Кудрявцев С.А., Вальцева Т.Ю., Гончарова Е.Д. Разработка конструкций для укрепления оползневого массива грунта на участке автомобильной дороги «Амур» с использованием современных геосинтетических материалов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 4. – С. 111–122. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.4.011

Kudriavtsev S.A., Val'tseva T.Iu., Goncharova E.D. The development of structures for strengthening of sliding slopes from highway "Amur" with using of modern geosynthetic materials. *PNRPU Bulletin. Construction and Architecture*. 2016. Vol. 7, no. 4. Pp. 111-122. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.4.11

**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 7, № 4, 2016
PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9826/2016.4.11

УДК 624.154.9

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ОПОЛЗНЕВОГО МАССИВА ГРУНТА НА УЧАСТКЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ «АМУР» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

С.А. Кудрявцев, Т.Ю. Вальцева, Е.Д. Гончарова

Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 12 октября 2016
Принята: 21 октября 2016
Опубликована: 28 декабря 2016

Ключевые слова:

деформации, оползневый склон, вечномёрзлые грунты, сезонное промерзание, ростверк, свая, георешетка, моделирование, укрепление, несущая способность, напряженно-деформированное состояние

АННОТАЦИЯ

Приведен способ предотвращения деформаций линейных сооружений, возводимых на оползневых склонах. Данная конструкция возводится на оттаивающих вечномёрзлых грунтах. Представлены результаты научных исследований и инженерных расчетов параметров рациональных конструкций автомобильных дорог для холодных регионов России на примере дальневосточного участка строительства автодороги, которая строится в суровых климатических и сложных инженерно-геологических условиях. Здесь встречаются островная вечная мерзлота и повсеместно глубокое сезонное промерзание. Присутствуют также оттаивающие многолетнемерзлые грунты, которые вследствие изменения их температурно-влажностного режима требуют особого отношения при проектировании и строительстве. Конструкция включает установку свай в грунт склона и объединение их в единый ростверк путем установки вертикальной георешетки, жестко соединенной с оголовками свай и слоями вертикальных георешеток. Рабочая площадка от низа оголовков свай до первого слоя горизонтальной георешетки, а также промежутки между слоями георешеток заполняются щебнем с уплотнением. Установка горизонтальных георешеток производится с условием частичного их расположения в несмещающемся массиве грунта откоса или природного склона. Выполненное численное моделирование работы конструкции с использованием программного геотехнического комплекса FEM Models позволило дать оценку восприятия гравитационного воздействия массы оползающего массива. Надежность данной конструкции подтверждена периодическими замерами и наблюдениями за участком дороги. На основании результатов исследований разработаны конструктивные меры для обеспечения надежности в эксплуатации предлагаемых рациональных инженерных решений для автомобильных дорог северных территорий Дальнего Востока России.

© ПНИПУ

© Кудрявцев Сергей Анатольевич – доктор технических наук, профессор, e-mail: prn@festu.khv.ru.
Вальцева Татьяна Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: vtu25@mail.ru.
Гончарова Елена Дмитриевна – старший научный сотрудник, e-mail: lgonch@yahoo.com.

Sergei A. Kudriavtsev – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: prn@festu.khv.ru.
Tat'iana Iu. Val'tseva – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: vtu25@mail.ru.
Elena D. Goncharova – Senior Fellow, e-mail: lgonch@yahoo.com.

