УДК 622.2:504.06:502.175

**Ю.Г. Алешин**
*канд. техн. наук*
*Академия наук Кыргызской Республики*
*Институт геомеханики и освоения недр*[1]
*старший научный сотрудник*
*заведующий лабораторией горной геофизики и экзогеодинамики*
*geofizika@ list.ru*

**И.А. Торгоев**
*канд. техн. наук*
*Академия наук Кыргызской Республики*
*Институт геомеханики и освоения недр*[1]
*старший научный сотрудник*
*заведующий лабораторией геоэкологического мониторинга*
*geopribor@ mail.ru*

# Эволюция техноприродных рисков на высокогорных рудниках Тянь-Шаня

[1]Кыргызская Республика, 720055, Бишкек, ул. О. Медерова, 98.

*На примере высокгорного рудника Кумтор охарактеризован комплекс природно-техногенных рисков, развивающихся на фоне многочисленных экзогенных геологических процессов, типичных для криолитозоны высокогорья Внутреннего Тянь-Шаня. Рассмотрены геолого-генетическая и техногенная природы рисков, временной аспект их возникновения и продолжительность воздействия*

**Ключевые слова:** моренно–ледниковый комплекс; карьер; хвостохранилище; природно–техногенные риски; факторы риска

Новый этап горнопромышленного освоения недр Тянь-Шаня с начала нынешнего столетия связан с перемещением горных работ в высокогорные регионы. Можно указать на целый ряд крупных золоторудных месторождений Внутреннего Тянь-Шаня, подготовленных к освоению или уже эксплуатируемых, расположенных на высотах выше 3600 м – Кумтор, Макмал, Джеруй, Солтон-Сары, Ат-Джайлоо. Районы их разработки характеризуется экстремальными природно-климатическими условиям: вечномёрзлое состояние грунтов и скальных пород, наличие ледников, широкое развитие криогенных и гляциальных процессов и явлений при повышенной сейс-

мической активности территории, сложности геологического строения и сочетание тектонических структур различного масштаба. Эти особенности высокогорных районов предопределяют невысокую геотехническую и геоэкологическую устойчивость и повышенную уязвимость горных территорий по отношению к техногенным воздействиям.

### Сценарии развития рисков ЧС на высокогорных рудниках

Анализ ряда специфических негативных событий, предаварийных и аварийных ситуаций, произошедших за 18 лет эксплуатации высокогорного рудника Кумтор, объекты которого расположены на высоте от 3600 до 4000 м над уровнем моря на участке, примыкающем к леднику и озеру Петрова (горный массив Ак-Шийрак, Внутренний Тянь-Шань), может стать существенным вкладом в разработку стратегии освоения минерально-сырьевых ресурсов высокогорья на уровне недропользователей в части обеспечения безопасной и эффективной разработки месторождений и реализации природоохранных мероприятий, имея в виду также и те отдалённые экологические последствия техногенного нарушения природной среды, которые необходимо предвидеть уже сегодня. Спустя годы негативные последствия сложно будет устранить в условиях труднодоступной высокогорной местности и отсутствия мощной горно-строительной техники.

