

## ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРА ДВИЖЕНИЯ КРУПНЕЙШЕГО ТЕХНОГЕННОГО КАМЕННОГО ГЛЕТЧЕРА

В.И. Гребенец, А.Г.-о. Керимов

*Норильский отдел-филиал Научно-исследовательского, проектно-изыскательского  
и конструкторско-технологического института оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова  
НО НИИОСП Госстроя РФ, 663300, г. Норильск, а/я 1138, Россия*

В Норильске на склоне г. Рудная расположен крупнейший в Заполярье техногенный отвал породы объемом около 62 млн м<sup>3</sup>. В 1991—92 гг. около 60 % отвальной массы фронтом в 1,0—1,2 км начали движение в сторону промзоны Норильска, угрожая важнейшим объектом. Средняя скорость движения возрастала от 5—10 мм/сут (1992 г.) до 30—40 мм/сут (1996 г.). Движением отвальной массы уничтожена дорога на рудник „Медвежий ручей“, две нитки трубопроводов, снабжающих Норильск водой.

В 1996 г. продолжены натурные наблюдения, а также получены в результате глубокого бурения данные о мерзлотно-геологическом строении отвала. Установлено, что произошли существенные изменения в характере движения отвала. Усилилась дифференциация в скоростях движения по отсекам, произошло существенное растрескивание бывшего единого каменного техногенного глетчера. По результатам реконструкции геоморфологических элементов (по состоянию на 1940 г., до отсыпки отвала) с выделением на склоне участков с разной мощностью четвертичных рыхлых отложений установлено, что границы между отсеками (при раздроблении) движущегося глетчера, в основном, совпадают с границами элементов существовавшего ранее ландшафта.

Смещения техногенных каменных глетчеров является одной из наиболее серьезных проблем для горнодобывающих районов криолитозоны.

*Техногенный каменный глетчер, криолитозона, движение, разрушение сооружений.*

### CHANGE IN CHARACTER OF THE LARGEST TECHNOGENIC STONE GLACIER MOVEMENT

V.I. Grebenets, A.G. Kerimov

*Norilsk Department of Research Institute of Bases and Underground Structures (NIIOSP),  
P.O.Box 1138, Norilsk, 663300, Russia*

In Norilsk on the Rudnaya mountain slope there is a technogenic rock dump with a volume about 62 mln m<sup>3</sup> which is the largest beyond the polar circle. In 1991—92 about 60 % of the dump by front in 1,0—1,2 km began to move towards the technical zone of Norilsk, threatening major objects. The average speed of the movement grew from 5—10 mm/days (1992) till 30—40 mm/days (1996). The movement of the dump destroyed a road to mine „Medvezhy ruchej“ mine and two pipelines, supplying Norilsk with water.

In 1996 natural observations were continued, and data on the geocryological — geological structure of the dump were obtained with the help of deep drilling. It was established that there were essential changes in the character of movement of the dump. Differentiation in speeds of movement on the compartments has amplified and the essential cracking of the former single technogenic stone glacier occurred. From the results of reconstruction of geomorphological elements (data are as of 1940, before formation of the dump) with recognition of sites with different thickness of Quaternary loose deposit it was established that the borders between compartments of moving glacier, coincide with borders of the of the dump elements of the earlier landscape.

Displacement of technogenic stone glaciers is one of the most serious problems for mining regions of cryolithic zone.

*Technogenic stone glacier, cryolithozone, movement, destruction of structures*

В горных районах, где происходит добыча полезных ископаемых и идет интенсивное хозяйственное освоение, актуальными являются проблемы, возникающие при взаимодействии техногенных и горных процессов. Особенно опасны и активны эти проявления при наличии гляциогенеза и криолитогенеза [Grebenets, Fedoseev, 1992]: усиливаются солифлюкция и оползневые процессы; происходит техногенное засоление почв и грунтов сезонно-талого слоя, снега и льда;

нарастают деградационные тенденции мерзлотных и гляциальных комплексов, ухудшается экологическая ситуация.

