

УДК 550(571.54/.55)

**ИЗМЕНЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОД ВЛИЯНИЕМ
ИНЖЕНЕРНО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА
(НА ПРИМЕРЕ ОДНОГО ИЗ МНОГОКВАРТИРНЫХ
ЖИЛЫХ ДОМОВ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ)**

^{1,2}Шестернев Д.Д.¹ФГБУН «Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова» СО РАН, Якутск, e-mail: shdd@inbox.ru;²ОАО «Забайкальский трест инженерно-строительных изысканий», Чита

Строительство различных зданий и инженерных сооружений в некоторых случаях приводит к ухудшению физико-механических свойств грунтов. В результате ухудшения несущей способности грунтов появляются деформации зданий и инженерных сооружений. В статье рассматривается, как изменяются инженерно-геологические условия территории при строительстве жилого дома в г. Чите за период с 2016 по 2018 г. Для отслеживания динамики изменений были проведены полевые, лабораторные и камеральные работы. Инженерно-геологические исследования были выполнены в соответствии с действующими нормативными документами для строительства. В статье приводятся, как изменяются основные физико-механические свойства грунтов, а также изменившиеся инженерно-геологические разрезы на 2016–2018 гг. В статье показано, что от момента выполнения инженерно-геологических изысканий и до строительства жилого дома в основании фундаментов появляются мерзлые грунты типа «перелеток», которые потом деградируют, формируется техногенный водоносный горизонт, который приводит к замачиванию грунтов под фундаментом и, соответственно, к ухудшению несущей способности грунтов. На момент выполнения дополнительных инженерно-геологических исследований в 2018 г. замачивание грунтов продолжается, а мощность этих грунтов увеличивается. Изменение инженерно-геологических условий площадки вследствие влияния техногенного вмешательства привело к существенному снижению несущей способности грунтов в деятельном слое и в сжимаемой зоне от сооружения, что в дальнейшем приведет к существенному удорожанию строительства многоэтажного здания из-за дополнительных мероприятий, связанных с укреплением грунтов основания, а также, возможно, к усилению конструкций здания. В то же время, как показали исследования на сопредельной территории, не затронутой техногенным влиянием, изменение инженерно-геологических условий не произошло. На основании выполненных исследований приводятся выводы об изменении инженерно-геологических условий, о необходимости выполнения дополнительных работ и мониторинга этого объекта для разработки мероприятий по улучшению несущей способности грунтов.

Ключевые слова: геологическая среда, инженерно-геологические условия, грунты, физико-механические свойства, несущие характеристики, инженерно-геологический элемент, техногенное воздействие, замачивание грунтов, сжимаемая зона

**CHANGES IN THE ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS
OF THE CONSTRUCTION SITE UNDER THE INFLUENCE
OF HUMAN ENGINEERING AND ECONOMIC ACTIVITY
(ON THE EXAMPLE OF ONE OF THE MULTI-APARTMENT
RESIDENTIAL BUILDINGS IN CENTRAL TRANSBAIKALIA)**

^{1,2}Shesternev D.D.¹Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, e-mail: shdd@inbox.ru;²Transbaikal Trust Engineering and Construction Survey, Chita

The construction of various buildings and engineering structures in some cases leads to a deterioration of the physical and mechanical properties of soils. As a result of deterioration of the bearing capacity of soils, deformations of buildings and engineering structures appear. The article examines how the engineering and geological conditions of the territory change during the construction of a residential building in Chita for the period from 2016 to 2018. To track the dynamics of changes, field, laboratory and desk work was carried out. Engineering and geological studies were carried out in accordance with the current regulatory documents for construction. The article describes how the main physical and mechanical properties of soils change, as well as the changed engineering and geological sections for 2016–2018. The article shows that from the time of execution of geological surveys and to build a house at the base of the Foundation appears frozen soils type «paraletic», which are then degraded, forming a technogenic aquifer, which leads to the soaking of the soil under the Foundation, and consequently, deterioration of the bearing capacity of the soil. At the time of additional engineering and geological studies in 2018, soaking of soils continues, and the capacity of these soils increases. The changes of engineering-geological conditions of the site due to the influence of man-made interventions led to a significant reduction in the bearing capacity of soils in the active layer and in the compressible area of construction that will further lead to a significant uptick in construction of multi-storey buildings due to additional activities related to strengthening of the Foundation soils, and, possibly, to the strengthening of building structures. At the same time, studies have shown that there was no change in engineering and geological conditions in the adjacent territory, which was not affected by technogenic influence. Based on the performed studies, conclusions are drawn about changes in engineering and geological conditions, the need for additional work and monitoring of this object for the development of measures to improve the bearing capacity of soils.

