



Dr. Naum Oberman
Head of the Centre for the
Monitoring of the Subsoil
Conditions

MIREKO Company,
Republic of Komi. Russia

*Degradation of Permafrost in the
Condition of Global Warming and
its Impact on Infrastructure in the
Eastern Part of The Barents Region*



**Деградация мерзлоты в условиях глобального потепления
и её влияние на инфраструктуру в восточной части
Баренцева региона**

Оберман Н.Г., Компания "МИРЕКО"

В восточной части Баренцева региона расположены 13 геоэкологических стационаров с многолетними наблюдениями; половина из этих стационаров функционирует и ныне. И, кроме того, имеются многочисленные опорные термометрические скважины, рассредоточенные по всей площади и показанные на Figure 1.

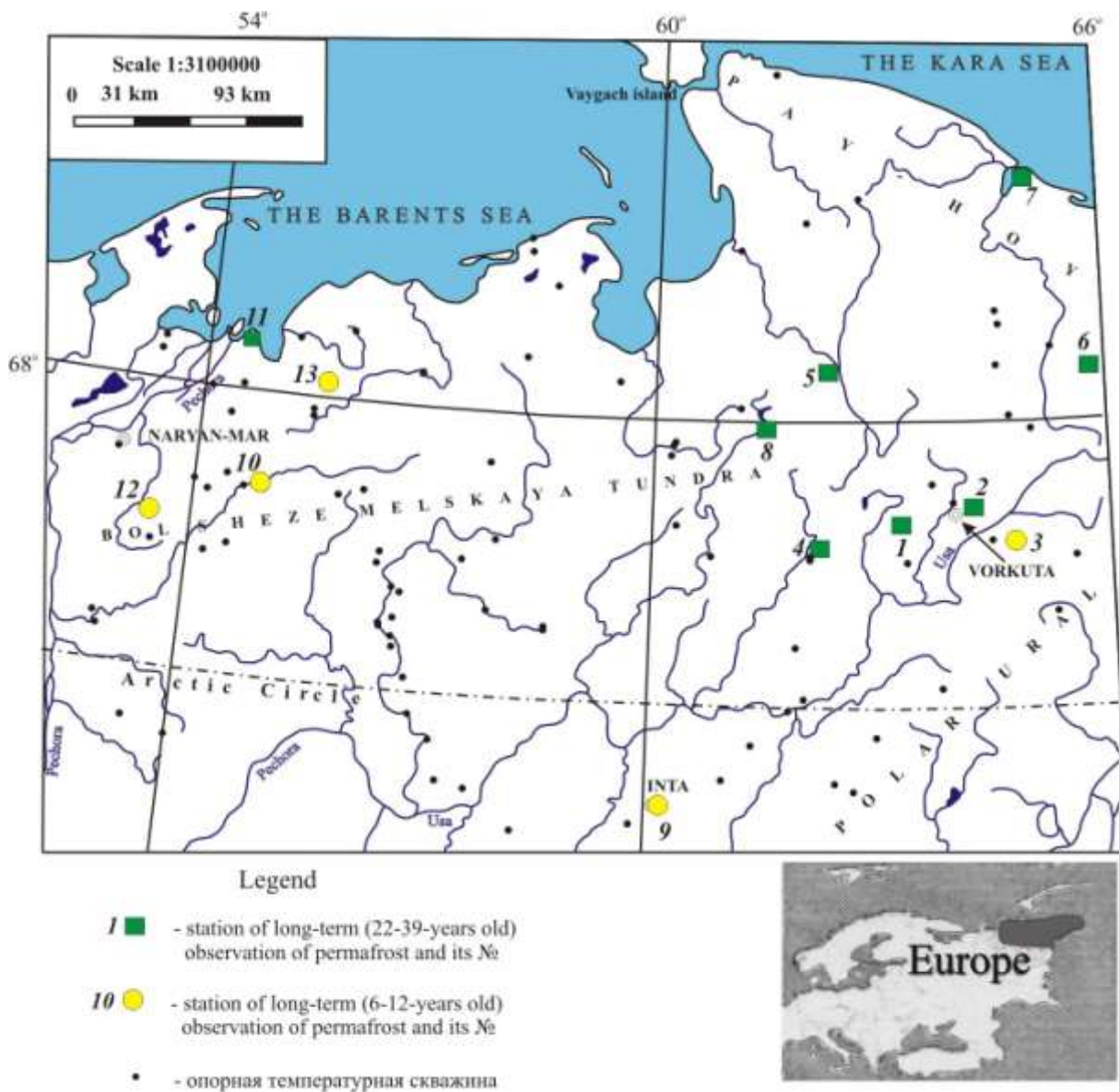


Figure 1. Survey Map of the Region

Результаты всех этих наблюдений позволяют охарактеризовать последствия воздействия потепления климата на мерзлоту региона. Тенденция повышения температуры воздуха на этой территории отмечается повсеместно и, как правило, с 1970 г. (Figure 2).