Норильский промышленный район относится к крупнейшим горнодобывающим и металлургическим центрам мира, расположенным в горном регионе; он находится на севере Сибири за Полярным кругом (69° с.ш.) в предгорьях Путоран. За 60 лет своего существования города региона и промышленные производства корен-

ным образом изменили инженерно-геологические условия и определили тенденцию к деградации мерзлоты на хозяйственно освоенных территориях [Гребенец, 1989].

Особенно опасны процессы и явления, возникающие на склонах при их хозяйственном освоении. Многочисленные выемки и участки открытых разработок полезных ископаемых обусловили нарастание неустойчивости существующих природных откосов, в том числе их морозное растрескивание, развитие солифлюкации и курумов на участках, где ранее они не проявлялись. Затраты для специальных защитных инженерно-геологических мероприятий, для стабилизации мерзлотной обстановки возросли в регионе в сопоставимых ценах за последние 30 лет почти в 15 раз.

Открытая разработка полезных ископаемых на руднике Медвежий ручей с помощью буровзрывного метода привела к созданию огромного карьера (глубина — около 250 м, ширина в поперечнике — до 3 км) в центре г. Рудная, к образованию системы трещин в скальных породах, к формированию серии отвалов. На склоне северной экспозиции г. Рудная расположен один из крупнейших в мире техногенных отвалов породы, который образовался в результате добычи руды открытым способом. В настоящее время объем отсыпанной породы составил около 62 000 000 м<sup>3</sup> (около 110 млн т) (рис. 1).

Складирование отвальной массы производилось в течение 25 лет и было закончено в 1984 г. Фактическая высота отвала составляла 105—120 м, угол откоса — 30—36 градусов. Отсыпка осуществлялась отдельными ярусами на склон, имевший крутизну 12—15 градусов. Скальные породы естественного склона с поверхности были перекрыты четвертичными моренными отложениями и покровными суглинками, мощностью от 0,2—0,5 м до 6—7 м. Примерно на



Рис. 1. Крупнейший в мире техногенный каменный глетчер. Норильск, склон г. Рудная.

четверти территории склона были вскрыты линзы льда, имевшие мощность 0,5—4 м и залегавшие близко к дневной поверхности. На отдельных участках, где мощность ледовосуглинистой толщи превышала 3—4 м, наблюдалось проявление медленной солифлюкации. Естественный склон был достаточно устойчив, температура грунтов на глубине 8—10 м в 1945 году составляла минус 4—6 °С. В 1996 г. были устроены три термометрические скважины: в верхней части отвала (глубина 30,5 м), рядом с отвалом на склоне (25 м) и у его подножия (125 м). Натурные наблюдения показали, что температура грунтов существенно повысилась: в верхней части в теле отвала на глубине 20—30 м она составила минус 2—2,5 °С, у подножия в интервале глубин 20—50 м — от минус 1,2—1,5 °С до плюс 0,2—0,4 °С.

В геологическом отношении отвал представляет собой смешение различных пород рудника Медвежий ручей. Следует отметить плохую отсортированность материала, более 5 % которого представлены отторженцами (поперечники от 80 см до 2,5—3 м), 60 % — валунно-щебенистого состава (от 2 до 80 см), остальное — мелкие фракции, включая глинистые и пылеватые частицы. В отсыпку при складировании попадал лед, снег (впоследствии превращавшийся под давлением в фирн), мусор, что, в целом, снижало устойчивость отвала. Высокая фильтрационная способность материала также благоприятствовала проникновению в глубь отсыпки ливневых и паводковых вод, замерзавших по мере охлаждения массива, чему способствовали низкие отрицательные значения температуры воздуха и наличие многолетнемерзлых пород в основании.

Техногенный отвал на склоне г. Рудная относится к сложноструктурированным ледо-грунтовым телам и во многом сходен с наблюдаемыми в горных районах мира так называемыми каменными глетчерами. Основное отличие каменных глетчеров от конечных морен такое же, как и различие между глетчерами (ледниками) и так называемым мертвым льдом: глетчеры живут, то есть движутся [Barsch, 1983].

