

## Методы усиления грунтов в строительстве

УДК 624.138

### **Загитдинова Татьяна Вахитовна**

студент, магистр Строительного факультета ФГБОУ ВПО «Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет» (г. Пермь, Комсомольский проспект, 29); e-mail: [tatyana.zagitdinova@mail.ru](mailto:tatyana.zagitdinova@mail.ru);

### **Калошина Светлана Валентиновна**

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО «Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет» (г. Пермь, Комсомольский проспект, 29); e-mail: [kaloshina82@mail.ru](mailto:kaloshina82@mail.ru)

**Аннотация:** В статье рассматривается проблема строительства зданий и сооружений на слабых грунтах, которая является актуальной в наше время. Городская застройка со временем все больше уплотняется, в связи с чем возникает вопрос об использовании ранее не застраиваемых территорий, сложенных слабыми грунтами. Осуществление этого процесса невозможно без специальных мероприятий по улучшению свойств оснований площадки строительства. В статье приводится обзор основных методов закрепления слабых грунтов, а затем их сравнение по возможности применения в тех или иных грунтовых условиях.

**Ключевые слова:** слабый грунт, закрепление грунтов, термическое закрепление, силикатизация, смолизация, битумизация, цементация, электроосмос, уплотнение, армирование, геосинтетические материалы.

## METHODS OF STRENGTHENING SOILS IN CONSTRUCTION

### **Tatyana Vahitovna Zagitdinova**

student, master, department of civil engineering Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, Russian Federation); e-mail: [tatyana.zagitdinova@mail.ru](mailto:tatyana.zagitdinova@mail.ru);

### **Svetlana Valentinovna Kaloshina**

Ph.D. in Technical Sciences, Ass. Professor, Department of Construction Technology and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, Russian Federation); [kaloshina82@mail.ru](mailto:kaloshina82@mail.ru)

**Abstract.** The article deals with the problem of building buildings and structures on weak soils, which is relevant in our time. The urban development is increasingly denser with time, which raises the question of the use of previously undeveloped territories composed of weak soils. Implementation of this process is impossible without special measures to improve the properties of the construction site. The article gives an overview of the main methods of fixing weak soils, and then their comparison in certain ground conditions.

**Keywords:** weak soil, ground improvement, thermal grouting, silicization, resinization, bitumenization, carburizing, electroosmosis, compaction, reinforcement, geosynthetic materials.

## **Актуальность**

Проблема строительства на слабых грунтах часто появляется при реконструкции зданий и строительстве новых сооружений. Основание, сложенное слабыми грунтами может не выдержать нагрузок, передаваемых от сооружений. Для того, чтобы строительство на таких грунтах не привело к аварийным ситуациям, необходимо проводить специальные мероприятия по укреплению слабых грунтов основания.

К особым видам грунтов, то есть к слабым грунтам, относятся грунты с неустойчивыми структурными связями. Это такие грунты, как мерзлые, вечномёрзлые, лессовые, набухающие, засоленные, насыпные грунты, торфы и заторфованные грунты, а также слабые водонасыщенные глинистые грунты. Таким грунтам свойственно резкое снижение прочности структурных связей между частицами при некоторых обычных для строительства и эксплуатации сооружений воздействиях: нагревание, увлажнение, быстрое нагружение или вибрационное воздействие [1].

Для того, чтобы повысить несущую способность слабых грунтов и уменьшить их деформации существуют различные способы искусственного закрепления грунтов. Эти способы условно можно разделить на три группы:

- физико-химические – укрепление массива грунта при помощи влияния физических полей или улучшение характеристик грунтов, при помощи нагнетания в их толщу специальных растворов;
- механические – улучшение свойств грунта при помощи его уплотнения;
- конструктивные – улучшение характеристик грунтов, при помощи использования материалов, армирующих грунт [2].