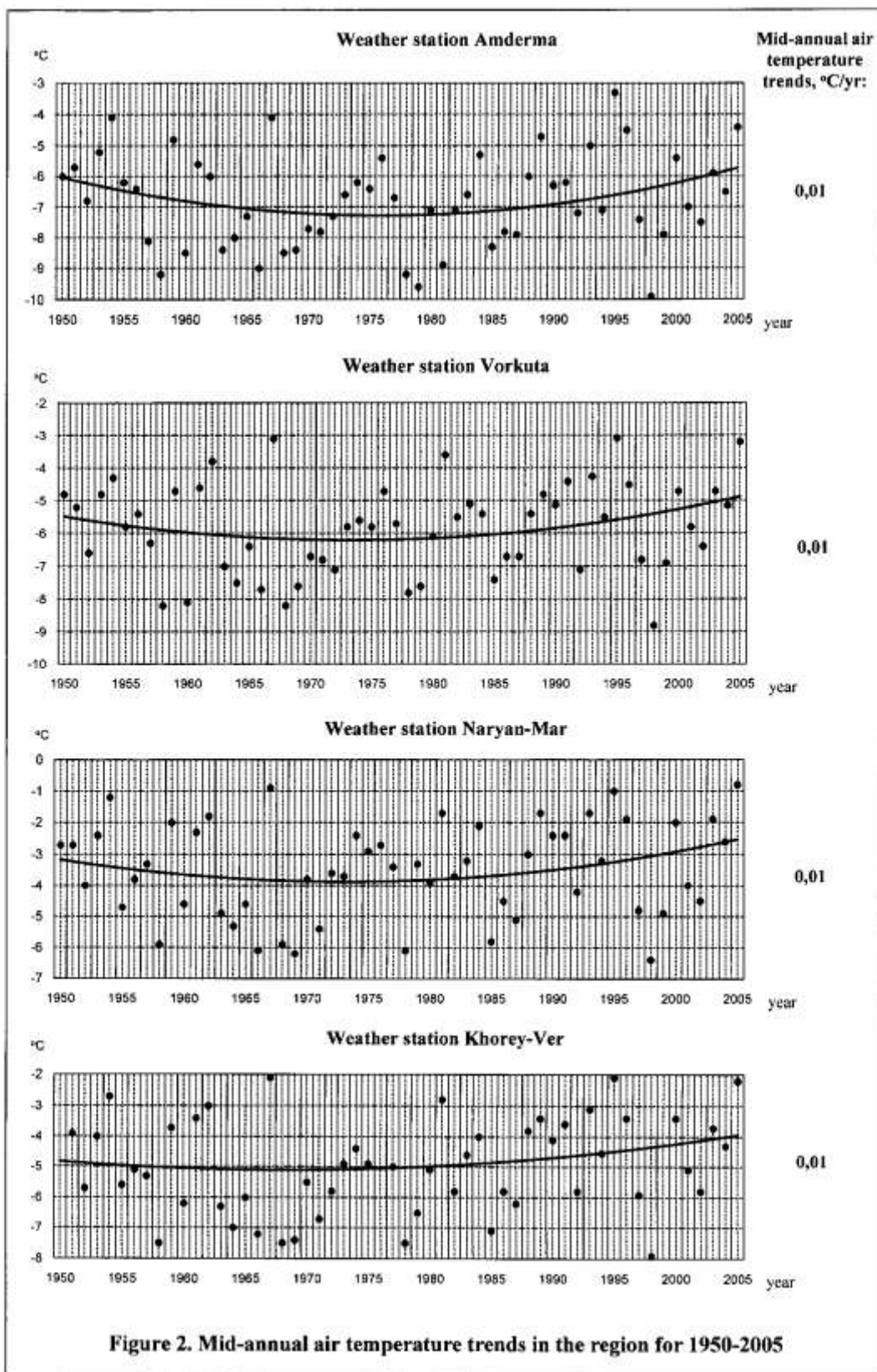
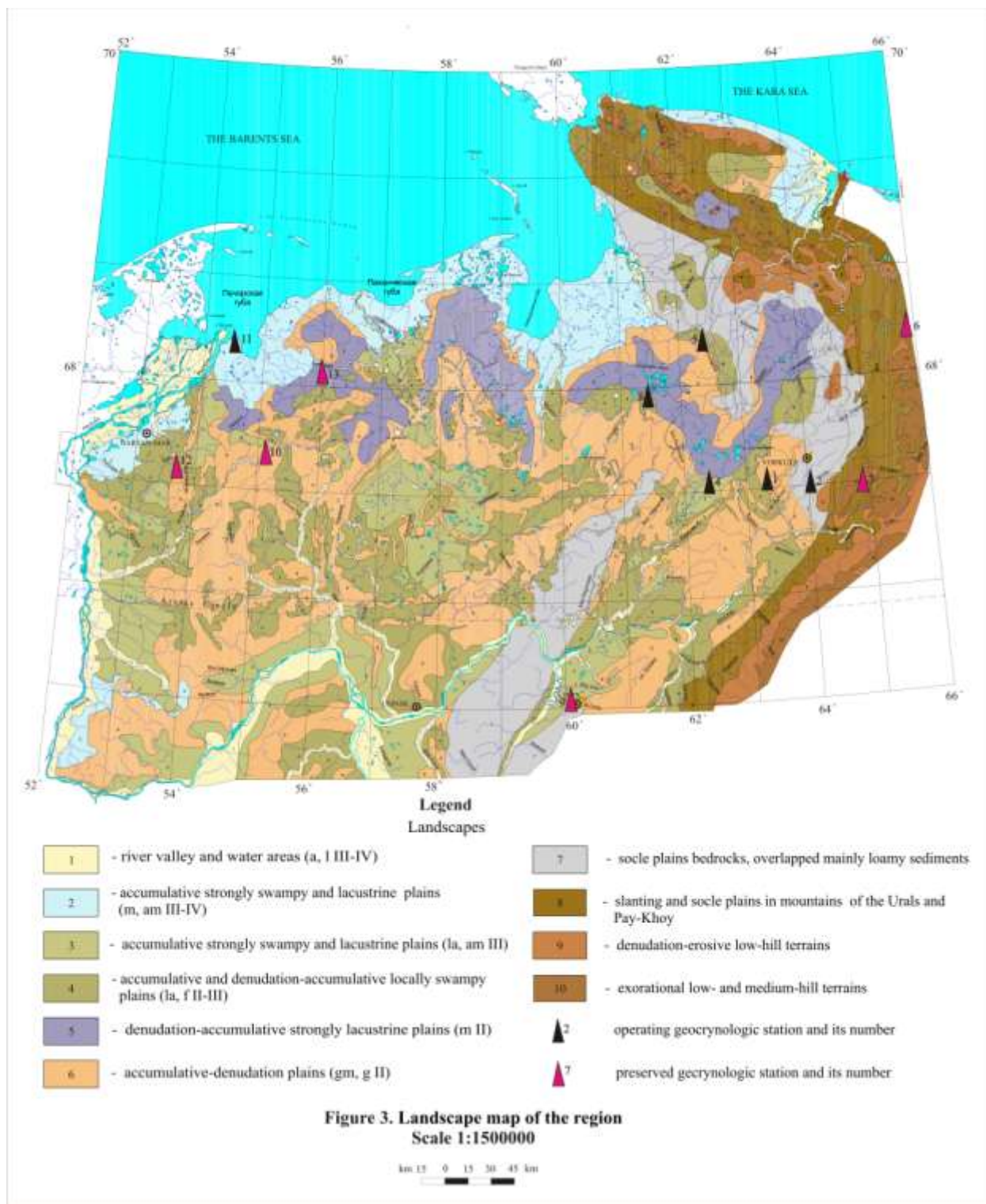