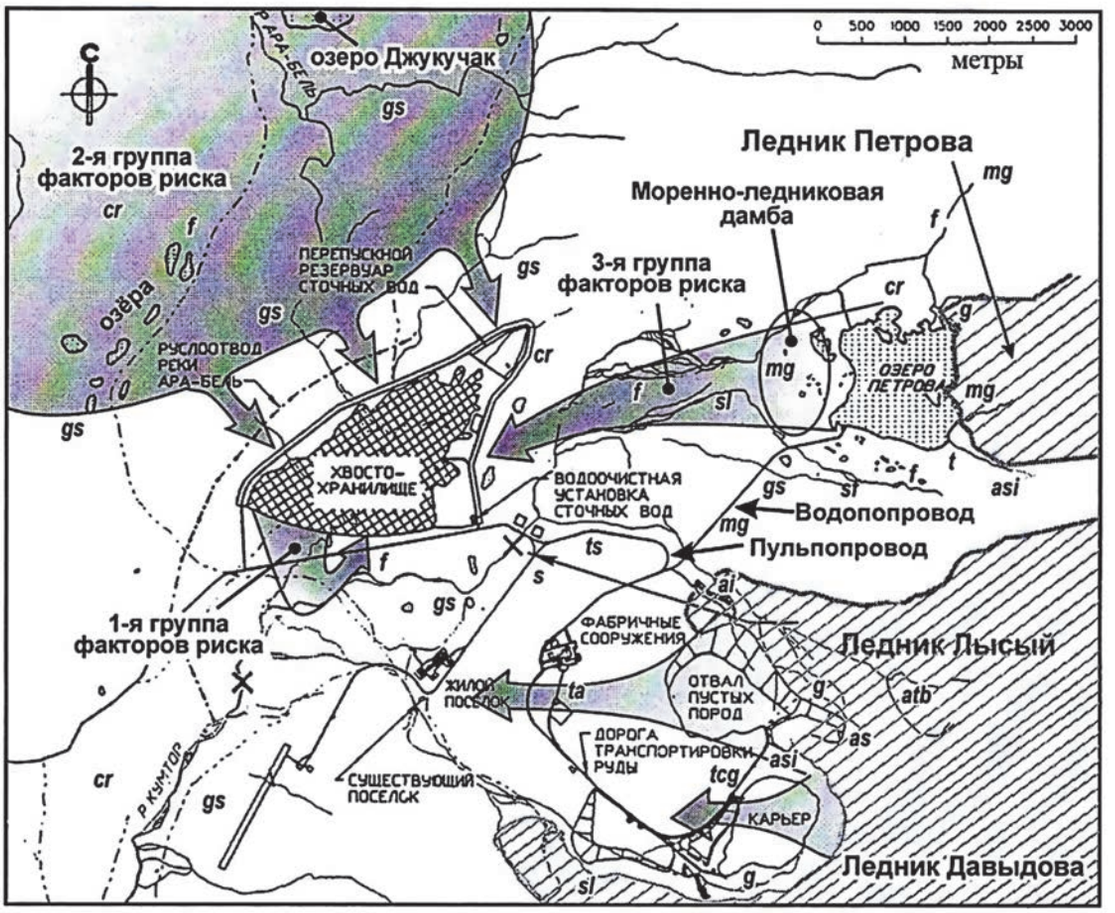
К настоящему времени проявились следующие геотехнические и геоэкологические проблемы (***рис. 1***), серьёзно осложняющие и сдерживающие планомерное и безопасное освоение недр на руднике Кумтор [1]: массовые гравитационные обрушения высокого и крутого борта в северо-восточной части Центрального карьера (ЦК); оползание в ЦК первоначальных отвалов и глетчерного льда ледника Давыдова в юго-восточной части карьера; подвижки ледово-каменной массы отвалов вниз по долине р. Чон-Сарытор с реальной угрозой разрушения объектов производства и инфраструктуры рудника (актуальная группа факторов риска); потеря устойчивости удерживающей дамбы хвостохранилища циансодержащих отходов ЗИФ (первая группа факторов риска); деградация вечной мерзлоты и активизация процесса фильтрации воды из отведённого русла р. Арабель в бьеф хвостохранилища (вторая группа факторов риска); активизация процессов термокарста на моренно-ледниковой дамбе озера Петрова с угрозой её прорыва и затопления хвостохранилища (третья группа факторов риска).

За время разработки Центрального карьера на его борту произошло три обрушения. Наиболее крупное из них с объёмом горной массы свыше 2,7 млн м$^3$ произошло летом 2002 г. между уступами на высоте 4298 и 4018 м. На вершине участка обрушения обнажилась крутопадающая геологическая структура, 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 рухнула вся масса. Выступы пород на стенке отрыва продолжали обрушаться на протяжении недели после этого события. Выходов подземных вод ни до, ни после обрушения не наблюдалось.

По наблюдениям очевидцев, целый ряд характеристик обрушения выходил за рамки типичных, ранее наблюдавшихся на карьерах. Весьма необычной была сильная раздробленность обрушившейся массы в виде щебня, гравия и песка. Обратили на себя внимание высокая скорость движения горной массы и взрывоподобный характер

обрушения. За несколько минут до этого события был зафиксирован вывал камней с верхних уступов. Нет сведений о каких-либо сейсмических событиях в районе рудника, не были отмечены экстремальные гидрометеорологические явления, которые могли бы сыграть роль триггера обвала. В зоне обрушения имелось 5 точек геодезического мониторинга, проводившегося раз в неделю, которые, однако, не выявили никаких признаков развития разрушительного процесса.

