

УДК 622.83

Мельник Виталий Вячеславович

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: melnik@igduran.ru

DOI: 10.18454/2313-1586.2017.03.005

Melnik Vitaly V.

candidate of technical sciences,
the head of the laboratory,
the Institute of mining, UB RAS,
620075, Yekaterinburg, 58 Mamin-Sibiryak st.,
e-mail: melnik@igduran.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ И
СВОЙСТВ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ
ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ
В УСЛОВИЯХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
КРИОЛИТОЗОНЫ****STUDIES THE STATE AND FEATURES
OF FOUNDATION SOILS
IN ENGINEERING CONSTRUCTIONS
IN THE CONDITIONS
OF CRIOLITE ZONE PROPAGATION***Аннотация:*

В статье рассмотрены особенности строения и свойств горных пород в областях распространения многолетнемерзлых пород, инженерно-геологические процессы, происходящие при использовании их в качестве оснований инженерных сооружений. Обоснованы методы изучения строения и свойств грунтов, позволяющие учитывать все происходящие в условиях криолитозоны процессы, влияющие на устойчивость и долговечность инженерных сооружений.

Ключевые слова: мерзлота, карст, пучение, консолидация, геофизические методы

Abstract:

The article considered the features of the structure and properties of rocks in areas permafrost propagation, engineering-geological processes occurring when using them as the bases of engineering constructions. Substantiated methods of studying the structure and properties of soils permitting to take into account all processes occurring in the conditions of permafrost areas that affect sustainability and durability of engineering constructions.

Keywords: frost, karst, heaving, consistency, geophysical methods

Освоение минерально-сырьевой базы северных территорий, а потенциал разработки месторождений полезных ископаемых (МПИ) очень большой, влечет за собой развитие сопутствующей инфраструктуры, строительство авто- и железных дорог, горно-промышленных комплексов, объектов топливно-энергетического комплекса, поселков и городов-спутников.

Площадь распространения мерзлых пород в России составляет порядка 10 млн. 700 тыс. км², превышая территорию США, включая Аляску.

Инженерно-геологические условия территории распространения многолетнемерзлых пород весьма специфичны и определяются особенностями строения четвертичных отложений, составом и свойствами горных пород, своеобразием ландшафтно-геоморфологических, гидрогеологических условий, развитием многолетнемерзлых пород (ММП), наличием слоя сезонного промерзания и оттаивания ММП, развитием экзогенных геологических процессов (ЭПП) и связанных с ними явлений.

Вечная мерзлота, в соответствии с классификацией, подразделяется на три подзоны (рис. 1) [1]: **I-1** – Северная низкотемпературная подзона сплошного распространения ММП, **I-2** – Центральная низкотемпературная подзона сплошного распространения ММП и **I-3** – Южная высокотемпературная подзона островного и частично-сплошного распространения ММП.

Территория Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) располагается в трех климатических зонах: арктической, субарктической и зоне северной (таежной) полосы Западно-Сибирской низменности. Природные условия ЯНАО очень разнообразны — от тайги до арктической тундры, от заболоченных равнин до Полярно-Уральского высокогорья.

Более половины территории ЯНАО находится за Полярным кругом. По характеру распространения многолетнемерзлых пород территория ЯНАО захватывает две подзоны: **I-1** и **I-3**.

