

О НЕДОУЧЕТЕ ПРИСКЛОНОВОЙ СУФФОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОТКОСОВ АВТОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

ON UNDERESTIMATION OF THE SLOPE SUFFUSION HAZARD AT THE CONSTRUCTION AND OPERATION OF SIDE SLOPES OF ROAD INFRASTRUCTURE



Ключевые слова:

суффозионная опасность; склоновые процессы; опасные экзогенные геодинамические процессы; техногенная нагрузка; автомобильная инфраструктура; откосы автомобильных дорог; монолитные бетонные сооружения; моделирование суффозионных процессов.

Аннотация

В статье предпринята попытка описания, анализа и прогноза суффозионной опасности при строительстве и эксплуатации откосов автомобильной инфраструктуры, которая связана с возрастающей техногенной нагрузкой на грунты. Даны некоторые предварительные рекомендации по ее предотвращению. Последствия недоучета суффозионной опасности рассмотрены на примере разрушения и провала бетонных плит откоса Шмитовского проезда в г. Москве, произошедших летом 2016 года. Представлены результаты эксперимента, проведенного для подтверждения и более подробного изучения особенностей возникновения и развития рассматриваемого присклонового суффозионного процесса.

Россия занимает почти треть территории крупнейшего материка земного шара — Евразии. При таких размерах транспортная инфраструктура, важнейшей составляющей которой является сеть автомобильных дорог, имеет для нашей страны стратегическое значение. На сегодняшний день протяженность российских дорог общего пользования федерального, регионального и местного значения согласно данным Росстата составляет 1 611 000 км, в том числе общая длина дорог с твердым покрытием равна 1 133 000 км [9]. Однако стабильное и эффективное функционирование автодорог зачастую затрудняется из-за специфики гидрогеологических и климатических условий. В том числе, если при строительстве и эксплуатации автомобильной инфраструктуры не

ЛАВРУСЕВИЧ И.А.

Аспирант кафедры инженерных изысканий и геоэкологии Института гидротехнического и энергетического строительства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ), г. Москва, lavrusevichivan@mail.ru

ПОДЛЕСНЫХ А.И.

Аспирант кафедры инженерных изысканий и геоэкологии Института гидротехнического и энергетического строительства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ), г. Москва, podlesnikh-alisa-i@yandex.ru

ЛАВРУСЕВИЧ А.А.

Заведующий кафедрой инженерных изысканий и геоэкологии Института гидротехнического и энергетического строительства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ), д. г.-м. н., профессор, г. Москва, lavrusevich@yandex.ru

LAVRUSEVICH I.A.

Postgraduate student of the Department of Engineering Surveys and Geocology, Hydraulic Engineering and Power Plant Construction Institute, Moscow State University of Civil Engineering (national research university), Moscow, lavrusevichivan@mail.ru

PODLESNYKH A.I.

Postgraduate student of the Department of Engineering Surveys and Geocology, Hydraulic Engineering and Power Plant Construction Institute, Moscow State University of Civil Engineering (national research university), Moscow, podlesnikh-alisa-i@yandex.ru

LAVRUSEVICH A.A.

Head of the Department of Engineering Surveys and Geocology, Hydraulic Engineering and Power Plant Construction Institute, Moscow State University of Civil Engineering (national research university), DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), professor, Moscow, lavrusevich@yandex.ru

Key words:

suffusion hazard; slope processes; dangerous exogenous geodynamic processes; anthropogenic load; road infrastructure; road side slopes; monolithic concrete structures; modeling of suffusion processes.

Abstract

The authors make an attempt to describe, analyze and predict the suffusion hazard at the construction and operation of side slopes of road infrastructure, which is due to growing anthropogenic loads on soils. Some preliminary recommendations on its prevention are given. The consequences of underestimation of the slope suffusion hazard are considered using the example of the collapse of concrete slabs on a slope of Shmitovskiy passage of the Moscow city in the summer of 2016. The authors present the results of an experiment carried out to verify and study in more detail the features of initiation and development of the considered slope suffusion process.

уделяется должного внимания вопросам укрепления и защиты откосов от разрушения, порой возникают весьма серьезные и трудноустраняемые проблемы.

