был скорректирован план горных работ на этом участке карьера на период 2010-14 гг. с учётом необходимости дальнейшего удаления льда и разгрузки существующих отвалов на этом участке Центрального карьера. Этот план задействован с 2010 г. и призван обеспечить большую устойчивость борта карьера, однако необходимость выполнения и разности борта обуславливает продление сроков завершения добычных работ высокоминерализованной зоны SB. В случае, если вопреки ожиданиям не удастся достичь поставленной цели обеспечения устойчивости борта на участке обнажившегося ледника и подледниковых моренных отложений, отработка зоны SB может стать весьма проблематичной и более дорогостоящей /1/.

Анализ нынешних геотехнических и гидрологических проблем освоения высокогорного месторождения Кумтор, в частности анализ

взаимодействия отвалов и ледника Давыдова позволяет сделать прогнозные оценки возможных последствий подпруживания ледника на будущее с учётом современных тенденций изменения климата.

Ледяные обвалы. В рассматриваемом районе распространены ледники, приуроченные к верхнему ярусу оледенения, крутым склонам и вершинам гор, в том числе так называемые висячие ледники. Естественное состояние ледника Давыдова, его природный режим были нарушены, во-первых, за счёт складирования на нём гигантского количества отвальных пород. Во-вторых, за счёт подсекающей выемки льда и горных пород в контурах Центрального карьера, особенно в его юго-западной части. По эти причинам в настоящее время возникла опасность обрушения верхних ледяных частей из северной и южной областей питания ледника Давыдова. При таком возможном обрушении от края подработанных ледников могут отколоться большие глыбы. Опасность обрушения особенно велика в тёплый период года.

После завершения эксплуатации рудника верхняя подпруженная часть южной ветви ледника Давыдова со временем может вызвать формирование между отвалами и склоновым висячим ледником «техногенного глетчера», который будет смещаться в русло р. Кумтор. Верхняя подпруженная часть северной ветви ледника будет смещаться в виде ледопада по крутому борту в глубокий карьерный водоём, объём которого до начала перелива по расчётам составит около 37 млн. м³. Неизбежный перелив воды из ЦК, может вызвать со временем размыв и обрушение отвалов с формированием «техногенных оползней и селей» в притоках реки Кумтор /8/, как это имело место на одном из отвалов, размещённых в бассейне ручья Сарытор (рис. 8).



Рис. 8. Оползень-оплывина на отвале в русле р. Сарытор, ниже Юго-Западного карьера /5/.

Подвижки ледово-каменной массы отвалов в бассейне ледника Давыдова. В настоящее время чрезвычайно серьёзную проблему для дальнейшей деятельности рудника Кумтор представляет угрожающее по масштабам и скорости смещение ледово-каменной массы ледниковых и породных отвалов вниз по долине ручья Чон Сарытор. Указанная ледово-каменная масса сформировалась в нижней части бассейна ледника Давыдова в результате совместного складирования льда и отвальных пород, которые были перенесены в 2011-2012 г. из юго-восточной периферии ЦК для обеспечения безопасного доступа к зоне SB (рис.7).

По существу в результате неразумного отвалообразования сформировался своеобразный «техногенный каменный глетчер», являющийся аналогом природных каменных глетчеров присклонового типа, которые широко распространены и динамически активны в рассматриваемом регионе Тянь-Шаня /11/. Техногенные каменные глетчеры обычно формируются из искусственных отвальных грубообломочных пород, укладываемых вперемешку со льдом или снегом. Сов-

местные ледово-каменные отвалы Кумтора в результате нарушения гидротермического режима ледника Давыдова и многократного переноса отвалов, по-видимому, трансформировались в динамически активный и опасный в экологическом отношении техногенный каменный глетчер грандиозного масштаба. Для каменных глетчеров характерны необычно быстрые подвижки, сопровождаемые оползнями и грязекаменными потоками /11/.

Согласно данным мониторинга за период 2002-2010 гг. язык ледника Давыдова продвинулся вниз по долине на 1.1-1.5 км /9/, перевалив за пределы конечной морены так называемого «малого ледникового периода». Скорость продвижения нижнего конца ледника вниз по долине р. Чон Сарытор иногда превышала 30 м/мес. По данным В.А. Кузьмичёнка очередная пульсация ледника Давыдова в естественных условиях, не нарушенных техногенной нагрузкой, прогнозировалась на 2014-2015 гг /12/. Однако агрессивный прессинг на этот ледник возможно послужил триггерным механизмом подвижек ледово-каменной массы и ускорил очередную пульсацию ледника Давыдова.