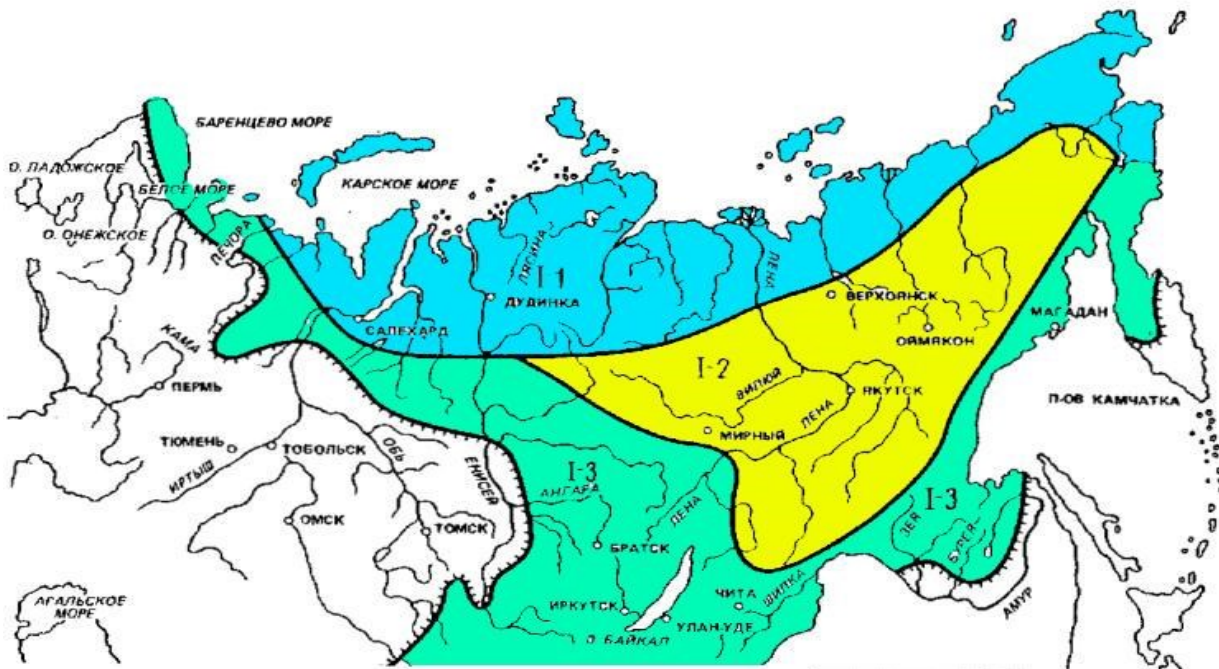


Рис. 1 – Территория распространения многолетнемерзлых пород в РФ

Как видно из рис. 2, основанного на результатах исследований, проведенных в рамках Государственного проекта «Урал Промышленный – Урал Полярный» в 2010 г. одноименной Корпорацией, состав полезных ископаемых очень разнообразный: уголь, железо, хром, золото и др. [2].

Несмотря на большую инвестиционную привлекательность минерально-сырьевой базы, Западно-Сибирский регион отличается либо отсутствием, либо очень слабым развитием транспортной инфраструктуры, что осложняет разработку уже разведанных месторождений полезных ископаемых, а также проведение поисково-разведочных работ.

Развитие сети автомобильных и железных дорог является приоритетным направлением в стратегии освоения месторождений полезных ископаемых Приполярного Урала.

Строительство транспортных магистралей в районах распространения многолетнемерзлых пород затруднено в связи со сложными инженерно-геологическими условиями. Кроме распространения мерзлоты в исследуемом регионе имеют место закарстованные карбонатные породы под маломощным чехлом рыхлых отложений, наличие подрусловых сквозных и несквозных таликов в долинах рек и ручьев, развитие криогенных процессов и явлений – солифлюкции, наледообразование в долинах рек, а также на горных склонах морозного пучения.

Объективная оценка инженерно-геологических условий территории Полярного Урала для дальнейшего ее освоения является основным условием качественного и безопасного строительства инженерных сооружений в регионе.

Недостаток тепла, избыточное увлажнение, наличие многолетнемерзлых пород создают благоприятную обстановку для развития широкого ряда экзогенных процессов и явлений.

В соответствии с существующими классификациями на основе анализа механизма процессов, причин их развития можно выделить преобладающие группы ЭГП с основными формами проявления этих процессов в рельефе (рис. 3).