Существенные деформации отвала были зафиксированы летом 1992 г., когда началось движение около 60 % всего объема отвала. На верхней площадке отвала были обнаружены вертикальные просадки и трещины, глубина которых достигала 5—7 м, ширина сверху — до 0,5 м, протяженность — до 100—150 м. В нижней части при движении по поверхности естественного склона, занятого горной тундрой, на участке протяженностью до 600—650 м было отмечено образование из мелкоземистых частиц вала выпирания. Подобная морфология типична для каменных глетчеров [Горбунов, Титков, 1989], при этом за счет экскавации, сдвига подстила-

ющих слоев происходило их выпирание во фронтальной части в валы высотой до 6—8 м. В теплый период года по обе стороны вала выпирания существовали водотоки, при этом в паводки отмечался сход небольших селей по этим водотокам. Существенные подвижки осыпи привели в 1995 г. к погребению этого вала, частично — автомобильной дороги, проложенной по склону ниже отвала на рудник Медвежий ручей. Сдвиг отвала привел также к погребению ранее проложенных трубопроводов, снабжавших город питьевой водой.

За 1995—96 гг. произошли изменения в положении, морфологии и перемещении отвала.

Протяженность фронта отвала составляет 1000—1200 м, общее смещение к концу 1996 г. на наиболее опасном участке — 250—300 м. Средняя скорость движения возрастала от 5—10 мм/сут (1992 г.) до 30—40 мм/сут (1996 г.), рис. 2. В теплые периоды 1995—96 гг. на отдельных участках инструментально зафиксированная скорость достигала 180—200 мм/сут. Перемещения отвала постоянно сопровождаются срывами и падением осыпных обломков, в том числе отторженцев (размером 2—2,5 м), падавших на проложенную ниже автомобильную дорогу. Увеличению скоростей смещения способствовали длительные сбросы на рельеф с последующим дренированием в отвал сбросов из коммуникаций, расположенных в верхней части склона. Проникновение паводковых и ливневых вод в трещины верхней площадки мобильной части активизировало в 1994 г. неравномерность перемещения отдельных частей отвала. Ухудшению мерзлотных условий (а, следовательно, и снижению сил сцепления ледово-грунтовых частиц, реализуемых за счет смерзания) внутри отвала способствует также и прослеживаемая в Норильске под воздействием техногенеза общая тенденция к деградации мерзлоты [Гребенец, 1989].

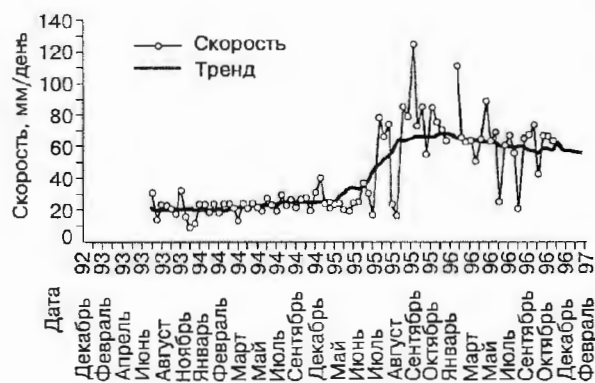


Рис. 2. Скорость движения отвала на склоне г. Рудная.