При освоении территорий необходимы изучение и учет особенностей возникновения и протекания опасных экзогенных геодинамических процессов, их характера и интенсивности. Это позволяет прогнозировать их дальнейшее развитие и проводить мероприятия, ослабляющие или исключаящие их опасные последствия [1, 2, 7, 10]. Несмотря на это, в практике промышленного и гражданского строительства, а также последующей эксплуатации дорожной инфраструктуры зачастую недооценивают возможность появления и развития такого опасного процесса, как суффозия.

Согласно определению, данному в СП 116.13330.2012, суффозия представляет собой разрушение и вынос потоком подземных вод отдельных компонентов и крупных масс дисперсных и сцементированных обломочных грунтов, в том числе слагающих структурные элементы скальных массивов [11, 12].

Несмотря на частоту встречаемости и многообразие последствий, суффозионная опасность для объектов промышленного и гражданского строительства воспринимается недостаточно серьезно. С одной стороны, суффозия включена в перечень опасных для строительства природных воздействий наряду с развитием оползней, карста и переработкой берегов водохранилищ, а с другой — она рассматривается только в парагенезисе с ними и не признается в качестве самостоятельного геологического процесса [3, 5, 12].

Механическая суффозия является результатом силового воздействия потока подземных вод на дисперсные грунты. Для ее развития необходимы прежде всего поток подземных вод, обладающий гидродинамической силой, и область выноса частиц грунта, а также его структурно-текстурная неоднородность. Суффозия техногенного характера в значительной мере доминирует над природной и приурочена к отдельным гидротехническим сооружениям, транспортным магистралям, объектам энергетики и промышленным предприятиям [4, 6, 12].

В данной статье авторы предпринимают попытку описания, анализа и прогноза развития суффозионной опасности при строительстве и эксплуатации откосов автодорожной инфраструктуры, которая вызвана возросшей техногенной нагрузкой на грунты, а также дают некоторые предварительные рекомендации для ее предотвращения. Рассматривается негативное воздействие такого рода присклоновых суффозионных процессов и последствий их развития на монолитные бетонные сооружения, применяемые для укрепления и защиты откосов автодорог.

Объектом исследования послужил участок автодороги в г. Москве вблизи строения 6 дома 39а на Шмитовском проезде (рис. 1, 2), где в середине июня 2016 года авторами были обнаружены разрушение и провал плит покрытия откоса, примыкающих к нижнему железобетонному ростверку между укрепленным склоном и проезжей частью (рис. 3).

При осмотре места суффозионного провала грунта и разрушения бетонных плит, а также прилегающей территории выше по откосу была обнаружена начальная стадия эрозионного размыва его поверхности (рис. 4). Наблюдаются характерные изменения корневых систем деревьев и кустарников, описанные в публикациях [8,12].

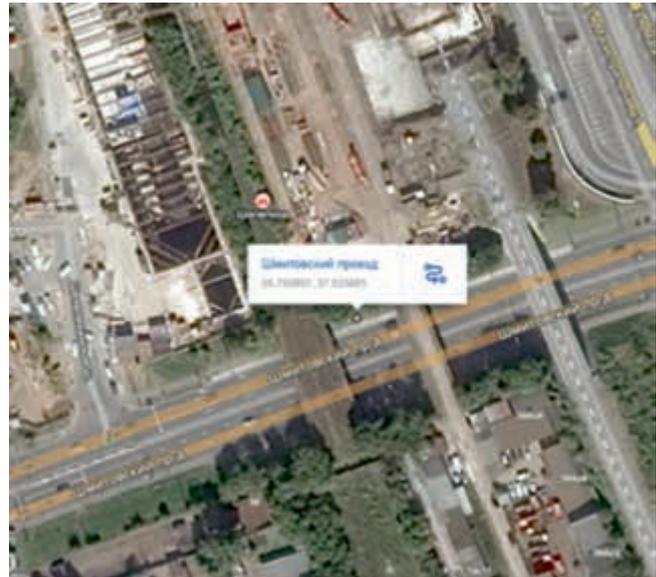


Рис. 1. Аэрофотоснимок места развития суффозионных и эрозионных процессов (указанного белым прямоугольником со стрелкой) на откосе автодороги вблизи строения 6 дома 39а на Шмитовском проезде в г. Москве (<https://www.google.ru/maps/>)