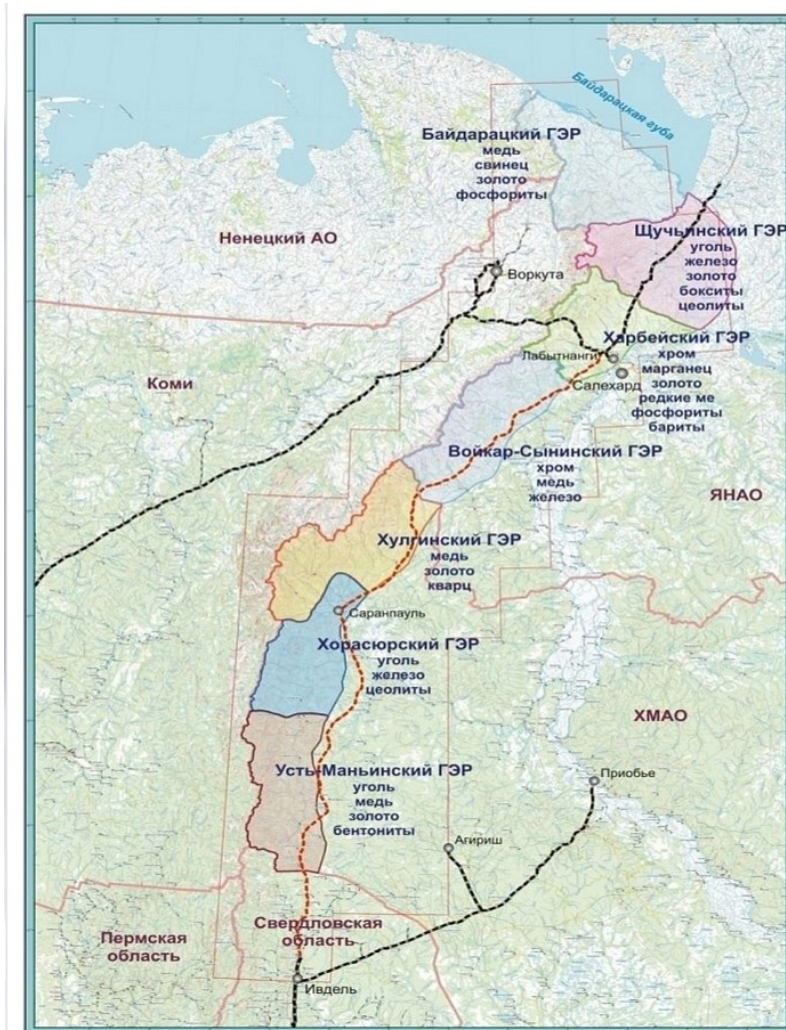


Рис. 2 – Месторождения полезных ископаемых Западной Сибири
(По материалам Корпорации «Урал Промышленный – Урал Полярный»)



Рис. 3 – Экзогенные процессы, широко представленные в районах распространения многолетнемерзлых пород

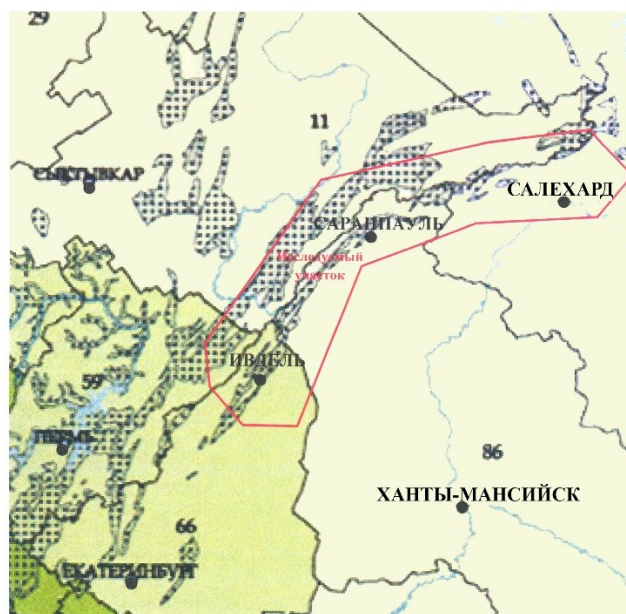
Кроме процессов, связанных непосредственно с многолетнемерзлыми породами, на строительство автомобильных и железных дорог и других инженерных сооружений повсеместно оказывает влияние наличие тектонически нарушенных зон, обладающих современной геодинамической подвижностью.

На рис. 4 представлена схема взаимодействия тектонических нарушений и геологической среды.



Рис. 4 – Взаимодействия тектонических нарушений и геологической среды

Как видно из схемы, представленной на рис. 5, значительная часть территории Приполярного Урала подвержена карстово-суффозионным процессам.



