

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ПОДТОПЛЕНИЯ И ЗАСОЛЕНИЯ ГРУНТОВ В НОРИЛЬСКОМ ПРОМЫШЛЕННОМ РАЙОНЕ

В.И. Гребенец

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

Город Норильск, расположенный за Полярным кругом на севере Сибири, является одним из крупнейших в мире центров горно-металлургической промышленности. Огромные объемы добычи сырья и производства цветных металлов приводят к масштабному загрязнению окружающей среды: только в атмосферу ежегодно выбрасывается 2 млн т диоксида серы, около 60 тыс. т хлора, десятки тысяч тонн пыли и других загрязнителей. На отдельных участках в грунтовой влаге содержатся 20 000—25 000 мг/л анионов  $\text{SO}_4^{2-}$ . Техногенное засоление грунтов вызывает снижение их несущей способности, разрушение материала фундаментов и других подземных конструкций.

Особенно остро стоит проблема защиты окружающей среды при складировании отходов производства. Вокруг города на удалении до 15—20 км около 60 км<sup>2</sup> территории занято под складирование отходов. Проблема консервации загрязнителей и надежности ограждающих отстойники дамб осложняется наблюдаемой в регионе тенденцией к деградации вечной мерзлоты.

В Норильске проведены масштабные геоэкологические исследования по мониторингу складированных отходов, по изучению изменения геохимической ситуации в пространстве и времени, по оценке влияния техногенного засоления грунтов на несущую способность фундаментов. Разработаны для консервации загрязнителей и для обеспечения надежности ограждающих дамб нетрадиционные инженерные методы, основанные на использовании природных запасов холода Крайнего Севера.

*Криолитозона, техногенез, грунт, обводнение, засоление, деформация*

### TECHNOGENIC SALINITY AND THAWING OF FROZEN GROUNDS IN THE NORILSK ORE MINING AND PROCESSING AREA

V.I. Grebenets

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

Norilsk City, located over the Polar circle in Northern Siberia, is one of the largest world centres of metallurgical industry. Huge volumes of production of the raw materials and nonferrous metals result in large scale environmental pollution: 2 mlns tons of sulphuric dioxide, are released, about 60 thousand tons of chlorine, tens thousands tons of a dust and many other pollutants into the atmosphere. In some sites the ground moisture contains 20 000—25 000 mg/l of anions  $\text{SO}_4^{2-}$ . The technogenic salting of grounds causes a decrease in their bearing ability, destruction of the basement material and other underground constructions.

The most actual problem is protection of environment when storing wastes. Around the city at a distance of 15—20 km about 60 km<sup>2</sup> of the territory is occupied for storing wastes. The problem of conservation of pollutants and reliability of dams which protect settlers are complicated by the tendency of permafrost degradation observed in the region.

In Norilsk large-scale geoeological researches have been carried out on: stored wastes monitoring, studies of changes of geochemical situation in space and time, and influence of technogenic ground salinity on the bearing ability of basements spent. Non-traditional engineering methods, based on the usage of natural resources of cold of the Extreme North, were developed for conservation of pollutants and for providing reliability of protecting dams.

*Cryolithozone, technogenic, ground, inundation, salinity, deformation*

В последние десятилетия в крупных индустриальных центрах обострилась проблема техногенного подтопления и засоления грунтов. Эти процессы вызывают ослабление структуры грунтов, уменьшение их плотности, снижение

прочности, нарушения гидрогеологического режима, подъем уровня грунтовых вод, карстообразование, возникновение пьезунности песков и другие негативные явления. На Севере и в горных районах проблема обостряется разрушением

мерзлотных и гляциальных комплексов, развитием опасных криогенных процессов, снижением несущей способности устроенных в многолетнемерзлых породах фундаментов, а также накоплением в сезонно-талом слое загрязнителей, агрессивно действующих по отношению к материалу подземных конструкций.

В течение последних двадцати лет в Норильском промышленном районе, являющимся крупнейшим индустриальным центром в криолитозоне, проведены обширные исследования по воздействию техногенного подтопления и засоления на грунтовые комплексы, при этом исследования затрагивали не только территории с вечной мерзлотой, но и участки, на которых строительство осуществлялось с использованием скальных пород в качестве оснований.