До сих пор специалисты-геотехники высказывают различные точки зрения по поводу причины обрушения участка северо-восточного борта карьера – от глубинного горного удара, быстрого повышения порового давления в массиве за счёт подтока талой воды с ледника «Лысый», температурных фазовых изменений «вода – лёд» в тектонических нарушениях до снижения прочности филлитов в результате многократных циклов замораживания – оттаивания пород вскрытых участков карьерного поля (с 80 до 41 МПа после нескольких циклов), или динамического воздействия на геологические структуры массовых взрывов. Несомненно, что все эти факторы влияют на устойчивость природных склонов и откосов. Морозное воздействие, химическое выветривание, прямое воздействие воды и снежного покрова не позволяют




## Условные обозначения ЭГП

| | | | |
|---|---|---|---|
| *cr* | — криодиагенез; | *sl* | — грязевые и грязекаменные потоки; |
| *gs* | — солифлюкция и склоновый смыв; | *sf* | — водоснежные и каменные потоки; |
| *f* | — флювиальные процессы; | *tcg* | — крипосыпи и солифлюкция; |
| *mg* | — моренно-ледниковые процессы; | *ts* | — осыпание и склоновый смыв; |
| *t* | —термокарст; | *atb* | — обрушение глыб льда и скальных блоков; |
| *g* | — гляциальные процессы; | *s* | — склоновый смыв; |
| *as* | — обвалы снега; | *ta* | — осыпание; |
| *asi* | — обвалы снега и льда; | *ai* | — обвалы льда. |

**Рис. 1.**
*Группы факторов риска на руднике Кумтор*

обеспечить длительную устойчивость крутых склонов в трещиноватых скальных породах, если они не покрыты защитным чехлом щебня [2].

Поскольку учёт таких факторов в теоретических расчётах устойчивости бортов карьера затруднителен, для условий высокогорья актуальным является обоснование методики достоверной и надёжной оценки углов их заложения. До сих пор такой выбор осуществляется преимущественно по методу аналогий с существующими объектами. Однако подобрать геотехнические аналоги для высокогорных рудников довольно сложно – они уникальны. Поэтому здесь было произведено выполаживание углов наклона на обвалоопасном участке с первоначальных 36° до 30°. Подобное, простое на первый взгляд, решение вызывает серьёзные негативные последствия не только технико-экономические, но и геоэкологические, связанные с подрезкой ледников и, в конечном итоге, с их ликвидацией в зоне проведения горных работ, что совершенно недопустимо для обширного и засушливого региона Центральной Азии, особенно в свете наблюдающегося изменения климата.

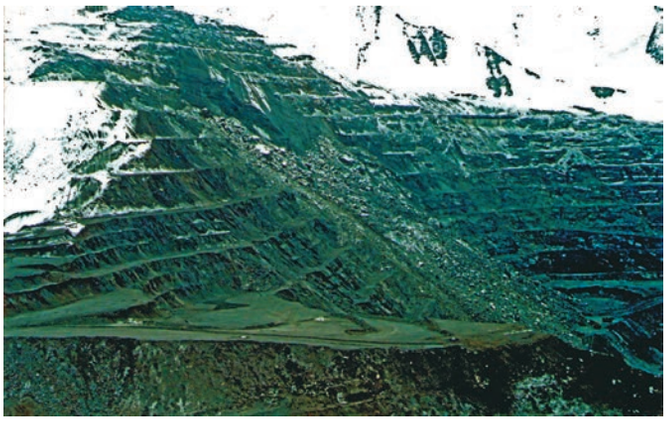


**Рис. 2.**
*Обвально-оползневое обрушение борта карьера рудника Кумтор*

Активное вовлечение моренно-ледниковых комплексов в горно-технологический процесс (складирование вскрышных и пустых пород на поверхности ледников с их общей массой 500 млн т, подсекающая выемка льда) существенно изменили режимы и параметры гляциологических и гидрологических процессов. Была нарушена естественная геодинамическая устойчивость геологических структур, масштаб и скорость смещения ледово-каменной массы ледниковых и породных отвалов (техногенного каменного глетчера) приняли угрожающий характер: с 2002 по 2010 гг. язык ледника Давыдова продвинулся вниз по долине на 1,1 – 1,5 км при скорости, порой превышающей 30 м/месяц. При этом был разрушен ряд объектов инфраструктуры рудника, а другие нуждаются в передислокации на безопасные участки.