### **Физико-химические методы искусственного закрепления грунтов**

К первой группе методов искусственного закрепления грунтов от-

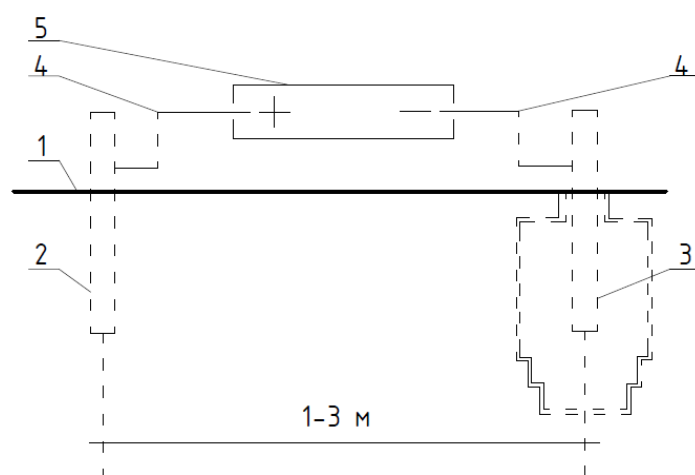
носятся термическое закрепление, силикатизация, смолизация, битумизация, цементация, использование энзимов и электроосмос. Эта группа методов предполагает введение в грунт реагентов и минеральных частиц, взаимодействующих между собой. Применение этой группы методов требует тщательного анализа в каждом случае использования, так как несмотря на незначительную стоимость растворов, оборудование является весьма дорогостоящим.

Термическое закрепление грунтов основано на термической обработке грунтов газообразными продуктами горения жидкого или газообразного топлива, сжигаемого у устья скважины или в толще грунта. Основными составными частями нагревательной установки являются генератор сжатого воздуха и форсунка. Обжиг скважин начинается с разогрева ее верхнего участка, для создания фронта воспламенения топлива. После этого постепенно увеличивается расход газа и воздуха до расчетных значений, создается рабочий режим: давление 0,01-0,03 МПа, температура 800-1000 °С [3].

Силикатизация и смолизация грунтов – это химическая обработка грунтов различными реагентами нагнетанием их в закрепляемые грунтовые массивы под давлением. Закрепление силикатизацией и смолизацией заключается в нагнетании под давлением в поры естественных грунтов отверждающихся и закрепляющих грунты химических растворов. Нагнетание реагентов производят насосами или сжатым воздухом из специальных емкостей через заглубляемые в грунты инъекторы [4].

Метод битумизации основан на том, что в грунты нагнетается жидкий битум. Для нагнетания битума в грунт бурят скважины по контуру котлована на расстоянии 0,7–1,0 м одна от другой. В буровую скважину опускают инъектор с отверстиями, через которые битум проникает в скважину.

Явление электроосмоса основано на том, что при пропускании через грунт постоянного тока, в грунтах происходят физико-химические процессы, приводящие к упрочнению и осушению грунта (рис. 1).



**Рис. 1. Технологическая схема закрепления грунта:**

1 – закрепляемый грунт, 2, 3 – металлические стержни, 4 – электропроводники, 5 – источник постоянного тока

В данном методе на участке закрепления в грунт, на заданную глубину, на расстоянии 1-3 м друг от друга, внедряют металлические стержни, через которые пропускают постоянный ток. Под действием электрического тока, к отрицательному электроду движется вода и, одновременно с этим, взвешенные в воде частицы грунта перемещаются к положительному электроду [5]. В результате, на катодном электроде образуется монолит грунтовой сваи. Ток пропускают силой 2-10 А и напряжением 60-150 в течение 6-45 дней [6].

Сущность технологии струйной цементации (Jet-grouting) заключается в использовании энергии высоконапорной струи цементного раствора для разрушения и одновременного перемешивания грунта с цементным раствором. После того, как раствор затвердеет, образуется новый материал – грунтобетон, который обладает высокими деформационными и прочностными характеристиками [7]. Этот способ позволяет укрепить слабый массив грунта, который расположен на определенной глубине на всю толщину данного слоя, что дает возможность укреплять определенный слабый слой и получить существенную экономическую выгоду [8].

Метод укрепления грунтов при помощи энзимов используют для линейных объектов. Энзимы можно отнести к высокомолекулярным бел-

кам, они действуют как гидрофобизаторы, в результате чего создается более прочный грунт из-за изменения структуры воды и ее удаления [9].

### **Механические методы искусственного закрепления грунтов**

Вторая группа методов предполагает улучшение свойств оснований при помощи его уплотнения, которое может производиться пригрузкой, вибрированием, трамбованием и взрывами.

