

ГРАВИТАЦИОННЫЕ СМЕЩЕНИЯ ОТВАЛОВ НА ВЫСОКОГОРНОМ РУДНИКЕ КУМТОР

Торгоев И.А., Оморев Б.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Рассматривается движение отвалов пустых пород и льда, отсыпанных на склонах и ледниках высокогорного золоторудного месторождения Кумтор, расположенного в центральной части Тянь-Шаня (Кыргызстан). До настоящего времени нигде в мире не было прецедентов складирования пустых пород и льда на активных горных ледниках. На грандиозных отвалах, отсыпанных на леднике Давыдова, сформировался оползень, скорость смещения которого резко возросла весной 2013 г. В результате ускоренной подвижки каменно-ледовой массы был разрушен ряд объектов рудника Кумтор с экономическим ущербом около 90 млн. долларов США. В статье приводятся результаты мониторинга смещений оползня и даётся анализ причин его ускорения. Выполнена оценка возможных экологических последствий дальнейшего развития процессов гравитационного смещения отвальных пород на окружающую среду и объекты рудника Кумтор.

Введение. Своевременное выявление и решение геотехнических и геоэкологических проблем, связанных с освоением минеральных ресурсов высокогорья является ключевым вопросом в экономическом развитии Кыргызстана. Одной из таких актуальных проблем является оценка рисков [1,2] и прогноз влияния крупномасштабного техногенного воздействия на многолетнемёрзлые

породы и ледники, которые являются законсервированными источниками влаги для аридных районах Центральной Азии.

В качестве примера рассматривается ситуация, которая в настоящее время складывается на высокогорном руднике Кумтор, в горах Тянь-Шаня (рис.1). Начиная с 1996 г. отвальные породы карьеров этого крупномасштабного рудника складировались на ледниках Лысый, Давыдова и Сары-Тор (рис. 1б). В 2012 г. общая масса отвальных пород достигла почти 1 млрд. тонн. При разработке месторождений полезных ископаемых в циркумполярных и высокогорных регионах на отвалах пустых пород могут возникать гравитационные смещения консолидированных масс льда, снега и раздробленных горных пород. Оползни на подобных отвалах иногда напоминают каменные глетчеры, широко распространённые в верхнем поясе гор Тянь-Шаня. Каменные глетчеры представляют собой естественные скопления обломочного материала и льда, обладающие самостоятельным движением под действием силы тяжести [3]. А.П. Горбунов определяет каменные глетчеры как крупные формы мерзлотного рельефа, по общему облику напоминающие долинные ледники, а еще в большей степени - оползни [4].

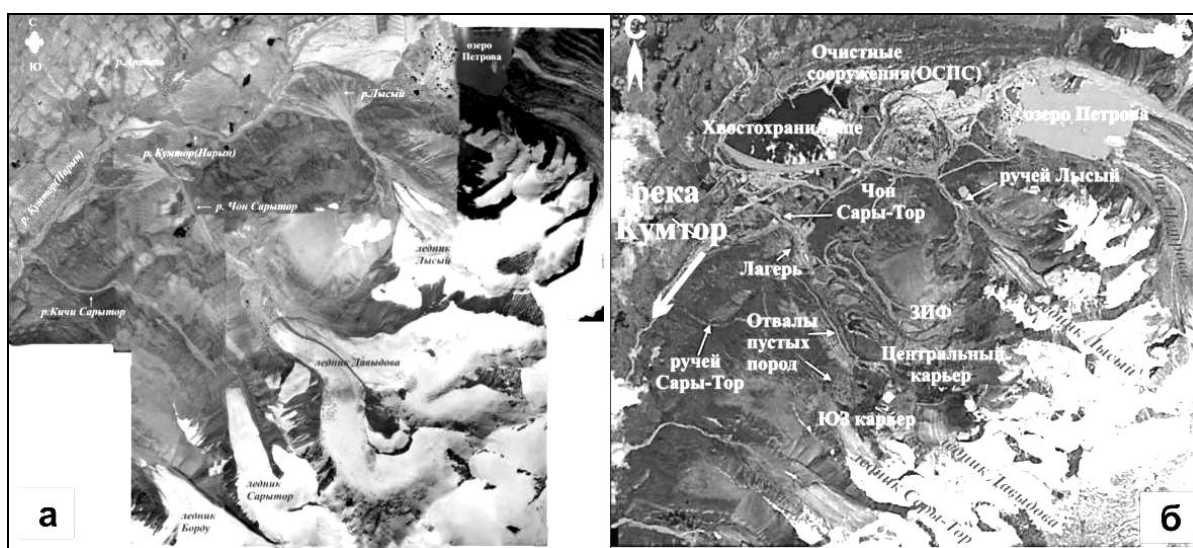


Рис.1. Снимки района Кумторского золоторудного месторождения в 1980 г., до начала разработки (а) и по состоянию на октябрь 2012 г. (б) с указанием основных природных и техногенных объектов рудника.

Именно такой грандиозный техногенный оползень объёмом около 200 млн. м³, состоящий из смеси отвальных пород и глетчерного льда, сформировался на отвалах высокогорного рудника Кумтор, размещённых в бассейне ледника Давыдова (рис.1б, 2-3). Ускоренное движение оползня в апреле 2013 г. вызвало разрушение ряда объектов рудника с большими экономическими потерями. Возникла угроза трансформации гравитационного смещения отвалов в селевой поток с неблагоприятными экологическими последствиями в виде загрязнения отходами рудника бассейна реки Нарын (Сырдарья).

Учитывая уникальность проблемы, связанной с неустойчивостью грандиозных отвалов на ледниках рудника Кумтор, в настоящей статье рассмотрена предыстория возникновения гравитационного смещения каменно-ледовой массы отвалов в долине ледника Давыдова, результаты геотехнических исследований зоны скольжения и мониторинга оползневых смещений, охарактеризован механизм ускоренного смещения оползающих отвалов.