Хвостохранилище ЗИФ действующего рудника Кумтор является наиболее крупным гидротехническим сооружением зоны вечной мерзлоты Внутреннего Тянь-Шаня: в настоящее время кумулятивный объем хранения твёрдых отходов достигает 65 млн м$^3$, высота удерживающей дамбы ~47 м при длине гребня более 4 км. Оно заложено в долине р. Арабель выше слияние её с р. Кумтор, являющейся источником р. Нарын (Сырдарьи), в непосредственной близости (~5 км) от приледникового озера Петрова (***рис. 1***), в зоне транзита флювиогляциальных и селевых масс в голоцене, которые прорезали среднечетвертичные морены. При выборе места закладки хвостохранилища в 1995 г, несомненно, превалировали экономические соображения, связанные с небольшим расстоянием между объектами «ЗИФ» и «хвостохранилище» (6–8 км) и удачной морфологией котловины. Практика последующей эксплуатации объекта, детальный мониторинг состояния дамбы, инженерно-геологические и геофизические изыскания на участке заложения выявили целый ряд факторов (обстоятельств и процессов), которые могут привести к разрушению объекта с катастрофическими экологическими последствиями. Условно можно выделить три группы факторов риска: 1 – внутренние физико-геологические в основании и теле дамбы, приводящие к потере устойчивости последней; 2 –гидрогеологические и гидрологические факторы в пределах водосборной площади; 3 – гляциологические и термодинамические процессы в структурах морено-ледникового комплекса Петрова.

Генезис опасностей первой группы определяется особенностями состава, строения, свойств и термического режима грунтов аллювиальной террасы на границе с озёрными суглинисто-илистыми отложениями малой мощности (до 2 м) при слабом их уклоне (от 1 до 2°) в сторону нижнего бьефа, залегающие на глубине -4 м. Эти отложения с тонкими линзами и прослоями льда, весьма низкими прочностными характеристиками (по данным [3] угол внутреннего трения ϕ составляет от 1,5 до 2,5°), в начале строительства мёрзлые, но по мере возведения объекта переходящие в талое состояние, стали причиной развития крупных деформаций и смещений на контакте дамбы с основанием со скоростью до 6 мм/месяц. Положение усугубляется ещё тем, что основание дамбы покоится на современных и древних меандрах русла р. Арабель. Несмотря на то, что воды реки отведены в искусственное русло за пределы хвостохранилища, здесь сохранился подрусловый сток, обогащённый инфильтратом хвостовых вод. Геофизические исследования, проведённые нами недавно, выявили на участке сооружения дамбы целую систему таликовых зон (***рис. 3***), образованных

этими меандрами. Реабилитация объекта уже в ходе его строительства и эксплуатации потребовала огромных усилий и дополнительных финансовых затрат для стабилизации дамбы посредством сооружения упорного клина. При этом возникли новые вопросы, связанные уже с перераспределением фильтрационных потоков в основании и теле дамбы по мере промерзания грунтов упорного клина.

Таким образом, недостаточно детальное инженерно-геологическое изучение грунтов основания дамбы, особенно – изменения физико-механических свойств всех литологических разностей разреза, находящихся в пограничном криогенном состоянии, не позволили