Рис. 2. Место развития суффозионных и эрозионных процессов на откосе автодороги вблизи строения 6 дома 39а на Шмитовском проезде в г. Москве (фото И.А. Лавруевича)

Основание откоса, укрепленного бетонными плитами, сложено крупно- и среднезернистыми песками с включением дресвы и щебня, что наглядно иллюстрирует рис. 5. Приблизительный объем вынесенного грунта составил 2,2 м³.

Интенсивные атмосферные осадки и неорганизованный сброс излишков воды со строительной площадки, находящейся выше по склону, явились предпосылками, спровоцировавшими суффозию (рис. 6). Гравитационная вода, постоянно циркулирующая в проницаемых дисперсных грунтах, произвела разрушительную работу, следствием которой явилась потеря ими структурной прочности. На фотографиях, представленных на рис. 6, отчетливо видно направление выноса грунта сверху вниз — под бетонные



Рис. 3. Разрушение бетонных плит исследуемого откоса автодороги (фото А.И. Подлесных)



Рис. 4. Эрозионное разрушение поверхности неукрепленного склона (а) и частичное обнажение корневых систем деревьев (б) (фото И.А. Лаврусевича)

плиты облицовки откоса. Развитие суффозии и возросшее гидродинамическое давление в нижней части откоса вызвали вынос песчаного грунта, образование суффозионной полости и последующий провал плиты. При дальнейшем обследовании этого участка было установлено, что железобетонные блоки, разделявшие укрепленный склон и про-

езжую часть, были разрушены и демонтированы, а вместо них на этом месте была уложена армированная лента роста. Асфальтовая латка на проезжей части автодороги, вероятнее всего, также была выполнена из-за развития суффозии, выразившегося в проседании и последующем провале грунта под асфальтовым покрытием.



Рис. 5. Разрушенное суффозией основание откоса, сложенное крупно- и среднезернистым песком (фото А.И. Подлесных)



Рис. 6. Разрушенные плиты облицовки откоса, восстановленная лента ростверка и асфальтовая латка на проезжей части (фото А.И. Подлесных)



Рис. 7. Откос, укрепленный габионами (а), и эрозионная промоина на поверхности склона (б) (фото И.А. Лаврусевича)

В начале октября 2016 года дорожными службами были произведены демонтаж бетонных плит, частичная рекультивация склонов и укрепление нижней части от-

коса габионами. Однако неправильно организованная система водостока и неорганизованный сброс воды со строительной площадки привели к образованию и раз-