1. Общие сведения о районе высокогорного рудника Кумтор и леднике Давыдова

Золоторудное месторождение Кумтор находится в высокогорном районе Центрального Тянь-Шаня, на высотах от 3900 до 4400 м. Проект реализуется совместным кыргызско-канадским предприятием «Кумтор оперейтинг компани» (КОК) в зоне активных ледников и сплошного распространения многолетнемёрзлых пород (ММП), в горном массиве Акшыйрак, который является одним из крупнейших узлов современного оледенения на территории Кыргызстана.

Ледник Давыдова, в бассейне которого возник оползень на отвалах, расположен на северо-западном склоне хребта Акшыйрак (41°51'С; 78°12'В), между ледниками Лысый и Сары-Тор (рис.1). Длина ледника до начала разработки месторождения составляла около 6 км, площадь ледника -11,6 км². Общий объём льда глетчера до начала

разработки месторождения оценивался в 720 млн. м³. Максимальная, измеренная в 1985 г. толщина льда в зоне основного потока ледника достигала 130 м. Результаты радиолокационного зондирования, термобурения и термометрии в скважинах позволили установить, что ледник Давыдова имеет политермическую структуру, то есть состоит из холодного льда в верхней части толщи и тёплого льда в придонной её части [5]. На основании комплексных исследований в 1985 г. был сделан также вывод о наличии воды в придонном слое ледника даже зимой, что вероятно сказывалось на динамических характеристиках ледника. Наличие воды на ложе ледника полностью подтвердилось при бурении сети скважин в зоне отвалов и ледника в 2009 г. Указанные особенности гидротермического режима ледника Давыдова могут оказывать влияние на его механическую устойчивость и являться причиной пульсаций ледника, подобных последней его подвижке в 1974-1977 гг. Сроки очередной пульсации ледника в естественных условиях, не нарушенных техногенной нагрузкой, прогнозировались В.Е. Кузьмичёнком на 2014-2015 гг. [6]. Этот прогноз базировался на предположении, что период пульсации ледника Давыдова составляет около 45 лет.

На основании измерений скорости движения в различных местах (потоках) ледника был сделан вывод о механизме его движения, в виде скольжения ледника единым блоком по ложу. Общая скорость движения языка ледника Давыдова, включавшая скорость движения по ложу и внутриледниковые смещения, в период до начала разработки месторождения достигала 15-20 м/год. За период инструментальных наблюдений с 1932 по 1984 гг язык ледника отступил на 380 м, а высота поверхности на расстоянии около 800 м от конца языка уменьшилась на 21 м. Средняя скорость движения останцев ледника в октябре 2013 г. составляла 0.19 м/сутки, максимальная 3.1 м/сутки.

Таким образом, добычу золотоносной руды и формирование грандиозных отвалов в районе Кумтора серьезно осложняют наличие активных и пульсирующих ледников, а также неустойчивое состояние многолетнемерзлых грунтов и горных пород. Помимо этого рассматриваемый район характеризуется сложностью геологического строения, наличием и сочленением тектонических структур различных масштабов и повышенной сейсмической активностью. Сейсмичность района составляет $M=8$ по шкале Рихтера с повторяемостью таких землетрясений 1-2 раза в 500 лет. Горизонтальное смещение поверхности земли в районе Кумтора по данным космической геодезии (GPS) достигает 10 мм/год и направлено преимущественно на север. Отмеченные гляциологические, криогенные и сеймотектонические условия рассматриваемого высокогорного района определяют слабую устойчивость и повышенную уязвимость массивов горных пород и льда по отношению к техногенным воздействиям, в частности к формированию на них грандиозных отвалов.

2. Особенности формирования каменно-ледовых отвалов на руднике Кумтор

По состоянию на середину 2013 г. на руднике Кумтор было разработано в карьерах и перемещено в отвалы более 1.0 млрд. тонн пустых пород, а также свыше 100 млн. m^3 глетчерного льда. Исторически сложилось так, что из-за ограниченности пригодных территорий вблизи Центрального карьера (ЦК), его отвалы формировались на ледниках Лысый, Давыдова и Сары-Тор (рис. 1б,2). Причём подавляющая часть отвальных пород и глетчерного льда размещена на леднике Давыдова (рис.2-3). Так, по данным КОК за период с 1995 по 2012 гг. объём пустых пород, уложенных в бассейне этого ледника, превысил 278 млн. m^3 или 775 млн. тонн.

Отсыпка отвалов ведётся в основном на наклонные поверхности движущихся ледников. До недавнего времени исключение составляли только два породных отвала №№23,26, которые были сформированы на склонах долины ледника Давыдова, ниже золотоизвлекательной фабрики (ЗИФ). Отсыпка этих отвалов на слабоустойчивых склонах велась способом «сверху-вниз». По этой причине оба этих отвала обрушились и продвинулись на значительные расстояния (свыше 150 м) от проектных местоположений, заблокировав краевой поток воды р. Чон Сарытор. Как и следовало ожидать гравитационное смещение этих отвалов произошло по кровле слабоустойчивых высокольдистых моренных отложений, залегающих на глубинах ниже 1.0-1.5 м от поверхности склонов.

На руднике Кумтор с самого начала эксплуатации в 1995 г. осуществляется совместное складирование в отвалах пустых пород и глетчерного льда, удаляемого при вскрыше и в пределах контуров карьеров. Основной чертой строения промерзающих отвалов является щебенисто-глыбовый состав каменного материала, переслаивающегося со льдом. По мнению проектировщиков, наличие льда внутри отвалов должно было способствовать консервации холода в отвальном массиве, тем самым обеспечивая устойчивость промёрзших отвалов на леднике.