Figure 2. Mid-annual air temperature trends in the region for 1950-2005

Как следует из этой Figure, величина тренда температур воздуха, по данным характерных метеостанций рассматриваемой территории, в целом, одинакова. Казалось бы, и реакция мерзлоты на потепление климата должна быть одинаковой.

Но здесь распространены самые разнообразные разновозрастные ландшафты: ледово-морские, озерно-аллювиальные, морские, цокольные равнины и ландшафты гор Урала и Пай-Хоя (Figure 3).



Очевидно, что пески, торфа, суглинки, скальные породы, слагающие эти ландшафты, должны по-разному реагировать даже на одинаковые изменения температуры воздуха. И данные многолетних наблюдений, в частности, за температурой мерзлоты на глубинах 10-15 м подтверждают это утверждение. Например, амплитуды повышения температуры мерзлоты за многолетний период

варьируют в пределах региона от 0,2 до 1,6 °С, а средняя за многолетний период скорость потепления мерзлоты различается на разных ландшафтах в 3-8 раз, то есть, почти на порядок (смотрите последние 2 графы в таблице 1).

Table 1. Long-term changes of permafrost in the region

Land- scape*	№ of the station; borehole	Relief; microrelief at the start of observations	Rock's lithology	Period, years	Depth, m	Rock's temperature, °C:		
						initial	changes during the period	10 ⁻³ x °C/yr
6	1; ZS- 124/124a	slope; polygonal	peat, loam, sandy loam	1977- 2006	10	-2.78	+1.56	54
	1; ZS- 14/227	watershed; spot-medallion	loamy sediments	1970- 2006	15	-2.23	+1.20	34
6a	11; 59	ridge's crest; spot-medallion	loams	1983- 2006	12	-1.95	+0.22	10
5	8; 100-6	slope; polygonal	peat, sands, loams	1987- 2007	10	-4.30	+1.56	78
	8; 35-6	watershed; polygonal	sands, gravel	1987- 2007	15	-2.85	+1.09	55
	8; 37-6	foot of slope	loams	1988- 2007	14	-2.10	+0.52	28
3	4; R-54	side of the stream's valley	loam, sand, varved clay	1983- 2006	10	-1.56	+0.71	31
4	5; KT-5	by watershed; bog	loamy sediments	1986- 2006	15	-2.87	+0.41	21
	5; KT-3b	I above flood- plain terrace	sands, gravel	1987- 2006	15	-2.55	+0.95	50
7	2; UP-35	slope's foot; frost small mound	peat, loam	1986- 2006	10	-1.72	+0.69	35
8	7; K-2	marine terrace	sand, loam	1982- 2007	10	-3.93	+0.97	39

Note: * - plains: 6 and 6a – glacial-marine Middle Pleistocene (continental areas and sea coast); 5 – marine Middle Pleistocene; 3 – lacustrine-alluvial Upper Pleistocene; 4 – lacustrine-alluvial, alluvial-marine Upper Pleistocene; 7, 8 – piedmont

Не менее контрастна динамика мощности несквозных таликов в зависимости от их генезиса и ландшафтных условий. Увеличение мощности таликов за 2-3 десятилетия составило от менее 1 до почти 16 м в промороженных четвертичных отложениях и до 25 м в скальных породах (табл.2).