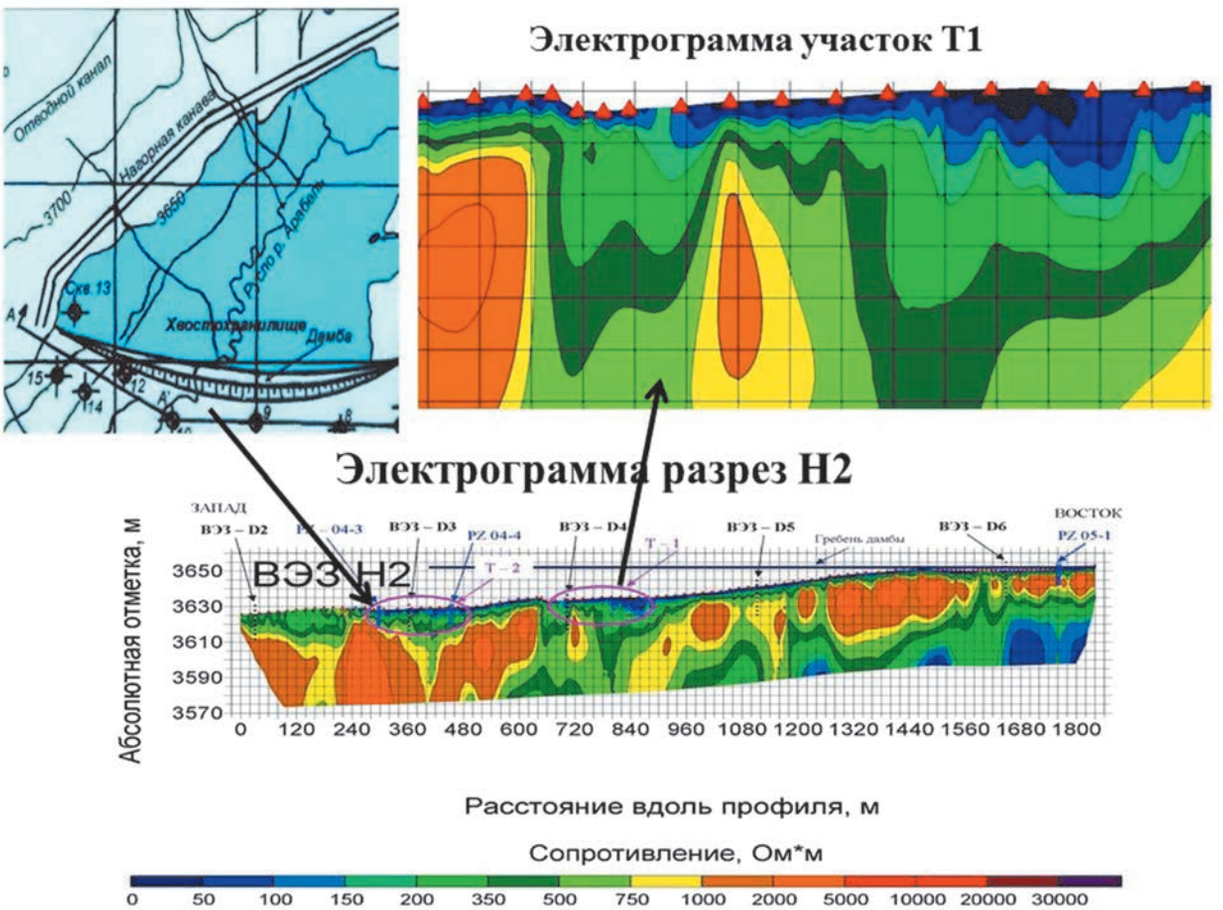



**Рис. 3.**
*Геофизическое изучение грунтов в основании дамбы хвостохранилища*

геологам, инженерам и проектировщикам правильно рассчитать и прогнозировать устойчивость объекта даже в краткосрочном аспекте. Это наглядный пример того, насколько важно в условиях высокогорья изучить тонкую структуру горного массива в основании инженерного сооружения и свойства каждого структурного элемента, несмотря на его ничтожную мощность по сравнению с размерами возводимого объекта.

Активизация второй группы факторов риска связана с изменением климата и техногенным влиянием на большой водосборной площади, которая превышает площадь бьефа хвостохранилища в 55 раз. Запасы влаги в грунтах этой площади, включая погребённые льды, могут превышать 1 млрд м$^3$, а температура воды в летнее время в мелких озёрах достигает 13 °С. Деградация мёрзлой толщи и развитие термокарста приводят к деформациям русел отводного канала р. Арабель и нагорной канавы, что создаёт условия для неконтролируемого внезапного стока поверхностных и постоянного подземных вод в бьеф хвостохранилища. Кровля мёрзлых пород по берегам отводного канала уже в настоящее время в значительной мере изрезана, здесь выявляются глубокие обводнённые талики, играющие роль коллекторов, собирающих и транспортирующих надмерзлотные воды в сторону бьефа. На долгосрочную перспективу в настоящее время необходимо оценить риски, связанные с обводнением материала захоронения и затоплением всей площади законсервированного хвостохранилища.

Факторы третьей группы формируют опасность прорыва дамбы озера Петрова (***рис. 4***) с последующим формированием мощного селевого паводка, в составе твёрдой фазы которого будут содержаться крупные глыбы погребённого глетчерного льда.