К концу 2012 г. общий объём глетчерного льда, заскладированного вперемешку с пустыми породами в бассейне ледника Давыдова, превысил 100 млн. м³. Следовательно, только разрыхленный глетчерный лёд в настоящее время составляет свыше 35% от объёма отвалов, размещённых на леднике Давыдова.

За время эксплуатации рудника стало ясно, что чрезмерная загрузка ледника Давыдова отвальными породами и глетчерным льдом, выдавливание льда из-под мощных отвалов, экскавация и перемещение льда для обеспечения безопасного доступа к зоне

богатого оруденения SB (юго-западное углубление Центрального карьера) привели к коренному изменению естественного режима глетчера [2]. Если в начале формирования отвалов на леднике векторы скоростей смещения его потоков соответствовали уклону ложа, то после значительной загрузки ледника пустыми породами скорости и направление векторов движения его основного потока резко начали изменяться. Затем произошло постепенное сужение живого сечения ледникового потока в средней и нижней частях (подпруживание ледника). По результатам геодезического мониторинга было зафиксировано ускорение смещения суженного потока льда, особенно в языковой части с одновременным её вспучиванием и растрескиванием. По мере дальнейшего накопления отвалов и расширения Центрального карьера произошёл распад ледника на три изолированные части, представляющие собой верхние зоны аккумуляции льда мощностью до 170 м. В зоне ледникового потока произошла трансформация, уложенных на нём отвальных пород и льда, в гравитационное смещение каменно-ледовой массы вниз под воздействием силы тяжести от веса пустых пород и льда.

3. Гравитационное смещение каменно-ледовых отвалов в бассейне ледника Давыдова

Рассматриваемый оползень расположен в бассейне ледника Давыдова и занимает нижнюю его часть (рис. 1-3). По состоянию на 30 июля 2013 г. длина активной части оползня превысила 2.30 км, ширина -1.06 км, площадь – 2.44 км². Координаты подошвы фронтального откоса по оси оползня следующие: $\varphi = 41.87401^\circ\text{С}$; $\lambda = 78.15566^\circ\text{В}$, его высота составляла 43-50 м, а крутизна близка к углу естественного откоса.

В морфоскульптурном комплексе оползневого тела прослеживаются три основных ступени, представляющие собой сверху вниз области приложения основной нагрузки (зона питания),

транзита и разгрузки пустых пород и льда (рис.3б). Зона приложения нагрузки представлена отвалами мощностью до 180 м от поверхности до донной морены ледника Давыдова. Протяжённость зоны приложения нагрузки по тальвегу долины достигала 1.0 км. По топографическим оценкам общий объём отвальных пород и льда в этой зоне составлял свыше 120 млн. м³. Начиная с апреля 2013г. отсыпка отвальных пород в этой зоне прекращена.

Зона транзита представлена каменно-ледовой массой, в которой происходят основные деформации блокового оползания. В зоне транзита, на её поверхности хорошо выражены дугообразные поперечные трещины растяжения, ложбины и валы, изогнутые в направлении общего уклона и свидетельствующие о движении отвалов (рис.3б). Средняя мощность зоны

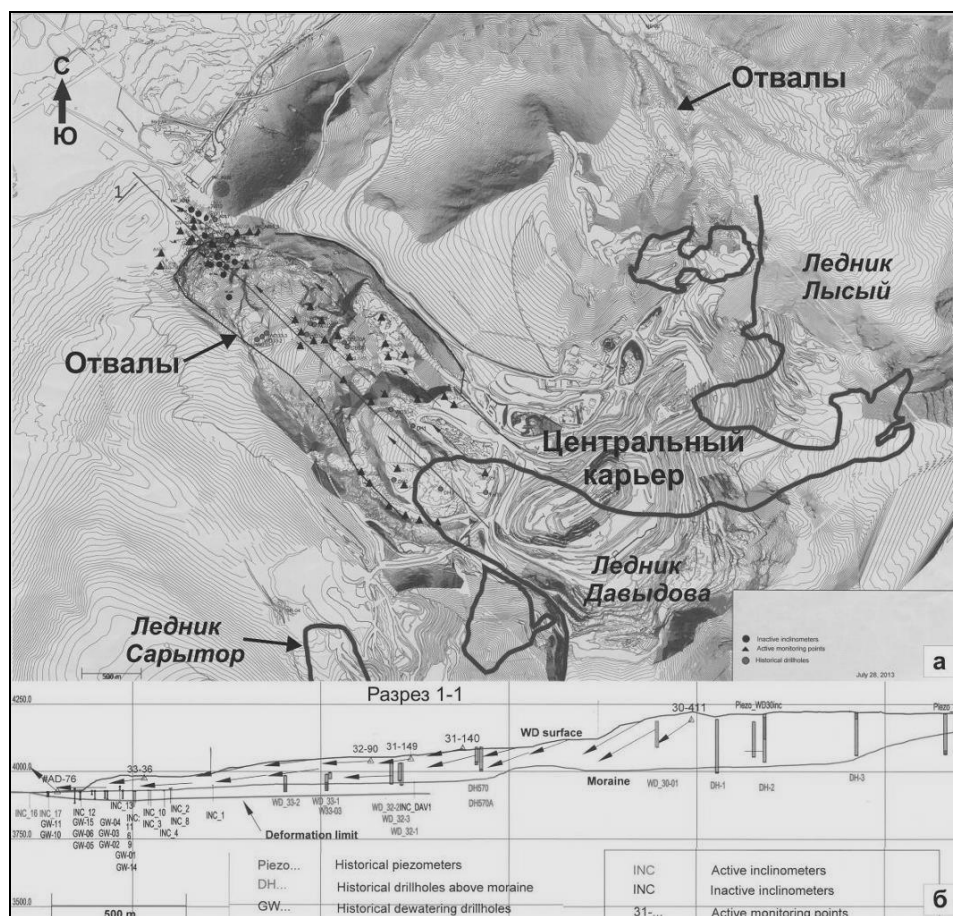


Рис.2. План (а) и разрез 1-1 (б) отвалов в долине р. Чон Сарытор по состоянию на май 2013 г. Чёрной жирной линией показаны контуры ледников Лысый, Давыдова и Сары-Тор до начала разработки месторождения



Рис.3. Панорама движущихся отвалов в бассейне ледника Давыдова: а - ситуация на отвалах по состоянию на 05.08.2012 г.; б – смещение отвалов на 09.08.2013 г. транзита составляла весной 2013 г. около 100 м, её протяжённость -1.4 км, оценочный объём пород и льда – свыше 70 млн. м³.