Table 2. Long-term changes of closed taliks

Land- scape*	№ of the station; borehole	Talik's type	Rock's lithology	Period, years	Talik's thickness, m		
					initial	during the period	m/yr
6	1; EK-67	snow-made talik	loams, sandy loams, pebble	1980- 2006	0	+15.8	0.61
	1; ZS-83	ground water transient talik	loams, sands	1976- 2006	0	+8.6	0.29
	1; 8S	snow-made talik	loamy sediments	1971- 2005	12.1	+6.7	0.20
3	4; R-53	near-channel talik	sandy loam, varved clay	1983- 2006	8.8	+0.6	0.03
4	5; KT-8	near-channel talik	loams, sandy loam	1986- 2006	13.2	+2.8	0.14
	5; KT-16a	snow-made talik	loamy sediments	1987- 2006	8.6	+2.8	0.15
7	2; UP-34	ground water made talik	loams, limestones	1975- 2006	43.5	+24.8	0.80
	6; 23	snow-made talik	sandy loam, gravelly sandy loam	1978- 2007	4.9	+6.1	0.21
	6; 32	lake talik	sands, sandy loams	1977- 2007	5.0	+6.2	0.21
8	7; K-41	snow-made talik	sands, loam	1982- 2007	5.3	~ +3.7	0.15

Note: * - plains: 6 and 6a – glacial-marine Middle Pleistocene (continental areas and sea coast); 5 – marine Middle Pleistocene; 3 – lacustrine-alluvial Upper Pleistocene; 4 – lacustrine-alluvial, alluvial-marine Upper Pleistocene; 7, 8 – piedmont

Наглядное представление об особенностях динамики упомянутых и некоторых других показателей деградации современной мерзлоты даёт Figure 4.

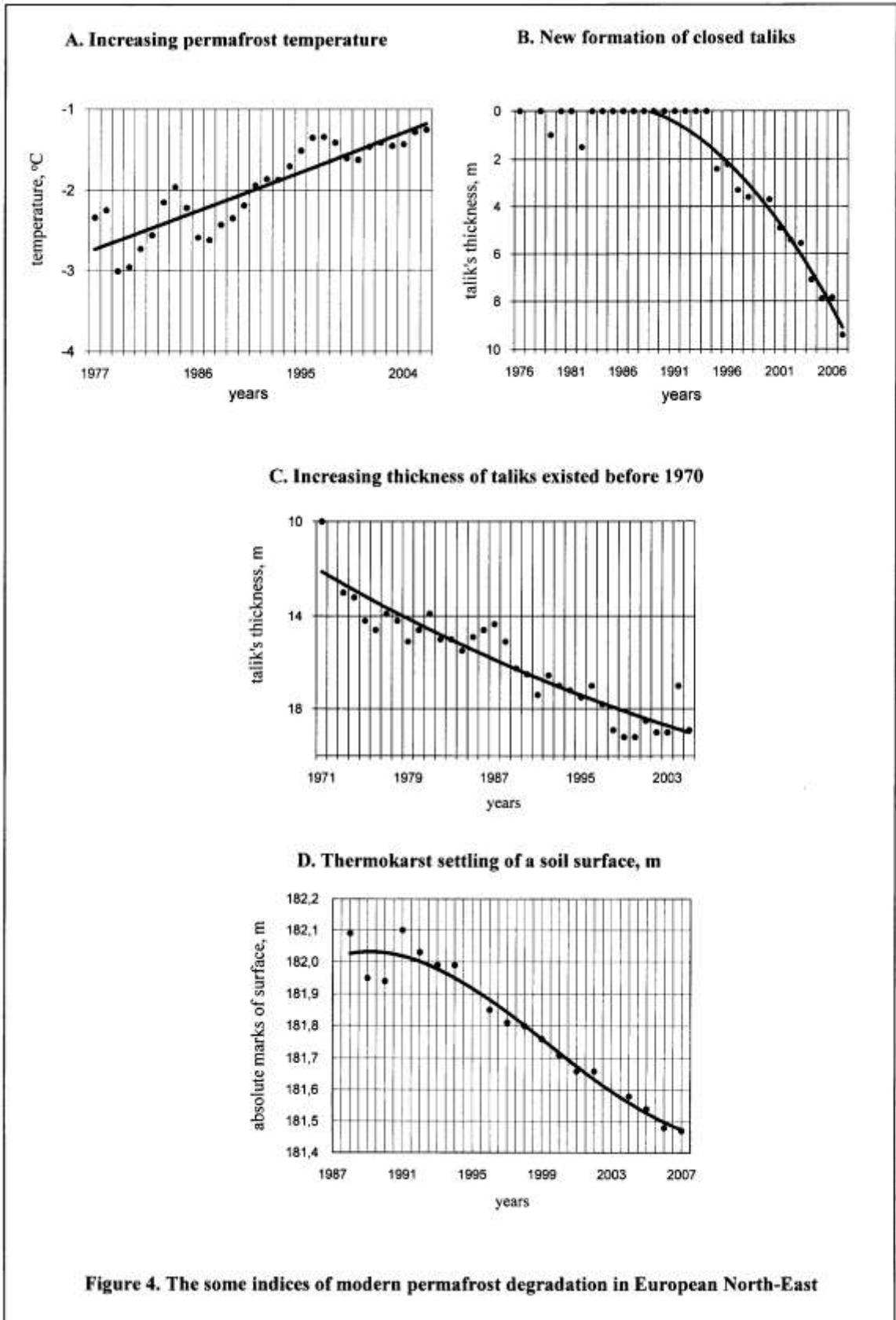
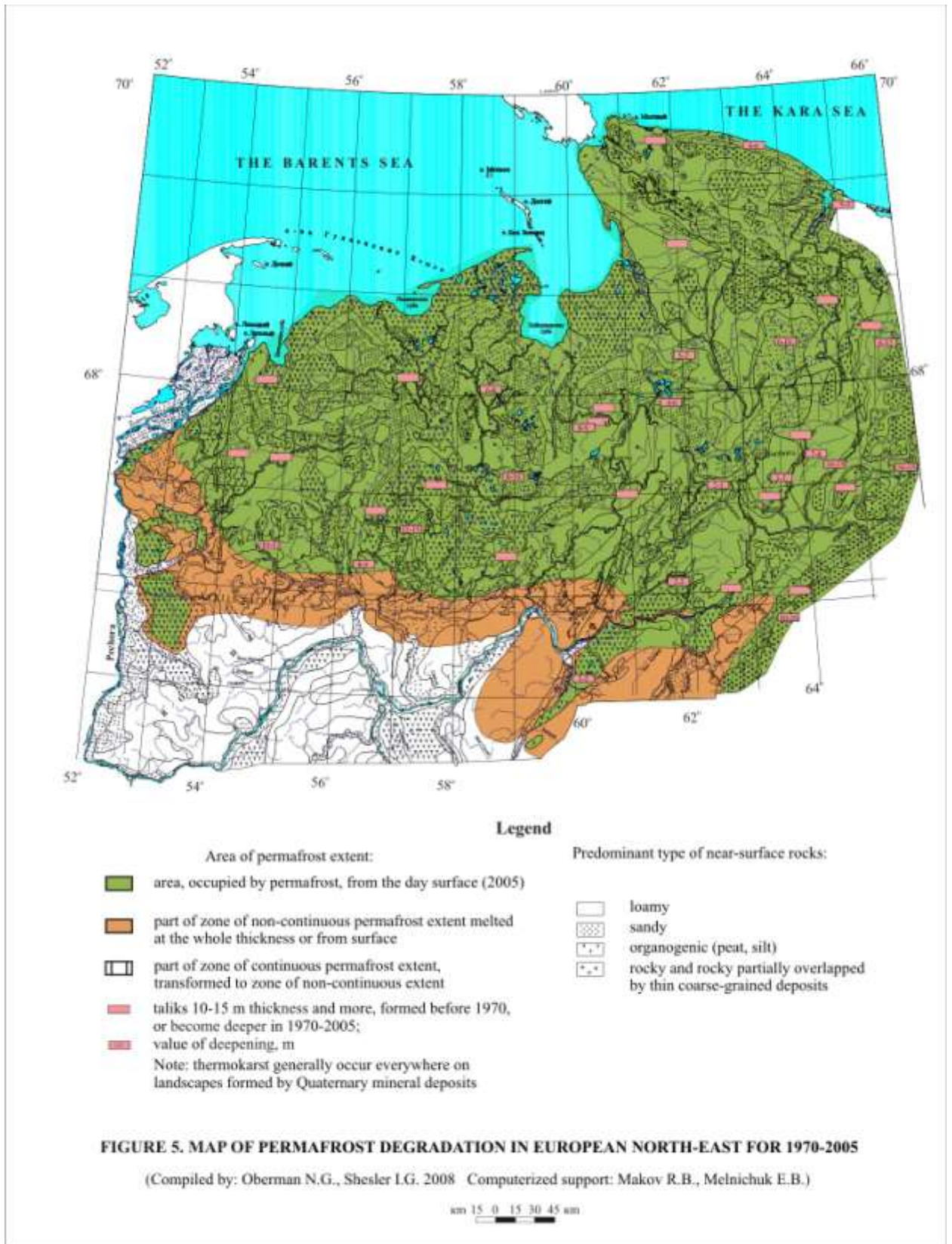