В техногенном каменном глетчере достаточно отчетливо выделяются две главные части: 1) мобильная (около 60 % отсыпанной массы), которая и представляет в связи с активным перемещением основную угрозу промзоне Норильска; 2) относительно стабильная („тыловая“), причлененная к коренному склону и расположенная в пределах той его части, где мощность подстилающих отвал ледистых четвертичных отложений незначительна (до 2—3 м) или они отсутствовали вообще. Уступ отрыва мобильной части от остальной отвальной массы является неустойчивым, достаточно крутым (местами почти вертикальным), его высота изменяется от 10—15 м до 30—40 м (1996 г.). В последние 1,5—2 года для отвала характерна существенная дифференциация (различия) в скоростях смещения, что привело к образованию отдельных валов, небольших ущелий, а также к увеличению числа и, главное, размеров трещин в пределах мобильной части. Раскрытие трещин (в их верхних частях) достигает местами 2—2,5 м, видимая глубина до 3—4 м, протяженность — до 200—300 м, рис. 3; следует отметить почти вертикальность и „незасыпанность“ грунтовым материалом стенок трещин, что свидетельствует о „живом“ состоянии этого каменного глетчера и о постоянно идущих процессах перемещения. По результатам реконструкции геоморфологических элементов (по состоянию на 1940 г., до начала отсыпки отвала) с выделением на склоне участков с разной мощностью четвертичных рыхлых отложений установлено, что границы между отсеками при раздроблении движущегося техногенного глетчера в основном совпадают с границами элементов существовавшего ранее ландшафта.

Натурные наблюдения и результаты замеров температуры в экспериментальных скважинах показали: в теле отвала имеются включения ледяных горизонтов, которые при низких от-



Рис. 3. Трещины отрыва на поверхности отвала.

рицательных значениях температуры служили сцеплению обломков, но при вытачивании льда (и даже при повышении его температуры до значений 0 минус 2 °С) усиливали общую подвижность отвала.

На наш взгляд, помимо движения отвала как единого ледово-каменного тела (наподобие каменного глетчера) прослеживаются еще два вида перемещений: осыпание обломочного материала с поверхности и послойное перемещение отдельных горизонтов.

Осыпание материала (в том числе отторженцев размером до 2,5—3 м, угрожающих безопасности людей и техники) наиболее активно происходит в теплый период года: во-первых, движение отвала увеличивает гравитационную неустойчивость покрытого техногенными обломками склона, во-вторых, происходит протаивание цементирующего обломки зимой снега и льда, в-третьих, суточные температурные перепады (весной и осенью) за счет образования ночью ледяных корочек под обломками и их вытаивания днем увеличивают степень подвижности отдельных обломков. В летние периоды 1994—1996 гг. местами отмечены лавинообразные сходы осыпного материала.

Послойные подвижки (третий вид перемещений) представляются чрезвычайно опасными. Поярусная круглогодичная отсыпка материала привела, очевидно, к формированию в теле отвала достаточно выдержанных, мощных, горизонтально расположенных линз льда и погребенного снега. Как известно, длительное сопротивление льда нагрузкам (в том числе сдвиговым) в отличие от мгновенного стремится к нулю, лед обладает способностью вязко-пластичного течения под нагрузкой [Вялов, 1978]. Очевидно, что движение по более льдистым горизонтам отдельных слоев отвальной массы, накладываемое на общее движение этого техногенного каменного глетчера, представляет особую опасность, поскольку при изменении (ухудшении) температурных условий или нарастании деформаций ползучесть может перейти в стадии прогрессирующего течения, что вызовет лавинообразный сход всего отвала или его части. Особую тревогу вызывает попадание воды в трещины отрыва, так как дальнейшее ее движение внутри тела отвала происходит по каналам, вытаянным в пределах льдистых слоев. С 1996 г. отмечены подвижки и трещинообразование в тыловой (ранее относительно неподвижной) части.

Расчеты показали, что при лавинообразном сходе 60 % массы каменного глетчера обломочный материал вниз по рельефу продвинется на 0,8—1,0 км, разрушив при этом множество промышленных зданий и сооружений, объектов инфраструктуры, рис. 4.