Проведенные ранее исследования [Гребенец, 1989] показали, что в крупных городах криолитозоны происходит деградация мерзлоты под влиянием техногенных факторов. Основными из них являются: нарушения в эксплуатации холодных проветриваемых подполий, отепляющее воздействие подземных коммуникаций, складирование снежных отвалов на застроенных территориях, высокая фильтрационная способность техногенных грубообломочных подсыпок, индустриальное засоление грунтов. Установлено также [Гребенец и др., 1993], что тенденция к деградации многолетнемерзлых пород в городах региона пока не связана с глобальным потеплением климата.

Город Норильск, расположенный за Полярным кругом на севере Сибири, является одним из крупнейших в мире центров горно-металлургической промышленности. Огромные объемы добычи сырья и производства цветных металлов приводят к масштабному загрязнению окружающей среды: только в атмосферу ежегодно выбрасывается 2 млн т диоксида серы, около 60 тыс. т хлора, десятки тысяч тонн пыли и других загрязнителей. С дождями и тающим снегом загрязнители проникают в открытые водные системы, в сезонно-талый слой, дренируют по нему, попадают в реки и впоследствии — в Ледовитый океан. Остро стоит проблема защиты окружающей среды при складировании твердых отходов производства. Вокруг города на удалении до 15—20 км около 60 км<sup>2</sup> территории занято под складирование отходов, из них — 31 км<sup>2</sup> под хвостохранилища (специальные отстойники, содержащие тяжелые металлы и другие загрязнители), 2,2 км<sup>2</sup> — шлакоотвалы от металлургических заводов, 5,1 км<sup>2</sup> — отстойники металлогосдержавшего сырья. Проблема консервации загрязнителей и надежности ограждающих отстойники дамб осложняется наблюдаемой в регионе тенденцией к деградации вечной мерзлоты; при этом увеличиваются глубины сезонного

оттаивания грунтов и законсервированные в вечной мерзлоте загрязнители предыдущих десятилетий снова вовлекаются в кругооборот живой природы.

Техногенное подтопление происходит через утечки из инженерных коммуникаций, при снеготаянии и дождях. Ежегодно в промрайоне на рельеф сбрасывается около 80 млн м<sup>3</sup> неочищенных стоков от предприятий и коммунальных служб. Большое количество загрязненной воды проникает в сезонно-талый слой, увеличивая его глубину, повышая его водопримную способность. Зачастую подтопление затрагивает подземные льды или сильнольдистые грунты вечной мерзлоты. Развивается термокарст, коренным образом изменяются мерзлотные комплексы, происходит техногенное засоление грунтов и снижение их несущей способности, разрушается материал фундаментов и других подземных конструкций, что приводит к деформациям (вплоть до разрушения) зданий и сооружений. Известно [Лебедеко и др., 1987], что загрязнители с пленками незамерзшей воды проникают в мерзлую зону, изменяя общий фон засоленности грунтов.

Натурные обследования геохимического состояния грунтовых комплексов сезонно-талого слоя в Норильском районе выявили повышенное содержание многих химических элементов в пределах урбанизированных зон по сравнению с природными ландшафтами. В целом, наиболее характерно увеличение содержания сульфатов, хлоридов, карбонатов, а также тяжелых металлов — меди, никеля, кобальта, кадмия, свинца и др. Если в относительно мало затронутых техногенезом природных ландшафтах (кочкарно-осоково-кустарничковая тундра, 60 км на запад от Норильска) в грунтовой (суглинок) влаге сезонно-талого слоя содержится 50—250 мг/л анионов  $\text{SO}_4^{2-}$  и 0,3—4 мг/л анионов  $\text{Cl}^-$ , то в грунтовой влаге техногенной подсыпки под зданием плавильного цеха — анионов  $\text{SO}_4^{2-}$  — 1500—2000 мг/л, местами — до 20 000—25 000 мг/л, ионов  $\text{Cl}^-$  — 150—250 мг/л, местами — до 330—350 мг/л. Следует отметить, что даже снег рядом с металлургическим заводом содержит в апреле 350—380 мг/л анионов  $\text{SO}_4^{2-}$ , в то время как в тундре в 120 км от города — 0,8—1 мг/л. Помимо этого, в грунтовой влаге рядом с фундаментами содержатся анионы  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  и другие загрязнители, разрушающие железобетон фундаментов и подземных частей сооружений. В табл. 1 приведены результаты некоторых натурных определений количества загрязнителей, содержащихся в грунтовой влаге сезонно-талого слоя в Норильском районе.