По состоянию на начало апреля 2013 г. язык ледово-каменной массы вплотную продвинулся к зданию административно-технического корпуса (АТК) и постепенно разрушает его (рис.8). В АТК помимо офисов различных служб КОК размещены уникальные мастерские по сборке и ремонту крупногабаритной техники (Caterpillar), различные склады. Возник риск разрушения Главной электростанции КОК и других объектов инфраструктуры рудника, расположенных ниже. Если не предпринять защитные меры, со временем отвальные породы в результате указанных процессов окажутся непосредственно в русле р. Кумтор, что неизбежно приведёт к систематическому и долговременному загрязнению воды и донных отложений реки минералами и металлами, содержащихся в этих раздробленных породах.



Рис. 8. Надвигание ледово-каменной массы отвалов на здание АТК.

В случае с рудником «Кумтор» загрязнение поверхностных вод и донных отложений происходит в настоящее время и будет усугубляться в будущем за счет таяния огромных объёмов (свыше 100 млн. м³) льда, уложенного внутри отвальных пород, объём которых будет неуклонно нарастать. Очевидно, что талые ледниковые воды, а также атмосферные осадки и воды из карьеров, просачиваясь в поверхностную гидросферу через раздробленные, огромные по объёму массы горных пород в отвалах, неизбежно загрязняются всем спектром примесей и загрязнителей, характерных для руд Кумторского золоторудного месторождения.

Ситуация с происходящей подвижкой ледово-каменной массы отвалов в бассейне ледника Давыдова представляет собой наглядный пример того, как геотехническая проблема может трансформироваться в медленно протекающую геохимическую катастрофу – загрязнение бассейна р. Нарын (Сырдарья)

ЛИТЕРАТУРА

1. Thalenhorst H., Redmond D., Raponi T.R., Vdovin V., Technical Report on the Kumtor Gold Project Kyrgyz Republic for Centerra Gold Inc. December 20th, 2012. – 179 pp.
2. Bruce I., Redmond D., Thalenhorst H. Technical Report on the 2007 Year-End Mineral Reserves and Resources Kumtor Gold Mine Kyrgyz Republic for Centerra Gold Inc. and Cameco Corporation. Toronto, Canada Strathcona Mineral Services Limited. March 28, 2008. Toronto, Canada. – 163 pp.
3. Роджерс Т. Золотодобывающее предприятие «Кумтор»-флагман горной промышленности Кыргызстана // Горный журнал. 2001, №4. – с. 1-8.
4. Горбунов А.П., Ермолин Е.Д., Северский Э.В. и др. Отчёт по научно-исследовательской работ «Мерзлотно-геологические условия и прогноз их изменения при эксплуатации месторождения Кумтор» .Якутск-Алма-Ата. 1988. – 118 с.
5. ОТЧЁТ Государственной комиссии по проверке и изучению соблюдения ЗАО «Кумтор оперейтинг компании» норм и требований по рациональному использованию природных ресурсов, охране окружающей среды, безопасности производственных процессов и социальной защите населения. Бишкек «Учкун», 2013. – с. 258-308.
6. Bjerrum L. and Jorstad F. Stability of Rock Slopes in Norway // Publ. Norges Geotekniska Institut (Oslo). 1968, No. 79. – 1-11 pp.
7. Льюис Э., Макни Д., Кутузов Б.Н. и др. Изучение сейсмического воздействия массовых взрывов на борта карьера рудника «Кумтор» // Горный журнал. 2006, №8.- с.4850
8. Торгоев И.А., Алёшин Ю.Г., Айтматов И.Т. Оценка рисков и прогноз развития гляциальных процессов на высокогорном руднике Кумтор (Кыргызстан) // Проблемы снижения природных опасностей и рисков:

Материалы Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК-2012». –Москва: РУДН, 2012, т.2. – с.72-77.

9. Куьмичёнок В.А. Отвалы горной породы на леднике Давыдова (хр. Акшыйрак, Тянь-Шань).// Лёд и снег. 2012, №1 (117). – с.95-104.

10. Василенко Е.В., Громыко А.Н., Дмитриев Д.Н., Мачерет Ю.Я. Строение ледника Давыдова по данным радиозондирования и термобурения // МГИ. 1988. Вып.41.- с. 180-187.

11. Горбунов А.П., Северский Э.В. Скорости и деформации каменных глетчеров. // Криосфера Земли, 2010, т. XIV, № 1, с. 69–75.

12. Годовой отчёт «Кумтор оперейтинг компани» по охране окружающей среды, 2009. – с. 74-76.