Зона разгрузки находится в языковой части сползающего отвала, вблизи постоянно осыпающегося фронтального откоса и перед ним. Протяжённость этой зоны в контурах оползневого тела составляла около 400 м, средняя мощность 85 м, оценочный объём – 1.2 млн. м³.

По всем признакам движение отвалов, впервые зафиксированное в 2010 г., осуществляется в виде блокового смещения всех трёх ступеней, утлюгообразно, при котором оползень как бульдозер сдвигает перед собой, находящиеся перед ним моренные отложения долины ледника Давыдова и формирует четкий вал напора (рис.4) Последний представляет собой поверхностную дернину и моренные отложения дна долины, смятые в складки, как по тальвегу долины, так и по её правому борту.



Рис. 4. Вид на фронтальную часть оползающего отвала №3 в июне 2013 г., разрушившей здание администрации и технических служб рудника.

Средний наклон поверхности оползающих отвалов варьирует в интервале $4-6^\circ$. Сверху они имеют неровную, ступенчатую поверхность, местами покрытую глетчерным льдом, удаляемым из верхних частей ледника Давыдова. Площадь открытого льда к началу 2013 г. составляла свыше 20% общей площади оползающих отвалов.

По сведениям, предоставленным геотехнической службой КОК, ледово-каменная масса отвалов, сформированная в долине ледника Давыдова, движется по наклонной поверхности ($12-16^\circ$) высокольдистых многолетнемёрзлых пород, залегающих под слоем моренных отложений (рис. 2б). Это утверждение о характере и морфологии поверхности скольжения базируется на результатах разведочного бурения, которое показало, что на глубине 30-40 м от поверхности самого нижнего отвала были обнаружены пласты и линзы льда. Величина сцепления моренного материала на глубинах от 19 до 33 м нарастала от 85.0 до 105.0 кПа, угол внутреннего трения - от 40° до 42° , число пластичности уменьшалось от 11.0 до 8.4.

Криогенное строение и соответственно физико-механические свойства рыхлых моренных отложений определяются наличием в них

льда. Степень деформации мёрзлых пород зависит главным образом от льдистости верхних горизонтов ММП. Средние значения льдистости составляют 15-20%, максимальные – до 30-40%. Участки с подземными залежами льда особенно сильно подвергаются деформации при техногенных нагрузках и/или воздействию. По этой причине моренные отложения на склонах и в долинах ледников являются неблагоприятными для возведения на них различных сооружений, включая отвалы пустых пород.

Следует отметить, что отвалы, укладываемые вкrest течения ледника, препятствуют не только естественному движению ледника Давыдова, но и стоку талых и подледниковых вод, вызывая повышение давления воды на границе раздела ледника и донной морены. Сильная трещиноватость глетчерного льда от веса отвалов, а также большая проницаемость (коэффициент фильтрации) отвальных пород обуславливает практически полную инфильтрацию талых вод и атмосферных осадков в массивы отвалов. В случае водонасыщения отвалов в сочетании с сейсмическим воздействием каменно-ледовая масса движущихся отвалов может трансформироваться в селевой поток, который может представлять серьёзную угрозу для персонала и объектов рудника, расположенных ниже по течению [4]. Компания КОК после блокирования долины р. Чон-Сарытор оползневыми массами во избежание сильного водонасыщения каменно-ледовой массы ведёт постоянную откачку воды из водоёмов, образовавшихся на оползающих отвалах. По этой причине по сравнению с предыдущими годами почти вдвое уменьшился расход воды в р. Чон-Сарытор ниже отвалов, достигавший в период интенсивного таяния ледников, в первой декаде августа 2013 г. значения в $1.3 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 5б).

4. Динамика движения отвалов На рис. 5 представлены графики скоростей смещения верхней (331), средней (№32) и нижней (№33) частей оползающей каменно-ледовой массы отвалов в корреляции с сейсмической активностью в радиусе 100 км от рудника (ближняя зона) и расходами воды в р. Чон-Сарытор, построенные по результатам геодезического мониторинга отвалов за период с января 2012 по ноябрь 2013 гг. Как видно из этих графиков, скорости движения отвалов неодинаковы в разных частях каменно-ледовой массы. Согласно данным мониторинга в течение 2012 г. средняя скорость движения языковой части отвалов составляла 1.5 м/сутки. Ускорение смещения свыше 1.5 м/сутки было зафиксировано в начале марта 2013 г. Максимальная скорость смещения каменно-ледовой массы возросла в середине апреля до 5.2 м/сутки и её языковая часть достигла комплекса зданий, сооружений на нижней площадке рудника. Это стало причиной начавшегося

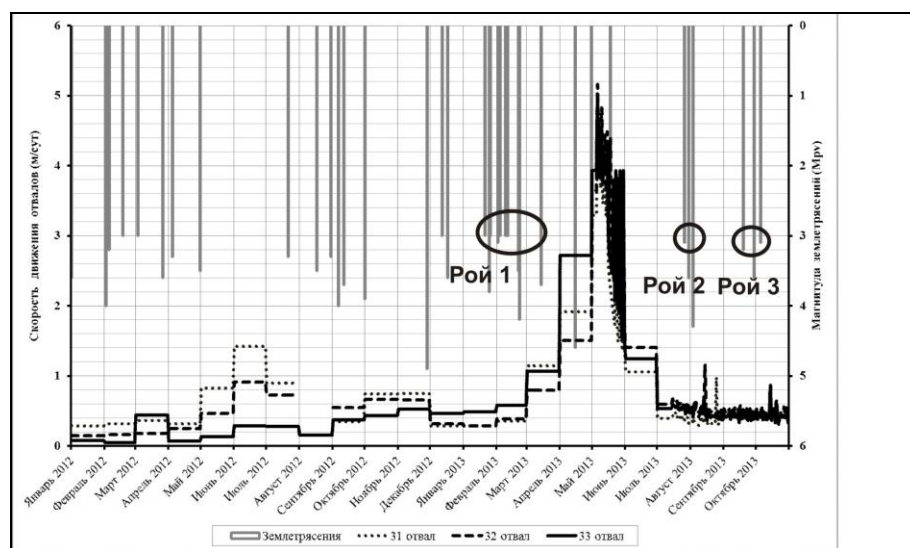


Рис.5а. График скоростей движения отвалов №31-33 за период 2012-2013 гг.: в корреляции с землетрясениями с магнитудой $M > 3$ в радиусе 100 км от рудника.

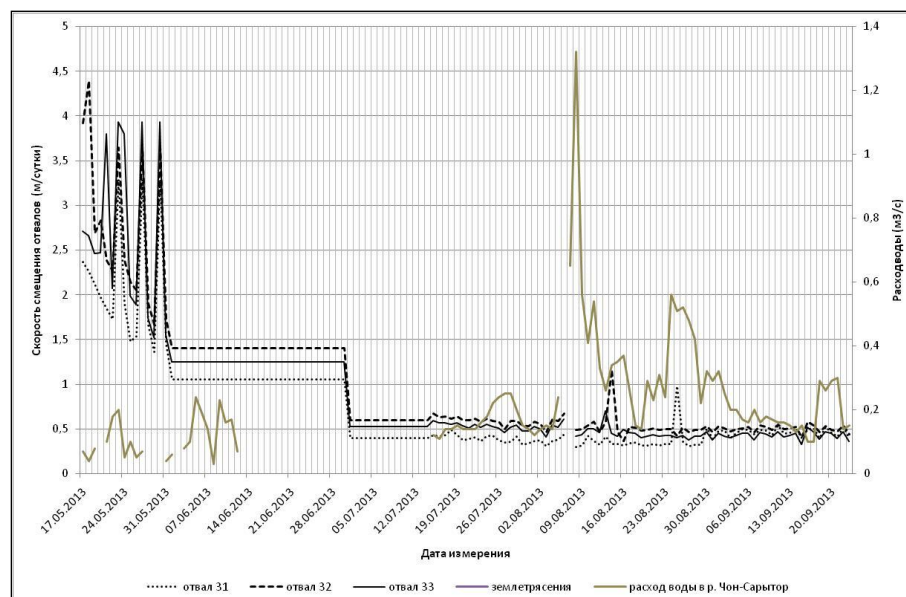


Рис.5б. График скоростей движения отвалов №31-33 за период 2012-2013 гг.: в корреляции с расходами воды в р. Чон-Сарытор

разрушения зданий, в которых располагались административные и технические службы КОК (рис.4). Под угрозой разрушения оказались также объекты инфраструктуры рудника Кумтор (ЛЭП, генераторная электроподстанция, авторемонтные мастерские и т.п). Общая сумма потерь, связанных с необходимостью срочного переноса объектов рудника оценивается в 90 млн. долл. США. По состоянию на ноябрь 2013 г. средняя скорость смещения нижнего отвала №33 составляла 0.5 м/сутки. Продолжается деформация моренных отложений перед движущимся отвалом и смещение вала выпирания в сторону генераторной подстанции, что вызвало деформацию её здания.

Во второй половине мая–июне месяцах 2013 г. наблюдалось постепенное снижение скорости до значения около 0,5 м/сутки. Одной из главных причин резкого ускорения движения отвалов стала чрезмерная отсыпка отвалов в верхней зоне, на участке, где в коренных породах ложа ледника имеется ригель, отделяющий крутую часть дна долины от слабонаклонённой её части. По-видимому, грандиозный отвал, сформированный на крутом участке дна долины,

сполз по ригелю (рис.2б) вниз, вызвав ускорение движения всей нижележащей каменно-ледовой массы.

Как видно из взаимосвязи скорости смещения отвалов с сейсмической активностью и расходами воды в р. Чон-Сарытор (рис. 5а,б), имеется достаточно тесная связь периодов ускорения движения отвалов с роями землетрясений, регистрируемых в ближней зоне ($R=100$ км) от рудника (рис.5а) и повышением расходов воды (рис.5б) в потоках р. Чон-Сарытор, стекающих по периферии отвалов.

Не исключено, что значительное ускорение смещения отвалов, начавшееся в начале марта 2013 г., было стимулировано роем из восьми сильных ($M>3$) землетрясений №1 (рис.5а), зарегистрированных в ближней зоне в период с 21 января по 22 февраля 2013 г. Помимо этих землетрясений начавшемуся ускорению смещения отвалов способствовали землетрясения в ближней зоне, произошедшие 14 марта ($M=3.7$) и особенно сильный сейсмический толчок 15 апреля с магнитудой $M=4.6$ (рис.5б). После этих сейсмических событий скорость смещения отвалов возросла до максимального значения 5.2 м/сутки. В контексте изложенного следует иметь в виду, что на графике сейсмичности нанесены только землетрясения с магнитудой $M>3$, хотя в рассматриваемой ближней зоне в период с начала марта до середины апреля 2013 г. было зарегистрировано свыше десятка землетрясений с магнитудами $M<3$.

Следует обратить внимание, что кратковременным периодам небольших ускорений смещений верхнего и среднего отвалов №31 и №32, имевших место с 14 по 28 августа, а также в середине октября предшествовали соответственно рои сильных землетрясений №2 и №3 (рис.5а). Причём ускорения в эти два интервала времени отмечались синхронно с периодами увеличения расходов воды в р. Чон-Сарытор (рис.5б), стекающей вдоль западной и восточной периферии отвалов. Очевидно, что увеличение расходов воды в

указанные периоды времени связано с интенсивным таянием, как ледника Давыдова, так и льда, уложенного на отвалах. Скорее всего, сильное водонасыщение оползающей массы отвалов, пришедшееся на вторую половину августа и середину аномально тёплого октября, в сочетании с роями землетрясений №№2,3 обусловили кратковременные ускорения в смещении отвалов. Выявленная закономерность в ускорении смещения отвалов при сильном водонасыщении оползающей массы и триггерных эффектах землетрясений в ближней зоне имеет принципиальное значение для дальнейшего прогнозирования поведения отвалов в связи с их приближением к вахтовому посёлку и вероятностью трансформации оползневого потока в разрушительный и скоротечный селевой поток [1-2].

В настоящее время движущиеся отвалы пород и льда, после резкого ускорения смещения в начале мая 2013 г. разделились на три основные самостоятельные части или ступени (рис. 3б): нижнюю распластанную часть, движущуюся со средней скоростью 0.40 м/сутки; среднюю и верхнюю ступени, которые движутся с чуть большими скоростями (до 0.45 м/сутки) и как бы нависают над нижней ступенью. Верхняя ступень в зоне нагружения, несмотря на прекращение отсыпки пустых пород, по-прежнему мобилизована для возможного ускорения в ближайшем будущем.

Выше отмечалось сходство оползающей массы отвалов в бассейне ледника Давыдова с каменными глетчерами, широко распространёнными в нивально-гляциальном поясе Тянь-Шаня. Однако из литературных данных следует, что скорости вязкопластического течения активных каменных глетчеров на Тянь-Шане, как правило, составляют до нескольких метров в год, достигая в редких случаях до 14 м/год [4]. Очевидно, что эти значения скоростей значительно меньше скорости оползающей каменно-ледовой массы

отвалов, которая только за полгода, с октября 2012 г. по май 2013 г продвинулась почти на 300 м.

Движение каменно-ледовых отвалов при экстремальных условиях (землетрясениях, аномальных осадках или их сочетании) может принять катастрофический характер в виде быстрого смещения громадных масс ледово-каменного материала и/или техногенных селей. Подобный сценарий развития гравитационного смещения каменно-ледовых отвалов в условиях происходящего потепления климата таит серьезную угрозу для окружающей среды, так как отвальные породы, вынесенные селевыми потоками в русло р. Кумтор, могут стать источником систематического и долговременного загрязнения бассейна реки Нарын-Сырдарья [1,2,9]. Кроме того, в случае трансформации оползающих ледово-каменных масс в селевой поток не исключено и то, что в зону поражения возможного селевого потока могут попасть объекты инфраструктуры рудника Кумтор, включая вахтовый лагерь, в котором постоянно находится свыше 1200 человек.

В связи с активизацией движения (оползания) отвалов весной 2013 г. было принято решение прекратить дальнейшую отсыпку отвалов в центральной долине ледника Давыдова. В этой связи первоочередной проблемой для КОК стал выбор площадок для дальнейшего размещения отвальных пород. Ведущие специалисты КОК предложили три альтернативных варианта дальнейшего размещения отвалов пустой породы на участках в долинах Чон-Сарытор, Кичи-Сары-Тор и Лысый. В результате дискуссий и обсуждения этой проблемы с экспертами представители КОК отдали предпочтение следующему варианту, при котором до конца 2013 г. пустые породы планируется разместить:

- в долине р. Чон-Сарытор около 27 млн. м³ пород и 10 млн. м³ льда;

- в бассейне ледника Лысый - свыше 9 млн. м³ пород и 8 млн. м³ льда;
- в бассейне ледника Сары-Тор- свыше 12 млн. м³ пород и 9 млн. м³ льда.

5. Отвалы пустых пород в бассейнах ледников Лысый и Сары-Тор.

Ледник Лысый (41°52'С; 78°13'В) представляет собой глетчер (рис. 6), находившийся к моменту начала разработки месторождения в замёрзшем состоянии вплоть до подстилающих его коренных пород. Кроме того, исследовательские работы, проведенные на леднике Лысый, показали, что лед приморожен к коренному ложу. Эта особенность весьма важна, так как исключает компоненту скольжения, однако движение льда продолжается из-за пластического течения. Так, по данным КОК средняя скорость движения ледника в октябре 2013 г. составляла 0.070 м/сутки, максимальная – 0.234 м/сутки. Компонента вертикального смещения за этот же месяц достигла 0.625 м.

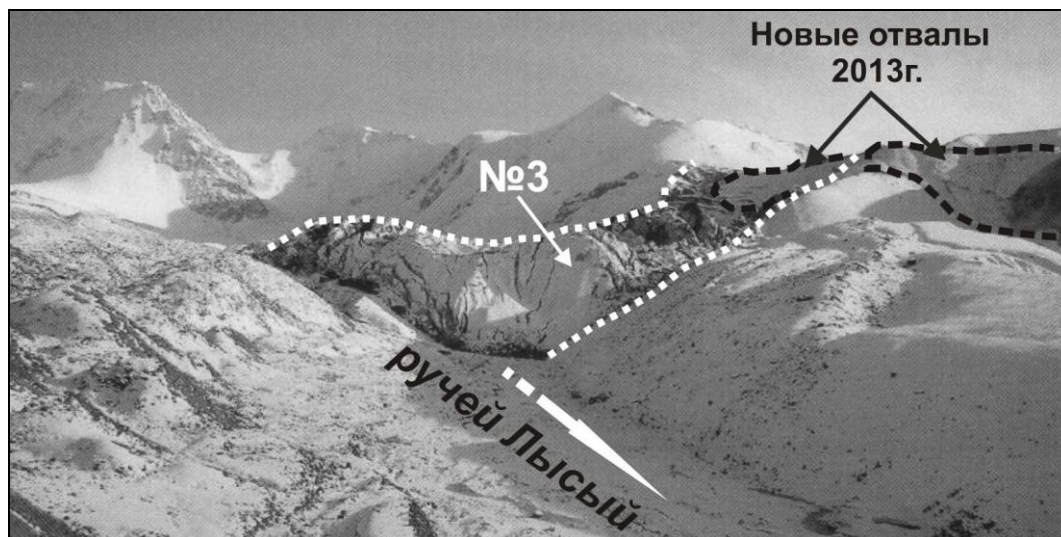


Рис.6. В центре - оползающий отвал №3 в бассейне ледника Лысый, справа –вновь отсыпаемые отвалы на склонах долины

Исторически самые первые отвалы №3,4 начали формироваться с сентября 1996 г. в долине ледника Лысый, на её западном борту (рис.6). По первоначальному ТЭО максимальная ёмкость отвалов должна была составлять 150 млн. м³ пустых пород в предположении продолжительности отработки рудника 11 лет. Отсыпка пород вначале производилась на наклонное основание склона, а затем и на сам ледник (рис.6). Особенностью этих отвалов стало то, что угол наклона поверхности ледника на участке складирования пустых пород достигал 20-22°. Расчеты устойчивости этих отвалов, выполненные в 1997, показали, что коэффициент запаса устойчивости здесь близок к предельному значению.

По истечении нескольких недель после начала отсыпки и их усадки стали наблюдаться деформации отвалов. Анализ этих процессов показал, что они связаны с пластическими деформациями ледника. Отвалы стали как бы тонуть в леднике. При этом на поверхности отвалов стали появляться трещины, ширина которых по истечении 2-3^х месяцев на некоторых участках достигла 20 – 25 см.

По данным мониторинга породных отвалов, проводимого геотехнической службой КОК, средняя скорость движения отвала №3 в октябре 2013 г. составляла почти 1 м/сутки, достигая временами 4.3 м/сутки. На двух участках ледника Лысый, в районе ранее отсыпанного отвала было обнаружено скопление воды, которая просачиваясь через отвалы, по руслу ручья Лысый стекает в р. Кумтор систематически загрязняя её сульфатами, нитратами, тяжёлыми металлами и нефтепродуктами, содержащимися в отвальных породах [9].

Ледник Сары-Тор (41°50'С; 78°11'В) площадью 3,6 км² залегает на северо-западном макросклоне массива Акшыйрак (рис.7а). Гидрологический створ замыкает площадь 7,8 км². Этот долинный ледник начинается на высоте 4800 м и спускается до 3880 м. С 1943

по 1977 г. линейные изменения составляли несколько десятков метров, а понижение поверхности – около 10 м. В период с 1977 г. по 1993 г. площадь ледника почти не изменилась [8]. По данным мониторинга средняя скорость движения ледника Сары-Тор в октябре 2013 г. составляла 0.006 м/сутки, максимальная скорость наблюдалась в июне, достигая значений 0.05 м/сутки.

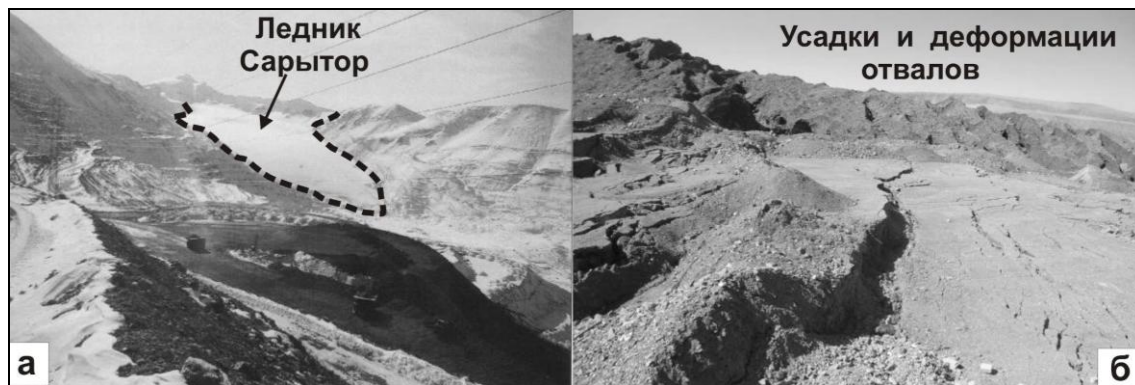


Рис. 7. Новые нестабильные отвалы на склонах долины ледника Сары-Тор

В результате проведения научно-исследовательских работ установлено, что ледник Сары-Тор имеет политермическую структуру, т.е. состоит из холодного льда в верхней части толщи и тёплого в придонной её части [7]. Максимальная измеренная толщина составляет около 165 м, в средней части области питания на высотах 4300-4400 м. Нижняя часть ледника на расстоянии 1 км от его языка целиком состоит из холодного льда. На протяжении следующих 1,5 км ледник имеет двухслойное строение. Верхняя часть ледника, его область питания, сложена тёплым льдом от поверхности до ложа.

Крупномасштабное складирование отвальных пород на склонах долины ледника Сары-Тор, началось весной 2013 г. (рис.7). Причём, как и прежде отсыпка отвалов осуществлялась на слабоустойчивых склонах способом «сверху-вниз» (рис.7а), который отрицательно

zareкомендовал себя на предыдущих этапах отвалообразования в долинах ледников Лысый (рис. 6) и Давыдова. В итоге новые отвалы №1-3 начали интенсивно деформироваться (рис. 7б) и двигаться в сторону тальвега долины ручья Кичи-Сарытор, заблокировав его русло. Согласно данным мониторинга КОК скорость смещения отвала SW-3 в октябре 2013 г. достигла 2.15 м/сутки. На сегодняшний день очевиден тот факт, что имеющиеся отвалы пустых пород не могут быть стабилизированы в нынешнем состоянии и будут продолжать двигаться.

С учётом негативных последствий отвалообразования КОК в дальнейшем планирует формирование отвалов на склонах долины р. Кичи-Сарытор способом «снизу - вверх» с предварительной подготовкой основания отвалов, включающей удаление неустойчивого поверхностного покрова склонов.

Заключение

Разработка золоторудного месторождения Кумтор осуществляется в сложных геокриологических условиях высокогорья, особенно с точки зрения устойчивости и изменчивости состояния окружающего и вмещающего массива многолетнемёрзлых пород.

Отвалообразование на ледниках рудника Кумтор стало уникальным экспериментом в истории добычи полезных ископаемых в ледниковых районах мира, и представляет собой весьма поучительный опыт. В настоящее время чрезвычайно серьёзную проблему для дальнейшей деятельности рудника Кумтор представляет значительное по масштабам и скорости смещение ледово-каменной массы ледниковых и породных отвалов вниз по долинам ледников Лысый, Давыдова и Сары-Тор с неблагоприятными экологическими последствиями в виде загрязнения поверхностных вод в бассейне р. Кумтор-Нарын [9].

Добыча руды и размещение отвалов пустых пород на ледниках, или в окрестности ледников, ведёт к ряду геоэкологических проблем и последствий, включая следующие:

- Высокая раздробленность и открытость отвалов пустых пород для воды, особенно в летний период, во время большого объёма талых вод и переноса загрязняющих веществ ледниковой водой в окружающую среду.
- Геотехническая нестабильность и неконтролируемое движение (скольжение) отвалов пустых пород по кровле многолетнемёрзлых пород в долинах ледников и на склонах.

Главными причинами возникновения геотехнических проблем на каменно-ледовых отвалах стали ошибки и просчёты при выборе мест размещения отвалов и способов отвалообразования на активных ледниках, недостаточно полный учёт гляциологических и геокриологических особенностей геологической среды в рассматриваемом гляциально-нивальном поясе Тянь-Шаня. Криогенно-гравитационные процессы, наблюдающиеся на руднике, оказывают ощутимое влияние на геоэкологию района. Они являются основным фактором, осложняющим геотехническую ситуацию в районе рудника Кумтор и представляющим наибольшую угрозу для различных его сооружений. Первоочередными проблемами стали выбор площадок для дальнейшего размещения отвальных пород и передислокации зданий, объектов инфраструктуры, находящихся на пути движения отвалов.

В этой связи разработка планов горных работ и отвалообразования должны основываться на управлении известными и неизвестными рисками, которые могут иметь место – т.е. принятие решений должно происходить с учётом факторов риска. Управление рисками – это область, где КОК необходимы улучшения, которые при должной реализации могут оказать положительное влияние для того,

чтобы дальнейшее планирование осуществлялось на основании тщательной оценки и моделирования, с учётом возможных рисков и затрат на их управление.

Нестабильность ползущих отвалов пустых пород и отсутствие плана по разрешению ситуации, особенно с учётом вывода рудника из эксплуатации, является неприемлемым, учитывая значительную неопределённость в отношении безопасной эксплуатации и закрытия/реабилитации объектов рудника Кумтор.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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»: том 2. Москва: РУДН, 2012. – с.72-77.
2. Торгоев И.А. Геотехнические проблемы на высокогорном руднике Кумтор и их экономические и экологические последствия // Современные проблемы механики сплошных сред: Вып.17: Гидрогазодинамика, геомеханика и геотехнологии. Бишкек:2013. – с. 151-176.
3. Barsch, D. (1996) Rockglaciers: Indicators for the Present and Former Geoecology in High Mountain Environments. – Berlin : Springer-Verlag. – 331 p.
4. Gorbunov, A.P., Titkov, S.N., Polyakov, V.G.(1992) Dynamics of rock glaciers of the Northern Tien Shan and the Djungar Ala Tau, Kazakhstan // Permafrost and Periglacial Processes, 1992, vol. 3, No. 1, p. 29–39.

5. Василенко Е.В., Громыко А.Н., Дмитриев Д.Н., Мачерет Ю.Я. Строение ледника Давыдова по данным радиозондирования и термобурения // Материалы гляциологических исследований. Вып. 62, 1988ю – с.208-214.
6. Кузьмичёнок В.Е. Отвалы горной породы на леднике Давыдова (хр. Акшыйрак, Тянь-Шань) // Лёд и снег, 2012, №1(117). – с.95-104.
7. Петраков Д.А., Коваленко Н.В., Лаврентьев И.И., Усубалиев Р.А. Толщина, объем и последние изменения ледника Сары-Тор (массив Ак-Шыйрак, Внутренний Тянь-Шань) // Материалы международной конференции «ГОРНЫЕ УГРОЗЫ 2013» Природные катастрофы, изменение климата и вода в горных районах Бишкек, 16-18 Сентября, 2013 г.- с. 211-212
8. Оледенение Тянь-Шаня. Под ред. М.Б. Дюргерова. – Москва, 1995. – с. 85-90
9. Торгоев И.А., Стегнар П., Нордманн Т. Мониторинг и анализ качества поверхностных вод в районе высокогорного золоторудного месторождения «Кумтор» // Материалы III Международной конференции «Современные проблемы геохимической экологии и сохранения биоразнообразия» 17-21 сентября 2013, г. Бишкек, Иссык-Куль. – с. 90-99.
www.caresd.net/site.htm