Figure 4. The some indices of modern permafrost degradation in European North-East

На графике А этой Figure прослеживаются короткопериодные колебания температуры мерзлоты на фоне более продолжительного тренда её повышения. График С иллюстрирует ход протаивания мерзлоты в подошве несквозных таликов, существовавших **до начала** современного потепления климата, и увеличения мощности этих таликов в результате протаивания мерзлоты. На графике В видно, как стремительно, всего лишь за одно десятилетие, возник несквозной талик мощностью в 10 м на участке с бывшей сливающейся мерзлотой, сложенной слабобльдистыми супесчано-суглинистыми отложениями. Графики С и В являются в то же время косвенными показателями темпов уменьшения мощности мерзлоты и изменения её строения в вертикальном разрезе. Одновременно хронологический график новообразования несквозных таликов свидетельствует об уменьшении распространения мерзлоты по площади. График D демонстрирует происходящие при вытаивании мерзлоты термокарстовые осадки земной поверхности. Понижение ее среднегодовых абсолютных отметок, крайне неравномерное даже на небольших расстояниях, может достигать, как видно на графике, 0,6 м всего за 20 лет.

Региональное проявление некоторых из перечисленных показателей преобразования мерзлоты отражено на Карте её деградации на площади Европейского Северо–Востока за период 1970-2005 г.г. (Figure 5).