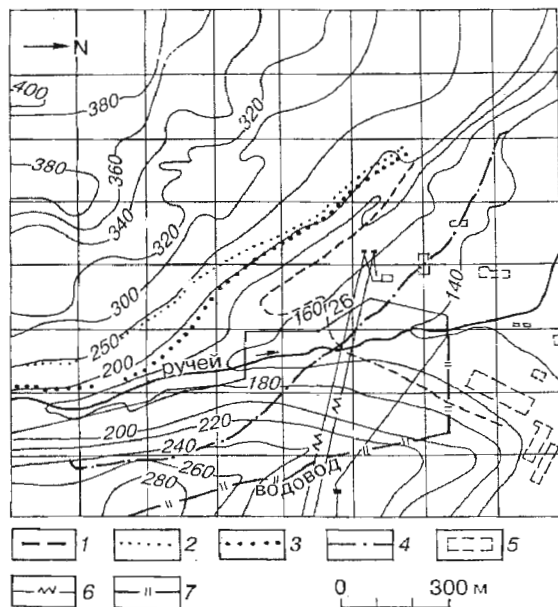


Рис. 4. Прогноз смещения отвала „Пост-1“ на г. Рудная, г. Норильск.

1 — дорога; 2—4 — границы отвала: 2 — август 1994 г., 3 — август 1995 г., 4 — при лавинообразном сходе (прогноз); 5 — здания и сооружения; 6 — высоковольтные линии электропередач; 7 — водовод.

Основные инженерно-технические мероприятия направлены на вывод из опасной зоны наиболее важных объектов. В частности, в начале 1996 г. завершено устройство нового водовода, снабжающего город питьевой водой и проложенного вне границы, очерчивающей максимально возможную зону расположения отвальной массы при ее сходе. С начала марта 1996 г. производится отсыпка обломочного материала на ранее эксплуатировавшуюся дорогу с целью направить основной поток обломков не в направлении комплекса сооружений, а в ущелье между двух гор. Высота отсыпанной дамбы составляет 10—15 м, однако эффект ее устройства неоднозначен, так как отсыпка производится на бывшую дорогу, полотно которой передняя часть глетчера смещала (1994—1996 гг.) со скоростью 20—30 мм/сут. В настоящее время анализируется возможность применения искусственного замораживания грунтов в верхней части отвала с помощью сезонно-охлаждающих устройств, использующих естественные запасы холода, для скрепления отвала с природным слоем. В Норильском регионе накоплена богатейшая практика по применению подобных устройств в фундаменто- и гидротехническом строительстве [Greibenets, 1990].

Однако остаются нерешенными многие вопросы как по уточнению прогноза перемещения,

так и по эффективным способам стабилизации отвала. В связи с выходом (в 1996 г.) отвала в ущелье и перекрытием небольшой реки, протекавшей здесь, возникла угроза формирования подпорного озера и возможности схода в последствии селя, угрожающего разрушением ряду объектов.

Проблемы перемещения техногенных отвалов в горных и предгорных районах выдвигаются в последние годы на передний план исследований в области механики грунтов.

### Литература

Гребенец В.И. Изменение под влиянием застройки геокриологической обстановки в г. Норильске // Проблемы инж.-геол. изысканий в криолитозоне. Тез. докл. науч.-практ. конф. Магадан, 1989, с. 328—330.

Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. М., Высш. школа, 1978, 447 с.

Горбунов А.П., Титков С.Н. Каменные глетчеры гор Средней Азии. Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1989, 164 с.

Barsch D Blockgletscher — Studien, Zusammenfassung und offene Probleme // Ab. Akad. Wiss. Göttingen. Math.: Phus. Kl., Göttingen. 35 S. (1983). 133—150.

Grebenets V.I. Antifiltration curtains constructions with natural cold utilization // Proceeding of the 6th Congress International Association of Engineering Geology, Amsterdam, Netherlands / Editor D.G.Price, A.A. Balkema. Rotterdam. (1990). p. 1285—1287.

Grebenets V.I., Fedoseev D.B. Industrial influence of processes in mountains of circumpolar regions. Annals of Glaciology, 16 // International glaciological Society. (1992). Cambridge. p. 212—214.

*Поступила в редакцию  
31 октября 1997 г.*