Условные обозначения

Воздействие карстово-суффозионных процессов

территории развития карстово-суффозионных процессов

Плотность населения, чел/км²

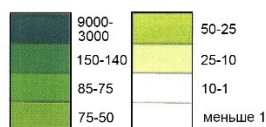


Рис. 5 – Выкопировка из карты воздействий карстово-суффозионных процессов на населенные пункты и хозяйственные объекты на территории РФ в 2005 г.

Опасность карстопроявлений выражается в развитии деформационных процессов на земной поверхности. Параметры деформации поверхности зависят от глубины залегания, морфологии и степени заполнения карстовой полости. Современное развитие деформационных процессов определяется степенью изменения геомеханических и гидрогеологических характеристик массива горных пород под воздействием природной и техногенной геодинамической активности геологической среды [3 – 5]. Учитывая тот факт, что карстово-суффозионные процессы возможны только при наличии подвижной воды, основное развитие они получили в зоне островного распространения многолетнемерзлых пород (I-3), где вечная мерзлота распространена не повсеместно.

Строительство железных и автодорог в районах распространения криолитозоны осложняется не только климатическими, геологическими и географическими проблемами (вечная мерзлота, развитие экзогенных процессов и десятимесячная зима), проектируемые трассы путепроводов пересекают на своем протяжении множество ручьев, рек и крупных рек. Этот фактор приводит к значительному удорожанию строительства в связи с организацией мостовых переprav.

Гидротехнические, промышленные и жилые сооружения в большинстве случаев своими фундаментами опираются на вечномерзлую толщу, почти не меняющую своих свойств во времени. Главной особенностью строительства автодорог в условиях распространения многолетнемерзлых пород является то, что основанием дорожного полотна является слой сезонного оттаивания и промерзания. Он называется деятельным (сезоннооттаивающим) слоем.

В результате процессов промерзания и оттаивания грунты любой категории изменяют свои физико-механические и прочностные свойства. Под действием циклических нагрузок происходит изменение структуры и состояния глинистых грунтов, а также дезинтеграция скальных грунтов, сопровождающаяся развитием различных экзогенных процессов.

Мощность деятельного слоя зависит не только от климатических особенностей региона, но и от состава свойств грунтов, залегающих в приповерхностной части разреза. В пределах Ямало-Ненецкого автономного округа (Салехардская и Надымская площадь), на основании экспериментальных данных, глубина деятельного слоя варьируется от 0,5 м для торфа до 4,0 – 4,5 м для насыпных грунтов [6].

Наиболее распространенный вид деформации – пучение земляного полотна. Оно происходит вследствие объемного расширения воды в связном грунте. Учитывая практически повсеместное распространение в пределах поверхностного слоя суглинков текучепластичной и текучей консистенции, относящихся, согласно нормативным документам, к сильно и чрезвычайно пучинистым, пучение является основным негативным фактором для сохранности дорожного полотна. Наиболее интенсивно пучение проявляется в южной части зоны вечной мерзлоты.

В северной части, наоборот, значительные деформации (термокарстовые образования, просадки и осадки) возникают в результате протаивания грунтов деятельного слоя.

В настоящее время рекомендуется использовать грунты сезоннооттаивающего слоя в качестве основания земляного полотна по одному из следующих принципов [7,8]:

- первый – сохранение вечномерзлых грунтов в основании земляного полотна в течение всего периода эксплуатации дороги;
- второй – частичное оттаивание мерзлых грунтов основания на величину, определяемую расчетом;
- третий – оттаивание вечномерзлых грунтов до начала строительства дороги и осушение придорожной полосы.

На рис. 6 показано состояние большинства автомобильных дорог в регионе.



Рис. 6 – Состояние автодорог в настоящий момент времени

Согласно СП 11-105-97 Часть IV. «Правила производства работ в районах распространения многолетнемерзлых грунтов», кроме стандартных изысканий, обязательно следует проводить геофизические исследования на всех стадиях инженерно-геологических изысканий с целью определения состава, свойств и мощности мерзлых грунтов, а также литологического строения массива горных пород, тектонических нарушений и зон повышенной трещиноватости и льдистости. В большинстве случаев этот пункт не выполняется, что приводит к недооценке фактического состояния и свойств массива горных пород, залегающего в основании инженерных сооружений.