Зеленым цветом на Карте показана область занятая мерзлотой, распространенной с дневной поверхности, по состоянию на 2005 г. Коричневым цветом закрашена часть зоны несплошной мерзлоты, протаявшей на всю мощность либо с поверхности. То-есть, это – территория, с которой южная граница распространения мерзлоты отступила к северу за указанный 35-летний период. Величина такого отступления на площадях, сложенных минеральными грунтами,

составила, в основном 30-40 км на Печорской низменности и до 70-100 км в Приуралье. Розовыми прямоугольниками отображены на Карте установленные на местности несквозные талики и величины возрастания их мощности за рассматриваемый период. Талики появились не только в прибрежной полосе рек и озер, но и на водоразделах и их склонах. Этот факт в сочетании с повышением температуры мерзлоты до значений теплее минус $2\div 2,5^{\circ}\text{C}$ интерпретируется как частичное преобразование зоны сплошной мерзлоты в зону несплошного её распространения. Эта территория выделена на Карте вертикальной штриховкой. Карта сопровождается примечанием, в котором отмечается, что термокарстовые просадки практически повсеместны на площадях, сложенных минеральными четвертичными отложениями.

Всё изложенное показывает, насколько значительны деградиционные преобразования мерзлоты региона, охватившие её в условиях глобального потепления. Поэтому неудивительно, что ощутимое негативное воздействие деградации мерзлоты на разнообразную инфраструктуру региона проявляется уже сейчас. Для оценки этого воздействия на многоэтажную жилую застройку г.Воркуты используем такой показатель как коэффициент деформированности, предложенный Г.Белоцерковской. Он представляет собой отношение степени фактического износа здания к его нормативному износу. Общеизвестно, что по мере увеличения времени эксплуатации зданий и сооружений их осадки постепенно стабилизируются. Поэтому величина упомянутого коэффициента должна со временем приближаться к единице. Именно такая ситуация и отмечается в Воркуте, для зданий, возведенных на таликах, не реагирующих на потепление климата (Figure 6, розовые линии № 5, 6).

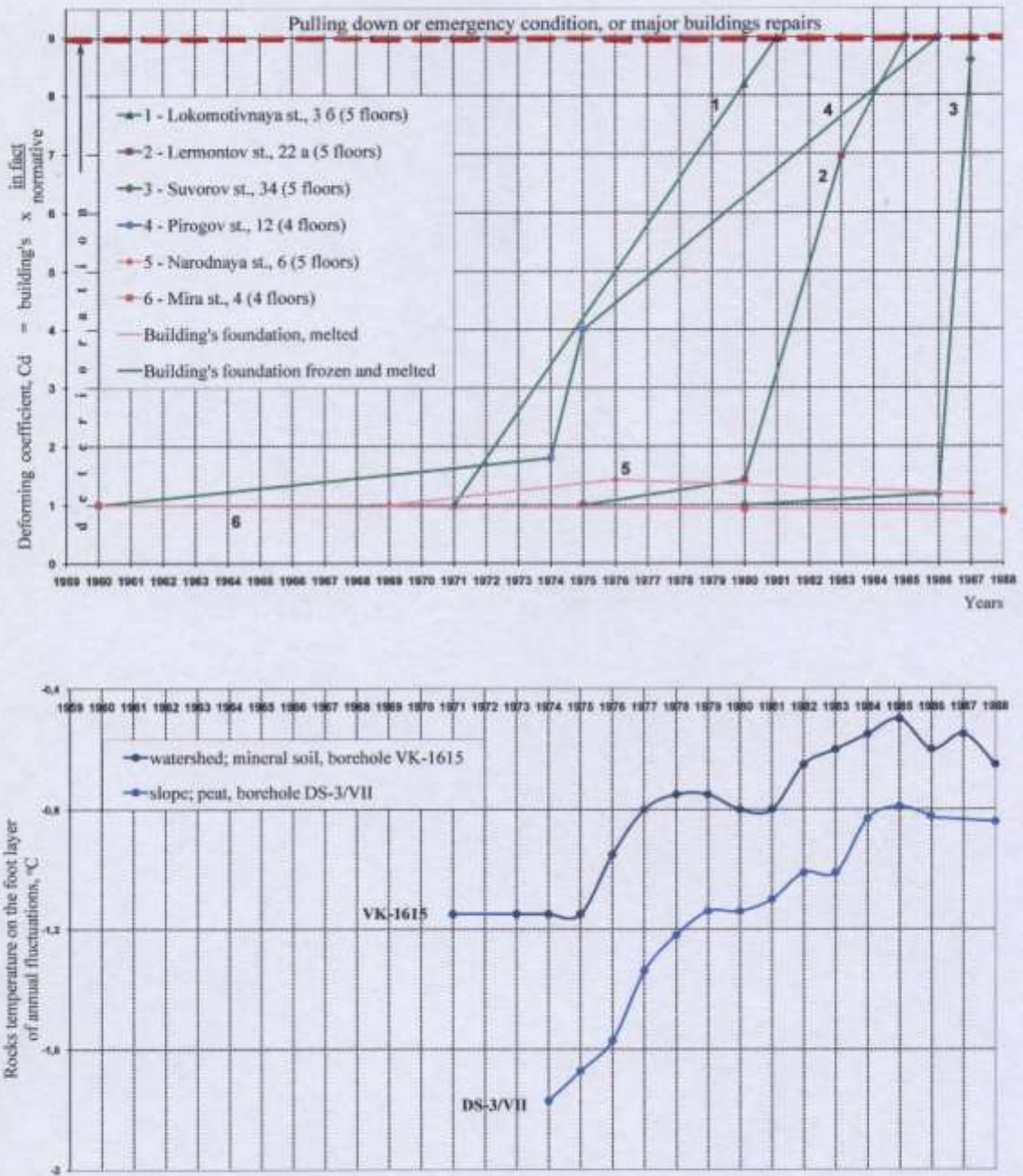


Figure 6. Permafrost temperature regime and accident rate in Vorkuta

Совершенно противоположную картину наблюдаем для зданий, возведенных преимущественно на мерзлоте. Имеются многочисленные примеры возрастания величины рассматриваемого коэффициента до 4-6 и даже 9 единиц. В таких

случаях здания деформируются, приходят в аварийное состояние и подлежат сносу, в лучшем случае – необходим капитальный ремонт их. На фото 1 изображен дом, жители которого отселены, а сам дом подлежит сносу. И это нередко происходит всего через 6-10 лет эксплуатации зданий, при нормативном сроке в 50 лет.



