

## **СЕКЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИНЖЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ»**

**Исаков В.А.**

МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии,  
г. Москва, isakov.gc@gmail.com

### **РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ОСНОВАНИИ СООРУЖЕНИЙ СТАНЦИИ «НИЖНИЙ БЕСТЯХ»**

В настоящее время станция Нижний Бестях является одним из важнейших элементов транспортной инфраструктуры Республики Саха (Якутия). Устойчивость сооружений станции, запроектированных преимущественно по I принципу использования многолетнемёрзлых пород в качестве оснований с применением свайных фундаментов, напрямую зависит от прочности смерзания свай с многолетнемёрзлыми грунтами. Основную роль в обеспечении несущей способности оснований играет температура многолетнемёрзлых грунтов. В условиях интенсивного техногенного воздействия температурное поле в основании сооружений, тем более при плотной застройке, подвергается значительным изменениям, что может неблагоприятно сказаться на устойчивости объектов.

Станция Нижний Бестях находится на поверхности IV Бестяхской террасы реки Лена на абсолютных высотах 136 – 146 м. На данном участке грунты Бестяхской террасы представлены в основном песками мелкими и пылеватыми, находящимися в многолетнемёрзлом состоянии. Основной чертой криогенного строения мёрзлых пород на площадке станции является относительно равномерное распределение льда по разрезу и значительное преобладание базальных и массивных криотекстур при льдистости грунтов от 0,2 до 0,4. Естественная температура мёрзлых грунтов на площадке станции до строительства изменялась в пределах от -1,0 до -2,4°C. Замеры температуры проводились на глубине до 10 м.

Строительство станции началось летом 2010 г., когда была проведена сплошная вырубка леса. Сооружение свайных полей объектов станции началось в 2011 г. и продолжалось до лета 2013 г. В настоящее время общая площадь станции превышает 1,2 км<sup>2</sup>, в пределах которых находится более 100 сооружений различных типов и назначения.

В 2012–2013 гг. сотрудниками Института мерзлотоведения СО РАН и ОАО «Проекттрансстрой» проводились работы по изучению динамики температурного поля в основании сооружений станции Нижний Бестях по данным режимных температурных наблюдений более чем в 100 скважинах. Температурными замерами в марте 2012 года было отмечено значительное (до 2°C) повышение температуры мёрзлых грунтов на глубине 10 м. На многих объектах температура на глубине 10 м не превышала -0,1°C, что критически снижало несущую способность грунтов за счёт сил смерзания и делало

дальнейшие работы по достройке и монтажу объектов крайне затруднительными. Результаты температурных замеров, проведённых в апреле, июне и июле 2012 года, показали, что в результате прохождения «температурной волны», вызванной сезонными колебаниями, на глубине 10 м наблюдается понижение температуры грунтов. При этом средняя по разрезу температура грунтов повышалась по мере прогревания верхних горизонтов мёрзлой толщи (рис. 1).