Кроме того, при строительстве сооружений I и II уровней ответственности требуется исследование геодинамической активности и параметров современных движений земной коры [9], но сложность, многогранность проявления и недостаточная изученность геодинамической активности порождают многозначность критериев и требований, которые не всегда отражают сущность процессов воздействия современных геодинамических движений на инженерные сооружения [10].

Опыт проведения исследований по выбору безопасных площадок под строительство промышленных объектов Эльгинского угольного комплекса показал, что зоны тектонических нарушений прекрасно выявляются геофизическими методами даже в условиях распространения многолетнемерзлых пород, и это надо использовать при проведении инженерно-геологических изысканий. На рис. 7 приведена инженерно-геофизическая модель одной из площадок проектируемого размещения объектов инфраструктуры комбината.

На этом же объекте были проведены исследования современной геодинамической активности района, что позволило выбрать оптимальное расположение промышленных объектов с учетом всех природно-техногенных факторов. В результате проведенных исследований для каждого сооружения была произведена оценка возможности строительства, пример которой приведен в табл. 1.

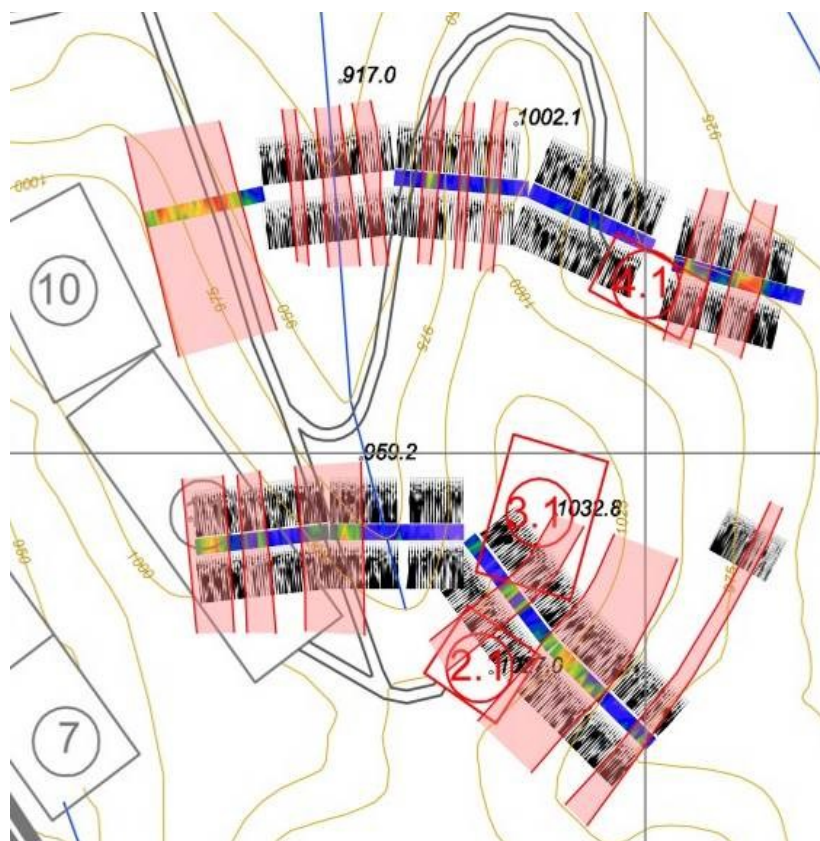


Рис. 7 – Инженерно-геофизическая модель одной из площадок проектируемого размещения объектов строительства

Таблица 1

	Объекты	Уровень ответственности	Допустимые деформации		Измеренные деформации		Дополнительные факторы	Прогнозируемые деформации		% от допустимых		Оценка пригодности
			$\varepsilon \cdot 10^{-3}$	$\mu \cdot 10^{-3}$	$\varepsilon \cdot 10^{-3}$	$\mu \cdot 10^{-3}$		$\varepsilon \cdot 10^{-3}$	$\mu \cdot 10^{-3}$	$\varepsilon \cdot 10^{-3}$	$\mu \cdot 10^{-3}$	
1.	Вахтовый поселок	III	7,0	-	0,21	0,21	Ледниковые отложения	0,63	0,63	9,0	-	Пригодна
2.	Склад окисленного угля (вариант 1)	Вне ур.	-	-	0,21	0,23	Ледниковые отложения	0,63	0,69	-	-	Пригодна, но предпочтительнее вариант 2
3.	Тепловая электростанция (вариант 1)	I	1,0	3,0	0,21	0,23	Ледниковые отложения	0,63	0,69	63,0	23,0	Предпочтительнее вариант 2
	3.1. Тепловая электростанция (вариант 2)	I	1,0	3,0	0,17	0,18	Тектоническая зона	0,51	0,54	51,0	18,0	Пригодна, при изысканиях сместить с тектонической зоны на запад
4.	Подстанция 100/35 кВ (вариант 1)	II	4,0	6,0	0,21	0,23	Ледниковые отложения	0,63	0,69	16,0	12,0	Пригодна, но предпочтительнее вариант 2

Проведенные исследования позволили провести ранжирование исследованной территории по пригодности для строительства объектов инфраструктуры рудника. В настоящий момент времени месторождение разрабатывается, к нему проведена железная дорога, результаты исследований были использованы при проектировании сооружений.

Недоучет тектонического строения, геодинамической активности тектонических нарушений в совокупности со сложными погодными и геологическими условиями областей распространения криолитозоны приводит к преждевременному разрушению инженерных сооружений, в том числе и транспортных магистралей.

Грамотный подход к инженерным изысканиям в условиях криолитозоны позволит производить строительство и эксплуатацию инженерных сооружений на специфических грунтах, обеспечивая их надежность и безопасность.

Литература

1. Пособие по проектированию земляного полотна и водоотвода железных и автомобильных дорог промышленных предприятий (к СНиП 2.05.07-85). – М.: Стройиздат, 1988.
2. О развитии минерально-сырьевой базы Арктической зоны Российской Федерации на основе оценки разведанных и перспективных запасов полезных ископаемых / С.В. Корнилков, В.Л. Яковлев, А.Г. Журавлев, В.Д. Кантемиров, В.В. Мельник // Конкурентный потенциал северных и арктических регионов: сборник научных трудов. – Архангельск, 2014. – С. 39 - 46
3. Мельник В.В. Оценка опасности карстопроявлений геофизическими методами / В.В. Мельник // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 7. – С. 151 - 155.
4. Мельник В.В. Диагностика карстопроявлений при проведении инженерно-геологических изысканий / В.В. Мельник // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 7. – С. 275 - 278.
5. Замятин А.Л. Исследование состояния массива горных пород при строительстве и эксплуатации объектов недропользования / А.Л. Замятин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 11. – С. 100-107.
6. Савинцев И.А. Инженерно-геологические условия долинных областей криолитозоны ЯНАО (на примере Салехардской и Надымской площадей): автореф. дис. ... канд. геолого-минералогических наук / И.А. Савинцев. – Екатеринбург, 2012.
7. Давыдов В.А. Изыскания и проектирование автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах: учеб. пособие / В.А. Давыдов, Э.Д. Бондарева. – Омск: ОмПИ, 1989.
8. Мельник В.В. Особенности строительства инженерных сооружений в условиях распространения многолетнемерзлых пород // Международный научно-исследовательский журнал: Сборник по результатам XXII заочной научной конференции Research Journal of International Studies. № 12. Ч. 3 (19). – Екатеринбург: МНИЖ, 2013. – С. 100 - 102.
9. Усанов С.В. Мониторинг геодинамических движений горного массива высокогорского железорудного месторождения при масштабном техногенном воздействии сложного горнодобывающего комплекса / С.В. Усанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 10 – С. 208 - 213.
10. Истоки формирования катастрофических геомеханических процессов на объектах недропользования / А.Д. Сашурин, С.В. Усанов, В.В. Мельник, А.Е. Балек // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: сборник докладов / Н.Г. Валиев; УГГУ. – Екатеринбург, 2016. – С. 166 - 172.