Photo 1. General view of the house №14 on Vorgashor street in Vorkuta. Resident were resettled and the house will be destroyed

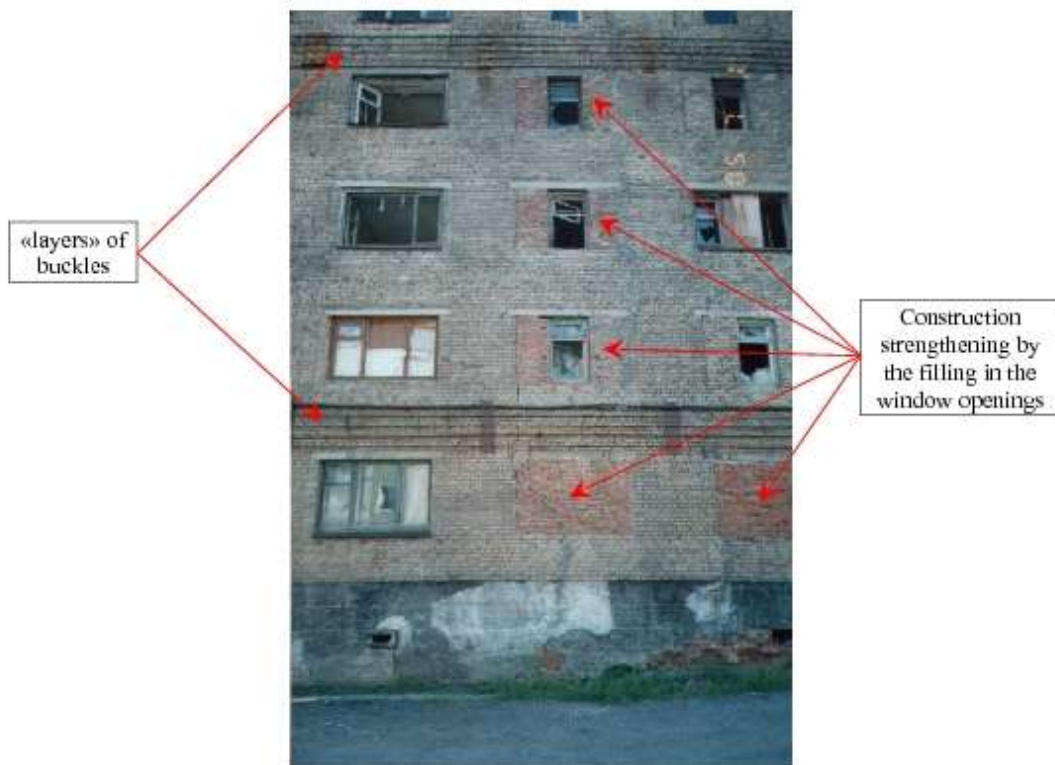


Photo 2. Emergency house №13 (fragment) on Lermontov street in Vorkuta

На фото 2 другой дом, укрепленный поясами стяжек и частичной заделкой оконных проемов. Примечательна приуроченность катастрофических деформаций зданий лишь к одному из трех десятилетий, к 1980-м годам. То-есть, к годам, характеризовавшимся наибольшим повышением в природных условиях температуры мерзлоты, сложенной минеральными четвертичными отложениями и торфом. Figure 6 иллюстрирует вышесказанное. При увеличении до 6-7 лет продолжительности периода, отделяющего дату ввода здания в эксплуатацию от времени проведения предшествовавших инженерно-геологических изысканий, коэффициент деформированности зданий возрастает, по данным Г.Белоцерковской, в несколько раз. Это свидетельствует, по нашему мнению, о возникшем несоответствии изменившихся за прошедшие годы инженерно-геокриологических условий первоначальным проектным решениям. Причиной таких изменений в условиях отсутствия техногенной нагрузки могла быть только естественная деградация мерзлоты.

Есть основания утверждать, что естественные неравномерные термокарстовые осадки земной поверхности послужили одной из причин крупнейшей в мире наземной аварии на нефтепроводе Возей–Головные сооружения. В результате разрывов трубы на рельеф разлилось 160 тыс.тонн нефтесодержащей жидкости. Газопровод Василково–Нарьян-Мар вынуждены были реконструировать уже через несколько лет его эксплуатации. И вновь проектировщики учли только влияние газопровода на мерзлоту, но не учли воздействие на неё изменяющихся климатических условий. Мониторинг опытного **неэксплуатируемого** 45-километрового надземного трубопровода, выполненный институтом ПечорНИПИнефть, показал, что даже сезонные неравномерные термокарстовые осадки земной поверхности вызывают многочисленные аварийные ситуации.