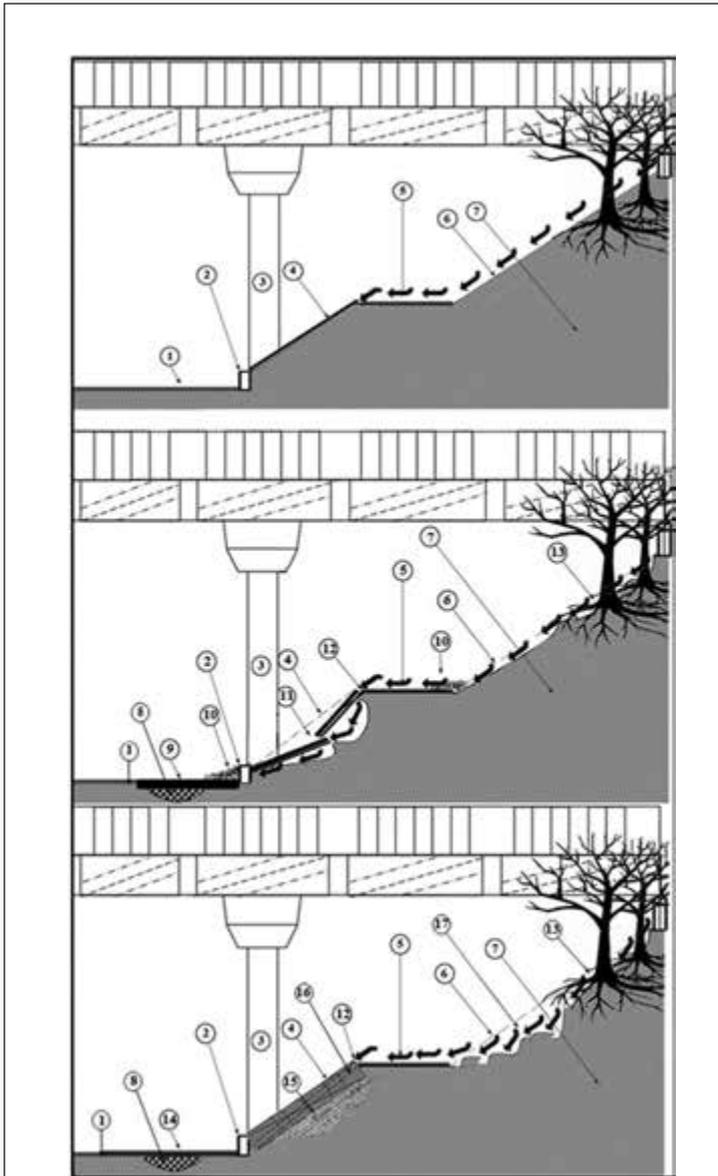


Рис. 8. Схема динамики развития суффозионных и эрозионных процессов на откосе Шмитовского проезда вблизи строения 6 дома 39а в г. Москве (июнь — октябрь 2016 г.): 1 — дорожное полотно; 2 — монолитная бетонная лента; 3 — железобетонный мост; 4 — откос, укрепленный бетонными плитами; 5 — пешеходная дорожка; 6 — неукрепленный склон; 7 — суесь; 8 — провал под дорожным полотном, засыпанный песчано-гравийной смесью; 9 — латка дорожного покрытия; 10 — остатки вынесенного грунта; 11 — суффозионная ниша; 12 — зона попадания водного потока; 13 — деревья с обнаженными корневыми системами; 14 — новое дорожное покрытие; 15 — рекультивированный откос; 16 — габион; 17 — эрозионная промоина

витию крупных эрозионных промоин на поверхности этого склона (рис. 7).

Динамику развития суффозионно-эрозионных процессов на рассматриваемом участке наглядно демонстрирует схема, представленная на рис. 8.

С целью более подробного рассмотрения особенностей возникновения и развития суффозионного процесса на откосе Шмитовского проезда авторами было проведено его лабораторное моделирование. Для эксперимента использовалась установка, представлявшая собой изготовленную из оргстекла прямоугольную рабочую камеру размером $32 \times 20 \times 17$ см с прозрачными стенками (рис. 9) [12]. Рабочая камера была заполнена материалом модели

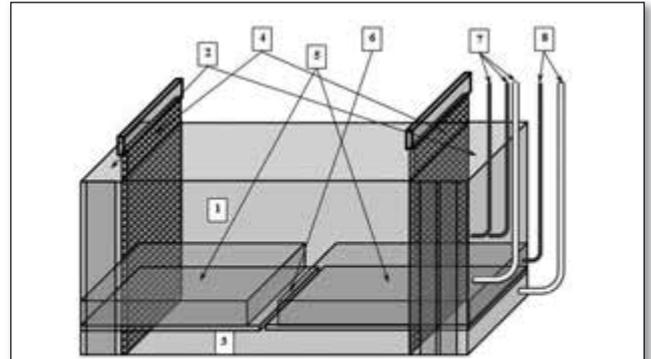


Рис. 9. Схема установки для моделирования развития суффозионного процесса: 1 — рабочая камера; 2 — боковые камеры, заполняемые водой; 3 — нижняя камера, имитирующая область суффозионного выноса; 4 — водонепроницаемые перегородки, отделяющие боковые камеры от рабочих; 5 — дно рабочей камеры; 6 — прорезь, имитирующая суффозионный канал; 7 — перепускные трубки; 8 — дренажные трубки нижней камеры

(исходным грунтом) с коэффициентом уплотнения $k_{com} = 0,88 \div 0,90$ на максимальную высоту 170 мм при наклонной поверхности, имитировавшей откос автодороги, крутизной порядка 33° . В дне основания установки была сделана прорезь, имитировавшая суффозионный канал (см. рис. 9). Поверх наклонной поверхности исходного грунта были уложены керамогранитные элементы, имитировавшие бетонные плиты облицовки откоса.

Материал модели представлял собой смесь мелко-, средне- и крупнозернистых песков с включением дресвы и щебня. Этот материал был выбран и подготовлен таким образом, чтобы модель как можно более четко отражала структуру грунта, слагающего основание рассматриваемого откоса.

Предварительная оценка гранулометрического состава показала, что исходный грунт состоял из компонентов различного диаметра. Основу составляли крупнозернистые фракции, а заполнитель был сложен частицами размером менее 1 мм.

Материал модели имел текстуру, имитировавшую натурный грунт. Частицы заполнителя в нем имели возможность свободного перемещения между частицами скелета грунта под действием гидродинамических сил, то есть исходный грунт являлся суффозионно неустойчивым.

В рабочую камеру с имитированным откосом была организована подача воды под основания плит в верхней точке. Результаты эксперимента подтвердили выдвинутую гипотезу о суффозионном характере процесса, который привел к разрушению и провалу бетонных плит откоса Шмитовского проезда. Последовательность стадий формирования смоделированного суффозионного провала отображена на рис. 10.

Необходимо отметить, что непринятие своевременных и эффективных мер по рекультивации и укреплению склона на исследованном участке автодороги приведет к дальнейшему развитию эрозионных и суффозионных процессов и к значительным финансовым затратам на ликвидацию их последствий.

Возможны два варианта решения подобной проблемы — пассивный и активный. В первом случае уже после проявления суффозии на поверхности устраняются возникшие полости и провалы — производится их заполне-