THE DEVELOPMENT OF STRUCTURES FOR STRENGTHENING OF SLIDING SLOPES FROM HIGHWAY “AMUR” WITH USING OF MODERN GEOSYNTHETIC MATERIALS

S.A. Kudriavtsev, T.Iu. Val'tseva, E.D. Goncharova

Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 12 October 2016
Accepted: 21 October 2016
Published: 28 December 2016

Keywords:

deformations, sliding slopes,
permafrost soils, seasonal freezing,
grillage, pile, geogrid, modeling,
strengthening, load bearing
capacity, stress-strained state

ABSTRACT

This article includes the way to prevent deformation of linear constructions which build on sliding slopes. This construction builds on thawing permafrost soils. There are results of scientific research and engineering calculations of options for rational design of roads which located in cold regions of Russia. This highway constructs in complicated climatic and engineering-geological conditions. There is insular permafrost and deep seasonal freezing. Such soils need in special design because they have changing their temperature and humidity conditions. This construction includes pile installation in slope and association of piles in grillage with means of vertical geogrid. Vertical geogrid connects with pile headroom and layers of horizontal geogrid. Space from bottom of pile headroom to the first layer of geogrid and intervals between layers of geogrid fills with crushed stone. Installation of horizontal geogrids performs with their partial location in immobile compactor array slope. Modelling of structural behavior with geotechnical software complex “FEM Models” estimated the gravitational effect of the array of the slope. Reliability of such construction was confirmed by periodic measurements and observations. Structural measures worked out for assurance of reliability such rational engineering solutions for roads of the northern territories of the Far East Russia.

© PNRPU

Строительство объектов в северных регионах Дальнего Востока, Читинской области и Якутии всегда имеет высокую степень рисков, связанных с мерзлыми и сезоннопромерзающими грунтами [1]. Особенно это относится к линейным транспортным объектам, требующим повышенного уровня надежности и ответственности.

Подобные сооружения должны обеспечивать допустимую деформативность и несущую способность оснований при воздействии перспективных подвижных нагрузок в сложных геологических и природно-климатических условиях.

Одним из рациональных решений основных вопросов, связанных со строительством объектов в регионах со сложными геологическими и природно-климатическими условиями, является научно и технически обоснованное использование свойств современных геосинтетических материалов, способных обеспечивать долговременную устойчивую работу сооружений при применении местных строительных материалов. При этом свойства применяемых геосинтетических материалов должны полностью соответствовать требованиям условий их работы в сооружениях, а также условию долговечности и качества.

Сложность рассматриваемого объекта реконструкции подъезда от автомобильной дороги «Амур» Чита – Хабаровск к п. Песчанка в Читинском районе Читинской области связана с наличием вечномерзлых грунтов (ВМГ) в основании, а также оттаивающих многолетнемерзлых грунтов вследствие изменения их температурно-влажностного режима, требующих особого отношения при проектировании и строительстве [2, 3].

Верхняя граница вечномерзлых пород на всем протяжении участка реконструкции находится на глубине от 3,6 м. Сооружения, предназначенные для регулирования поверхностных стоков воды, и водопропускные сооружения на участке проектирования по большей части не выполняют своего назначения или полностью не работают.

Отсутствие укрепленных нагорных канав в верховой части склона обеспечивает периодический подток поверхностной воды через подстилающие слои песков и далее через суглинки с прослоями песка и дресвы к верхней границе высокотемпературной вечной мерзлоты, подвергая ее дальнейшему растеплению и деградации. Выше верхней границы ВМГ образующийся талый переувлажненный слой является предопределенной поверхностью скольжения грунтового массива на рассматриваемом участке рельефа. Распределение усилий и деформаций на этой поверхности неодинаково и зависит от многих факторов, в том числе от степени переувлажнения.

В качестве одного из мероприятий по стабилизации деформаций массива основания существующей автомобильной дороги, подверженной гравитационным склоновым процессам, рассмотрена разработанная свайно-грунтовая гравитационная конструкция с ростверком из геосинтетического материала с засыпкой из щебенистых грунтов¹.

На основе инженерно-геологических изысканий реконструируемого участка и исследования физико-механических характеристик грунтов, активно влияющих на устойчивость части рельефа, способных изменять свои свойства в период сезонного оттаивания на границах поверхности обрушения, выполнено геотехническое моделирование состояния оползневого массива методом конечных элементов FEM Models [4].

На основе проведенного численного моделирования получена близкая к реальной картина распределения зон упругих деформаций и опасных зон с пластическими деформациями. На рис. 1 представлена расчетная схема конструкции с упругими и пластическими деформациями автомобильной дороги «Амур» Чита – Хабаровск к п. Песчанка в Читинском районе.

Рис. 1. Зоны упругих и пластических деформаций: синий цвет – упругие деформации; красный цвет – пластические деформации; 1 – поверхность обрушения; 2 – дорожная одежда; 3 – суглинок легкий, твердый; 4 – песок гравелистый, маловлажный; 5 – суглинок легкий, тугопластичный, с прослоями песка влажного; 6 – суглинок твердый; 7 – прослойка оттаявшего мерзлого грунта; 8 – вечномерзлый грунт

Fig. 1. Area of elastic and plastic deformations: blue color – elastic deformations; red color – plastic deformations; 1 – failure surface; 2 – pavement; 3 – solid light loam; 4 – gravelly sand of low humidity; 5 – light loam with layers of wet sand; 6 – solid loam; 7 – thawed layer of permafrost soil; 8 – permafrost soil

¹ Способ предотвращения деформаций линейных сооружений, возводимых на оползневых склонах или искусственных откосах на оттаивающих многолетнемерзлых грунтах: пат. № 2556646, Рос. Федерация / В.А. Бабелло, Ю.Б. Берестяный, С.А. Кудрявцев. Заявл. 19.05.2014; опубл. 10.07.2015. – 7 с.

В результате установлено, что поверхность обрушения находится в слое оттаивающего переувлажненного суглинистого грунта небольшой мощности, залегающего выше верхней поверхности ВМГ, вызывающей движение массива грунта [5].

Анализ результатов геотехнического моделирования конструкции показал, что зоны пластических деформаций распространены повсеместно в насыпном грунте под нагрузкой, что свидетельствует о недостаточной несущей способности дорожной конструкции автомобильной дороги. Рассматриваемые зоны пластических деформаций приходятся на прослойку оттаявшего мерзлого грунта мягкопластичной и текучепластичной консистенции. Это свидетельствует о том, что весь массив грунта подвержен сползанию по данной прослойке. Кроме того, анализ горизонтальных деформаций свидетельствует о прогрессирующем сплыве конструкции по прослойке оттаявшего грунта.

Таким образом, для снижения риска сползания массива грунта необходимо предусмотреть удерживающие конструктивные мероприятия, обеспечивающие эксплуатационную надежность сооружения в период стабилизации деформаций на реконструируемом участке рельефа автодороги [6].

Одним из эффективных мероприятий является удерживающая свайно-грунтовая гравитационная конструкция с ростверком из геосинтетического материала (георешетка) и с засыпкой прослоек щебенистым грунтом.

Разработанная конструкция служит для компенсации горизонтальных и касательных составляющих от гравитационного воздействия массы оползающего массива на заданном участке рельефа, поэтому она является пассивным мероприятием. Наряду с активными мероприятиями, такими как конструкция нагорной канавы с полной изоляцией поверхностной воды и устройством теплоизолирующего слоя для защиты близкорасположенной поверхности ВМГ от деградации, данная конструкция является неотъемлемой частью комплекса мероприятий, предназначенных в период стабилизации для обеспечения эксплуатационной надежности всего сооружения и безопасности движения по деформирующемуся участку до полного включения в работу активных мер (рис. 2–4).

Данная конструкция позволяет:

- исключить деформации линейных сооружений, возводимых на оползневых склонах или искусственных откосах в условиях изменяющегося температурно-влажностного режима грунтов;
- избежать гидродинамического давления, создаваемого фильтрационным потоком на свайное ограждение, и тем самым исключить его тепловое влияние на многолетнемерзлые грунты, находящиеся в основании склона;
- повысить эффективность работы свайного ограждения в условиях локальной деградации мерзлоты за счет возможности изменения соотношения геометрических размеров вертикальной и горизонтальных георешеток и их расположения;
- принципиально изменить напряженно-деформированное состояние склона с целью повышения его устойчивости;
- снизить до минимума риск возникновения деформации линейных сооружений, возводимых на оползневых склонах или искусственных откосах в условиях изменения температурно-влажностного режима многолетнемерзлых грунтов;
- снизить стоимость реализации противооползневых мероприятий;
- повысить эффективность защиты линейных сооружений от локальных проявлений оползней.

Рис. 2. Удерживающая свайно-грунтовая гравитационная конструкция: 1 – глинистый грунт с щебенистым заполнителем; 2 – геотекстиль; 3 – пенополистирол; 4 – защитная присыпка; 5 – двухосная георешетка E'GRID 3030; 6 – свая 0,35×0,35 м; 7 – граница вечномёрзлых грунтов
Fig. 2. Retaining pile gravitational construction: 1 – clayey soil with crushed stone; 2 – geotextiles; 3 – expanded polystyrene; 4 – backfilling to protect; 5 – biaxial geogrid E'GRID 3030; 6 – pile 0,35×0,35 m; 7 – end of permafrost soil

Рис. 3. Разрез удерживающей свайно-грунтовой гравитационной конструкции
Fig. 3. Section of retaining pile gravitational construction

Рис. 4. Соединение георешетки в удерживающей свайно-грунтовой гравитационной конструкции

Fig. 4. Linking of geogrids in retaining pile gravitational construction

В данном мероприятии объединение оголовков свай в единый ростверк путем их соединения с вертикальной георешеткой и последующим ее соединением со слоями горизонтальных георешеток с заполнением промежутков между ними щебнем с уплотнением позволяет предотвратить локальные проявления оползней на склонах и искусственных откосах² [7, 8]. При этом высота вертикальной георешетки и количество слоев горизонтальных георешеток с прослоями из уплотненного щебня принимаются в каждом конкретном случае в зависимости от положения кровли многолетнемерзлых грунтов, прогнозных оценок возможности образования локальных поверхностей скольжения на отдельных участках склона или искусственного откоса с соответствующими значениями оползневого давления, а также возможности переползания грунтовой массы через заграждение.

Основой конструкции являются свайные ряды, которые пронизывают все оползневое тело, захватывающее верховую и низовую части склона или откоса, и погружены в многолетнемерзлый грунт на расчетную глубину [9, 10]. Такое решение позволяет предотвратить оползневой процесс, захватывающий обе части склона. Объединение отдельных свай с оголовками осуществляется с помощью соединенной с оголовками вертикальной георешетки и связанных с ней нескольких слоев горизонтальных георешеток с прослоями уплотненного щебня.

В этом случае решаются три задачи:

- восприятие комбинированной конструкцией из вертикальной и горизонтальной георешеток со слоями уплотненного щебня оползневого давления с частичной передачей его на сваи;
- предотвращение переползания грунта через заграждение в случае локальных проявлений оползня;
- сохранение естественного режима фильтрации подземных вод вниз по склону, что, в свою очередь, является возможностью предохранить грунты склона или откоса от дополнительного переувлажнения.

Если оползневая масса представлена рыхлыми отложениями текучей консистенции, удержать такую массу при традиционном подходе чрезвычайно сложно или просто не-

² Способ предотвращения деформаций линейных сооружений, возводимых на оползневых склонах или искусственных откосах на оттаивающих многолетнемерзлых грунтах: пат. № 2556646, Рос. Федерация / В.А. Бабелло, Ю.Б. Берестяный, С.А. Кудрявцев. Заявл. 19.05.2014; опубл. 10.07.2015. – 7 с.

возможно ввиду создания гидродинамического давления на заграждение из свай, ростверка и забирок [11]. Возведение комбинированной конструкции из вертикальной и горизонтальных георешеток со слоями уплотненного щебня позволяет создать со стороны оползня уплотненную зону из напользающего грунта с возможностью свободного оттока из нее воды, т.е. реализацию так называемого арочного эффекта.

Работу вертикальной георешетки, соединенной с оголовками свай и слоями горизонтальных георешеток с прослоями уплотненного щебня, можно объяснить следующим образом. Работая совместно с уплотненным щебнем, заполняющим ячейки георешеток и разделяющим их на слои, конструкция из вертикальной георешетки, соединенной со слоями горизонтальных георешеток и оголовками свай, кардинально изменяет напряженно-деформированное состояние грунтового массива в околосвайном пространстве. Это происходит по следующим причинам:

1. Частичное расположение горизонтальных георешеток в несмещающемся массиве грунта с заполнением их ячеек и слоев между ними уплотненным щебнем, увеличивающим там силы трения, препятствует горизонтальному смещению грунтовых масс при локальных оползнепроявлениях. С этой позиции горизонтальные георешетки с частичным их расположением в несмещающемся массиве грунта и заполнением их ячеек и слоев уплотненным щебнем можно рассматривать как анкерную систему, увеличивающую в целом устойчивость свайного заграждения.

2. Расчетное расположение слоев горизонтальных георешеток таково, что потенциальные поверхности скольжения в случае локальных проявлений оползня будут их пересекать. В этом случае изменится не только направление поверхностей скольжения, но и расчетная схема силового воздействия локального оползневого тела на заграждение.

3. Соединение вертикальной георешетки с оголовками свай и слоями горизонтальных георешеток с заполнением промежутков между ними уплотненным щебнем позволяет существенно снизить величину оползневого давления на свайное ограждение.

Реализация способа осуществляется следующим образом. На предварительно спланированной рабочей площадке производят забивку или погружение в предварительно пробуренные скважины свай с последующим устройством в верхней части свай железобетонных оголовков, причем в процессе бетонирования оголовков в опалубке в них вводят нижний конец вертикальной георешетки. После выдержки бетона оголовков и снятия опалубки рабочую площадку заполняют щебнем требуемой фракции с уплотнением до отметки нижнего слоя горизонтальной георешетки. Производят укладку на уплотненный щебень частей нижнего слоя горизонтальной георешетки встык с вертикальной георешеткой с последующим их соединением между собой с помощью накладок и хомутов или вязальной проволоки. Далее производят укладку с последующим уплотнением на горизонтальную георешетку слоя щебня с одновременным изгибом ее концевой части с плавным переходом в горизонтальную плоскость. Толщина слоя щебня должна соответствовать отметке второго (среднего) слоя горизонтальной георешетки. Последующие действия по установке горизонтальных георешеток полностью аналогичны рассмотренным выше для нижней горизонтальной георешетки³ [1, 12]. Применение изгиба концевых частей вертикальных георешеток и плавного их перехода в горизонтальную плоскость обу-

³ Способ предотвращения деформаций линейных сооружений, возводимых на оползневых склонах или искусственных откосах на оттаивающих многолетнемерзлых грунтах: пат. № 2556646, Рос. Федерация / В.А. Бабелло, Ю.Б. Берестяный, С.А. Кудрявцев. Заявл. 19.05.2014; опубл. 10.07.2015. – 7 с.

словлено необходимостью повышения эффективности работы анкерной системы из слоев горизонтальных георешеток со щебнем, расположенных в несмещающемся массиве грунта склона или откоса. Изгиб горизонтальной георешетки создает дополнительное сопротивление растягивающим усилиям, возникающим в ней при локальных проявлениях оползня.

Результаты выполненного геотехнического моделирования работы сооружения с конструктивными мероприятиями на участке автомобильной дороги «Амур» Чита – Хабаровск к п. Песчанка в Читинском районе представлены на рис. 5, 6. Приведены фотографии работ (рис. 7).

Рис. 5. Зоны упругих и пластических деформаций конструкции: синий цвет – упругие деформации; красный цвет – пластические деформации
Fig. 5. Area of elastic and plastic deformations of construction: blue color – elastic deformations; red color – plastic deformations

Рис. 6. Зоны упругих деформаций удерживающей свайно-грунтовой гравитационной конструкции: синий цвет – упругие деформации; красный цвет – пластические деформации
Fig. 6. Area of elastic deformations of retaining pile gravitational construction: blue color – elastic deformations; red color – plastic deformations

В ходе работы мы пришли к следующим выводам:

1. Результаты геотехнического моделирования показали снижение общей доли необратимых пластических деформаций конструкции.
2. В зоне устройства, удерживающего свайно-грунтовую гравитационную конструкцию, распространены только упругие деформации, что указывает на исключение подвижки автомобильной насыпи.

3. Общие горизонтальные и вертикальные перемещения автомобильной насыпи с использованием усиленной конструкции сократились в различных частях в среднем на 25 %.

4. Устойчивость автомобильной насыпи с проектными решениями обеспечивается с достаточным запасом.

Рис. 7. Установка оголовков свай, засыпка щебнем, крепление георешетки при помощи вязальной проволоки

Fig. 7. Installation of pile heads, backfilling with gravel, mount geogrid by binding wire

5. Универсальность удерживающей свайно-грунтовой гравитационной конструкции заключается в том, что наряду с выполнением своей основной функции – восприятия гравитационного воздействия массы оползающего массива, затрагивающего как верхнюю часть склона, так и низовую, – предлагаемая конструкция предотвращает возможные локальные проявления оползневого процесса в низовой части, в том числе когда поверхность скольжения может проходить выше оголовка сваи. Об этом свидетельствуют результаты периодических осмотров, геодезического обследования с помощью геодезического оборудования и деформационных марок, замеров и наблюдений за деформациями верховой части склона в течение 2013–2015 гг.

6. Применение современных геотехнологий и новых геосинтетических материалов в строительстве имеет сегодня прогрессивную тенденцию. Они во многом являются экономически более выгодной и надежной альтернативой традиционным решениям. В связи с этим всесторонние исследования в области рационального использования возможностей геосинтетических материалов при их работе в грунтовых средах, разработка новых конструкций и расчетных методик, а также поиск совершенных подходов к решению таких задач современной геотехники сегодня имеют высокое значение и актуальность.

Библиографический список

1. Особенности развития склонных деформаций в долине ручья Песчанка (северо-западный склон хребта Черского) / Т.Ю. Вальцева, В.А. Бабелло, С.В. Смолич, С.М. Калигин // Инженерная геология. – 2015. – № 1. – С. 37–41.
2. Motorway structures reinforced with geosynthetic materials in popular regions of Russia / S.A. Kudryavtsev, Y.B. Berestyanyy, E.D. Goncharova, T.Y. Valtseva, R.G. Mikhailin // Proceedings of the 24rd International Off-shore (Ocean) and Polar Engineering Conference, Bussan, Korea, 26–30 June 2014. – Bussan, 2014. – P. 502–506.
3. Использование геосинтетических материалов в конструкциях при строительстве автодорог в снежных регионах России / Ю.Б. Берестяный, С.А. Кудрявцев, Т.Ю. Вальцева, Р.Г. Михайлин // Физика, химия и механика снега: материалы II Междунар. науч. симпозиума, Южно-Сахалинск, 23–28 сентября 2013. – Южно-Сахалинск, 2013. – С. 96–100.
4. Использование геоматериалов при реконструкции трассы Якутск – Магадан / Ю.Б. Берестяный, Е.В. Федоренко, С.А. Кудрявцев, Т.Ю. Вальцева // Дороги. Инновации в строительстве. – 2013. – № 29. – С. 96–100.
5. Geotechnical solutions for slope stabilization along the Amur highway characterized by permafrost degradation of road embankments / U.B. Berestyanyy, S.A. Kudryavtsev, R.G. Mikhailin, T.Y. Valtseva // Proceedings of Tenth International Conference on Permafrost. – Salekhard, 2012. – Vol. 2. – P. 215–219.
6. Use of geosynthetic materials on weak bassettes in highways of the Far East / U.B. Berestyanyy, E.V. Fedorenko, S.A. Kudryavtsev, R.G. Mikhailin, E.D. Goncharova, T.Y. Valtseva // Proceedings of Russia International Symposium on Geosynthetics Technology, Seoul, South Korea, 23–24 November 2011. – Seoul, 2011. – P. 117–125.
7. Результаты исследований конструкций усиления земляного полотна при использовании современных методов численного моделирования эффективных геосинтетических материалов / Ю.Б. Берестяный, С.А. Кудрявцев, Т.Ю. Вальцева, Р.Г. Михайлин, Е.В. Федоренко // Проблемы земляного полотна железных и автомобильных дорог в условиях Сибири: тр. II регион. науч.-практ. конф. – Новосибирск, 2011. – С. 37–47.
8. Development of geotechnical approaches and design solutions on making slope processes stable on “Amur” road section in condition of frost degradation in foundation / U.B. Berestyanyy, E.V. Fedorenko, S.A. Kudryavtsev, T.Y. Valtseva, R.G. Mikhailin // Geotechnical Engineering for Disaster Prevention & Reduction: Proceedings of IV International symposium, Khabarovsk, 26–29 July 2011. – Khabarovsk, 2011. – P. 143–150.
9. Kudriavtsev S., Berestianyi I., Goncharova E. Engineering and construction of geotechnical structures with geotechnical materials in coastal arctic zone of Russia // Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference. – 2013. – P. 562–566
10. Geosynthetic materials in designs of highways in cold regions of Far East / S.A. Kudryavtsev, T.Y. Valtseva, E.D. Goncharova, R.G. Mikhailin, Y.B. Berestyanyy // Cold Regions Engineering – 2009: Cold Regions Impacts on Research, Design, and Construction: Proceedings of the International Conference on Cold Regions Engineering – 2009. – P. 546–550.
11. Developing design variants while strengthening roadbed with geomaterials and scrap tires on weak soils / S.A. Kudryavtsev, L.A. Arshinskaya, T.U. Valtseva, U.B. Berestyanyy, A. Zhushupbekov // Proceedings of the International Workshop on Scrap Tire Derived Geomaterials – Opportunities and Challenges, IW-TDGM 2007 International Workshop on

Scrap Tire Derived Geomaterials – Opportunities and Challenges, IW-TDGM 2007. – Yokosuka, 2008. – P. 171–178.

12. Кудрявцев С.А., Берестяной Ю.Б., Вальцева Т.Ю. Усиление пути для пропуска тяжёловесных поездов // Путь и путевое хозяйство. – 2008. – № 1. – С. 27–29.

References

1. Val'tseva T.Iu., Babello V.A., Smolich S.V., Kaligin S.M. Osobennosti razvitiia sklonovykh deformatsii v doline ruch'ia Peschanka (severo-zapadnyi sklon khrebtа Cherskogo) [Features of evolution of deformations in bottom land of the brook Peschanka (north western slope of the ridge Chersky)]. *Inzhenernaia geologiya*, 2015, no. 1, pp. 37-41.

2. Kudryavtsev S.A., Berestyanyy Y.B., Goncharova E.D., Valtseva T.Y., Mikhailin R.G. Motorway structures reinforced with geosynthetic materials in polar regions of Russia. *Proceedings of the 24rd International Off-shore (Ocean) and Polar Engineering Conference, Bussan, Korea, 26-30 June, 2014*. Bussan, 2014, pp. 502-506.

3. Berestianyi Iu.B., Kudryavtsev S.A., Val'tseva T.Iu., Mikhailin R.G. Ispol'zovanie geosinteticheskikh materialov v konstruktssiiakh pri stroitel'stve avtodorog v snezhnykh regionakh Rossii [The use of geosynthetics materials in structures during the construction of roads in snowy regions of Russia]. *Materialy II Mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma "Fizika, khimiia i mekhanika snega"*, Iuzhno-Sakhalinsk, 23–28 sentyabrya 2013. Iuzhno-Sakhalinsk, 2013, pp. 96-100.

4. Berestianyi Iu.B., Fedorenko E.V., Kudryavtsev S.A., Val'tseva T.Iu. Ispol'zovanie geomaterialov pri rekonstruktsii trassy Yakutsk – Magadan [The use of geosynthetics materials in the reconstruction of the road Yakutsk – Magadan]. *Dorogi. Innovatsii v stroitel'stve*, 2013, no. 29, pp. 96-100.

5. Berestianyi U.B., Kudryavtsev S.A., Mikhailin R.G., Valtseva T.Y. Geotechnical solutions for slope stabilization along the Amur highway characterized by permafrost degradation of road embankments. *Proceedings of Tenth International Conference on Permafrost*. Salekhard, 2012, vol. 2, pp. 215-219.

6. Berestianyi U.B., Fedorenko E.V., Kudryavtsev S.A., Mikhailin R.G., Goncharova E.D., Valtseva T.Y. Use of geosynthetic materials on weak bases in highways of the Far East. *Proceedings of Russia International Symposium on Geosynthetics Technology, Seoul, South Korea, Seoul, 23-24 November 2011*. Seoul, 2011, pp. 117-125.

7. Berestianyi Iu.B., Kudryavtsev S.A., Val'tseva T.Iu., Mikhailin R.G., Fedorenko E.V. Rezul'taty issledovaniia konstruktssii usileniia zemliannogo polotna pri ispol'zovanii sovremennykh metodov chislennogo modelirovaniia effektivnykh geosinteticheskikh materialov [The results of research of designs enhance the roadbed using modern numerical simulation methods of effective geosynthetics materials]. *Trudy II regionalnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Problemy zemliannogo polotna zheleznykh i avtomobil'nykh dorog v usloviyakh Sibiri"*. Novosibirsk, 2011, pp. 37-47.

8. Berestyanyy U.B., Fedorenko E.V., Kudryavtsev S.A., Valtseva T.Y., Mikhailin R.G. Development of geotechnical approaches and design solutions on making slope processes stable on "Amur" road section in condition of frost degradation in foundation. *Proceedings of IV International symposium "Geotechnical engineering for disaster prevention & reduction"*, Khabarovsk, 26-29 July 2011. Khabarovsk, 2011, pp.143-150.

9. Kudryavtsev S., Berestianyi I., Goncharova E. Engineering and construction of geotechnical structures with geotechnical materials in coastal arctic zone of Russia. *Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference*, 2013, pp. 562-566

10. Kudryavtsev S.A., Valtseva T.Y., Goncharova E.D., Mikhailin R.G., Berestyanny Y.B. Geosynthetical materials in designs of highways in cold regions of Far East. *Proceedings of the International Conference on Cold Regions Engineering “Cold Regions Engineering 2009: Cold Regions Impacts on Research, Design, and Construction”*, 2009, pp. 546-550.
11. Kudryavtsev S.A., Arshinskaya L.A., Valtseva T.U., Berestyanny U.B., Zhusupbekov A. Developing design variants while strengthening roadbed with geomaterials and scrap tires on weak soils. *Proceedings of the International Workshop on Scrap Tire Derived Geomaterials – Opportunities and Challenges, IW-TDGM 2007 International Workshop on Scrap Tire Derived Geomaterials – Opportunities and Challenges, IW-TDGM 2007*. Yokosuka, 2008, pp. 171-178.
12. Kudriavtsev S.A., Berestianyi Iu.B., Val'tseva T.Iu. Usilenie puti dlia propuska tiazhelovesnykh poezdov [Strengthening of the way for the passage of heavy trains]. *Put' i putevoe khoziaistvo*, 2008, no. 1, pp. 27-29.