

## КЛАССИФИКАЦИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

*ИГНАТОВ С. В.<sup>1</sup>, МОСКАЛЬКОВА Ю. Г.<sup>2</sup>, БАРИЛОВА И. В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

<sup>2</sup> Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

**Введение.** В соответствии ТКП 45-1.04-305-2016 [3, 7] строительные конструкции и сооружения должны быть запроектированы с достаточной надежностью и безотказностью их работы – способность сохранять заданные эксплуатационные качества в течении установленного срока службы. Здания и сооружения соответственно должны проектироваться исходя из критериев безотказной работы всех его частей под влиянием внешних воздействий, в том числе климатических условий района проектирования.

При возведении любого строения особое влияние уделяется проектированию фундамента. От того, насколько правильно запроектирован фундамент, зависит прочность всего здания или сооружения. При проектировании фундамента учитываются все факторы, которые могут повлиять на несущую способность строения. Одними из таких факторов являются инженерно-геологические условия строительной площадки и климатические особенности местности.

Выбор глубины заложения – очень важный момент в проектировании фундамента. Глубина заложения зависит от гидрогеологических (уровень грунтовых вод) и геологических характеристик пятна застройки, от климатических условий, особенностей конструкции будущего здания (наличие подвала, этажность, конструктивная схема и т. д.), от величины нагрузки и направления воздействий на основание.

Глубина промерзания грунта – нормативное понятие, которое описывает среднестатистическую глубину, на которую основание промерзает в холодное время года. Для расчета глубины

промерзания берется среднестатистический показатель сезонного промерзания в конкретном регионе за последние 10 лет.

Глубина промерзания грунта зависит в первую очередь от месторасположения участка (север или юг Беларуси), а также еще от двух основных факторов – среднестатистических минусовых температур в конкретных регионах и типа грунта. Косвенным фактором, влияющим на глубину промерзания грунта, является толщина снежного покрова, которым укрыт грунт: чем он толще, тем меньшей будет глубина промерзания.

Классификация территории РБ по географическим показателям

Для определения климатических условий республики произведен анализ территории по климатическому районированию согласно ТКП 45-3.03-19-2006\* «Автомобильные дороги. Нормы проектирования» [1] и СНБ 2.04.02-2000 «Строительная климатология» [6].

Согласно [6] все климатические параметры рассчитаны по данным многолетних наблюдений метеорологических станций Государственного комитета по гидрометеорологии Республики Беларусь. Период наблюдений, используемый для расчетов, зависит от временного разрешения параметра. Территория республики расположена в основном в нормально-влажностном подрайоне (рис. 1).



Рис. 1. Схематическая карта районов влажности и климатического районирования Республики Беларусь для строительства согласно СНБ 2.04.02-2000

Районы влажности в республике выделены по комплексному показателю (К), рассчитанному по формуле:

$$K = \frac{41,9H\varphi}{Q\sqrt{A}}, \quad (1)$$

где Н – средняя за месяц безморозного периода количество осадков, мм;

φ – относительная влажность за 15 ч самого теплого месяца, %;

Q – годовая сумма суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность, МДж/м<sup>2</sup> ;

A – годовая амплитуда (разность средней месячной температуры воздуха июля и января), °С.

Климатическое районирование республики для строительства (рис. 1) осуществлено на основании средней месячной температуры воздуха в январе и июле, средней скорости ветра за три зимних месяца, средней месячной относительной влажности воздуха в июле. Температурные условия республики, которые приведены в [6, табл. 3.11] (средняя температура января – от минус 4,5 до минус 8,3 °С) определяют район II, а средняя скорость ветра (от 2,7 до 4,9 м/с) и средняя месячная температура июля (от 17,0 до 18,5 °С) определяют подрайон ПВ. Этому не препятствует и относительная влажность воздуха в июле, которая составляет от 71 до 77 %.

Рассмотрим схематическую карту расположения дорожно-климатических районов согласно [6] (рис. 2).

Основным условием обеспечения устойчивости и прочности системы «дорожная одежда – земляное полотно» является недопущение переувлажнения или чрезмерного колебания влажности грунта земляного полотна.

Важнейшими источниками увлажнения и климатическими факторами, влияющими на водно-тепловой режим, являются географическое положение, испарение, амплитуда и быстрота колебаний температуры воздуха и почвы, продолжительность периода отрицательных температур, направление и скорость ветра, мощность снежного покрова, глубина промерзания грунта, миграция воды, застаивающаяся в боковых канавах, затрудненный поверхностный сток и вода, поступающая от грунтовых вод.



Рис. 2. Расположение дорожно-климатических районов согласно ТКП 45-3.03-19-2006\*

Классификация типов местности и грунтов приведена в табл. 1.

Таблица 1

Типы местности по характеру и степени увлажнения согласно [1]

Тип местности	Источники увлажнения	Характерные признаки
1 (сухие места)	Атмосферные осадки	Поверхностный сток обеспечен. Подземные воды не оказывают влияния на увлажнение грунтов. Почвы без признаков заболачивания
2 (сырые места)	Кратковременные стоящие (до 30 сут) поверхностные воды; атмосферные осадки	Поверхностный сток не обеспечен. Рельеф местности равнинный. Весной и осенью возможен застой воды на поверхности почвы. Подземные воды не оказывают влияния на увлажнение грунтов. Почвы с признаками заболачивания
3 (мокрые места)	Грунтовые или длительно стоящие (более 30 сут) поверхностные воды; атмосферные осадки	Источники увлажнения оказывают влияние на увлажнение почвы и грунтов независимо от условий поверхностного стока. Почвы заболоченные

Исходя из этого можно сделать вывод, что при проектировании дорог и фундаментов здания к основаниям предъявляются различ-

ные требования. Это хорошо просматривается на схематических картах расположения климатических районов и картах районов влажности согласно [1, 6]. Схематическая карта районов влажности и климатического районирования Республики Беларусь для строительства в [1] недостаточно подробно учитывает температурный режим республики и учтена влажность воздуха.

**Рельеф и опасные геологические процессы, как фактор влияния на конструкцию фундамента.** Рельеф в Беларуси носит равнинный характер. Рельеф территории республики складывается из существенного преобладания плоских и пологоволнистых равнин и низменностей, речных долин и грядово-бугристых комплексов. Возвышенности, которые занимают треть территории, расположены в западной и центральной частях страны.

Факторы формирования рельефа:

- геологическое строение;
- древние оледенения;
- древние и современные водные потоки;
- ветер;
- хозяйственная деятельность человека.

Геологические процессы, протекающие в основаниях, представляют серьезную опасность при возведении зданий и сооружений. Своевременно проведенные инженерно-геологические изыскания позволяют своевременно выявить и изучить эти процессы и выбрать наиболее оптимальный тип фундамента.

Согласно СНБ 2.03.01-98 «Геофизика опасных природных воздействий» [2] при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, а также при проектировании их инженерной защиты необходимо выявлять геофизические воздействия, вызывающие проявления и (или) активизацию опасных природных (геологических, гидрометеорологических и др.) процессов. При выявлении опасных геофизических воздействий и их влияния на строительство зданий и сооружений следует учитывать категории оценки сложности природных условий, приведенные в [2, табл. 2].

В отличие от нормативных документов, можно привести следующую трактовку определения категории сложности инженерно-геологических условий (табл. 2).

Таблица 2

## Категории сложности инженерно-геологических условий

Критерии	Характеристика	Баллы
Рельеф	Ровный	0
	Неровный	1
	Расчлененный	2
Количество предварительно выделенных по зондированию инженерно-геологических элементов	Простые < 3	0
	Средней сложности (3–5)	1
	Сложные > 5	2
Характер пространственной изменчивости свойств грунтов по зондированию	Стационарная по площади и глубине	0
	Нестационарные по глубине и стационарная по площади	1
	Нестационарные по глубине и площади	2
Степень изменчивости сжимаемости основания по зондированию	Сильная $\alpha > 5$	2
	Средняя $\alpha = 3 - 5$	1
	Слабая $\alpha < 3$	0
Глубина залегания грунтовых вод с учетом прогнозируемого уровня	Грунтовые воды залегают ниже сферы взаимодействия	0
	Грунтовые воды залегают ниже сферы взаимодействия, но ниже глубины заложения фундаментов	1
	Грунтовые воды залегают в пределах заложения фундаментов	2
Физико-геологические процессы и явления	Отсутствуют	0
	Пассивные	1
	Активные	2

Путем суммирования баллов в соответствии с предложенными критериями можно привести следующую квалификацию:

- от 0 до 4 баллов – I категория сложности (простые условия);
- от 4 до 8 баллов – II категория сложности (средняя сложности);
- от 8 до 12 баллов – III категория сложности (сложные условия).

Современные инженерно-геологические процессы протекают достаточно быстро, что обусловлено динамичностью всей инженерно-геологической обстановки.

Важной особенностью геологических процессов является их неровномерное протекание по поверхности грунтов в пределах различных регионов, областей и районов. Территория Беларуси по

видам экзогенных геологических процессов (далее – ЭГП) можно разделить на 3 зоны: северную, центральную и южную [5].

Северная зона в границах северного Поозерья характеризуется относительно небольшими масштабами развития ЭГП. В долине Западной Двины при подрезке склонов наблюдаются слабое развитие оползней и оврагообразование. В связи с наличием уклонов поверхности (в среднем  $30^\circ$ ), распространением почти повсеместно слабофильтрующих материнских пород здесь значительно выражен плоскостной смыв почв.

На отдельных озерах (Нарочь, Мядель и др.) имеет место озерная абразия, сопровождающаяся развитием осыпей и обвалов. На мелиорированных землях при сухой погоде в весеннее время (апрель, май) и в начале лета (июнь) наблюдаются случаи ветровой эрозии (дефляции). В целом пораженность ЭГП не превышает 20 % территории.

Центральная зона характеризуется наибольшим размахом развития ЭГП как по количеству, так и по видам, причем отдельным районам свойственны свои особенности развития процессов. В центральной зоне закономерно выделяются районы распространения плоскостной эрозии, оврагообразования, оползней и обвалов. В несколько больших масштабах, чем в северной зоне, развиты здесь процессы ветровой эрозии (дефляции).

В пределах Белорусской гряды, где имеются значительные площади водосборов, активизированы процессы плоскостной эрозии, а на участках крупных склонов – оползни, осыпи (особенно при подрезке склонов).

Оврагообразование – наиболее распространенный вид процесса, развивающийся на участках распространения лессовидных отложений на Новогрудской и в меньшей степени Минской возвышенностях, в пределах Оршанско-Могилевского плато и на склонах речных долин и их притоков.

Все названные процессы значительно активизировались в результате интенсивного освоения территории. Активный рост оврагов на участках, где они раньше не развивались, а также повторные врезы обусловлены не столько региональными особенностями территории, сколько вмешательством человека.

Южной зоне свойственны иные виды и условия ЭГП по сравнению с северной и центральной. Эта зона располагается в

пределах Белорусского Полесья. Развиваются процессы ветровой эрозии – эоловые в пределах надпойменных (боровых) террас и зандровых равнин, дефляция и минерализация на осушенных торфомасивах. Вследствие сухости климата, наличия значительных площадей, не защищенных растительностью, ветровая эрозия получила региональные формы развития. В пределах речных долин и их притоков широко распространены оползни, осыпи и обвалы и четко прослеживается влияние современных положительных движений земной коры.

**Геологическое строение территории РБ в глубинах, подверженных влиянию строительной деятельности.** Грунтовая толща – толща горных пород, находящаяся в зоне активного влияния зданий и сооружений. Четвертичные отложения на территории Беларуси повсеместно являются оснований практически всех зданий и сооружений. Выделяются три характерные области по содержанию обломочных фракций – северная, средняя и южная (рис. 2).

В северной части – зона 1 – республики (рис. 2) в области поозерского оледенения отложения представлены в виде ледниковых и водно-ледниковых образований, которые занимают около 40 % площади от поозерского оледенения. Моренные отложения в границах нахождения ледника являются очень распространенными и образуют обширные моренные равнины. Преобладающими грунтами в таких отложениях являются супеси и суглинки, реже глины. Для верхней части грунтовой толщи свойственна сланцеватость. Так же в поозерной марене встречаются внутриморенные образования, представленные в виде линз, гнезд, карманов различных песков, галечника, ленточных глин.

Широкое распространение получили ледниково-озерные отложения в пределах Полоцкой и Дисненской низин. Ледниково-озерные грунты обладают параллельной горизонтальной слоистостью. В северо-западном и северо-восточном направлениях эти грунты замещаются или перекрываются флювиогляциальными песками (мелкие пески с редким включением гравия и единичной гальки).

Косо- и диагональнослоистые текстуры присущи отложениям более грубого состава и представлены разнозернистыми песками, иногда гравием. Такие грунты обычно характерны для прибрежной зоны ранее существовавшего водоема.



В северной части республики так же встречаются ленточные глины. Они обладают высокой анизотропией благодаря особенностям микроструктуры. Таким глинам свойственна высокая пористость и высокая естественная влажность. Данный тип грунтов в естественном состоянии может выдерживать 0,3–0,4 МПа без значительных деформаций.

Центральная зона – зона 2 (см. рис. 2) – обладает разнообразием грунтов как по вещественному составу, так и по прочностным и деформативным свойствам. В пределах Березинской равнины часто встречаются флювиогляциальные пески. Они плотные и средней плотности, маловлажные.

На Минской возвышенности широко распространены моренные супеси и суглинки. Моренные отложения имеют значительную плотность и слабую сжимаемость, но при переувлажнении превращаются в текучепластичные. Это свойства моренных грунтов проявляется в верхней зоне мощностью 1,5–2,0 м там, где отсутствует растительный слой.

Лессовидные супеси и суглинки получили распространение на Минской, Новогрудской возвышенностях, в пределах Копыльской, Ошмянской гряд, Оршанско-Могилевского плато. В ряде разрезов (Минск, Дзержинск) в таких отложениях наблюдается слоистость. На основной части территории просадочность лессовидных супесей и суглинков отсутствует.

Около 10 % территории Беларуси занимают лессовидные грунты, расположены в основном отдельными участками и островами. Наиболее крупные из них в геоморфологическом отношении находятся в пределах Оршанско-Могилевского плато, Минской и Новогрудской возвышенностей, Мозырско-Брагинской и Копыльской гряд. Лессовидные грунты обычно залегают с другими типами отложений – моренными, флювиогляциальными, озерными, аллювиальными и др. Просадочные свойства наиболее характерны для лессовидных отложений Горецкого, Мстиславского и Новогрудского районов. Значительные материальные потери связаны с деформативными процессами в набухающих грунтах, широко развитых в центральной области. Особенно отчетливо они проявились в Солигорском горнопромышленном районе, где имели место деформации зданий и сооружений, выход из строя подземных коммуникаций и др.

Южная зона – зона 1 (см. рис. 2) – имеет сложное строение на глубине заложения фундаментов зданий и сооружений и представлена в основном песками. На отдельных участках пески перекрываются лессовидными слабopосадочными супесями и суглинками. В составе отложений встречаются желтые, мелкие пески с бурыми прослоями ожелезнения, что позволяет отнести их к категории плотных, цементированных грунтов.

Южная область занимает территорию Белорусского Полесья, где широко распространены отложения речных террас. На геологических разрезах в составе аллювиальных отложений, покрывающих супесчано-суглинистую толщу, повсеместно преобладают слоистые мелкие пески с высоким содержанием тонкодисперсной фракции и выдержанным литологическим составом по простиранию. При проектировании сооружений должно учитываться наличие на малых глубинах (порядка нескольких метров) супесей и суглинков, обладающих высокой степенью просадочности, что подтверждено бурением разведочных скважин.

Главные генетические типы четвертичных отложений Беларуси представлены на рис. 3.

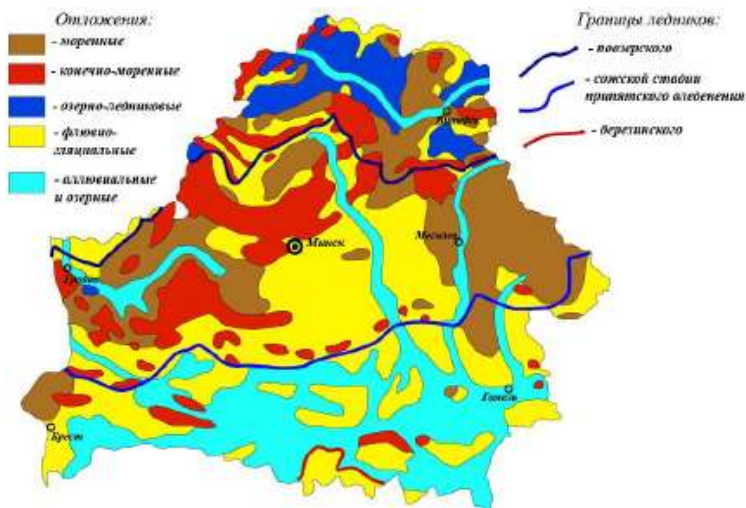


Рис. 3. Главные генетические типы четвертичных отложений Беларуси

**Влияние грунтовых вод на конструкцию фундаментов и технологию их возведения.** Движущая вода – жидкость, содержащая растворимые соли, газы, органические вещества, коллоиды. Количественное соотношение между отдельными компонентами обуславливают физические свойства и химический состав.

При анализе режима подземных грунтовых вод и их движения необходимо установить режимобразующие факторы (региональные и локальные): глубину залегания, вид (грунтовые напорные, безнапорные, «верховодка»), утечки из коммуникаций, водоемов), химическую агрессивность воды по отношению к материалу фундамента, прогноз изменения (повышения или понижения), развитие водоупорных слоев, по каким движется вода.

Высокое положение уровня подземных вод сказывается на:

- затоплении котлованов и выработок при производстве строительно-монтажных работ, а в будущем – на затопление подвальных помещений, коммуникационных каналов и т. д.;

- усложнении производства работ при отрывке котлована, так как мелкие и пылеватые пески могут переходить в состояние «ложного» плывуна, что требует длительной откачки воды или водопонижения, дополнительного крепления стенок котлована и т. д.;

- снижении прочности пылевато-глинистых грунтов, проявлении просадочных свойств, набухании-усадке и выщелачивании грунтов;

- устойчивости и состоянию полов по грунту, заглубленных помещений, откосов и др.;

- пучении грунтов при их промерзании, просадке при оттаивании;

- активации инженерно-геологических процессов (оползни, просадки, размыв склонов, прорыв воды и др.).

Изменения в грунтах начинаются с повышением влажности, которая является причиной дальнейшего изменения физико-механических свойств грунтов – особенно пылевато-глинистого грунта, – а также состава и свойств грунтовых вод. Главным фактором является положение грунтовых вод и возможность их капиллярного поднятия. По коэффициенту фильтрации грунты делятся на водонепроницаемые, слабо водопроницаемые, водопроницаемые, сильно водопроницаемые и очень сильно водопроницаемые.

Схематическая карта основных водоносных горизонтов и комплексов согласно [4] приведена на рис. 4.



Рис. 4. Схематическая карта основных водоносных горизонтов и комплексов [4]

При подтоплении территории или снижения в процессе эксплуатации грунтовых вод на бетоне фундаментов развиваются агрессивные процессы трех видов:

- агрессия I вида – характеризуется выщелачиванием растворимых компонентов бетона (показатель оценки агрессивности воды – бикарбонатная щелочность);

- агрессия II вида – образование растворимых соединений (показатель оценки агрессивности воды – водородный показатель pH, содержание свободной углекислоты, содержание ионов кальция и магния, содержание едких щелочей);

- агрессия III вида – образование и накопление в бетоне мало-растворимых солей, увеличивающихся в объеме при твердении (показатели оценки агрессивности воды – содержание сульфатов, хлоридов и т. д.).

Для защиты земляных сооружений от подтопления при возведении фундаментов могут использоваться следующие методы: водо-

понижение; противofильтрационные завесы; комбинация первых двух методов.

Строительное водопонижение – искусственное понижение уровня грунтовых вод (УГВ) для создания более благоприятных и безопасных условий производства земляных работ.

Водопонижение может быть: глубинное; открытый водоотлив.

Открытый водоотлив применяется при малоразмываемых грунтах и породах и при малом прямом поступлении воды. Воду откачивают непосредственно из котлованов. На дне выработки устраивают сеть канавок глубиной 0,3–0,6 м, по которым вода отводится в приямок (зумпф), откуда вода откачивается насосами.

Глубинное понижение предотвращает просачивание подземных вод через откосы и дно котлована. Осуществляется при помощи иглофильтровых установок или откачкой воды из глубинных трубчатых колодцев.

Противofильтрационные завесы – преграда для фильтрационного водного потока. В зависимости от рода грунта и его инженерно-геологических свойств для устройства противofильтрационных завес применяют цементацию, горячую и холодную битумизацию, глинизацию и другие способы.

Необходимость защиты фундаментов от подземных вод обусловлена тем, что воды оказывают негативное влияние на состояние строительных конструкций и условия эксплуатации заглубленных и надземных помещений. Поэтому в практике строительства различные способы защиты конструкций от этих воздействий можно разделить на три основные группы:

- защита от проникновения атмосферных осадков путем отвода дождевых и талых вод;
- устройство дренажных систем;
- устройство различных типов гидроизоляции.

Выбор методов защиты зависит от топографических и гидрогеологических условий строительной площадки, сезонного колебания и возможного изменения уровня грунтовых вод, их агрессивности, особенности конструкций и назначения заглубленного здания.

#### **Заключение:**

1. При выполнении анализа двух нормативных документов – ТКП 45-3.03-19-2006\* и СНБ 2.04.02-2000 – было выявлено, что

классификация климатического и влажностного районирования территории РБ отличаются. В ТКП 45-3.03-19-2006\* учитывается влажность грунта, что более важно при устройстве основания. При этом СНБ 2.04.02-2000 более детально учитывает климатические особенности территории, что влияет на определение глубины заложения фундаментов.

2. При рассмотрении особенностей рельефа и опасных геологических процессов были определены категории сложности при производстве земляных работ, которые должны учитываться при проектировании оснований и фундаментов с целью разработать безопасные методы производства работ и сократить сроки строительства.

3. Так как на территории республики в основном четвертичные отложения служат основанием для фундаментов, то в разных регионах страны применяются разные типы фундаментов. Так, например, в южной зоне преобладают просадочные грунты, и наиболее оптимальным видом фундаментов в данной части республики будет свайный.

4. Подземные воды пагубно влияют на земляные сооружения в процессе производства работ и на заглубленные конструкции в процессе эксплуатации. При фильтрации из грунта вымываются частицы, что приводит к просадкам, провалам, а также изменению свойств грунта. Поэтому защита от подземных вод должна производиться как в процессе строительства, так и в процессе эксплуатации, чтобы не произошли потери прочности основания, и строительные заглубленные конструкции не подвергались пагубному воздействию подземных вод.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомобильные дороги. Нормы проектирования: ТКП 45-3.03-19-2006. – Введ. 01.07.2006 – Минск: М-во архитектуры и стр-ва, 2018. – 45 с.

2. Геофизика опасных природных воздействий: СНБ 2.03.01-98. – Введ. 01.07.1998. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва, 1998. – 7 с.

3. Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность: ТР 2009/013/ВУ. – Введ. 01.08.2010. – Минск : Гос-стандарт, 2015. – 27 с.

4. Национальный атлас Беларуси. – Минск: Комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии при совете министров Республики Беларусь, 2002. – 496 с.

5. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.01-254-2012. – Введ. 01.07.2012. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва, 2019. – 107 с.

6. Строительная климатология: СНБ 2.04.02-2000. – Введ. 01.07.2001. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва, 2001. – 37 с.

7. Техническое состояние и техническое обслуживание зданий и сооружений. Основные требования: ТКП 45-1.04-305-2016\*. – Введ. 01.04.2017. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва, 2020. – 111 с.

УДК 624.151.5

## BEHAVIOR OF WORK OF PILES IN SEASONALLY FREEZING SOIL

*ZHUSSUPBEKOV A. ZH., TLEULENOVA G. T.*

Director of Geotechnical Institute

Nur-Sultan, Kazakhstan

**Abstract.** In this paper presented results of load and settlement variations were investigated for the construction site “Prorva”, located in the western region of Kazakhstan. Study behavior of work of piles in seasonally freezing soils ground depends on several factors negative temperature, thickness of active layer, average duration of freezing and frozen conditions, frost heaving amount. Maximum load of piles are 1639 kN, settlement is 4,43 mm in winter periods, and 6,76 mm in seasonally freezing soil respectively.

**Аннотация.** В данной статье представлены результаты нагрузки-осадки свайных фундаментов в сезоннопромерзающих грунтах на объекте «Прорва», расположенный в западном регионе Казахстана. Изучение поведения работы свайных фундаментов зависит от нескольких факторов отрицательной температуры, глубины промерзания, продолжительность промерзающих и мерзлых условий, величины морозного пучения. Максимальная нагрузка на сваю со-