

<https://doi.org/10.53278/2306-9139-2022-2-19-65-75>
УДК 624.131.1

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОСНОВАНИЯ УЧАСТКА СКОРОСТНОЙ АВТОДОРОГИ МОСКВА — САНКТ-ПЕТЕРБУРГ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕГО УСИЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БУРОВЗРЫВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

ENGINEERING AND GEOLOGICAL ASSESSMENT OF THE FOUNDATION OF THE MOSCOW — ST. PETERSBURG EXPRESSWAY SECTION AND THE RESULTS OF ITS REINFORCEMENT USING DRILLING AND BLASTING TECHNOLOGY

© 2022 г. Е. В. Городнова¹, Н. Г. Корвет², Суворова Е. А.³

© 2022 Elena V. Gorodnova¹, Nadeshda G. Korvet², Ekaterina A. Suvorova³

^{1,3} Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

^{1,3} Federal State Budget Educational Institution for Higher Education «Emperor Alexander I
St. Petersburg State Transport University», St. Petersburg, Russian Federation

² ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² «Russian State Hydrometeorological University», St. Petersburg, Russian Federation

elena.gorodnova@mail.ru¹, nnkorvet2010@yandex.ru², suvorova_e_a@mail.ru³

Аннотация: В статье рассматриваются особенности возведения участка подходной насыпи к мостовому переходу через р. Коломенка скоростной автодороги Москва — Санкт-Петербург. Присутствие в разрезе структурно-неустойчивых грунтов вызвало проблемы при инженерном освоении участка, выразившиеся, прежде всего, в деформации грунтовой толщи основания. Оценка физико-механических свойств грунтов показала невозможность их использования без применения методов повышения несущей способности. Для усиления основания участка выполнялся комплекс работ с применением метода глубинного уплотнения грунтов и использованием буровзрывной технологии, который позволил стабилизировать толщу слабых грунтов и уплотнить рыхлые пески.

В статье представлены сведения об инженерно-геологических условиях участка подходной насыпи к мостовому переходу и результаты выполненных работ по стабилизации основания насыпи, подтверждаемые геодезическими наблюдениями и инженерно-геофизическими исследованиями.

Abstract: The article discusses the features of the construction of a section of the approach embankment to the bridge crossing over the Kolomenka River of the Moscow — St. Petersburg expressway. The presence of structurally unstable soils in the section caused problems during the engineering development of the site, which were expressed, first of all, in the deformation of the soil thickness of the base. Evaluation of their physical and mechanical properties of soils showed the impossibility of using them without the use of methods to increase their bearing capacity. To strengthen the base of the site, which allows to stabilize the thickness of weak soils and compact loose sands, a complex of works was carried out using the method of deep compaction of soils using drilling and blasting technology.

The article presents information about the engineering and geological conditions of the site of the approach embankment to the bridge crossing and the results of the work performed to stabilize the base of the embankment, confirmed by geodetic observations and engineering and geophysical studies.

Ключевые слова: инженерно-геологические условия; структурно-неустойчивые грунты; деформация грунтовой толщи; стабилизация основания земляного полотна; буровзрывная технология.

Keywords: engineering and geological conditions; structurally unstable soils; deformation of the soil column; stabilization of the foundation of the roadbed; drilling and blasting technology.

Введение

При обосновании строительства сооружения в пределах конкретных территорий, одной из первоочередных задач является инженерно-геологическая оценка грунтов, которые выступают как основной элемент геологической среды и являются основанием или средой для этих сооружений. Взаимодействие грунтов с сооружением в значительной степени определяется их разнообразием, и соответственно, различными строительными качествами, а также условиями их залегания в геологическом разрезе, что является основой для принятия наиболее рациональных решений при инженерном освоении территорий.

По своим инженерно-геологическим особенностям, строительным качествам, специфическими являются грунты с неустойчивой структурой — структурно-неустойчивые, к числу которых относятся сильносжимаемые грунты (илы, торфа, насыпные грунты, озёрно-ледниковые глины ленточные), требующие принятия оптимальных в данных условиях решений для возможности их использования в качестве оснований сооружений, что, как показывает практика строительства, весьма непросто. Строительство на подобных грунтах актуально для многих территорий, как в России, так и за ее пределами, поэтому проблема обеспечения устойчивости оснований, сложенных ими, в практике проектирования зданий и сооружений является достаточно важной. Решением для такой задачи может быть предварительное улучшение свойств грунтов путем их преобразования тем или иным способом [1].

Объектом, характеризующимся наличием в геологическом разрезе структурно-неустойчивых грунтов разного генезиса, является скоростная автомагистраль М-11 «Нева», соединяющая Москву с Санкт-Петербургом. Разработка проекта дублёра существующей автодороги Москва — Санкт-Петербург М-10 «Россия» велась на протяжении длительного периода времени. Так, в генплан развития Москвы и Московской области первоначальная концепция дублёра была включена в начале 1970-х годов. К идее создания трассы вернулись в начале 2000-х, т. к. интенсивность движения на трассе М-10 «Россия» при нормативной пропускной способности 40 тысяч автомобилей в сутки доходила до 150 тысяч автомобилей, что превышало нормативную загрузку как минимум в три раза. При этом средняя скорость движения по трассе на подъезде к Москве составляла не более 10 км/ч. Данный график движения автомобилей спровоцировал повышение уровня загрязнения воздуха на данной территории (в 3–5 раз), принятые в Российской Федерации санитарные нормы.

В мае 2005 года прошли общественные слушания, после чего проект получил необходимые разрешения и согласования, которые явились основой для обоснования строительства скоростной автомобильной дороги М-11 «Москва — Санкт-Петербург». Новая трасса стала решением многих проблем Центрального и Северо-Западного федеральных округов и их наиболее развитых районов, связанных, прежде всего с разгрузкой существующей дороги М-10 «Россия» и улучшением экологической обстановки территории.

Инженерно-геологические условия трассы являются сложными, поэтому многие её участки вызвали определённые проблемы при их инженерном освоении из-за присутствия в геологическом разрезе мощной толщи торфов, а также глинистых грунтов с консистенцией от текучей до мягкопластичной. Один из таких участков расположен в Тверской области РФ на пересечении трассы рекой Коломенка. В статье рассматриваются особенности его инженерного освоения для строительства подходной насыпи к мостовому переходу.