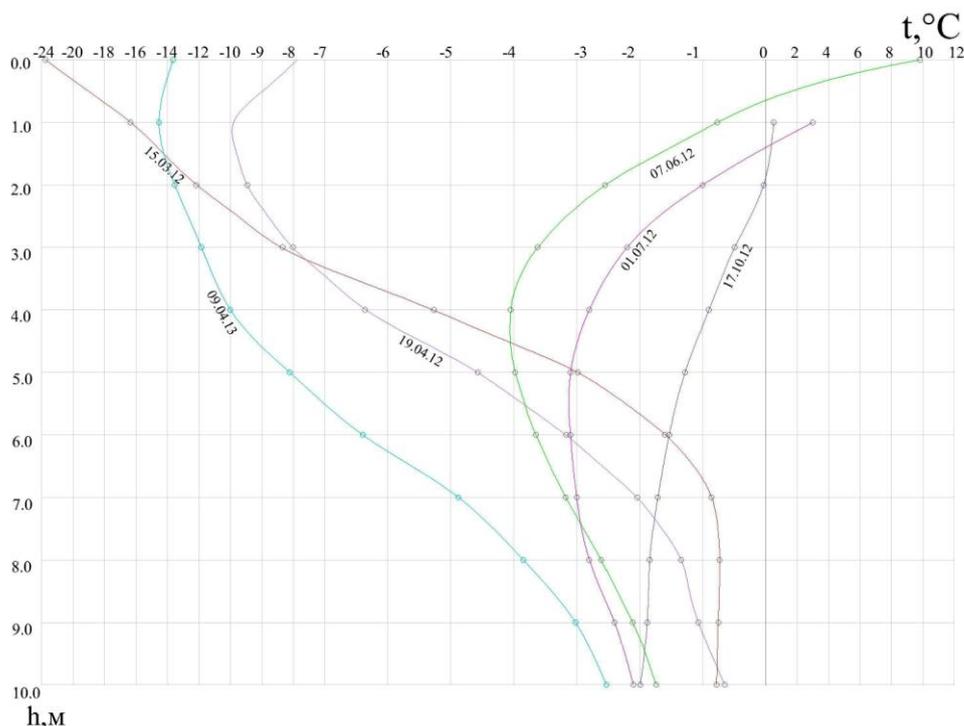


Рис. 1. Температура грунтов в основании сооружения станции «Нижний Бестях» в марте 2012 – апреле 2013 гг.

Незначительное увеличение несущей способности фундаментов за счёт понижения температуры на глубине 10 м в летний период компенсировалось резким снижением сил смерзания боковой поверхности свай с мёрзлыми грунтами. Данный факт показал, что использование как показателя устойчивости мёрзлых толщ температуры на глубине 10 м, в условиях больших сезонных колебаний температуры в грунтах, недостаточно для обоснованной оценки несущей способности грунтов основания.

В качестве альтернативного показателя устойчивости температурного поля, с учётом однородного механического состава, и криогенного строения мёрзлых грунтов в пределах станции, была принята средняя температура многолетнемёрзлых пород, более полно отражающая скорость прохождения «температурной волны» и интенсивность её затухания. Расчёты, проведенные с использованием средней температуры мёрзлых грунтов, позволили более полно отразить сезонное снижение несущей способности грунтов оснований в летний период.

Результаты температурного мониторинга грунтов в основании сооружений, проведенного в октябре 2012 г. (конец тёплого сезона) показали, что на подавляющей части объектов проектная температура в основании не

достигнута, что обусловило необходимость дальнейшего проведения мониторинга температурного поля.

Замеры температуры, проведенные в апреле 2013 г., позволили сделать первые выводы о направленности динамики температурного поля грунтов оснований различных сооружений. По результатам анализа данных термометрических наблюдений за 2012–2013 гг. было выделено 4 группы объектов по характеру изменения температурного поля в их основании.

К первой группе относятся объекты с потенциально неблагоприятным сценарием изменения геокриологической обстановки. К данной группе были отнесены сооружения в динамике температурного поля грунтов оснований, которых отчётливо проявляются деградационные тенденции – повышение температуры грунтов либо отсутствие их охлаждения в зимний период (рис. 2).

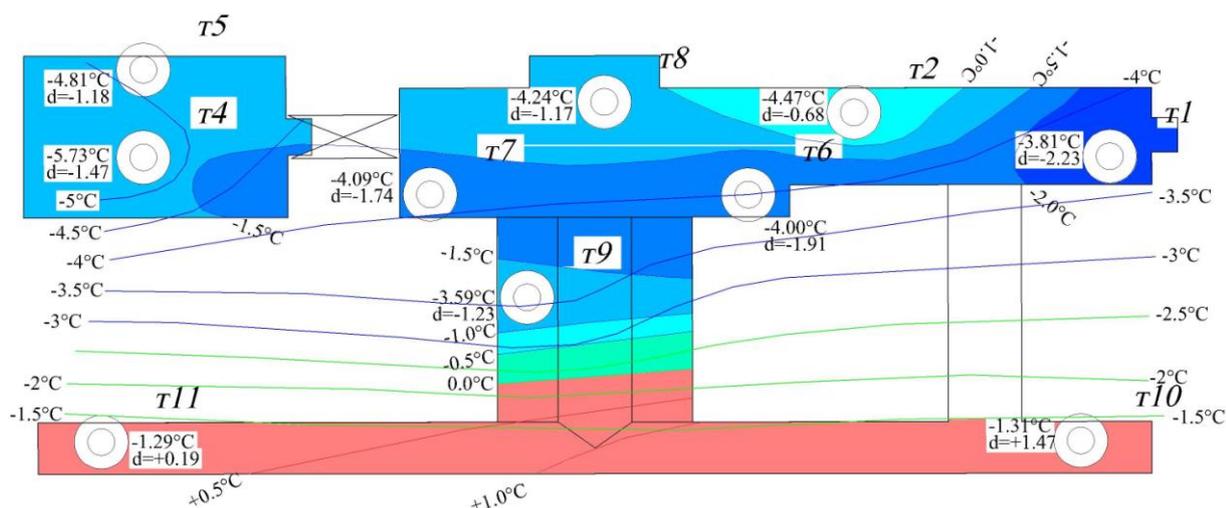


Рис. 2. Характер распределения средней температуры грунтов в основании ж/д вокзала станции Ниж. Бестях, апрель 2013 г. Верхнее значение – средняя температура в скважине на апрель 2013 г., нижнее – изменение средней температуры по сравнению с апрелем 2012 г. Изолиниями показано распределение температуры, послойной окраской – изменение по сравнению с апрелем 2012 г.

Ко второй группе были отнесены объекты с потенциально неустойчивым температурным режимом грунтов оснований. В данной группе были объединены объекты со значительными неравномерностями температурного поля в основании и объекты, где интенсивность охлаждения в зимний период 2012 – 2013 гг. была ниже, чем в предыдущую зиму (рис. 3). Оба этих фактора, напрямую не указывающих на деградацию мерзлых пород в основании сооружения, в то же время позволяют предположить снижение устойчивости грунтов оснований в результате развития неблагоприятных процессов или погодных аномалий.

В третью группу были объединены объекты со значительной дифференциацией интенсивности охлаждения оснований в зимний период (рис. 4). Разница в интенсивности охлаждения мёрзлых грунтов оснований может играть как компенсаторную функцию при неравномерном растеплении мёрзлых грунтов во время строительства, так и вызываться какими-либо неучтёнными

при изысканиях и проектировании факторами, например избыточным снегонакоплением или разогревом поверхности прямой солнечной радиацией.

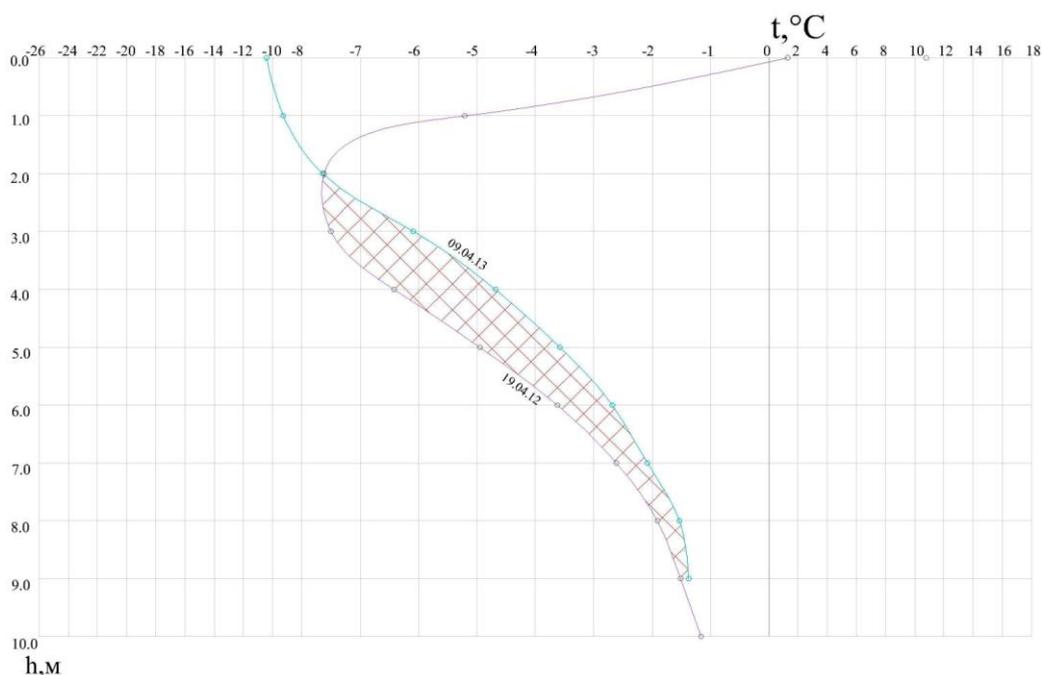


Рис. 3. Температура многолетнемёрзлых грунтов в основании сооружения относящегося ко второй группе. Заштрихована область повышения температуры грунтов в апреле 2013 г по сравнению с апрелем 2012 г.