Метод уплотнения грунта пригрузкой способствует ускорению консолидации грунта, в связи с увеличением нагрузки. Эффективность метода зависит от требуемой степени консолидации, сжимаемости основания и величины нагрузки.

Метод виброуплотнения – это создание вибрации, передающейся от одной частицы грунта к другой, что приводит их в движение. Связи между частицами разрушаются, происходит уплотнение и взаимное перемещение частиц грунта.

Метод трамбования заключается в послойном уплотнении грунта при помощи трамбовок, ручных или механизированных. Процесс трамбования продолжают до тех пор, пока поверхность грунта при каждом последующем падении не будет опускаться на одну и ту же величину.

Метод уплотнения взрывами характеризуется простотой производства работ, происходит достаточно быстрое уплотнение, а также этот способ имеет небольшую стоимость.

### **Конструктивные методы искусственного закрепления грунтов**

Третья группа методов искусственного закрепления грунта предполагает его армирование готовыми элементами из различных материалов, которые обладают большой прочностью на растяжение. Из-за того, что эта группа методов не предполагает изменение свойств грунта, в отличие от двух других групп методов, которые сложно контролировать, конструктив-

ные методы считаются наиболее популярными. Эта группа методов включает в себя устройство грунтовых подушек и армирование грунта.

Устройство грунтовых подушек дает возможность снизить давление на подстилающий слабый слой грунта. Это позволяет уменьшить расчетные деформации оснований [10].

Геотекстиль (рис. 2) является многослойным полимерным полотном, пропускающим воду, но вместе с этим, он не позволяет слоям смешиваться. Этот материал обладает большой прочностью и распределяет нагрузку между слоями.



**Рис. 2. Геотекстиль**

Геосетка (рис. 3) воспринимает растягивающие нагрузки, применяется в качестве арматуры тонкого слоя, а также используется в сочетании с другими полимерными материалами.



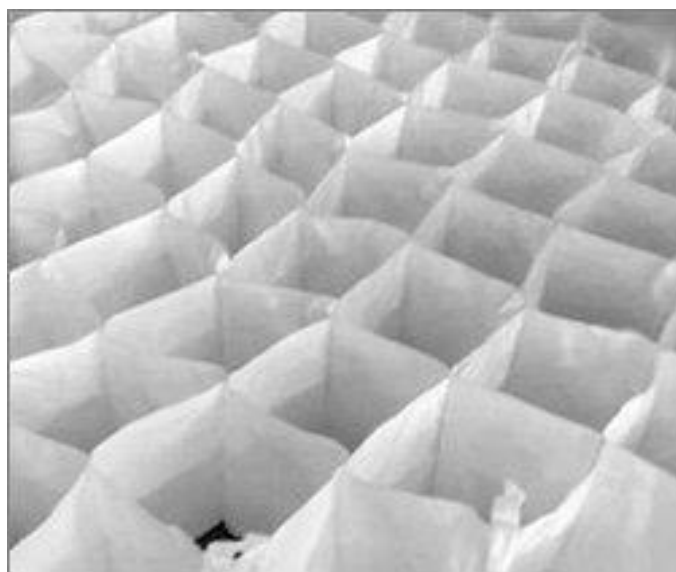
**Рис. 3. Геосетка**

Георешетка (рис. 4) – это трехмерная конструкция, которая состоит из полимерных перфорированных лент, позволяющая удерживать движение во всех плоскостях.



**Рис. 4. Георешетка**

Геоматрица (рис. 5) представляет собой пространственную ячеистую конструкцию из текстиля с линейно расположенными квадратными ячейками с гибким дном-основанием, работающем на растяжение, препятствующем продавливанию грунта сквозь ячейки и распределяющее нагрузку, которая действует на грунт в процессе эксплуатации.



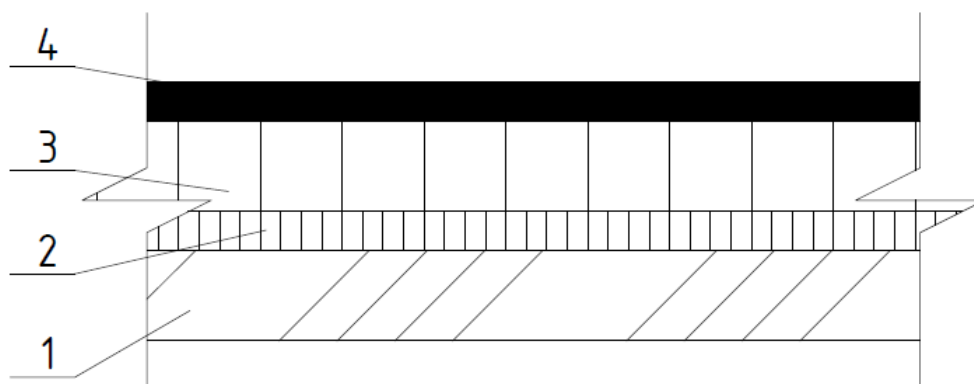
**Рис. 5. Геоматрица**

Метод укрепления геосинтетиками в настоящее время стал популярным, из-за большого их разнообразия, простоты и эффективности технологии. Различают тканый и нетканый геотекстиль. Нетканый геотекстиль

представляет собой плоскую структуру, состоящую из синтетических волокон, которые соединены между собой механическим методом, этот материал не подвержен гниению, через него не прорастают корни растений, структура имеет хорошие прочностные и фильтрующие свойства. Тканый геотекстиль – это плоская или системная структура, которая соткана из нескольких рядов синтетических лент, переплетенных между собой, этот материал прочен и морозостоек, действует как арматура [11].

Слабые грунты необходимо стабилизировать, повысить их прочностные характеристики и уменьшить сжимаемость. После этих предварительных работ на основании можно возвести устойчивый фундамент.

Использование геоматериалов для повышения характеристик слабых грунтов показан на примере устройства грунтовой дороги (рис. 6).



**Рис. 6. Схема устройства грунтовой дороги:**

1 – грунт, 2 – геотекстиль, 3 – георешетка с наполнителем, 4 – дорожное покрытие

Монтаж георешетки состоит из следующих этапов: производят разбивку участка и выравнивание поверхности, затем укладывают рулоны материала и заполняют ячейки грунтом, слой которого не должен возвышаться над георешеткой более чем на 50 мм. После этого производят уплотнение конструкции.

### **Область применения способов закрепления слабых грунтов**

При выборе метода закрепления слабых грунтов прежде всего необходимо учитывать инженерно-геологические условия площадки строитель-



ства (табл. 1).

Таблица 1

**Область применения способов закрепления слабых грунтов**

Метод закрепления	Разновидность	Рекомендуемые грунтовые условия
Физико-химические	Термическое закрепление	Лессовидные, неводонасыщенные пылевато-глинистые грунты
	Силикатизация	Пески, пылеватые пески (пльвуны), лессовые, просадочные грунты
	Смолизация	Песчаные, лессовые грунты
	Битумизация	Скальные трещиноватые породы, пески
	Цементация	Гравелистые, крупные и среднезернистые пески, глины
	Энзимы	Глинистые грунты
	Электроосмос	Водонасыщенные связные грунты (супеси, суглинки)
Механические	Пригрузка	Просадочные, набухающие, техногенные, сильносжимаемые, органические, рыхлые песчаные
	Вибрирование	Песчаные, песчано-гравелистые грунты
	Трамбование	
	Взрывы	Просадочные грунты, супеси, суглинки, лессовые грунты
Конструктивные	Устройство грунтовых подушек	Просадочные грунты
	Армирование грунта	Глинистые, просадочные, техногенные, на территориях со сложными гидрогеологическими климатическими условиями

Как видно из таблицы 1, для закрепления несвязных грунтов чаще всего используют такие методы, как силикатизация, смолизация, битумизация, цементация, вибрирование и трамбование. Для закрепления глинистых грунтов применяют методы термического закрепления грунтов, цементации, использования энзимов, электроосмоса, уплотнения взрывами, устройства грунтовых подушек и армирования грунта.

Поскольку все грунты подразделяются по гранулометрическому составу, плотности, влажности и другим показателям, выбор метода закреп-

ления грунта будет обусловлен физико-механическими характеристиками слабого грунта.

Так, способы механического уплотнения грунтов (вибрирование, трамбование, пригрузка) применимы по отношению к недостаточно плотным песчаным и насыпным грунтам. В результате внешних силовых воздействий в уплотняемом материале накапливаются необратимые (остаточные) деформации, способствующие повышению его плотности.

Метод цементации используется по отношению к гравелистым грунтам, а также к крупным пескам и пескам средней крупности. В таких грунтах жидкий цементный раствор затвердевая, заполняют поры грунта, придавая ему камневидную структуру. Наибольший эффект получается при цементации крупнообломочных грунтов, крупных и средней крупности песков с коэффициентом фильтрации от 80 до 200 м/сут. Трещиноватые скальные грунты можно цементировать только при ширине трещин в них более 0,1 мм. Для усиления сильно трещиноватых скальных грунтов используют метод битумизации.

Цементация трудноосуществима в мелких песках и совсем непригодна для укрепления илистых, супесчаных, суглинистых и глинистых грунтов. Поскольку суспензия из взвешенных в воде частиц цемента не может проникнуть в грунты с мелкими порами, для закрепления таких грунтов применяют силикатизацию и смолизацию. В данных методах в грунты вводятся специальные составы, заполняющие поровое пространство грунта, твердеющие с течением времени при соответствующих условиях (при наличии отвердителя). Создаются новые связи между частицами, что приводит к увеличению прочности уменьшению сжимаемости грунта.

Термическое закрепление эффективно для лессовых просадочных грунтов. При термическом закреплении у лессовых грунтов, полностью ликвидируются присадочные свойства и размокаемость, во много раз повышается сцепление и сопротивляемость сдвигу. Под действием высокой температуры отдельные минералы, которые входят в состав скелета грунта,

оплавляются. В результате чего образуются прочные водостойкие структурные связи между частицами грунта.

Энзимы применяют для закрепления всех связанных и несвязанных грунтов, таких как глина или тонкая глина. При добавлении энзимов и применении специальной техники естественный процесс уплотнения грунта ускоряется. Несущая способность и плотность грунта при воздействии стабилизатора грунта постоянно улучшаются. После внедрения в толщу энзимов, грунт становится водоотталкивающим. Обработанный и уплотнённый грунт препятствует проникновению капиллярной воды, осадочной и грунтовой воды и становится морозоустойчивым.

Для стабилизации водонасыщенных глинистых грунтов используют электроосматическое закрепление грунтов. В данном методе инъекционные растворы проникают в грунт в ионном виде. В результате электрохимической обработки слабые глинистые грунты становятся более прочными и водостойкими, а морозное выпучивание их значительно снижается.

Устройство грунтовых подушек обеспечивает создание слоя непросадочного грунта, который обладает повышенными прочностными характеристиками, малой сжимаемостью в водонасыщенном состоянии и низкой фильтрационной способностью. В связи с этим грунтовые подушки часто устраивают на просадочных грунтах.

Армирование грунтов способствует изменению свойств грунтовой среды за счет изменения условий работы грунта путем введения искусственных элементов, обеспечивающих восприятие повышенных сжимающих и растягивающих напряжений. Оно применяется на всех типах слабых грунтов, так как для армирующих элементов не так уж важны свойства армируемых грунтов.

### **Заключение**

На выбор метода закрепления слабых грунтов оказывают влияние многие факторы, такие как: инженерно-геологические условия площадки

строительства; климатические особенности района строительства; объемы выполняемых работ; то, на каком этапе выполняется усиление грунта (новое строительство или реконструкция). Таким образом, при выборе метода закрепления грунта следует учитывать целый ряд особенностей, свойственных для конкретного объекта. Выбор метода должен быть обоснован технико-экономическим сравнением нескольких вариантов закрепления слабых грунтов основания.