1. Общие сведения об участке строительства

Участок входит в состав скоростной автомобильной дороги Москва — Санкт-Петербург (рис. 1). В административном отношении он относится к Бологовскому району Тверской области, находится на пересечении трассы рекой Коломенка, через которую было предусмотрено строительство мостового перехода, и расположен в пределах её ежегодно затопливаемой поймы шириной до 200 м, кочковатой, покрытой густой травой и местами тростником. В пойме, особенно вблизи уреза воды, находятся узкие труднопроходимые заболоченные участки, так как район относится к зоне избыточного увлажнения, является равнинным, с небольшими относительными превышениями, и характеризуется неудовлетворительным поверхностным стоком.

В геоморфологическом отношении территория относится Русской равнине и расположена на Валдайской возвышенности с крупнохолмистым и грядовохолмистым рельефом, слабо расчлененным эрозией, с множеством озер и болот. Ранее, на участке, в 1977 г., проводились геолого-съёмочные работы с целью составления региональных карт масштаба 1:200000 и для уточнения литолого-геологических границ региона [2].

Согласно инженерно-геологическому районированию, территория располагается в пределах инженерно-геологического региона второго порядка — Московской синеклизы, а в гидрогеологическом отношении относится к Московскому артезиан-

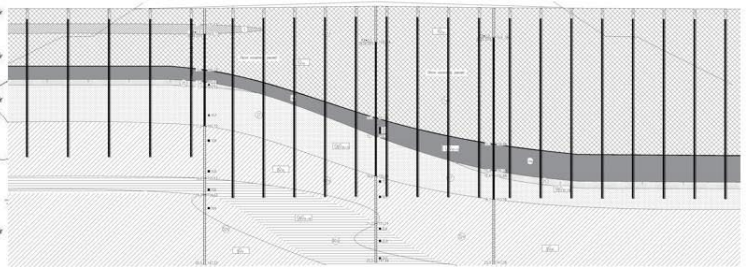
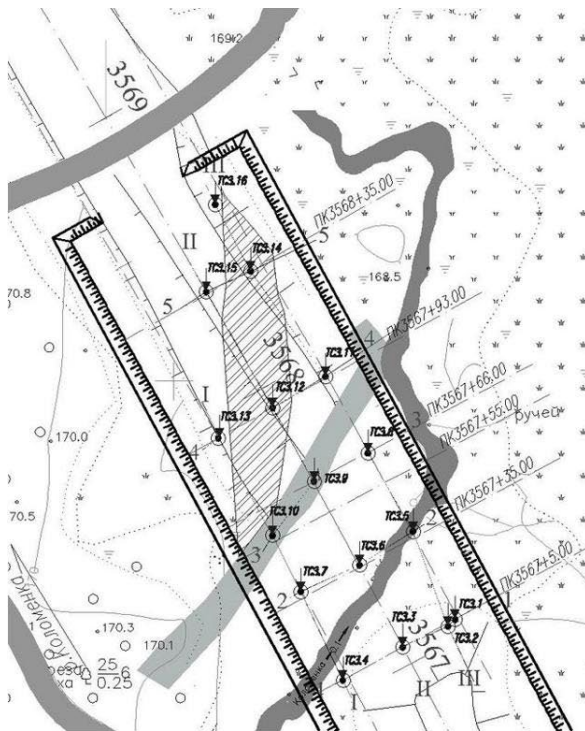


Рис. 1. Участок мостового перехода через реку Коломенку скоростной автодороги Москва-Санкт-Петербург М-11.

скому бассейну [3, 4]. Инженерно-геологические условия участка мостового перехода являются сложными из-за заболоченности участка и залегания в разрезе слабых, со строительной точки зрения, грунтов разного генезиса.

2. Материалы и методы исследования

Для оценки инженерно-геологических условий участка строительства мостового перехода через р. Коломенку с целью принятия оптимальных решений при выборе площадки расположения проектируемого сооружения, поэтапно проводился полный комплекс инженерных исследований, в процессе которых последовательно выполнялись поставленные задачи.

На начальном этапе работ, включавших бурение скважин и статическое зондирование на обоих берегах реки, основной задачей было определение глубины залегания надежных пород основания. Скважинами, вскрывшими с поверхности и близко к ней торф, было установлено, что под ледниковыми отложениями gIIIv на глубинах от 39,0 м до 41,0 м залегают известняки каменноугольного возраста (рис. 2).

В процессе дальнейшей работы проводилось уточнение геологического строения участка мостового перехода и дополнительные исследования с целью более детальной оценки инженерно-геологических разрезов и физико-механических характеристик слагающих их грунтов, так как было выяв-

лено несоответствие вновь полученных данных по напластованию грунтов на участке результатам ранее проведенных изысканий.

В ходе изысканий, было установлено, что до исследуемой глубины 46,0 м в геологическом строении принимают участие породы четвертичного и каменноугольного возраста (рис. 2 и 3).

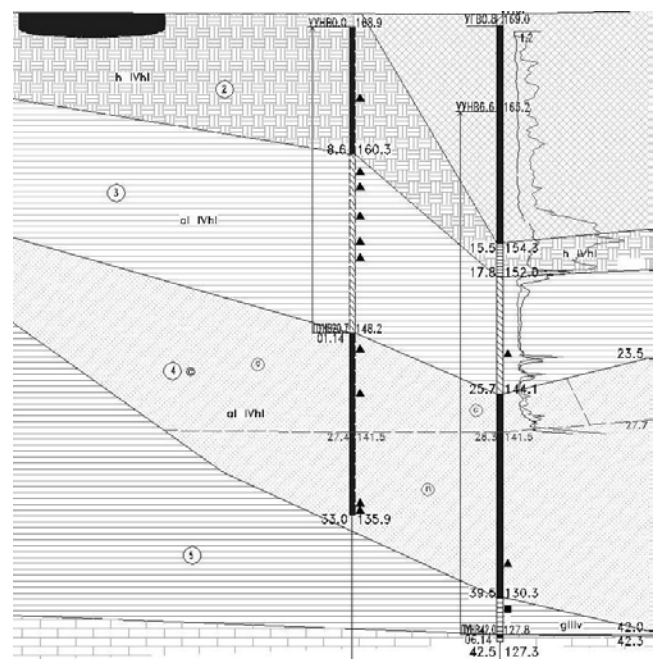


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез по пробуренным скважинам, вскрывшим с поверхности и на глубине торфа, в основании — известняки.