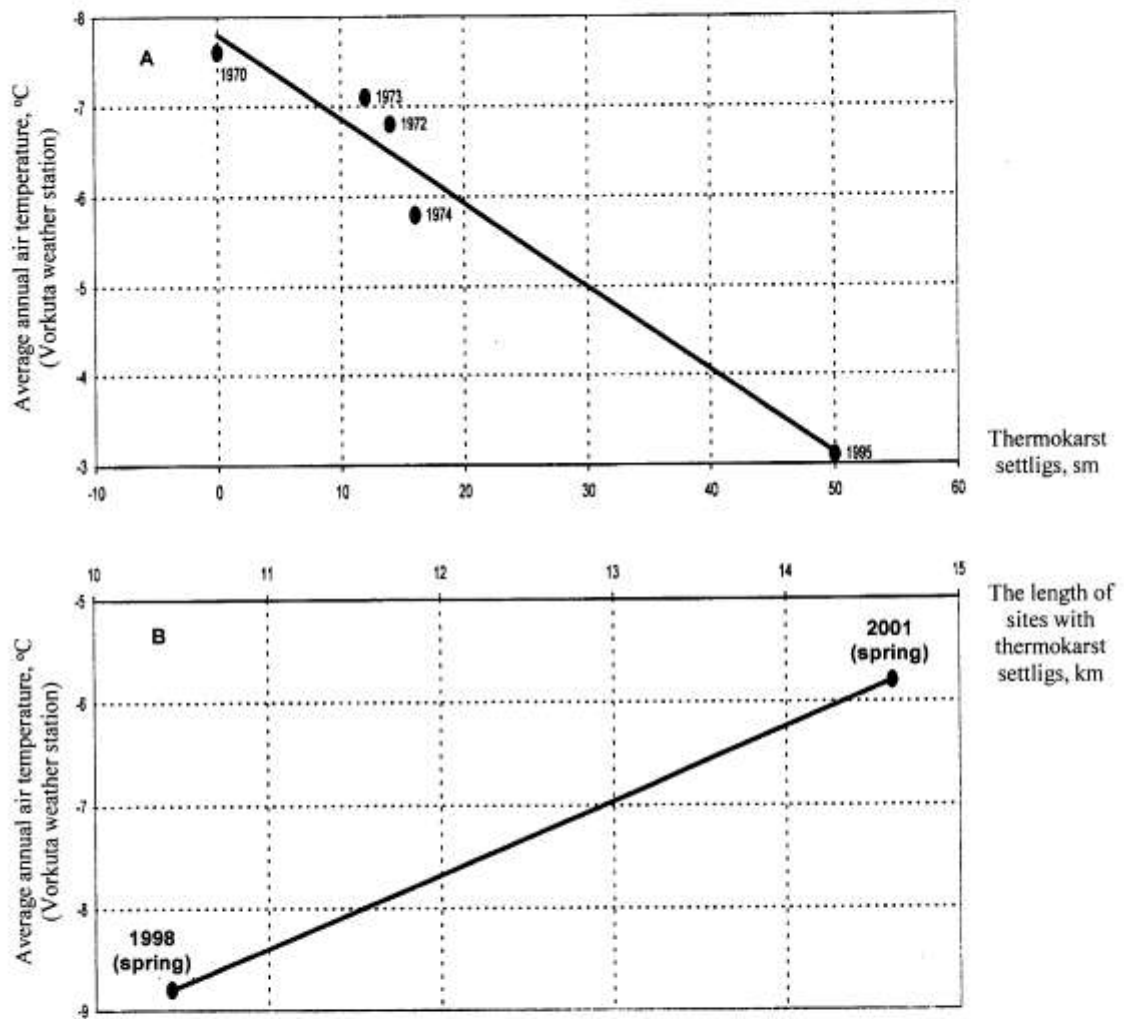


Figure 7. Dependence of thermokarst settlings (A) from average annual air temperature and the length of this sites on the Northern of railway road-bed (B); stage Seyda-Vorkuta

Верхняя часть Figure 7 отражает увеличение глубин ежегодных термокарстовых просадок насыпи по мере потепления среднегодовой температуры воздуха на одном и том же участке полотна Северной железной дороги. Нижняя

часть этого рисунка иллюстрирует увеличение протяженности участков железнодорожного полотна с ежегодными весенними термокарстовыми просадками при повышении среднегодовой температуры воздуха.

Рассмотренные материалы позволяют сформулировать некоторые рекомендации, позволяющие минимизировать либо даже предотвратить негативные последствия естественной деградации мерзлоты для инфраструктуры.

1. При проектировании гражданских и промышленных зданий и сооружений необходимо учитывать естественную динамику мерзлоты за период их строительства и эксплуатации.

2. Нереальность в большинстве случаев успешной борьбы с естественной деградацией высокотемпературной мерзлоты требует более тщательного подхода к принятию проектных решений по возведению и эксплуатации зданий и сооружений с сохранением такой мерзлоты в их основании.

3. Необходимым условием объективного прогнозирования на ближайшее будущее динамики основных параметров мерзлоты, включая опасные экзогенные процессы, является расширение сети мерзлотных и метеорологических наблюдений на ландшафты, пока не охваченные подобным мониторингом. Решить такие задачи можно лишь при объединении усилий и возможностей стран Баренцева Евро-арктического Региона.

4. Для решения задач геокриологического картографирования и мониторинга рекомендуется использовать, кроме того, электрические и электромагнитные методы, разрабатываемые Геологической службой Финляндии совместно с Горногеологической компанией ""МИРЕКО"" при действенном содействии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми.