

УДК 625.15

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-190-200

*В.С. ЧУРИЛИН, Г.В. ПУШКАРЁВА,**Томский государственный архитектурно-строительный университет*

О НЕОБХОДИМОСТИ УЧЁТА ГЕНЕТИКИ ГРУНТОВ ПРИ ИХ КОМПЛЕКСНОМ УКРЕПЛЕНИИ

Решение актуального вопроса обеспечения межремонтных сроков автомобильных дорог на территории России возможно за счёт технологии укрепления грунтов земляного полотна цементом. Грунты представляют собой оригинальную многокомпонентную систему, оказывающую влияние на деформационные и прочностные характеристики композиции (цемент и грунт). Композиция цементогрунта имеет ряд недостатков, особенно для районов с сезонным промерзанием, влияющих на её долговечность.

С целью повышения эффективности работы композиции при укреплении грунтов земляного полотна цементом применяют полимерно-минеральную добавку Nicoflok. Однако влияние регионально-генетического типа грунта на прочностные характеристики композиции цементогрунт + Nicoflok в настоящее время не изучено.

В статье выполнен факторный анализ влияния генетики грунтов на прочностные характеристики композиции. Исследование многокомпонентной системы включало в себя построение поверхности отклика факторов генетики грунтов на прочностные показатели композиции. Для перехода от качественного влияния генетики грунтов на композицию (цементогрунт + Nicoflok) к количественной оценке требуются дополнительные исследования. Эти исследования необходимо проводить по единой схеме, которая учитывает специфику сезонного промерзания грунтов земляного полотна северных районов Европейской России и Западной Сибири.

Ключевые слова: генетическая классификация грунтов; глинистый грунт; укрепление; модуль упругости; гранулометрический состав.

Для цитирования: Чурилин В.С., Пушкарёва Г.В. О необходимости учёта генетики грунтов при их комплексном укреплении // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 190–200. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-190-200

*V.S. CHURILIN, G.V. PUSHKAREVA,**Tomsk State University of Architecture and Building*

SOIL GENETICS IN ITS COMPLEX STABILIZATION

The problem of the inter-repair time of automobile roads in Russia can be solved by the reinforcing the subgrade soils with cement. Soil is a multicomponent system affecting the deformation and strength properties of the composition (cement and soil). The cement-soil composition has drawbacks, especially in seasonal freezing regions, which affects its durability.

In order to increase the composition efficiency, the Nicoflok polymer-mineral additive is used to strengthen subgrade with cement. However, the influence of the type regional and genetic soil on strength properties of the cement-soil + Nicoflok composition is yet studied.

The paper presents the factor analysis of the influence of soil genetics on the composition strength properties. The study of the multicomponent system includes the response surface of the soil genetics on the strength properties of the composition. Additional studies are required to move from the qualitative evaluation of the soil genetics on the composition (cement-soil + Nicoflok) to the quantitative evaluation. These studies must be carried out according to a single scheme, which regards the seasonal freezing of subgrade soils in the northern regions of European Russia and West Siberia.

Keywords: genetic soil classification; clayey soil; stabilization; elastic modulus; grain size distribution.

For citation: Churilin V.S., Pushkareva G.V. O neobkhodimosti ucheta genetiki gruntov pri ikh kompleksnom ukreplenii [Soil genetics in its complex stabilization]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 190–200. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-190-200

Перед дорожной отраслью Правительством Российской Федерации поставлены задачи по развитию инфраструктуры дорожного хозяйства, обеспечивающие транспортную связь между центрами экономического роста, в рамках федерального проекта «Региональная и местная дорожная сеть». При этом актуальными остаются вопросы повышения эффективности технологических решений при строительстве, капитальном ремонте и реконструкции автомобильных дорог и достижения межремонтных сроков, установленных в ГОСТ Р 58861–2020¹. Одним из решений вопросов может стать применение в основании дорожной одежды местных укрепленных грунтов. Согласно ГОСТ 23558–94², укрепленный грунт – искусственный материал, получаемый преимущественно смешением непосредственно на дороге (с использованием фрез) грунта с цементом или другим неорганическим вяжущим и водой и отвечающий нормируемым показателям качества по прочности и морозостойкости в проектные и промежуточные сроки.

Практика укрепления грунтов для повышения их физико-механических свойств зафиксирована при строительстве пирамид Шэнси между Тибетским нагорьем и Монгольским плато более 5000 лет назад. А известь применялась для укрепления римских дорог более 2000 лет назад [1]. Первые работы по использованию цемента для укрепления грунта были проведены при строительстве улицы в Сарасоте, штат Флорида, в 1915 г. Советским академиком П.А. Ребиндером внесён значительный вклад в изучение укрепления грунтов добавками с поверхностно-активными низко- и высокомолекулярными веществами [2]. Однако недавние исследования [3] преждевременных разрушений дорожной одежды на грунтах, укрепленных цементом и известью, содержащих сульфаты, поставили под сомнение эффективность укрепления грунтов материалами на основе кальция. Эти разрушения связаны с образованием этtringита при реакции смешивания кальция с сульфатами в грунте, который разрывает композицию изнутри (сульфатная коррозия). Пример сульфатной коррозии в бетонной призме представлен на рис. 1.

Образование этtringита играет важную роль при снижении долговечности композиции цементогрунта. Кроме того, на долговечность композиции оказывают влияние такие процессы, как преобразование портландита в гипс, обратимые реакции гидратации и дегидратации сульфатов и солей [5]. Кроме

¹ ГОСТ Р 58861–2020. Дороги автомобильные общего пользования. Капитальный ремонт и ремонт. Планирование межремонтных сроков. Москва: Стандартинформ, 2020. 16 с.

² ГОСТ 23558–94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Москва: Стандартинформ, 2005. 10 с.

сульфатной коррозии, композиция цементогрунт в районах сезоннопромерзающих грунтов подвергается морозному пучению. Цемент с грунтом образуют прочную композицию, которая имеет меньшую пластичность по сравнению с грунтом до укрепления. Последствия потери пластичности приводят к хрупкости материала [6]. На рис. 2 представлено разрушение цементогрунта при содержании цемента 0, 3, 5 и 7 % от массы грунта [14].



Рис. 1. Сульфатная коррозия, вызывающая обширное образование этtringита в бетонной призме (фото из CEB Design Guide, Durable Concrete Structures, London, Thomas Telford, 1989 [4])



Рис. 2. Разрушение образцов после эксперимента на одноосное сжатие (фото из Journal Cold Regions Science and Technology, Freeze-thaw performance of a cement-treated expansive soil, 2020 [7])

По характеру разрушения образцов из рис. 2 видно повышение хрупкости цементогрунта при увеличении содержания цемента. Увеличение хрупкости цементогрунта в случае воздействия на него морозного пучения может

приводить к снижению общей прочности дорожной конструкции в первый год эксплуатации автомобильной дороги.

Оптимальное твердение цемента и повышение долговечности композиции цементогрунт при воздействии морозного пучения возможно путём добавления в него полимерно-минеральной композиции Nisoflok [8]. Однако для эффективного укрепления связанных грунтов необходимо знание процессов гидрофобизации, физическая суть которой заключается в том, что смачиваемость или несмачиваемость грунта находится в зависимости от кристаллической структуры его минералов, характера их межпакетных и межмолекулярных связей, а также основ регионально-генетического типа грунта.

Изучением формирования грунтов³ на отдельных территориях занимался профессор В.В. Докучаев [9], впервые в 1886 г., изложив теорию образования чернозёмов, описал их морфологические признаки и свойства. В.В. Докучаев рассматривал грунты как тела, находящиеся в постоянном развитии, и сформировал закон географического распределения грунтов на земной поверхности (зональное распределение грунтов).

В работе профессора Н.М. Сибирцева в 1900 г. [10] представлена естественно-историческая классификация грунтов:

- геолого-петрографическая;
- химико-петрографическая;
- физическая;
- смешанная;
- генетическая.

Последнюю классификацию профессор Н.М. Сибирцев выделяет как особую группу классификации грунтов. В её основе – функции или произведения определенных естественных почвообразователей. Генетическая классификация даёт представление о грунте как об оригинальном геофизическом образовании, подчиняемом в своём развитии определенным естественным законам [10]. Следовательно, грунты, слагающие поверхностные отложения, зависят от сочетания факторов [9, 10] и определяются местными условиями, которые характерны для определенных территорий. Карта почвообразующих пород из Национального атласа почв РФ [11] свидетельствует о том, что на территории Томской области преобладают глинистые и тяжелосуглинистые, редко супесчаные породы (грунты).

В дорожном строительстве используют в основном поверхностные слои грунтов, затронутые разной степенью процесса почвообразования [12]. Для территории Томской области и Западной Сибири С.В. Ефименко получены результаты гранулометрического состава грунтов земляного полотна автомобильных дорог [13]. На рис. 3 сопоставлено содержание пылеватых и глинистых частиц грунтов территорий Западной Сибири и Европейской России.

Из рис. 3 следует, что процессы, которые формировали гранулометрический состав грунтов на территории Западной Сибири, протекали в одном

³ В работах В.В. Докучаева и Н.М. Сибирцева применяется термин «почва», который близок по определению к термину «грунт». Для инженеров в дорожном строительстве более понятен термин «грунт».

направлении и образовали близкий по гранулометрическому составу грунт поверхностных отложений. Таким образом, можно считать, что пылевато-глинистый грунт, отбор которого был осуществлён в пос. Лоскутово Томской области, является характерным для территории Западной Сибири. В свою очередь, грунты юга европейской части России имеют значительные отличия от грунтов Западной Сибири.

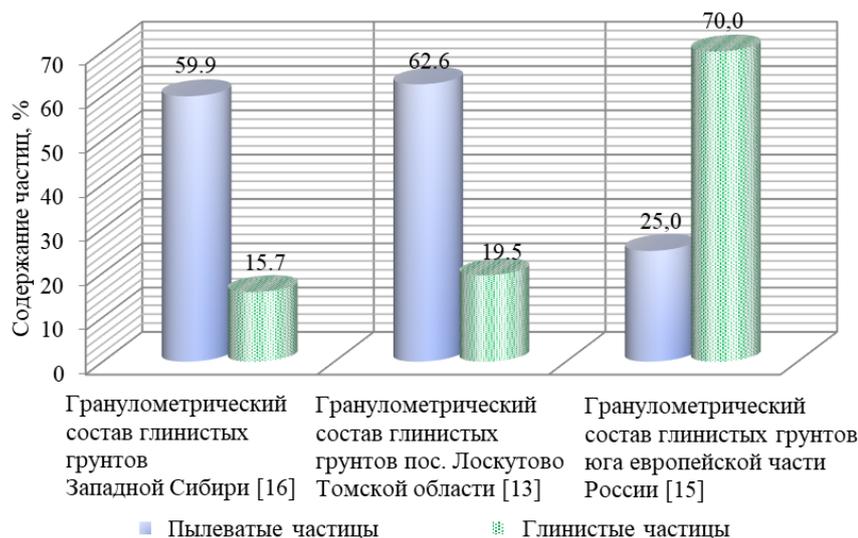


Рис. 3. Содержание пылеватых и глинистых фракций в образцах глинистых грунтов, характерных для территории Западно-Сибирского региона и юга европейской части России

Рентгенограмма грунта из пос. Лоскутово Томской области, полученная профессором В.Н. Ефименко [16], показывает кристаллические составляющие поликомпонентной системы, которые включают содержание кварца (60,7 %), плагиоклаза (15,4 %), монтмориллонита (14,5 %), а также кальцита, хлорита и микроклина, суммарная интенсивность дифракционных отражений которых приблизительно равна 3 %.

Профессор В.В. Охотин в работе [17] оценил влияние отдельных факторов на физико-механические свойства грунта. Например, с увеличением количества в грунте глинистых частиц повышалась максимальная молекулярная влагоёмкость грунта, что, в свою очередь, сказывается на его дренирующих свойствах. Минералогический состав обуславливает форму частиц и связан с удельной поверхностью, которая влияет на приток влаги при промерзании грунтов земляного полотна. Отдельное внимание нужно уделить особенностям состава обменных катионов грунтов земляного полотна автомобильных дорог. Минералы группы каолинита практически не содержат обменных катионов. В иллите основным обменным катионом является калий. Минералы группы монтмориллонита в качестве обменных катионов содержат в основном ионы Na^+ и Ca^{2+} , которые могут частично замещаться K^+ , Cs^+ , Mg^{2+} и другими межслоевыми катионами. Весьма сильно способствуют набуханию грунтов хорошо

гидратируемые одновалентные катионы Na^+ , K^+ . В свою очередь, катионы Ca^{2+} увеличивают пучинистые свойства грунта примерно в 4,5 раза по сравнению с одновалентным катионом Na^+ . Таким образом, с увеличением валентности обменных катионов степень набухания понижается, а морозное пучение грунтов возрастает [18, 19].

Для анализа влияния генетики грунтов на их свойства при укреплении цементом и полимерно-минеральной композицией Nicroflok сформирована база данных лабораторных исследований [20–23]. Единичные параметры, отражённые только в одном исследовании, исключались из общей базы. На рис. 4 представлена база данных для анализа в программе Statistica.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|-----------------------|---------------------------------|---|--------------------------------|----------------------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | Район исследования | Разновидность глинистого грунта | Максимальная плотность, г/см ³ | % содержание частиц 1 - 0,1 мм | % содержание частиц менее 0,1 мм | Граница текучести, % | Граница раскатывания, % | Содержание цемента, % | Содержание Nicroflok, % | Прочность на сжатие, МПа | Прочность на изгиб, МПа |
| 1 | Белоруссия | Суглесь | | 52,9 | 44,9 | 17,7 | 15,3 | 10 | 1 | 4,97 | 1,71 |
| 2 | Нижегородская область | Суглинок | 1,85 | 46,2 | 16,7 | 32 | 24,8 | 9 | 0,9 | 7,3 | 2,2 |
| 3 | Алтайский край | Суглесь | 2,53 | 19,46 | 72,99 | 19,08 | 14,75 | 6 | 0,6 | 4,91 | 1,49 |
| 4 | Алтайский край | Суглесь | 2,53 | 19,46 | 72,99 | 19,08 | 14,75 | 8 | 0,8 | 5,8 | 1,64 |
| 5 | Алтайский край | Суглесь | 2,53 | 19,46 | 72,99 | 19,08 | 14,75 | 10 | 1 | 6,77 | 1,91 |
| 6 | Томская область | Глина | 1,87 | 64,33 | 33,67 | 46,44 | 29,1 | 6 | 0,6 | 1,71 | 1,33 |
| 7 | Томская область | Глина | 1,87 | 64,33 | 33,67 | 46,44 | 29,1 | 8 | 0,8 | 1,81 | 1,38 |
| 8 | Томская область | Глина | 1,87 | 64,33 | 33,67 | 46,44 | 29,1 | 10 | 1 | 1,08 | 2,65 |

Рис. 4. Вид базы данных лабораторных испытаний в программе Statistica

Разновидность грунтов классифицировалась по ГОСТ 25100–2020⁴. Содержание глинистых и пылеватых частиц объединены в класс с процентным содержанием частиц менее 0,1 мм из-за разной классификации граничных частиц в анализируемых работах [20–23]. Параметры прочности на сжатие и прочности на изгиб приняты после 28 сут со дня изготовления образцов композиции. В базе данных лабораторных испытаний представлены средние значения прочности композиции (грунт, цемент, Nicroflok) из работ, принятых для анализа. На рис. 4 представлено содержание Nicroflok в процентном соотношении от цемента. На первом этапе выполнен факторный анализ переменных для определения структуры взаимосвязи между ними. В таблице представлена корреляционная матрица между переменными.

Корреляционная матрица между исследуемыми переменными

| Переменная | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Максимальная плотность, г/см ³ | 1,00 | -0,95 | 0,97 | -0,93 | -0,97 | -0,08 | -0,08 | 0,57 | -0,28 |
| Процентное содержание частиц 1–0,1 мм | -0,95 | 1,00 | -0,86 | 1,00 | 1,00 | 0,02 | 0,02 | -0,78 | 0,18 |
| Процентное содержание частиц менее 0,1 мм | 0,97 | -0,86 | 1,00 | -0,81 | -0,89 | -0,13 | -0,13 | 0,37 | -0,34 |

⁴ ГОСТ 25100–2020. Грунты. Классификация. Москва: Стандартинформ, 2020. 38 с.

Окончание таблицы

| Переменная | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Граница текучести, % | -0,93 | 1,00 | -0,81 | 1,00 | 0,99 | -0,00 | -0,00 | -0,83 | 0,15 |
| Граница раскатывания, % | -0,97 | 1,00 | -0,89 | 0,99 | 1,00 | 0,03 | 0,03 | -0,73 | 0,21 |
| Содержание цемента, % | -0,08 | 0,02 | -0,13 | -0,00 | 0,03 | 1,00 | 1,00 | 0,21 | 0,76 |
| Содержание Nisoflok, % | -0,08 | 0,02 | -0,13 | -0,00 | 0,03 | 1,00 | 1,00 | 0,21 | 0,76 |
| Прочность на сжатие, МПа | 0,57 | -0,78 | 0,37 | -0,83 | -0,73 | 0,21 | 0,21 | 1,00 | 0,03 |
| Прочность на изгиб, МПа | -0,28 | 0,18 | -0,34 | 0,15 | 0,21 | 0,76 | 0,76 | 0,03 | 1,00 |

Примечание. Номера столбцов соответствуют нумерации и наименованию на рис. 4.

Из корреляционной матрицы (таблица) видно влияние переменных на прочностные характеристики композиции цементогрунта и полимерно-минеральной композиции Nisoflok, которое относится к генетике грунтов (гранулометрический состав, граница текучести и граница раскатывания). Для визуальной оценки влияния переменных, принадлежащих к генетике грунтов, на прочностные характеристики построены поверхности отклика (рис. 5).

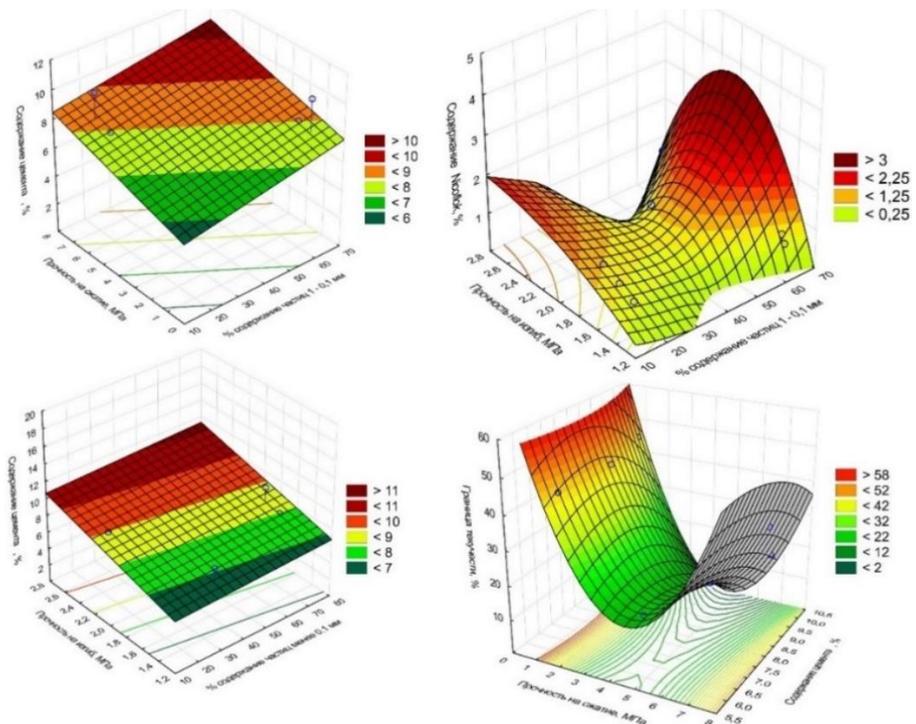


Рис. 5. Поверхности откликов при различных сочетаниях переменных

Для двух композиций с одной и той же прочностью на сжатие при границе текучести грунта 35 и 40 % необходимое содержание цемента 4 и 12 % соответственно (рис. 5). Увеличение количества цемента в композиции в 3 раза окажет значительное влияние на эффективность повышения прочности дорожной одежды. Высокая граница текучести (40–50 %) грунта возможна за счёт повышенного содержания минерала монтмориллонита, который для территории Западной Сибири содержится в значительном количестве $\approx 15\%$. При увеличении границы текучести грунта снижается его прочность на сжатие, поэтому, чтобы компенсировать это снижение, необходимо увеличить содержание цемента (рис. 5).

Заключение

При анализе работ получено качественное влияние факторов генетики грунтов на прочностные показатели композиции (грунт, цемент, Nicoflok).

С целью получения количественной оценки влияния генетики грунтов на составление эффективной композиции требуется создание единой схемы проведения лабораторных исследований. Создание общедоступной базы данных с едиными показателями позволило бы упростить процесс анализа выполняемых работ в данной тематике.

Следует отметить такой важный показатель, как долговечность представленной композиции. Для этого в районах с сезонным промерзанием грунтов следует определять прочность на сжатие при различных циклах замораживания-оттаивания.

Проведенные исследования не выявили влияния Nicoflok на пластичность композиции.

В работах отсутствует варьирование процентного содержания Nicoflok при содержании цемента, равном константе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *McDowell C.* Stabilization of soils with lime, lime-flyash, and other lime reactive materials // Highway Res Board Bull. 1959. 231: P. 60–66.
2. *Физико-химическая механика почв, грунтов, глин и строительных материалов* / под ред. П.А. Ребиндера, К.С. Ахмедова. Ташкент : ФАН, 1966. 476 с.
3. *Saussaye L., Boutouil M., Baraud F., Leleyter L.* Influence of sulfate and chloride ions on the geotechnical and microstructural properties of soils treated with hydraulic binders: individual and coupling effects. *EngGeol.* 2015. 189. P. 98–103.
4. *Comite Euro-International du Beton (CEB), Durable Concrete Structures – Design Guide,* Thomas Telford Services Ltd., London, England, 1989.
5. *Bensted J., Rbrough A., Page M.M.* Durability of Concrete and Cement Composites // Civil and Structural Engineering. 2007. URL: <https://doi.org/10.1533/9781845693398.86>
6. *Fabbri A., Morel J.C.* Earthen materials and constructions // Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering. 2020. 14. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102704-2.00014-7>
7. *Lu Y., Liu S., Zhang Y. et al.* Freeze-thaw performance of a cement-treated expansive soil // Cold Regions Science and Technology. 2020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2019.102926>
8. *Максимов А.Т., Собко Г.И.* Применение полимерной добавки Nicoflok для укрепления и стабилизации грунтов. Москва : ВТУ Спецстроя России, 2006. 89 с.
9. *Dokuchaev V.V.* Russian Chernozem // Selected Works. 1883. V. 1. P. 14–419.

10. *Сибирцев Н.М.* Почвоведение: Лекции, читанные студентам Института сельского хозяйства и лесоводства в Ново-Александрии. Санкт Петербург, 1909. 534 с.
11. *Почвенная карта России* (скорректированная цифровая версия Почвенной карты РСФСР масштаба 1:2 500 000) / под ред. В.М. Фридланда, 2007.
12. *Афиногенов О.П., Ефименко С.В., Афиногенов А.О.* Совершенствование методов проектирования автомобильных дорог на основе дифференциации районирования // Вестник КГУСТА. 2016. № 1. С. 29–33.
13. *Ефименко С.В., Краевский А.А., Чурилин В.С.* Особенности генезиса, состава и свойств глинистых грунтов Западной Сибири // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 2. С. 177–181.
14. *Ефименко С.В., Чурилин В.С., Бадина М.В.* Особенности гранулометрического и минералогического состава грунтов Западно-Сибирского региона // Труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных. Томск : ТПУ, 2016. С. 142–143.
15. *Коробкин В.И.* Литология и условия образования плиоцен-четвертичных пылевато-глинистых отложений Юга европейской части России : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. Новочеркасск, 1993. 58 с.
16. *Ефименко В.Н.* Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог при глубоком промерзании грунтов (На примере Юго-Востока Западной Сибири) : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ефименко Владимир Николаевич. Москва, 1978. 216 с.
17. *Охотин В.В.* Влияние отдельных факторов на физико-механические свойства глинистых частиц // Труды юбилейной научной сессии ЛГУ, секция геолого-почвенных наук / ЛГУ. Ленинград, 1952. С. 146–162.
18. *Пучение промерзающих грунтов* и его влияние на фундаменты сооружений / под ред. В.О. Орлова. Ленинград : Стройиздат, 1977. 184 с.
19. *Ефименко С.В., Чурилин В.С., Бадина М.В.* Минералогические особенности грунтов и состава обменных катионов земляного полотна автомобильных дорог Западной Сибири // Труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных. Томск : ТПУ, 2017. С. 100–101.
20. *Лабораторный контроль выпуска и укладки полимерцементогрунтовой смеси* при строительстве участка автомобильной дороги к деревне Гаврилово Шатковского района Нижегородской области : научно-технический отчет. Омск : ОАО «Омский Союз ДорНИИ», 2007. 48 с.
21. *Техническое заключение* по результатам испытаний полимерминеральной композиции Nisoflok и расчетов вариантов конструкций дорожных одежд с целью применения в дорожном строительстве Республики Беларусь. Минск : Государственное предприятие «БелдорНИИ», 2011. 34 с.
22. *Укрепление местных грунтов портландцементом* с применением добавки Nisoflok : научно-технический отчет. Барнаул : Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2010. 131 с.
23. *Лабораторные испытания свойств полимерно-минеральной композиции «NICOFLOK»* и минеральных наполнителей. Ч. 1, 2 : научно-технический отчет. Томск : ООО Научно-производственный центр «Дорстройконтроль», 2013. 28 с.

REFERENCES

1. *McDowell C.* Stabilization of soils with lime, lime-fly-ash, and other lime reactive materials. *Highway Research Board Bulletin*. 1959. V. 231. Pp. 60–66.
2. *Rebinder P.A., Achmedov K.S.* Fisiko-khimicheskaya mekhanika pochv, gryntov, glin i stroitel'nykh materialov [Physicochemical mechanics of soils, grounds, clays and building materials]. P.A. Rebinder and K.S. Ahmedov, eds., Tashkent: FAN, 1966. 476 p. (rus)
3. *Saussaye L, Boutouil M, Baraud F, Leleyter L.* Influence of sulfate and chloride ions on the geotechnical and microstructural properties of soils treated with hydraulic binders: Individual and coupling effects. *EngGeol*. 2015. V. 189. Pp. 98–103.

4. Comite Euro-International du Beton (CEB), Durable Concrete Structures-Design Guide, Thomas Telford Services Ltd., London, England, 1989.
5. Bensted J., Rbrough A., Page M.M. Durability of concrete and cement composites. *Civil and Structural Engineering*. 2007. DOI: 10.1533/9781845693398.86
6. Fabbri A., Morel J.C. Earthen materials and constructions. *Civil and Structural Engineering*. 2020. V. 14. DOI: 10.1016/B978-0-08-102704-2.00014-7
7. Lu Y., Liu S., Zhang Y., et al. Freeze-thaw performance of a cement-treated expansive soil. *Cold Regions Science and Technology*. 2020. DOI: 10.1016/j.coldregions.2019.102926
8. Maksimov A.T., Sobko G.I. Primenenie polimernoi dobavki Nicoflok dlya ukrepleniya i stabilizatsii gruntov [Application of Nikoflok polymer additive for soil strengthening and stabilization]. Moscow: Specstroj Rossii, 2006. 89 p. (rus)
9. Dokuchaev V.V. Russian chernozem. 1883. V. 1. Pp. 14–19.
10. Sibirtsev N.M. Pochvovedenie [Soil science]. Saint-Petersburg, 1909. 534 p. (rus)
11. Fridland V.M., (Ed.) Pochvennaya karta Rossii [Soil map of Russia]. 2007. (rus)
12. Afinogenov O.P., Efimenko S.V., Afinogenov A.O. Sovershenstvovanie metodov proektirovaniya avtomobil'nykh dorog na osnove differentsiatsii raionirovaniya [Improvement of road design methods based on zoning differentiation]. *Vestnik KGUSTA*. 2016. No. 1. Pp. 29–33. (rus)
13. Efimenko S.V., Kraevskii A.A., Churilin V.S. Osobennosti genezisa, sostava i svoystv glinistykh gruntov Zapadnoi Sibiri [Genesis, structure and properties of clayey soils in West Siberia]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2014. No. 2. Pp. 177–181. (rus)
14. Efimenko S.V., Churilin V.S., Badina M.V. Osobennosti granulometricheskogo i mineralogicheskogo sostava gruntov Zapadno-Sibirskogo regiona [Granulometric and mineralogical composition of soils in the West Siberian region]. In: Trudy XX Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M.A. Usova studentov i molodykh uchenykh (*Proc. 20th Int. Symp. of Students and Young Scientists*). Tomsk: TPU, 2016. Pp. 142–143. (rus)
15. Korobkin V.I. Litologiya i usloviya obrazovaniya pliotsen-chetvertichnykh pylevato-glinistykh otlozhenii Yuga evropeiskoi chasti Rossii: avtoreferat. Dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni doktora geologo-mineralogicheskikh nauk [Lithology and formation of pliocene-quadernary silty-argillaceous deposits in the South of the European part of Russia. DSc Abstract]. Novocherkassk, 1993. 58 p. (rus)
16. Efimenko V.N. Vodno-teplovoi rezhim zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog pri glubokom promerzanii gruntov: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Water-thermal conditions of subgrade at deep soil freezing. PhD Thesis]. Moscow, 1978. 216 p. (rus)
17. Okhotin V.V. Vliyanie otdel'nykh faktorov na fiziko-mekhanicheskie svoystva glinistykh chastits [Factors affecting physical and mechanical properties of clayey particles]. In: Trudy yubileinoi nauchnoi sessii LGU, sektsiya geologo-pochvennykh nauk (*Proc. Sci. Conf.*). Leningrad, 1952. Pp. 146–162. (rus)
18. Orlov V.O. (Ed.) Puchenie promerzayushchikh gruntov i ego vliyanie na fundamenty sooruzhenii [Heaving of freezing soils and its effect on structural foundations]. Leningrad: Stroizdat, 1977. 184 p. (rus)
19. Efimenko S.V., Churilin V.S., Badina M.V. Mineralogicheskie osobennosti gruntov i sostava obmennykh kationov zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog Zapadnoi Sibiri [Mineralogical soil properties and composition of exchange cations of subgrade soils in West Siberia]. In: Trudy XXI Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M.A. Usova studentov i molodykh uchenykh (*Proc. 21st Int. Symp. of Students and Young Scientists*). Tomsk: TPU, 2017. Pp. 100–101. (rus)
20. Laboratornyi kontrol' vypuska i ukladki polimertsementogruntovoi smesi pri stroitel'stve uchastka avtomobil'noi dorogi k derevne Gavrilovo Shatkovskogo raiona Nizhegorodskoi oblasti: nauchno-tekhnicheskii otchet [Laboratory control for production and laying of polymer-cement-soil mixture during road construction in Gavrilovo village, Nizhny Novgorod. Technical report]. Omsk: OAO "Omskii Soyuz DorNII", 2007. 48 p. (rus)
21. Tekhnicheskoe zaklyuchenie po rezul'tatam ispytaniy polimermineral'noi kompozitsii Nicoflok i raschetov variantov konstruksii dorozhnykh odezhd s tsel'yu primeneniya v dorozhnom stroitel'stve Respubliki Belarus' [Technical conclusion based on testing results of Nicoflok

- polymer-mineral composition and road pavement construction in the Republic of Belarus]. Minsk, 2011. 34 p. (rus)
22. Укрепление местных грунтов портландцементом с применением добавки Nicoflok: научно-технический отчет [Reinforcement of local soils with Portland cement with Nicoflok additive. Technical report]. Barnaul, 2010. 131 p. (rus)
 23. Laboratornye ispytaniya svoistv polimerno-mineral'noi kompozitsii Nicoflok i mineral'nykh napolnitelei. Ch. 1, 2: nauchno-tehnicheskii otchet [Laboratory testing of Nicoflok polymer-mineral composition and mineral filler properties. Parts 1, 2. Technical report]. Tomsk: Dorstroikontrol', 2013. 28 p. (rus)

Сведения об авторах

Чурилин Владимир Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, lex-16-2008@mail.ru

Пушкарёва Галина Вениаминовна, канд. физ.-мат. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет. 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kedrik42@mail.ru

Authors Details

Vladimir S. Churilin, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, lex-16-2008@mail.ru

Galina V. Pushkareva, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kedrik42@mail.ru