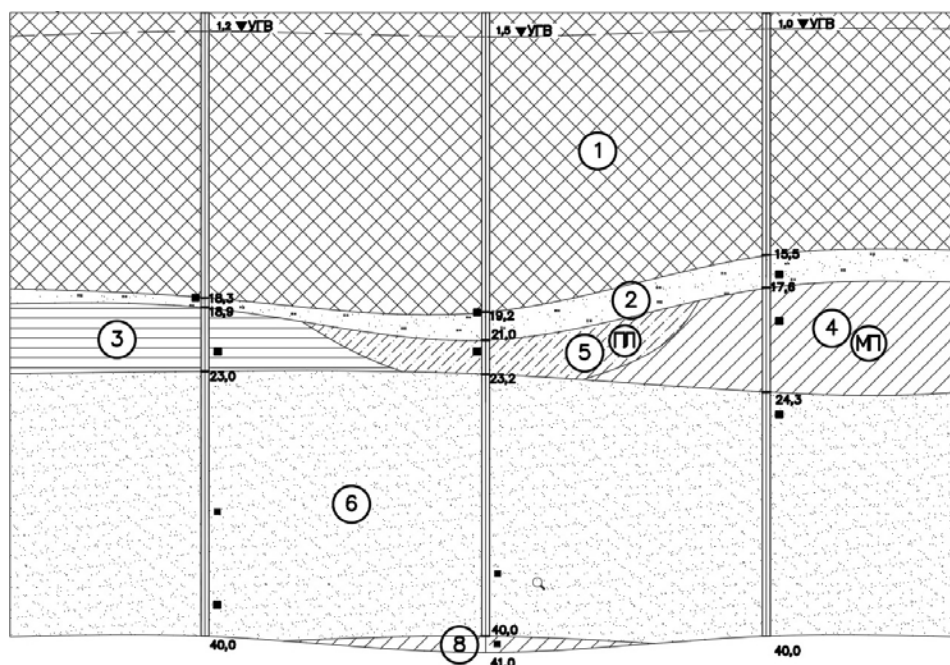


Рис. 3. Инженерно-геологический разрез участка через р. Коломенка.
1 — насыпные грунты tIV;
2 — торф; заторфованные пески — hIII–IV;
3 — глины текучие и суглинки текучие и текучепластичные — lgIII–IV;
4 — суглинки lgIII;
5 — супеси gIII;
6 — пески разнородные (lg II–III);
7 — супеси (g II);
8 — суглинки (g II).

Современные отложения представлены техногенными насыпными грунтами: песком средней крупности и торфами (tIV), вскрытыми повсеместно; болотными отложениями — торфами (hIVhl), вскрытыми под насыпными грунтами и с поверхности. К пойме р. Коломенка приурочены аллювиальные отложения (alIVhl), залегающие под техногенными и болотными и представленные глинистыми грунтами (с примесью органических веществ или отсутствием примеси), а также песками средней крупности с прослоями песка различной крупности, различной плотности.

Значительная часть разреза сложена современными и верхнечетвертичными отложениями, представленными биогенными образованиями (hIII–IV) (торф, заторфованные пески) и озёрно-ледниковыми (lgIII–IV) глинами и суглинками.

Большинством скважин под аллювиальными отложениями вскрыты верхнечетвертичные отложения: озёрно-ледниковые суглинки (lgIII) и ледниковые (gIII) глинистые грунты с включениями гравия, гальки и валунов, с прослоями глины, суглинка и супеси, в отдельных местах — песка.

Также в разрезе присутствуют верхне- и среднечетвертичные отложения: озёрно-ледниковые пески разнородные (lgII–III), среднечетвертичные пески мелкие (f,lg IIms), ледниковые глины, супеси и суглинки (g IIms).

В основании вскрытого разреза залегают каменноугольные известняки трещиноватые (C₁).

Изучение физико-механических свойств грунтов участка строительства проводилось в соответствии с действующими нормативными документами.

Подземные воды на площадке мостового перехода приурочены к четвертичным и каменноугольным отложениям и гидравлически связаны между собой водой в реки Коломенка, представляя единый водоносный горизонт. В современных четвертичных отложениях, представленных торфом и насыпным песком средней крупности, они являются безнапорными. Их питание происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков и снеготаяния. На участке они вскрыты в интервалах глубин 0,0–6,4 м. Напорные воды зафиксированы в интервале глубин 31,5–39,2 м в современных аллювиальных и верхнечетвертичных песках и каменноугольных известняках. Они имеют гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-магний-состав. По степени агрессивного воздействия воды на бетон марки W4, оцениваются как неагрессивные; к арматуре железобетонных конструкций — как слабоагрессивные при периодическом смачивании и неагрессивные — при постоянном смачивании.

3. Результаты и обсуждение

Строительство однопролетного моста с подходами насыпями первоначально планировалось над руслом реки Коломенка. При инженерном освоении участка возникли определённые трудности из-за некорректности ранее выполненных изысканий. На этапе устройства свайного основания выяснилось, что сваи не обеспечивают требуемую несущую способность, т. к. погружение опытных свай при их забивке под мостовую опору оказалось больше глубины, указанной в проекте («сваи проваливались»). Сложные инженерно-геологические

условия участка сделали невозможным устройство свайного поля на участке существующего русла реки.

Проектную документацию откорректировали, и было принято решение о переносе русла реки. Соответственно также возник вопрос изменения местоположения моста в зону с наименьшей глубиной залегания слабых грунтов (на 150 метров дальше первоначально выбранной площадки).

На участке прежнего русла реки необходимо было осуществить комплекс работ, связанных с созданием подходной насыпи к мосту.

Анализ инженерно-геологических особенностей участка мостового перехода показал, что значительная часть разреза представлена глинистыми отложениями различной консистенции, залегающими в виде выклинивающихся линз и пропластков под торфами и насыпными грунтами. Наличие их, наряду с торфом, явилось причиной проблем, которые возникли при инженерном освоении участка и выразились в деформации грунтовой толщи там, где она имеет максимальную мощность. Отсыпка площадки под свайное поле песком мощностью до 20 м вызвала неблагоприятные процессы в этих грунтах, испытывающих значительную нагрузку от вышележащей толщи. При этом происходило частичное выдавливание торфов и глинистых грунтов текучей и текучепластичной консистенции в стороны и частичная их консолидация. На

отдельных участках было установлено значительное уплотнение торфа, и, как следствие, его сильная осадка. На рисунке 4 представлен фрагмент схематического инженерно-геологического разреза, демонстрирующий значительную осадку торфа после отсыпки площадки под свайное поле. Также наблюдалось интенсивное проседание насыпи с выпором остатков торфа в сторону русла и по бокам платформы, при этом максимальная осадка по данным геодезических наблюдений составила около 1140 см [5].

С целью принятия решений по обеспечению устойчивости основания насыпи, проводилась оценка состава и физико-механических свойств тофов, заторфованных песков и глинистых отложений, которая охарактеризовала их следующим образом.

Торфа и заторфованные пески (tIV) мощностью от 0,5 м до 2,5 м вскрыты скважинами в различных точках участка под насыпными грунтами (песками различной крупности, мощность которых достигает 25,0 м. Относительное содержание органического вещества (I) в них изменяется в узких пределах, достигая 40 и 50%, что свидетельствует о граничном физическом состоянии испытанных образцов [6]. Таким образом, сильнотаторфованные пески ($I=0,41$) и торфа ($I=0,50$) близки по своему состоянию, что и подтверждают полученные данные (табл. 1).

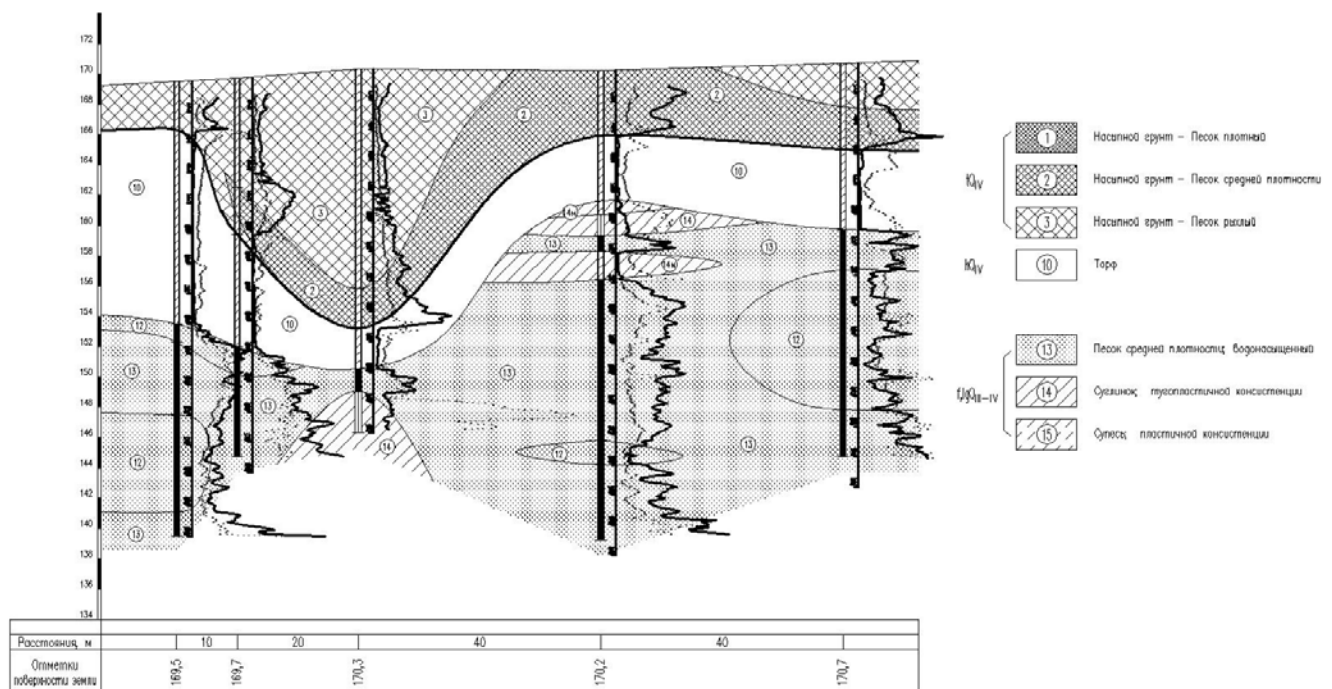


Рис. 4. Схематический инженерно-геологический разрез, характеризующий значительную осадку торфа после отсыпки площадки под свайное поле.

Таблица 1. Сводная таблица физических свойств торфов и заторфованных песков

Показатели физического состояния	Торф	Заторфованные пески
Влажность естественная, д. е.	1,59...2,72	1,60...2,92
Плотность, г/см ³	1,03...1,09	1,07...1,28
Плотность сухого грунта, г/см ³	0,28...0,44	0,27...0,49
Плотность минеральной части, г/см ³	1,65...1,96	2,08...2,48
Коэффициент пористости, д. е.	3,45...5,61	3,84...6,61
Степень водонасыщения, д. е.	0,90...0,92	0,92...1,00
Полная влагоёмкость, д. е.	1,76...3,01	1,61...3,18

Основные сложности при инженерном освоении участка были обусловлены наличием в разрезе «слабых» глинистых грунтов, приуроченных к различным его частям как по площади, так и по глубине. При их оценке основное внимание было направлено на изучение аллювиальных отложений (alIVhl), а также озёрно-ледниковых образований (современные и верхнечетвертичные; верхнечетвертичные), занимающих значительную часть разреза. Показатели их физического состояния представлены в таблице 2.

Анализ полученных результатов показал, что глинистые аллювиальные и озёрно-ледниковые отложения имеют значительную влажность, которая во многих случаях превышает значения 0,40, достигая 0,70. Они характеризуются текучепластичной и текучей консистенцией (показатель текучести > 0,75 и > 1,00) и лишь в некоторых случаях — мягкопластичной (показатель текучести составляет 0,56...0,61).

Следует отметить, что показатели физического состояния современных аллювиальных (alIVhl), а также современных и верхнечетвертичных озёрно-ледниковых (lgIII–IV) глинистых отложений (глины и суглинки) близки по своим значениям, показатель относительной влажности, позволяющий судить об их относительной дегидратированности, превышают единицу, в то время как верхнечетвертичные озёрно-ледниковые (lgIII) суглинки характеризуются меньшей влажностью и большей плотностью, показатель относительной влажности составляет 0,85...0,86.

Оценка прочностных и деформационных характеристик озёрно-ледниковых (lgIII–IV) глинистых отложений, полученных в результате сдвиговых и компрессионных испытаний, показала, что они обладают малой прочностью и значительной сжимаемостью. Для глин текучих и суглинков текучих угол внутреннего трения (ϕ , град) составляет 8,89 при сцеплении (C , МПа) — 0,007, модуль деформации (E_0 , МПа) — 2,524.

Таким образом, грунты, слагающие разрез участка, характеризуются высокой естественной влажностью, малой плотностью, а также значительной и неравномерной деформируемостью — сжимаемостью, что свидетельствует о невозможности их использования в качестве основания насыпи без улучшении строительных свойств.

На основе анализа и оценки инженерно-геологических особенностей участка мостового перехода, а также их влияния на производство работ на различных этапах инженерного освоения площадки

Таблица 2. Сводная таблица физических свойств глинистых аллювиальных и озёрно-ледниковых отложений

Показатели физического состояния	Современные аллювиальные отложения (alIVhl)	Современные и верхнечетвертичные отложения lgIII–IV		Верхнечетвертичные отложения lgIII
		Без органики	С примесью органического вещества	
Влажность, д. е.	0,40 ...0,46	0,41...0,70	0,36 ...0,63	0,28 ...0,29
Влажность на границе текучести, д. е.	0,44...0,52	0,27 ...0,57	0,29...0,60	0,32 ...0,34
Влажность на границе раскатывания, д. е.	0,22 , ...0,27	0,19 ...0,36	0,20 ...0,31	0,22...0,23
Число пластичности, д. е.	0, 21...0,27	0,08...0,21	0,09 ...0,29	0,10 ...0,11
Показатель текучести, д. е.	0,77...0,89	0,78...2,10	0,87...1,66	0,56...0,61
Показатель относительной влажности, д. е.	0,98...1,05	>1	>1	0,85...0,86
Плотность грунта, г/см ³	1,73...1,86	1,59...2,00	1,62 ...1,86	1,95...1,97
Плотность сухого грунта, г/см ³	1,21...1,28	0,93...1,60	1,00...1,37	1,51...1,54
Плотность минеральной части, г/см ³	2,70...2,74	2,71...2,78	2,71 ...2,74	2,71...2,72
Коэффициент пористости, д. е.	1,12...1,25	0,69...1,97	0,98...1,75	0,76 ...0,80
Степень влажности, д. е.	0,94...1,00	0,91...1,00	0,94...1,00	0,98 ...0,99
Потери при прокаливании, %	4,4...6,6		4,4...6,6	

строительства были сделаны выводы о необходимости уплотнения рыхлых насыщенных водой песков, упрочнения органических и слабых глинистых грунтов и определены мероприятия для этих целей.

В мировой практике строительства известен целый ряд технологий, позволяющих поддерживать стабильное состояние земляного полотна. Вопросы улучшения физико-механических свойств оснований грунтовых сооружений изложены в большом количестве научных публикаций и в значительной степени обобщены в соответствующей работе [10]. Разработками уплотнения грунтов оснований взрывным методом с 1949 года занимались специалисты кафедры «Подземные сооружения, основания и фундаменты» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета под руководством профессора В. А. Флорина и профессора П. Л. Иванова [7,8,14]. Данный способ уплотнения грунтов успешно применялся в строительстве сооружений различного назначения в РФ и за рубежом [9,12].

Решением проблемы, связанной с повышением несущей способности грунтов основания подходной насыпи на участке прежнего русла реки Коломенка, в рамках научно-исследовательской работы занимались сотрудники кафедры «Основания и фундаменты» ФГБОУ ВО ПГУПС под руководством профессора В. М. Улицкого [6, 11, 13]. Вопросы ускорения консолидации слабых грунтов и уплотнения рыхлых песков были разработаны в утвержденной проектной документации, кроме этого, параллельно была выполнена научно-исследовательская работа, посвященная созданию прочного основания подходной насыпи в сложных инженерно-геологических условиях. Предложенный метод на основе формирования вертикальных песчаных дрен с применением буровзрывной технологии зарекомендовал себя как один из наиболее эффективных и экономичных способов ускорения процесса консолидации торфов, текучих и текучепластичных глинистых грунтов, а также уплотнения рыхлых песков. Суть метода заключается в поочередном или групповом взрывании зарядов, вызывающих разжижение и уплотнение несвязных грунтов, или образовании песчаной сваи дрены в связных грунтах с последующим их уплотнением [15].

Таким образом, для стабилизации насыпи на водонасыщенных несвязных грунтах была применена технология по усилению слабой толщи под основанием дорожной насыпи и по уплотнению песка дорожного полотна, сопровождающаяся созданием вертикальных песчаных дрен с использованием энергии взрыва, что предполагало ускоре-

ние консолидации слабых органических грунтов, а также уплотнение рыхлых песков [8].

Период производства работ по стабилизации основания дорожной насыпи составил 2,5 года (3 этапа), в течение которого проводились следующие виды исследований:

1) инженерно-геофизические изыскания, которые включали в себя: электроразведку, сейсморазведку, георадиолокационное профилирование; мониторинг изменения порового давления в толще песчаных и глинистых грунтов;

3) геодезический мониторинг, состоящий из планово-высотного определения смещения деформационных марок, величин суммарных накопленных осадок, лазерного сканирования поверхности объекта;

2) инженерно-геологические изыскания: отбор проб, статическое зондирование для уточнения геологического строения участка;

4) инклинометрические измерения. С помощью скважинного инклинометра определены границы скольжения грунтового массива.

В процессе работ проводилось бурение контрольных скважин и вблизи каждой скважины выполнялось статическое зондирование (СЗ). Полученные данные позволили оценить изменения, происходящие в массиве грунта, и качество выполненных буровзрывных работ.

Для наглядности результатов исследования на рисунке 5 представлен один из разрезов исследуемой насыпи. Приведено изменение геологического разреза, исследуемого в нескольких точках СЗ (ТСЗ) до начала и после завершения работ. Из анализа данных зондирования видно, что насыпной песок (слой 1), ранее находившийся в рыхлом состоянии, был уплотнен до плотного состояния. При этом для обеспечения проектной отметки верха дорожной насыпи дополнительно производилась песчаная отсыпка. Таким образом увеличилась мощность слоя 1 от 2,6 до 13,3 м (рис. 5)

Геодезические наблюдения за высотным положением осадочных марок, установленных по оси земляного полотна и пригрузочным бермам, позволили оценить величины деформаций, скорости их развития, а также неравномерности деформаций.