Из табл. 1 видно, что накопление загрязнителей в сезонно-талом слое, в целом, с течением времени возрастает. Характерно, что с

Таблица 1. Содержание (мг/л) некоторых ионов в грунтовой влаге сезонно-талого слоя отдельных ландшафтов Норильского региона

Место отбора	Год отбора	Глубина отбора, м	Вид грунтов	Содержание ионов, мг/л						
				Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub> згр
Тундра в 60 км от Норильска	1986	0,2	Песок	113	40	—	3	220	—	Не опр.
Норильск, ул. Нансена, 100	1977	0,4	Песок	94	6	51	34	168	217	»
Норильск, дамба, оз. Долгое	1985	0,3	Суглинок	223	84	80	41	621	330	»
Норильск, ул. Нансена, 102	1996	0,4	Суглинок	270	65	105	115	2756	623	1328
Норильск, дамба, оз. Долгое	1996	0,4	Супесь	325	97	25	89	1668	309	294
Дамба хвостохранилища №1	1985	0,3	Песок („хвосты“)	4430	1153	637	219	15682	622	Не опр.
Надеждинский металлургический завод	1989	0,5	Техногенный насыпной грунт	277	18	882	164	1687	248	Не опр.
Там же	1996	0,3	»	643	270	18	75	13397	123	2360
Никелевый завод	1996	0,3	Песок	536	248	42	119	20925	442	859

Таблица 2. Содержание (мг/л) некоторых тяжелых металлов в грунтовой влаге в Норильском регионе

Место отбора пробы	Год отбора	Глубина отбора, м	Вид грунтов	Тяжелые металлы		
				Ni	Cu	Co
Норильск, ул. Лауреатов, 56	1989	2	Суглинок, сезонно-талый	0,5	2,6	0,15
Норильск, ул. Б.Хмельницкого, 8	1990	1	Насыпной техногенный грунт, сезонно-талый	0,17	1,0	0,07
Сев.-восточная окраина Норильска	1991	0,3	Насыпной техногенный грунт, сезонно-талый	0,4352	0,3328	0,2688
Пикова котельная ТЭЦ-1 Норильска	1990	6,4	Песок, многолетнемерзлый	0,019	0,053	0,014
Там же	1990	21,3	Моренный суглинок, многолетнемерзлый	0,017	—	0,009

пуском в эксплуатацию в 1982 г. одного из крупнейших в мире Надеждинского металлургического завода в 8—10 км от селитебной зоны Норильска, значительно возрос объем выбрасываемых в окружающую среду загрязнителей и их содержание в грунтовой влаге сезонно-талого слоя.

Следует отметить, что техногенное подтопление и засоление грунтов является одним из проявлений крайне обостренной в регионе экологической обстановки. В воздухе, воде, а также в грунтах наблюдается повышенная концентрация тяжелых металлов. В табл. 2 приведены некоторые результаты химических анализов грунтовой влаги на содержание отдельных элементов.

Из табл. 2 видно, что в сезонно-талом слое соли тяжелых металлов, а также пылеватые частицы металла, показывают концентрации, в десятки и сотни раз превышающие содержание этих элементов в природных отложениях, хотя и последние (по причине геологических особенностей региона) отличаются высоким содержанием тяжелых металлов.

По глубине сезонно-талого слоя наибольшие концентрации различных загрязнителей отмечаются в приповерхностном слое (0—0,2 м) и у его подошвы. Характерно, что в хорошо дренируемых песках (особенно на склонах) содержание загрязнителей меньше, чем в более дисперсных отложениях. Вместе с тем сравнительно небольшие глубины сезонного оттаивания в совокупности с низким значением температуры наружного воздуха (среднезимняя равна -18,4 °С) не приводят к образованию, как в Якутске [Анисимова, 1981], техногенных криопэгов, хотя в основаниях крупнейших заводов, возведенных на скальных основаниях без сохранения их многолетнемерзлого состояния, в грунтах обратной засыпки отмечаются чрезмерные концентрации (до 20 000—25 000 мг/л ионов SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) загрязнителей.

Техногенное подтопление и засоление губно для мерзлых грунтов и фундаментов. Современные здания опираются на сваи, имеющие глубину (в зависимости от свойств грунтов, от этажности и конструктивных особенностей соо-

ружений) от 6—8 м до 30—35 м. По индустриальной технологии железобетонные или металлические сваи устанавливаются в скважины, предварительно пробуренные в многолетнемерзлых грунтах и имеющие больший (чем свая) диаметр. Свободное пространство между свай и стенками скважины заполняется грунтовым раствором, который постепенно замерзает. Несущая способность свай обеспечивается за счет сил смерзания их боковых поверхностей и грунта. Чем ниже температура грунтов, тем больше несущая способность. Например, при температуре  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  каждый квадратный сантиметр боковой поверхности сваи, смерзшейся с глиной, обеспечивает несущую способность 250 кПа, а при повышении температуры грунтов до  $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  это значение уменьшается до 60 кПа. Засоленный глинистый грунт ( $D_{\text{sal}}, \% = 0,5$ ) при температуре  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  обеспечивает всего 120 кПа.