Keywords: Geological environment, engineering and geological conditions, soils, physical and mechanical properties, bearing characteristics, engineering and geological element, man-made impact, soil soaking, compressible zone

Для резкого изменения геологической среды необходимо, чтобы на нее было оказано внешнее влияние посредством появившихся или изменившихся природных и техногенных факторов. В природе при отсутствии влияния инженерно-хозяйственной деятельности человека изменение компонентов геологической среды происходит, как правило, довольно медленно. На появившееся техногенное влияние геологическая среда реагирует более быстро и остро, так как скорость появления техногенной нагрузки очень быстрая по сравнению с изменением природных факторов и, как правило, техногенное влияние происходит не для всей территории в целом, а для какой-то ее части, может, даже и не совсем большой по площади. Но даже эта незначительная часть может в будущем оказывать существенное влияние на сопредельные территории [1–3].

Интенсивное строительство различных зданий и инженерных сооружений на территории г. Читы началось во второй половине XX века. Строительство инженерных сооружений осуществлялось как по I, так и по II принципу, т.к. среднегодовая температура воздуха на тот момент времени составляла $-3,1^{\circ}\text{C}$. В настоящее время повышение температуры воздуха привело к деградации многолетнемерзлых пород на некоторой части территории города, что привело к изменению инженерно-геологических условий. Дополнительное влияние на геологическую среду оказала урбанизация г. Читы [4–6].

В результате все вышеперечисленное привело к изменению инженерно-геологических условий территории, вследствие чего часть инженерных сооружений находится в ограниченно работоспособном или аварийном состоянии [7; 8].

Целью исследования являлось изучение изменений инженерно-геологических условий территории вследствие строительства многоэтажного жилого дома в г. Чите.

Материалы и методы исследования

В административном отношении площадка исследования расположена в северо-западной части г. Чита в Черновском административном округе. В геоморфологическом отношении площадка исследования расположена в пределах эрозионно-аккумулятивной террасы речной долины рек Ингода и Чита [9]. Район работ относится к Читино-Ингодинской впадине.

На данной площадке исследования планировалось строительство многоэтажного здания нормального уровня ответственно-

сти по II принципу строительства. Размеры здания в плане $54 \times 13,5$ м, тип фундамента ленточный, глубина заложения 2,1–2,8 м от поверхности земли, абсолютная отметка подошвы фундамента в Балтийской системе высот составила 665,40, высота технического подполья 1,80 м, нагрузка на фундаменты 700 кН/м.

На момент выполнения инженерно-геологических работ ОАО «ЗабайкалТИСИЗ» в 2016 г. площадка была ровной, свободной от строений, абсолютные отметки поверхности изменялись от 667,80 до 668,05 м по Балтийской системе высот. На участке исследования было пробурено 3 инженерно-геологические скважины глубиной по 18 м от поверхности земли. Скважины были пробурены в соответствии с действующими нормативными документами, а также с учетом сжимаемой зоны от сооружения [10].

В геологическом строении площадки принимали участие четвертичные отложения техногенного (tQ), аллювиального (aQ) и элювиального (eQ) генезиса (рис. 1). На рис. 1 красным контуром показана граница будущего котлована. Техногенные отложения залегают с поверхности до глубины 0,7 м. Аллювиальные отложения залегают в верхней части разреза, под техногенными отложениями. Аллювиальные отложения были представлены связными дисперсными грунтами – суглинками тугопластичной и мягкопластичной консистенции. Элювиальные отложения представлены продуктами выветривания терригенно-осадочных образований нижнемелового возраста алевролитов и песчаников (K_1), выветрелых до состояния мелкодисперсных грунтов (алевролиты разрушены до состояния суглинка и супеси, песчаник разрушен до состояния песка средней крупности (дисперсная зона коры выветривания)). В толще дисперсной коры выветривания встречаются прослои слабо-выветрелых песчаников средней прочности. Мощность прослоев песчаников изменяется от 0,10–0,15 до 1 м. В геокриологическом отношении грунты находились в талом состоянии до глубины 18,0 м от поверхности земли. Верхняя зона коры выветривания более выветрелая (2,0–3,0 м), чем породы, которые залегают глубже.

Гидрогеологические условия исследуемой площадки характеризовались распространением грунтовых вод элювиальных отложений трещинного типа. Грунтовые воды были вскрыты всеми пробуренными скважинами. Воды имели местный напор, который составлял от 1,4 до 2,2 м.

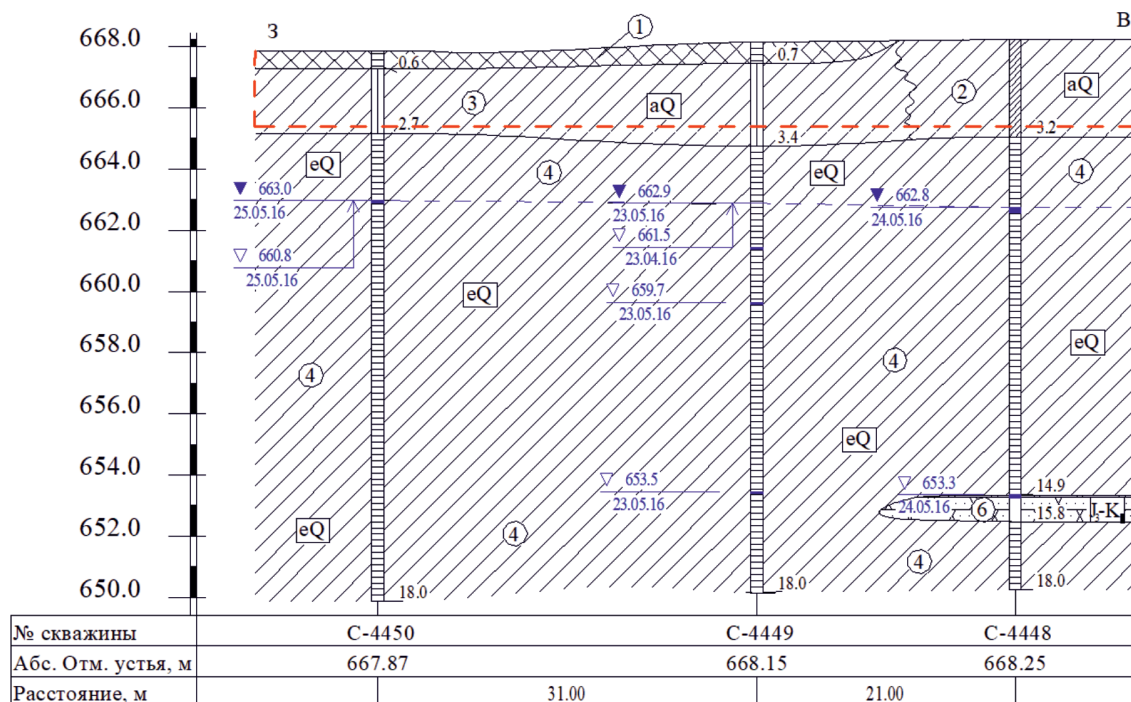


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез участка до начала строительства

В 2016 г. в результате лабораторных исследований и камеральной обработки материалов выполненных работ было выделено 4 инженерно-геологических элемента [ГОСТ 25100, ГОСТ 20522]. Свойства грунтов определялись в соответствии с действующими нормативными документами [ГОСТ 5180, ГОСТ 12536, ГОСТ 12248]. Механические свойства грунтов определялись на основе методов компрессионного сжатия и одноплоскостного среза. Значения деформационных характеристик определялись в интервалах нагрузок 0,3–0,4 МПа.

Площадка исследования в соответствии с действующими нормативными документами (СП 47.13330.2016, СП 47.13330.2012, СП 11-105-97) по сложности инженерно-геологических условий для строительства была отнесена ко II категории (средней) сложности.

В период с 2016 г. по осень 2017 г. на природную среду на площадке исследования было оказано техногенное воздействие. Техногенное воздействие выразилось во вскрытии котлована под фундаменты (глубина котлована изменялась от 2,1 до 2,8 м), устройстве «нулевого» цикла строительства (установке фундаментов), засыпке пазух фундамента, монтаже жилых этажей здания.

Осенью 2017 г. были выполнены дополнительные инженерно-геологические работы, которые включали в себя бурение инженерно-геологических скважин, лабораторные исследования свойств грунтов и камеральную обработку полученных данных. Выполненные инженерно-геологические исследования показали, что произошло изменение инженерно-геологических условий на площадке строительства многоквартирного жилого дома вследствие техногенного воздействия. Техногенное воздействие на геологическую среду на данной территории выразилось в промерзании и замачивании грунтов основания. Мерзлые грунты появились в результате того, что были выполнены вскрышные работы для устройства котлована под фундаменты в период с отрицательными температурами (конец осени 2016 г. – начало зимы 2017 г.). В результате началось промерзание грунтов на подошве котлована, и это привело к концу зимы (февраль 2017 г.) к образованию мерзлых пород типа «перелеток», мощность которых составила до 2,0 м (на момент бурения скважин октябрь 2017 г. (рис. 2). При устройстве ленточных фундаментов была нарушена технология обратной засыпки пазух между фундаментом и стенками котлована. Вслед-

ствие этого в насыпных грунтах обратной засыпки пазух образовались поры. По этим порам вода от выпавших осадков в виде дождя в летний период стала поступать и аккумулироваться на подошве котлована. В результате этого произошло формирование водоносного горизонта типа «верховодка» в техногенных отложениях, это, в свою очередь, привело не только к замачиванию грунтов основания, но и к увеличению мощности грунтов, подвергнувшихся замачиванию, так как в активной зоне от сооружения залегают быстро размокающие грунты. В результате этого влияния некоторая часть грунтов ИГЭ-3 (суглинка тугопластичного), которые залегают рядом с подошвой вскрытого котлована, изменили свои физико-механические характеристики, и соответственно, их уже можно было отнести к грунтам ИГЭ-2 (суглинка мягкопластичного), а также в целом произошло ухудшение физико-механических характеристик грунтов в сжимаемой зоне сооружения в сторону увеличения их сжимаемости по модулю деформации и уменьшения сцепления и угла внутреннего трения. Об этом свидетельствует увеличение природной влажности грунтов, показателя текучести, коэффициента пористости грунтов, уменьшение плотности при природной влажности. К тому же в результате аккумуляции вод от выпадающих осадков и утечек техногенных вод образовался водоносный горизонт типа «верховодка». Вместе с тем, в связи с промораживанием грунтов основания, суглинок твердый (ИГЭ-4) изменил свое состояние с талого

на мерзлое, чем еще больше усилил свои противифльтрационные свойства.

Изменившийся инженерно-геологический разрез грунтов приведен на рис. 2. Красной пунктирной линией показан контур котлована под фундаментами, а фиолетовым цветом – мерзлые породы типа «перелеток» (рис. 2).

В 2018 г. были выполнены дополнительные инженерно-геологические работы с целью получения информации об инженерно-геологических условиях площадки исследования. На объекте исследования были пробурены дополнительные инженерно-геологические скважины. Часть из этих скважин была пробурена за пределами участка вскрытого котлована, для установления неизменности природных условий за пределами территории, подвергшейся техногенному воздействию. Другая часть скважин была пробурена в непосредственной близости от внешних несущих стен построенного здания и поэтому попала в засыпанный котлован, чтобы установить дальнейшую динамику инженерно-геологических условий площадки исследования, в сжимаемой зоне сооружения. Для определения физических свойств грунтов непосредственно под подошвой фундамента предусматривалась проходка двух шурфов из подвала здания с разных торцов площадки исследования. Для уточнения отметки кровли бетонной подушки фундамента внутри подвала дома при помощи переносной малогабаритной буровой установки были пройдены дополнительные скважины.

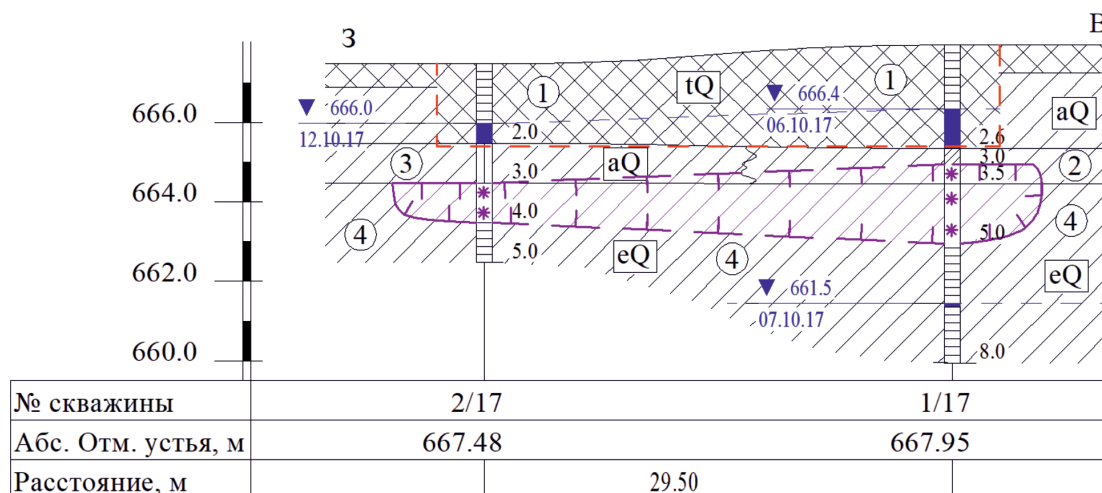


Рис. 2. Изменившийся инженерно-геологический разрез после техногенного влияния (2017 г.)

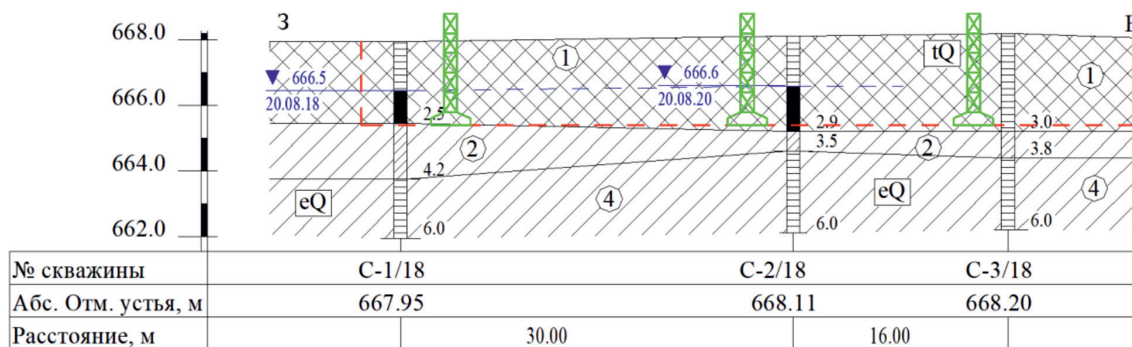


Рис. 3. Инженерно-геологический разрез территории на 2018 г.

В результате повторного изучения инженерно-геологических условий было выявлено следующее:

а) геолого-литологический разрез по скважинам, пробуренным за пределами контура котлована, идентичен ранее выполненным изысканиям, это свидетельствует об изменении инженерно-геологических условий только в пределах существующего сооружения (контура котлована), после производства земляных работ;

б) в пробуренных скважинах в пределах исследуемой глубины 6,0 м мерзлые грунты отсутствуют, т.е. произошла деградация мерзлых пород, которые ранее были вскрыты в сезоннодеятельном слое;

в) проходка шурфов на глубине 0,5 м от пола подвала была прекращена из-за наличия грунтовых вод типа «верховодки»;

г) в результате техногенного воздействия на геологическую среду суглинок тугопластичный изменил свои физико-механические характеристики и стал суглинком мягкопластичным;

д) в пределах площадки вскрыты два горизонта подземных вод:

– первый горизонт – воды типа «верховодка», которые вскрыты в насыпных грунтах внутри сооружения на глубинах 0,3–0,5 м от пола подвала и на глубинах 1,1–1,5 м от поверхности земли (по данным бурения инженерно-геологических скважин и проходки шурфов) (рис. 3);

– второй горизонт – воды элювиальных отложений, вскрыты на глубине 4,5 м от поверхности земли, что соответствует отметкам 663,37–663,74 м, т.е. произошел подъем воды на 1,0 м по сравнению с ранее выполненными изысканиями;

е) дальнейшее размокание грунтов основания здания в пределах котлована продолжается, так как мощность замоченного

грунта увеличилась с 0,65–0,90 м (2017 г.) до 1,12 м (2018 г.). Следовательно, можно предположить, что продолжается аккумуляция жидких осадков в виде дождя на подошве котлована и непосредственно под фундаментом в сжимаемой зоне. Возможен также подток вод техногенного происхождения в подвал здания из-за утечек из инженерных сетей;

ж) изменения основных физико-механических характеристик грунтов показаны в таблице. На основании сравнения данных, приведенных в таблице, можно увидеть, что с увеличением природной влажности, показателя текучести, коэффициента пористости происходит уменьшение плотности грунта ИГЭ-2 (суглинка мягкопластичного), что приводит к снижению деформационно-прочностных характеристик грунта. Суглинок тугопластичный (ИГЭ-3) вследствие замачивания стал суглинком мягкопластичным (ИГЭ-2). На основании сравнения данных из таблицы можно сделать вывод о том, что увеличение пористости аллювиальных суглинков явилось следствием промораживания грунтов основания котлована, а увеличение показателя консистенции и снижения модуля деформации – следствием промораживания и последующего оттаивания в условиях замачивания. В то же время из данной таблицы видно, что характеристики элювиальных грунтов практически не изменились, и они сохранили свои деформационные и несущие свойства.

з) территория исследования стала относиться к III (сложной) категории инженерно-геологических условий для строительства и эксплуатации зданий и инженерных сооружений. На данных территориях необходимо выполнять весь комплекс работ по изучению геологической среды, а также необходимы дополнительные мероприятия по укреплению грунтов основания.

**Изменение значений основных физико-механических характеристик грунтов
в период с 2016 по 2018 г.**

Характеристики грунтов	Единицы измерения	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Суглинок аллювиальный				
Природная влажность	д.е.	0,187	0,255	0,299
Показатель текучести	д.е.	0,31	0,70	0,72
Плотность грунта при природной влажности	г/см ³	2,00	1,91	1,88
Плотность сухого грунта	г/см ³	1,72	1,48	1,45
Коэффициент пористости	д.е.	0,563	0,782	0,829
Коэффициент водонасыщения	д.е.	0,897	0,970	0,952
Модуль деформации	МПа	20	10	8
Удельное сцепление	кПа	31	18	16
Угол внутреннего трения	град.	21	17	16
Суглинок элювиальный				
Природная влажность	д.е.	0,161	0,179	0,188
Показатель текучести	д.е.	<0	<0	<0
Плотность грунта при природной влажности	г/см ³	2,02	1,98	1,98
Плотность сухого грунта	г/см ³	1,75	1,68	1,67
Коэффициент пористости	д.е.	0,516	0,570	0,572
Коэффициент водонасыщения	д.е.	0,820	0,830	0,861
Модуль деформации	МПа	17	17	17
Удельное сцепление	кПа	40	40	40
Угол внутреннего трения	град.	21	21	21

Заключение

1. В результате отрицательного техногенного вмешательства на геологическую среду произошло существенное изменение инженерно-геологических условий площадки строительства. Основными причинами ухудшения свойств грунтов стали промораживание котлована и последующее оттаивание в условиях замачивания. В результате этого произошло снижение деформационно-прочностных характеристик грунтов в сжимаемой зоне, и, как следствие, под фундаментом здания оказались грунты, которые не могут служить надежным основанием.

2. Из-за того что сильнодеформируемые грунты оказались под подошвой фундамента построенного здания, начались неравномерные осадки грунта по площади, в результате чего на несущих конструкциях здания появились следы деформаций, которые проявились в виде трещин по центру здания, также было выявлено отклонение стен от вертикали.

3. Территория исследования изменила категорию сложности инженерно-геологических условий со II (средней сложности) на III (сложную) категорию, что привело не только к необходимости всестороннего доизучения геологической среды, но и к существенному удорожанию строительства

на данной площадке исследования, так как теперь необходимо принимать дополнительные меры по стабилизации грунтов основания для того, чтобы прекратить деформации здания.

4. Для принятия каких-либо мер по улучшению инженерно-геологических условий необходим долгосрочный мониторинг геологической среды, а также комплексные мероприятия по стабилизации грунтов основания, с привлечением специализированных научных организаций, которые бы обладали высококвалифицированными специалистами в данной области.

Список литературы / References

1. Королев В.А. Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем, под ред. В.Т. Трофимова. М.: Университет, 2007. 415 с.

Korolev V.A. Monitoring of geological, lithotechnical and ecological and geological systems. M.: Universitet, 2007. 415 p. (in Russian).

2. Кроник Я.А. Анализ аварийности и безопасности геотехнических систем в криолитозоне // Пятая конференция геокриологов России: материалы V конференции геокриологов России (Москва, 14–17 июня 2016 г.). М., 2016. Т. 1. С. 104–111.

Kronik Y.A. Accident rate and safety of natural-man-made systems in cryolitosone // Pyataya konferentsiya geokriologov Rossii: materialy V konferentsii geokriologov Rossii (Moskva, 14–17 iyunya 2016 g.). M., 2016. Vol. 1. P. 104–111 (in Russian).

3. Кроник Я.А. Безопасность оснований и фундаментов зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах // Основание, фундаменты и механика грунтов. 2017. № 3. С. 36–39.

Kronik Ya.A. Accident rate and safety of natural-man-made systems in cryolitosone // *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*. 2017. No. 3. P. 36–39 (in Russian).

4. Шестернев Д.М., Васютин Л.А. Исследование влияния антропогенных воздействий на изменение геэкологических условий урбанизированных территорий южной криолитозоны (на примере г. Чита) // *Вестник ЧитГУ*. 2011. № 6. С. 117–121.

Shesternev D.M., Vasjutich L.A. Study of the impact of anthropogenic impacts on the change of geecological conditions of urbanized areas of southern cryolitosone (on the example of Chita) // *Vestnik ChitGU*. 2011. No. 6. P. 117–121 (in Russian).

5. Шестернев Д.М., Васютин Л.А. Трансформация геолого-геокриологической среды в процессе урбанизации г. Чита // *Вестник ЗабГУ*. 2014. № 3 (106). С. 57–67.

Shesternev D.M., Vasjutich L.A. Transformation of geological-geocriological environment in the process of Chita urbanization // *Vestnik ZabGU*. 2014. No. 3. P. 57–67 (in Russian).

6. Бабело В.А., Мершеева М.Б., Стетюха В.А. Опыт эксплуатации зданий на многолетнемерзлых грунтах в Забайкальском крае // *Вестник ЗабГУ*. 2017. № 23 (11). С. 57–67.

Babello V., Mersheeva M., Stetjukha V. Experience of operation of buildings on long-term frozen soils in the Transbaikalian region // *Vestnik ZabGU*. 2017. Vol. 23. No. 11. P. 57–67 (in Russian).

7. Торгашев В.В., Герасимов В.М., Стетюха В.А. Исследование деформаций жилого дома в изменившихся геокриологических условиях площадки строительства // *Вестник ЧитГУ*. 2007. № 4 (45). С. 44–49.

Torgashev V.V., Gerasimov V.M., Stetyukha V.A. Study of deformations of the residential building in the changed geocriological conditions of the construction site // *Vestnik ChitGU*. 2007. No. 4 (45). P. 44–49 (in Russian).

8. Трофимов В.Т. Актуальные вопросы изучения грунтов в инженерной геологии и экологической геологии // *Геология, география и глобальная энергия*. 2011. № 2 (41). С. 6–13.

Trofimov V.T. Topical issues of soil study in engineering geology and ecological geology // *Geologiya, geografiya i global'naya energiya*. 2011. No. 41. P. 6–13 (in Russian).

9. Портнова В.П. Инженерно-геологические условия Центрального и Восточного Забайкалья. М.: Недра, 1976. 232 с.

Portnova V. P. Engineering and geological conditions of Central and Eastern Transbaikalia. M.: Nedra, 1976. 232 p. (in Russian).

10. Бондарик Г.К., Ярл Л.А. Инженерно-геологические изыскания. М., 2014. 424 с.

Bondarik G.K., Yarg L.A. Geological engineering research. M., 2014. 424 p. (in Russian).