В результате геодезической съемки было зафиксировано, что осадка основания земляного полотна происходила с большей скоростью в процессе производства работ, а в промежутках между этапами взрывных работ наблюдалась ее стабилизация (рис. 6).

Также при сравнении третьего этапа производства с двумя предшествующими, можно заметить, что в период проведения буровзрывных работ ско-

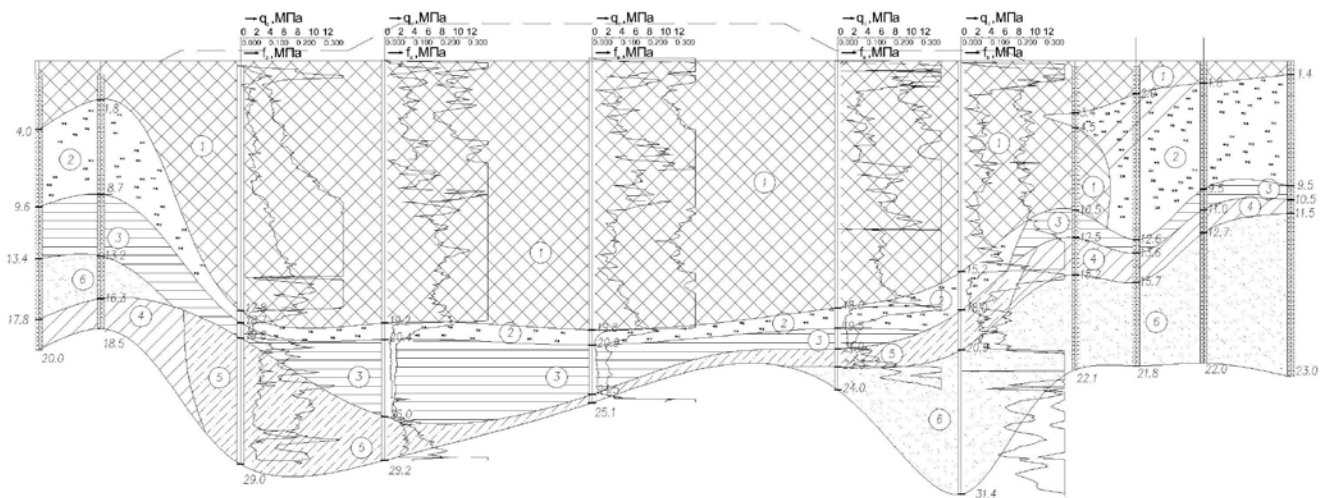


Рис. 5. Поперечный разрез исследуемой насыпи. цифра в кружках: 1 — насыпные пески (t, IV); 2 — торфы, заторфованные пески (h,QIII–IV); 3 — глина текучая, суглинки текучепластичные и текучие (QIII–IV); 4 — суглинок твердый и мягкопластичный (Iq,QIII); 5-супесь твердая и пластичная (g, QIII); 6 — пески разной крупности (QII–III)

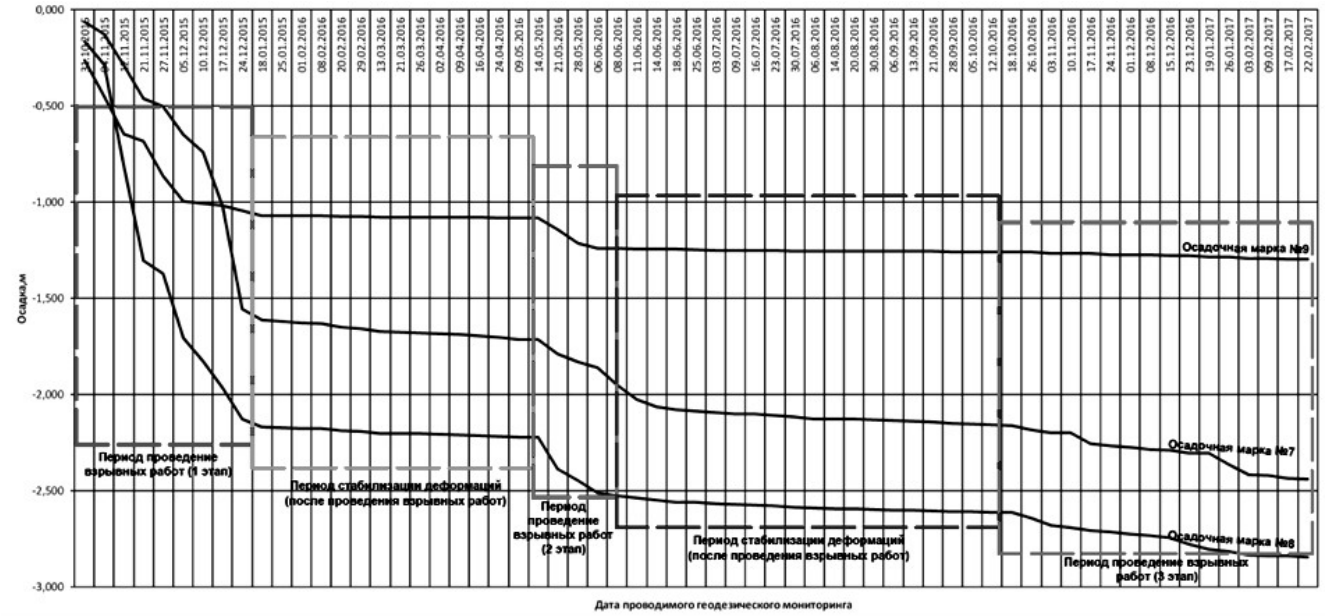


Рис. 6. Результаты наблюдений за деформацией грунтовых реперов.

рость осадки приравняется к периоду стабилизации.

Геодезические наблюдения подтвердили эффективность работы, на участке производства работ было достигнуто равновесие между нагрузками от веса насыпи и несущей способностью основания.

На рисунке 7 представлена область накопленных вертикальных деформаций по наблюдениям за грунтовыми марками на протяжении всего периода работы. На участке, где ранее протекала река, наблюдаются максимальные осадки по отношению к первоначальным значениям.

Целью выполненных геофизических исследований являлась качественная оценка степени уплотнения грунтов в основании насыпи по технологии стабилизации основания с использованием энергии взрыва на основании изменений физических параметров — скоростей распространения упругих волн.

Профиль 1, по которому построены сейсмографические разрезы, представляет собой сечение, расположенное на 24 м правее и параллельно оси земляного полотна по направлению Москва — Санкт-Петербург.

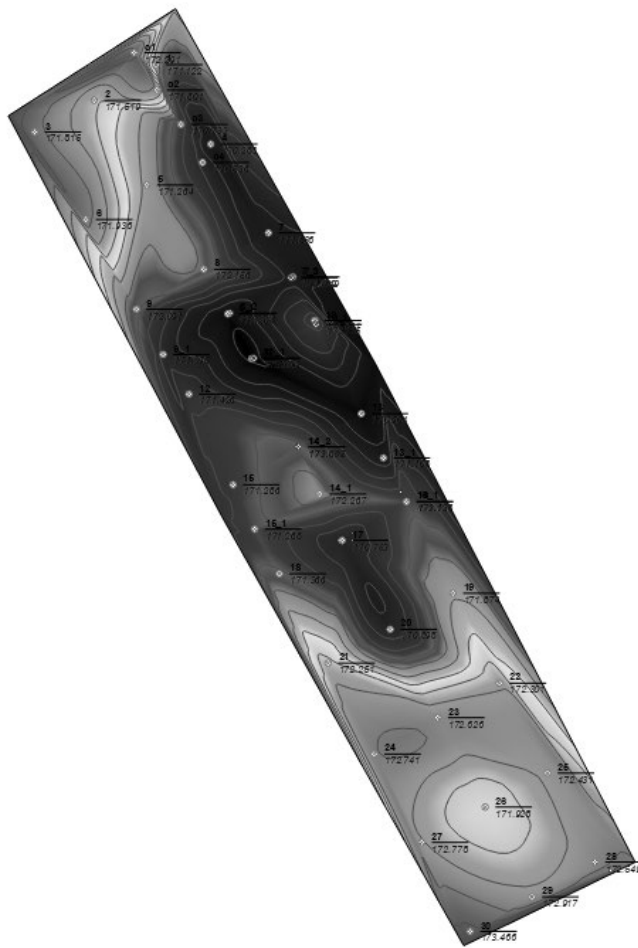


Рис. 7. Область накопленных вертикальных деформаций участка после производства работ: светлый — 0 мм, черный — 2500 мм.

Скоростные разрезы по результатам сейсморазведочных работ протяженностью 240 м характеризуют пространственное распределение скоростей упругих S-волн (рисунок 8) и Р-волн (рисунок 9) по глубине. Анализ разрезов показал, что скорость распространения Р-волн определяется составом и влажностью грунтов, а на скорость распространения S-волн влажность практически не влияет, зато влияет изменение плотности их сложения. Поскольку состав грунтов на различных этапах исследований практически не менялся, на основании представленных разрезов можно качественно оценить степень уплотнения грунтов под действием энергии взрыва.

Сопоставление скоростных разрезов на первом, втором и третьем этапах показывает, что в разрезах произошли изменения как в характере, так и в значениях распределения скоростей.

Сопоставление изменений, наблюдаемых на сейсмотомографических Р-волн и S-волн позволяет сделать на качественном уровне вывод о том, что проведение взрывных работ приводит, в первую очередь, к перераспределению частиц грунта

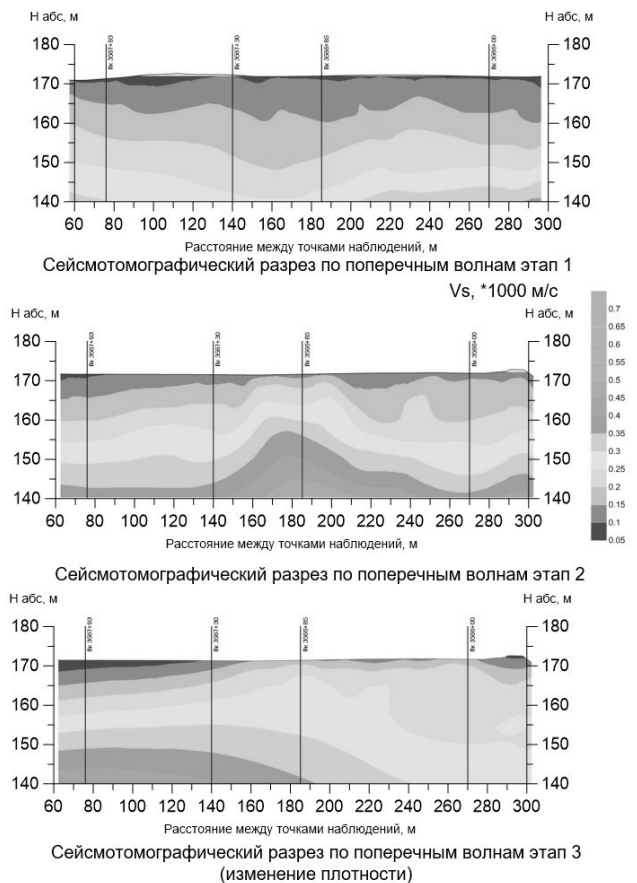


Рис. 8. Сейсмотомографические разрезы по поперечным волнам (S-волнам), построенные по результатам первого, второго и третьего этапов производства работ, согласно профилю 1.

и уплотнению основания насыпи в пределах интервалов разрезов, контролируемых увеличением скоростей S-волн. Изменение влажностного режима грунтов вторично и заметно проявляется после второй стадии взрывных работ.

Различия в распределении значений скоростей сейсмических волн обусловлены в первую очередь изменениями влажности и плотности грунтов. После проведения взрывных работ на некоторых интервалах разрезов, обработанных взрывами, наблюдалось увеличение скоростей Р-волн и S-волн, свидетельствующее о произошедшем уплотнении грунтов и уменьшении их влажности.

Таким образом, комплексные исследования на участке мостового перехода через р. Коломенка с целью обоснования возведения подходной насыпи позволили детально изучить инженерно-геологический разрез и выявить наиболее точное положение кровли прочных пород основания, а также определить глубины залегания структурно-неустойчивых грунтов.