#### Список цитируемой литературы

1. А.В. Мащенко. Специальные разделы механики грунтов и механики скальных грунтов: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – с. 64.
2. Л.А. Игошева, А.С. Гришина. Обзор основных методов укрепления грунтов основания. Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура, 2016, No 2, 5-21.
3. Термическое закрепление грунтов: типовая технологическая карта. – СПб., 2009.
4. Инъекционное химическое закрепление грунтов. Силикатизация и смолизация грунтов: типовая технологическая карта. – СПб., 2011.
5. Г.Н. Жинкин, В.Ф. Калаганов. Электрохимическая обработка глинистых грунтов в основаниях сооружений. – М.: Стройиздат, 1980. – 164 с.
6. Способ закрепления глинистых грунтов: пат. 2149949 Рос. Федерация: МПК E02D3/11 / В.Х. Шаймуратов; заявитель и патентообладатель В.Х. Шаймуратов. – №98105274/03; заявл. 12.03.1998; опубл. 27.05.2000.
7. А.Г. Малинин. Струйная цементация грунтов. Пермь: Пресстайм, 2007 г.
8. Е.А. Филимонов, А.А. Устинов. Эффективные технологии устройства оснований фундаментов сооружений на слабых водонасыщенных глинистых грунтах. Вестник МГСУ, 2011, No 5, 297-300.
9. З.Г. Тер-Мартиросян, П.В. Струнин. Усиление слабых грунтов в основании фундаментных плит с использованием технологии струйной цементации грунтов. Вестник МГСУ, 2010, No 4, 310-315.
10. М.Ю. Абелев. Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах. – М.: Стройиздат, 1983. – 247 с.
11. А.В. Мащенко, А.Б. Пономарев. Анализ изменения прочностных и деформационных свойств грунта, армированного гомосинтетическими материалами при разной степени водонасыщения. Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура, 2014, No 4, 264-273.

#### References

1. A. V. Mashchenko. Special'nye razdely mehaniki gruntov i mehaniki skal'nyh gruntov. [Special topics of soil mechanics and rock mechanics of soils].

- Uchebnoe posobie. – Perm: Izd-vo Perm. nac. issled. politehn. un-ta, 2014. – p. 64.
2. L.A. Igosheva, A.S. Grishina. Obzor osnovnykh metodov ukrepleniya gruntov osnovaniya. [Review of the basic methods of the ground improvement]. Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arhitektura, 2016, no 2, pp. 5-21.
  3. Termicheskoe zakreplenie gruntov [Thermal grouting]. Saint-Petersburg, 2009.
  4. In'ekcionnoe himicheskoe zakreplenie gruntov. Silikatizacija i smolizacija gruntov. [Injecting chemical grouting. Silicification and soil consolidation]. Saint-Petersburg, 2011.
  5. Zhinkin G.N., Kalganov V.F. Elektrokhimicheskaja obrabotka glinistykh gruntov v osnovaniiakh sooruzhenii [Electrochemical treatment of clayey soils of building bases]. Moscow: Stroizdat, 1980. 164 p.
  6. Sposob zakrepleniya glinistykh gruntov: pat. 2149949 Ros. Federacija: MPK E02D3/11 / V.H. Shajmuratov; zajavitel' i patentoobladatel' V.H. Shajmuratov. – №98105274/03; zajavl. 12.03.1998; opubl. 27.05.2000.
  7. A.G. Malinin. Strujnaja cementacija gruntov. [Jet grouting soil]. Perm': Presstajm, 2007 g.
  8. E.A. Filimonov, A.A. Ustinov. Jefferektivnye tehnologii ustrojstva osnovanij fundamentov sooruzhenij na slabykh vodonasyshhennykh glinistykh gruntah [Effective technologies of an arrangement of the bases of foundation of constructions on made water-sated clay grounds]. Vestnik MGSU, 2011, no 5, pp. 297-300.
  9. Z.G. Ter-Martirosjan, P.V. Strunin. Usilenie slabykh gruntov v osnovanii fundamentnykh plit s ispol'zovaniem tehnologii strujnoj cementacii gruntov. [Strengthening weak soils in the basis of foundation slabs with use of technology of jet grouting]. Vestnik MGSU, 2010, no 4, pp. 310-315.
  10. M.J. Abelev. Stroitel'stvo promyshlennykh i grazhdanskih sooruzhenij na slabykh vodonasyshhennykh gruntah. [Construction of industrial and civil structures on weak water-saturated soil]. – M.: Strojizdat, 1983. – 247 p.
  11. Mashchenko A.V., Ponomarev A.B. Analiz izmeneniia prochnostnykh i deformatsionnykh svoistv grunta, armirovannogo geosinteticheskimi materialami pri raznoi stepeni vodonasyshcheniia [Analysis of changes in the strength and deformation properties of soil reinforced with geosynthetic materials with different degrees of saturation]. Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura, 2014, no. 4, pp. 264-273.