В последнем случае неравномерность охлаждения, при сохранении в течение нескольких зимних сезонов, может создать значительное различие в несущей способности грунтов оснований, что при равномерной нагрузке и тепловом воздействии может вызвать неравномерные деформации сооружений.

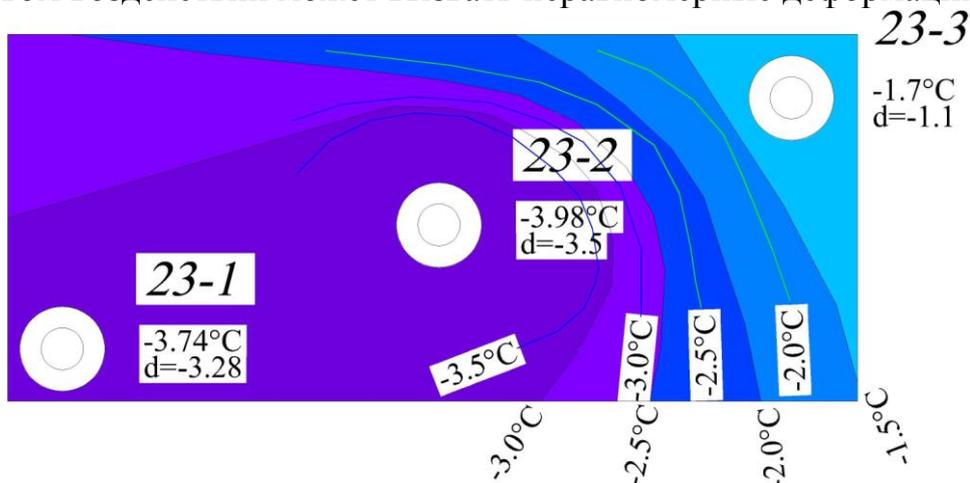


Рис. 4. Характер распределения температуры грунтов в основании сооружения со значительной дифференциацией интенсивности охлаждения оснований в зимний период

Четвертую, наиболее многочисленную (более 50% объектов), группу составляют сооружения с относительно устойчивым состоянием мёрзлых грунтов в основании. По данным термометрических наблюдений, для таких объектов характерно стабильное понижение температуры в зимний период без ярко выраженных неравномерностей температурного поля в разрезе и в плане.

Разделение объектов по группам, характеризующим основную направленность изменения температурного поля в их основании, позволило выдвинуть предложения по оптимизации мониторинговых работ с целью более детального изучения температурного режима объектов групп риска (1-3 группы) за счёт снижения детальности изучения относительно устойчивых объектов (4 группа).

Пространственный анализ значений температуры грунтов в основании сооружений по всей территории станции показал, что температурное поле, сформировавшееся в пределах техногенного влияния, практически не имеет зависимости от естественной температуры мёрзлых грунтов до строительства. Вычисленный для всех сооружений, по которым имеются температурные данные (23 объекта), коэффициент корреляции между температурой грунтов на площадках строительства до начала освоения (осень-зима 2009 г) и в основании сооружений в октябре 2012 г. составил 0,2, между естественными условиями и апрелем 2013 г. -0,14. Такие значения коэффициента корреляции указывают на формирование совершенно новых условий теплообмена и низкой инертности температурного поля под влиянием техногенной нагрузки.

В целом, по результатам проведенных мониторинговых работ можно сделать следующие выводы:

1. Приложение техногенной нагрузки увеличило термодинамическую нестабильность мёрзлых грунтов на площадке станции Нижний Бестях. На глубине 10 метров колебания температуры грунтов могут составлять до 2°C, на глубине 5 м -5°C и более

2. В условиях значительных сезонных колебаний температуры мёрзлых грунтов более предпочтительным для оценки устойчивости массивов мёрзлых грунтов в основании сооружений является показатель средней температуры мёрзлых грунтов, чем температура на глубине 10 м

3. Выделено 4 группы сооружений по характеру изменения температурного поля мёрзлых грунтов в их основании, что позволило выработать рекомендации по оптимизации системы температурного мониторинга и инженерной защите сооружений

4. Температурное поле мёрзлых грунтов в основании станции Нижний Бестях отличается высокой динамичностью и низкой инертностью, что может вызвать снижение несущей способности грунтов в случае увеличения техногенной нагрузки, неблагоприятных погодных аномалий или климатических изменений