Проблемы, связанные с техногенным обводнением и засолением, возникают не только на территориях, сложенных мерзлыми дисперсными грунтами, но и на участках, где близко к поверхности залегают прочные скальные породы, на которых в Норильске возведены крупнейшие металлургические заводы и другие индустриальные объекты. В качестве фундаментов используются, как правило, мощные железобетонные столбы, подошвы которых опираются на поверхность скалы, предварительно очищенной от осадочных пород. Ранее считалось, что подобная технология обеспечит длительную (не менее 75 лет) безаварийную эксплуатацию зданий.

Обследования около 8,5 тыс. фундаментов показали, что они подвергаются активному разрушению. В зависимости от условий и длительности эксплуатации износ материала фундаментов в агрессивных средах индустриальных зон составляет от 10—15 % до 65—80 % от проектных значений прочности материала.

Снижение надежности фундаментов идет по двум основным направлениям: уменьшается несущая способность скальных оснований и разрушается материал фундаментов.

Снижение несущей способности оснований происходит как под воздействием технологических факторов (образование трещин в скальных породах при применении буровзрывного метода устройства котлованов под фундаментами), так и под воздействием техногенного подтопления в пределах грунтов обратной засыпки. Грунты обратной засыпки плохо отсортированы, имеют большие коэффициенты фильтрации, поэтому фильтрующиеся через них технологические, дождевые и паводковые воды усиливают выветривание поверхности скальных пород. Наблюдения показали, что поверхность плотных габбро-долеритов, которая используется в качестве основания для фундаментов серного цеха На-

деждинского металлургического завода, через 8 лет после эксплуатации была покрыта сетью хаотичных трещин, местами скала была раздроблена до состояния щебня, несущая способность основания уменьшилась от 24 Мпа до 18,5 Мпа. В Норильском регионе обводнение усиливает также процесс криопелитизации морозных скальных пород, при котором попеременное промерзание-протаивание воды в трещинах разрушает скальную породу. Мерзлотный фактор усиливает концентрацию загрязнителей в основаниях заводов, поскольку с примыкающих территорий, свободных от застройки, при сезонном промерзании сезонно-талого слоя загрязнители из нижней части этого слоя выдавливаются в немерзлые зоны, существующие круглогодично под крупными промышленными объектами. По причине деструкции железобетона фундаментов отмечены многочисленные деформации зданий.

В последнее время разработаны и апробированы специальные мероприятия по обеспечению надежности подземных конструкций. При строительстве исключается буровзрывной метод, применяется современная техника, с помощью которой послойно снимаются осадочные породы. Засыпка котлованов осуществляется нефилтующим материалом, выполняется гидроизоляция поверхности фундаментов и грунтов. На деформированных зданиях поочередно вскрываются и ремонтируются наиболее поврежденные фундаменты, в грунты обратной засыпки и в трещиноватые зоны в скале закачиваются сульфатостойкие цементы или осуществляется их силикатизация, производится асфальтирование поверхности, используются способы искусственного замораживания грунтов.

Проблема техногенного подтопления и засоления грунтов на застроенных территориях выдвигается на передний план геотехнических исследований на Севере.

## Литература

- Анисимова Н.П. Криогидрогеологические особенности мерзлой зоны, Новосибирск, Наука, 1981, 153 с.  
 Гребенец В.И. Изменение под влиянием застройки геокриологической обстановки в г. Норильске // Тез. докл. научно-практической конференции „Проблемы инженерно-геологических изысканий в криолитозоне“. Магадан, 1989, с. 328—330.  
 Гребенец В.И., Садовский А.В. Потепление климата и тепловой режим оснований северного города // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1993, № 5, с. 27—30.  
 Лебеденко Ю.П., Ершов В.Д., Чувилин Е.М., Ганова С.Д. Особенности миграции влаги в мерзлых тонкодисперсных грунтах под действием осмотических сил // Геокриологические исследования, М., Изд-во МГУ, 1987, с. 150—157.

Поступила в редакцию  
15 сентября 1997 г