Различные причины и сценарии развития подобного катастрофического процесса рассмотрены нами в работе [1]. При распространении селя по зандровой равнине и вдоль русла р. Кумтор не исключена возможность закупорки русла в узкой части долины и пере-

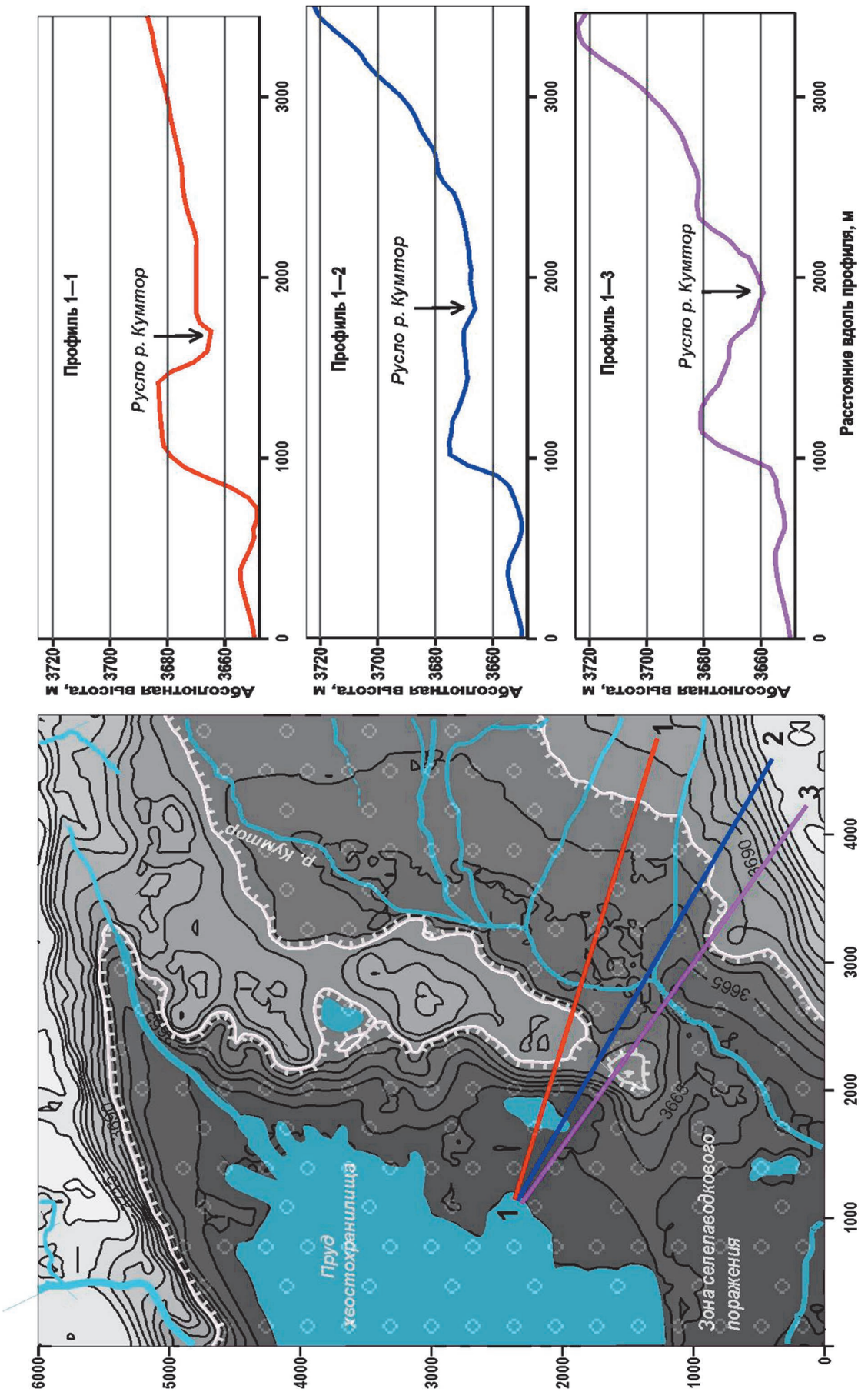



**Рис. 4.**
*Схематический геологический разрез на участке формирования селе-паводковой угрозы при прорыве дамбы озера Петрова; справа – геоэлектротомограмма дамбы в поперечном разрезе*

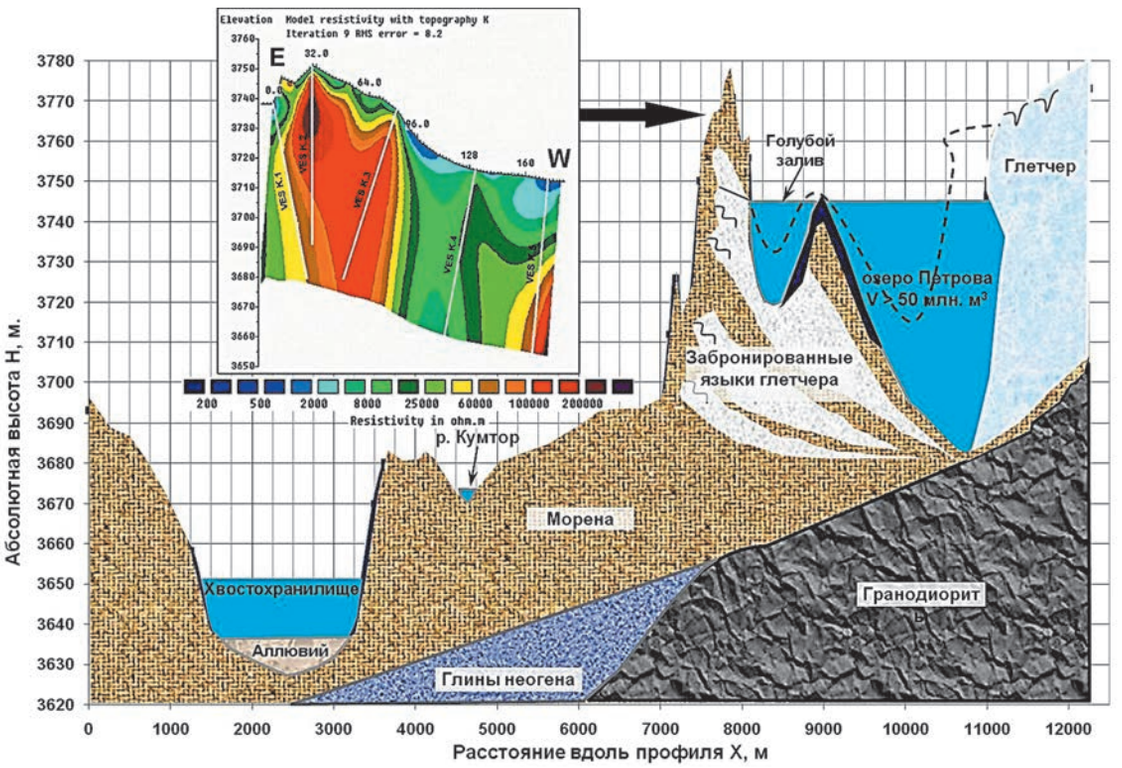



**Рис. 5.**
*Рельеф зандрового поля на участке ледового и селевого затора прорывной волны озера Петрова и зона затопления на участке хвостохранилища*

лив селевых масс через невысокую боковую морену в бьеф хвостохранилища (***рис. 5***) с последующим разрушением его дамбы и выбросом циансодержащих отходов в окружающую среду. Следует заметить, что небольшой (~10 м) перепад высот между дном долины р. Кумтор и боковой мореной, ограждающей хвостохранилище, может быть ликвидирован при выносе селевых масс с ледника «Лысый» или с течением времени за счёт деградации самой морены при вытачивании погребённого в ней глетчерного льда. Эти процессы, судя по особому «оспенному» рельефу её поверхности, уже активно протекают в настоящее время.

Во временном разрезе эффективность действия указанных групп факторов риска распределяется следующим образом:

– актуальная группа факторов – с момента отработки карьерного поля, нарастанием риска с расширением фронта горных работ и его сохранение после завершения эксплуатации рудника;

– первая группа – с момента начала строительства и эксплуатации хвостохранилища с возрастанием риска разрушения объекта при использовании первоначального проекта и постепенным снижением его по мере получения данных мониторинга, инженерно-геологической изученности, реабилитации и корректировки проекта;

– вторая группа – с момента завершения горных работ, консервации объекта и ликвидации рудника с нарастанием риска во времени, согласованно с изменением климатических условий;

– третья группа – с момента начала строительства и эксплуатации объекта с постоянным возрастанием риска разрушения объекта во времени, согласованно с изменением климатических условий.

В настоящее время изученность фактов второй и третьей групп явно недостаточна для получения конкретных числовых оценок риска разрушения хвостохранилища при их воздействии. Необходима активизация детальных геологических исследований в период, пока ещё действует горное предприятие и возможно принятие любых существенных мер по обеспечению безопасности объекта. Эти исследования по мере получения новой информаций должны всякий раз сопровождаться необходимыми расчётами, подтверждающими нормативную безопасность объекта, либо, напротив, требующими специальных и дополнительных к существующему проекту технологических мероприятий, обеспечивающих выполнение таких нормативов.

Имея в виду чрезвычайно высокую геоморфологическую, сейсмотектоническую и геокриологическую мобильность горно-складчатой территории Тянь-Шаня, можно подтвердить тезис [5] о недопустимости использования одних и тех же данных, полученных на ранних стадиях или этапах проектирования или сооружения объекта и, возможно, на рядом расположенном участке, для оценки его текущей безопасности, тем более – для прогноза с любым временным горизонтом.

Возведение крупномасштабных и экологически опасных объектов в малоизученных высокогорных районах должно опираться на детальный мониторинг самого объекта и окружающей среды, при необходимости оперативной корректировки проектов, срочной реабилитации только что возведённого объекта. Необходимо быть готовым к преждевременной его консервации, поиску новых участков заложения и достаточно высоким дополнительным затратам, связанным со всеми указанными мероприятиями. Проектирование и поддержание объектов в безопасном состоянии в таких условиях носит циклический или перманентный характер с опорой на вновь полученные данные инженерно-геологических и геоэкологических изысканий, а также анализа проявившихся «дефектов», ослабленных зон, неустойчивых участков при взаимодействии техногенных объектов с геологической средой.

**Литература**

1. Торгоев И.А., Алёшин Ю.Г. Геоэкология и отходы горнопромышленного комплекса Кыргызстана. Бишкек: Илим. 2009. 240 с.
2. Bjerrum L., Jostad F. Stability of Rock Slopes in Norway. Publ. Norges Geotekniska Institut. № 79. Oslo. 1968. P. 1-11.
3. Фалалеев Г.Н. Влияние температурного фактора на сопротивляемость сдвигу мёрзлых суглинистых грунтов // Напряжённое состояние породного массива и наведённая геодинамика недр. Труды международной конференции. Бишкек: Изд-во ИФМГП НАН КР. 2006. С. 278–284.
4. Лавёров Н.П., Величкин В.И., Кочкин Б.Т. и др. Концепция оценки безопасности хранилищ отработанных ядерных материалов, размещаемых в кристаллических породах //Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2010. № 3. С. 195–206.

**UDC 622.2:504.06:502.175**

**Y.G. Aleshin,** PhD, Senior Research, Head of the Laboratory of IGDS NAS KR[1], geofizika@ list.ru
**I.A. Torgoev,** PhD, Senior Research, Head of the Laboratory of IGDS NAS KR[1], geopribor@ mail.ru

[1]98 Mederov street, Bishkek, 720055, Kyrgyz Republic. Institute of Geomechanics and development of Subsoil of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic.

# Evolution the natural and technical risk on mountain mines of Tien Shan

**Abstract.** On the example of the mountain mine Kumtor the complex of the natural technological hazards developing against the numerous exogenous geological processes typical for a kriolitzona of highlands of internal Tien Shan is characterized. The time aspect of their emergence and duration of influence are considered geological and genetic and technogenic the nature of risks.

**Keywords:** morainic–glacial complex; pit; tailing; natural–technological hazards; risk factors.

**References**

1. Torgoev I.A., Aleshin Iu.G. *Geoekologiia i otkhody gornopromyshlennogo kompleksa Kyrgyzstana* [Geoecology and wastes of the mining complex in Kyrgyzstan]. Bishkek, Ilim Publ., 2009. 240 p.
2. Bjerrum L., Jostad F. Stability of Rock Slopes in Norway. Publ. Norges Geotekniska Institut. № 79. Oslo. 1968. P. 1-11.
3. Falaleev G.N. *Vliianie temperaturnogo faktora na soprotivliaemost' sdvigu merzlykh suglinistykh gruntov* [Effect of temperature on shear resistance of frozen clayey soils]. *Napriazhennoe sostoianie porodnogo massiva i navedennaia geodinamika nedr. Trudy mezhdunarodnoi konferentsii* [Proc. of Int. conf. "The stress state of rock massif and an induced geodynamics of subsoil"]. Bishkek: IFMGP HAH KR Publ., 2006, pp. 278–284.
4. Laverov N.P., Velichkin V.I., Kochkin B.T. i dr. *Kontseptsiia otsenki bezopasnosti khranilishch otrabotannykh iadernykh materialov, razmeshchaemykh v kristallicheskikh porodakh* [The concept of safety assessment of waste storage of nuclear materials to be placed in crystalline rocks]. *Geoekologiia, inzhenernaia geologiia, gidrogeologiia, geokriologiia* [Geoecology, engineering geology, hydrogeology, geocryology], 2010, no. 3, pp. 195–206.