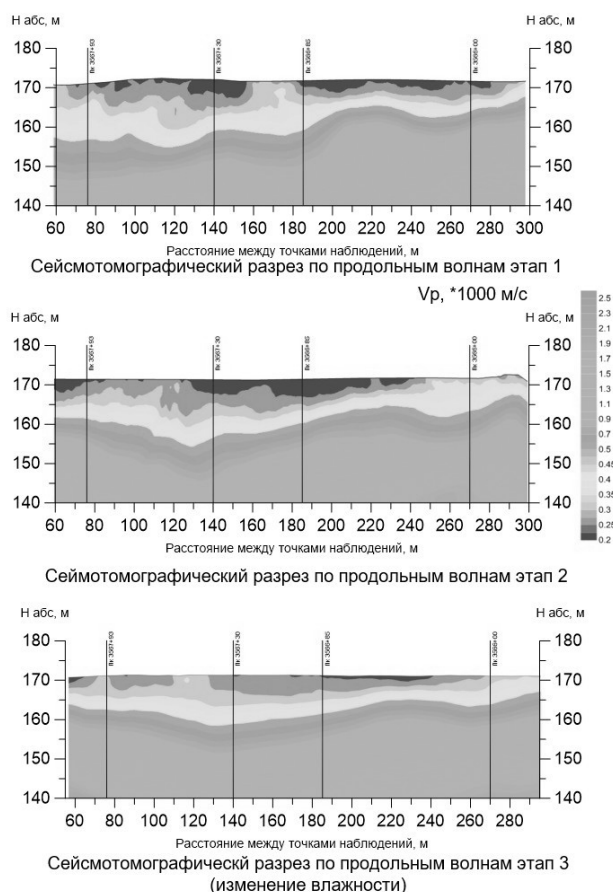


Рис. 9. Сейсмотомографические разрезы по продольным волнам (Р-волнам), построенные по результатам первого, второго и третьего этапов производства работ, согласно профилю 1.

На основе оценки физико-механических свойств грунтов были сделаны выводы о невозможности их использования без улучшения строительных свойств: уплотнения рыхлых насыщенных водой песков, упрочнения органических и слабых глинистых грунтов. Также встал вопрос о выборе способа для этих целей, в качестве которого для стабилизации насыпи на водонасыщенных несвязных грунтах была применена технология по усилению слабой толщи под основанием дорожной насыпи и по уплотнению песка дорожного полотна, сопровождающаяся созданием вертикальных песчаных дрен с использованием энергии взрыва.

Оценка эффективности проведённых работ с использованием энергии взрыва свидетельствует о стабилизации толщ слабых грунтов и об уплотнении песчаных грунтов основания дорожной насыпи, чем обеспечивается прочность и устойчивость основания, что подтверждают результаты статического зондирования, интерпретации геодезических наблюдений и комплексных геофизических работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абелев М. Ю. Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах. — М.: Стройиздат, 1983. 247 с.
2. Геологическая карта СССР масштаба 1:200000 Серия Московская Лист О-36-XXIII Недра, 1977 г.
3. Гидрогеология СССР. Том.1. Московская и смежные области. Издательство «Недра». Москва, 1966. 423 с.
4. Инженерная геология СССР. В 8-ми томах. Т. 1. Русская платформа. М., Изд-во Моск. ун-та, 1978. 528 с.;
5. Глазунов В. В., Городнова Е. В., Ефимова Н. Н., Куликов А. И., Куликова Н. В., Татарский А. Ю. Геофизический мониторинг изменений состояния грунтового основания автомобильной дороги при стабилизации грунтов с использованием энергии взрыва. Инженерная и рудная геофизика 2018-Алмааты, Казахстан, 23–27 апреля 2018. С. 22–29.
6. Городнова Е. В., Минченко А. А., Суворова Е. А. Исследование плотности сложения песчаных грунтов в основании дорожной насыпи в процессе ее уплотнения взрывами удлиненных зарядов. Известия Петербургского университета Путей сообщения. № 3. 2018. С. 371–379.
7. Иванов, П. Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений: учеб. для гидротехн. спец. вузов / П. Л. Иванов. — М.: Высшая школа, 1985. — 352 с.
8. Иванов, П. Л. Уплотнение малосвязных грунтов взрывами/П. Л. Иванов. — М.: Недра, 1983. — 230 с.
9. Имиолек Р. Уплотнение и дренирование слабых водонасыщенных грунтов взрывами удлиненных зарядов : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.02 / Санкт-Петербургский гос. техн. ун-т. — Санкт-Петербург, 1992. — 16 с.
10. Минаев О. П. Основы и методы уплотнения

- грунтов оснований для возведения здания и сооружений. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург — 2017.
11. Улицкий В. М., Городнова Е. В. Стабилизация грунтов при строительстве железных и автомобильных дорог микровзрывами // Сб. трудов III Междунар. научно-техн. конф. ФГБОУ ВПО ПГУПС «Применение геоматериалов при строительстве и реконструкции транспортных объектов». — СПб., 2013. — С. 56–57.
 12. Улицкий В. М., Имиолек Р., Городнова Е. В., Шашкин М. А. Стабилизация грунтов в основаниях дорожных сооружений по технологии микровзрывов // Дороги. Инновации в строительстве. — 2013. — № 30. — С. 95–96.
 13. Улицкий В. М., Шашкин М. А., Городнова Е. В., Sikora Z., Wyroslak M. Усиление слабых грунтов оснований дорожных сооружений // Сб. трудов междунар. научно-техн. конф. «Современные геотехнологии в строительстве и их научно-техническое сопровождение» посвященной 80-летию образования кафедры Геотехники СПбГАСУ и 290-летию Российской науки. — СПб., 2014. — Часть I. — С. 101–109.
 14. Флорин В. А. Явления разжижения и способы уплотнения рыхлых водонасыщенных оснований. Известия АН СССР, О. Т.Н., № 6, 1952.
 15. Способ преобразования строительных свойств малосвязанных обводненных грунтов взрывами зарядов взрывчатого вещества — патент на изобретение № 2635421. Заявка № 2016142965 приоритет от 31.10.2016 г. Опубликовано 13.11.2017 Бюл. № 32. Кантор В. Х., Жуликов В. В., Щеткин К. А., Аверьянов В. И., Улицкий В. М., Городнова Е. В.