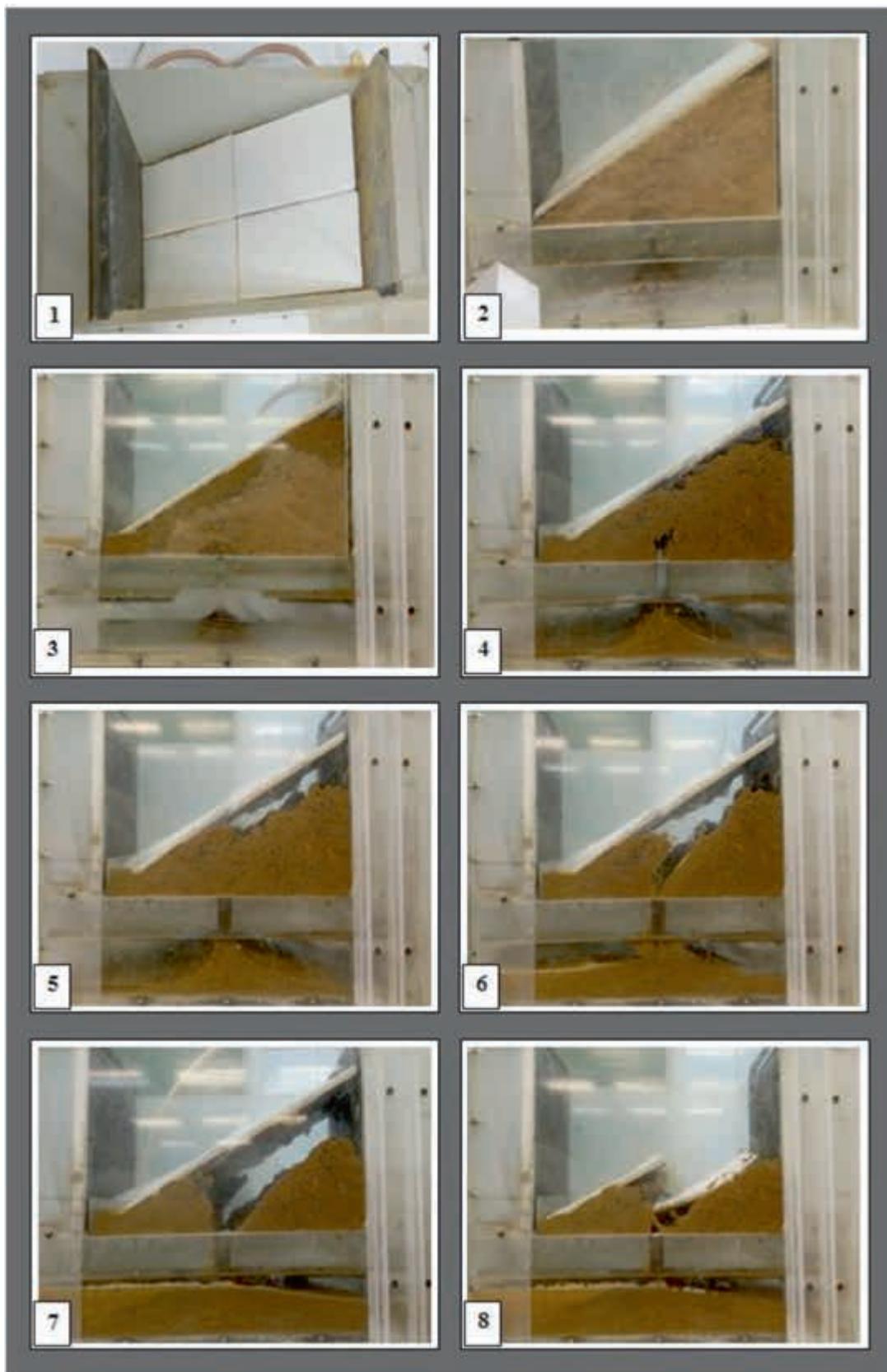


Рис. 10. Ход эксперимента по имитации формирования суффозионного провала на откосе автодороги

ние уплотненным грунтом или бетонной смесью. Во втором случае заранее проводятся предупреждающие мероприятия, препятствующие развитию суффозии, — тщательная гидроизоляция сопряжений узлов конструкций, организация цивилизованной системы дренажа и водоотведения и др.

На основании выполненного исследования и ознакомления с публикациями на рассмотренную тему можно сделать следующие выводы:

- суффозия техногенного характера в урбанизированных зонах в значительной мере доминирует над природной и приурочена в основном к территориям не-

которых гидротехнических сооружений, транспортных магистралей, объектов энергетики, промышленных предприятий;

- недоучет структурно-текстурных особенностей грунтов оснований при строительстве и эксплуатации объектов автодорожной инфраструктуры приводит к их деформациям, разрушению и финансовым затратам;
- разрушение и провал бетонных плит облицовки откоса на исследованном участке Шмитовского проезда произошли в результате развития суффозион-

ного процесса, вызвавшего вынос из-под них песчаного грунта;

- основными причинами возникновения и развития суффозии на рассмотренном участке являются обильные осадки, неправильно организованная система водостока и неорганизованный сброс воды;
- необходимо принять меры по дальнейшей рекультивации и дополнительному укреплению склона на исследованном участке автодороги, иначе на нем неизбежно будут продолжать развиваться эрозионные и суффозионные процессы. 🌐

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ананьев В.П., Потапов А.Д.* Инженерная геология. М.: Высшая школа, 2005. 575 с.
2. *Горшков С.П.* Концептуальные основы геоэкологии. Смоленск: Изд-во СГУ, 1998. 288 с.
3. *Лаврусевич А.А., Хоменко В.П.* Инженерная защита территорий, пораженных лессовым псевдокарстом // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 213–220.
4. *Лаврусевич А.А., Хоменко В.П., Лаврусевич И.А.* Проблемы строительного освоения пораженных псевдокарстом лессовых массивов // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 11. С. 11–13.
5. *Лаврусевич И.А., Лаврусевич А.А.* Геоэкологические аспекты развития присклоновой суффозии правого борта реки Волга // Материалы 18-х Сергеевских чтений. М., 2016. С. 150–153.
6. *Лаврусевич И.А., Хоменко В.П., Лаврусевич А.А.* Недооценка суффозионной опасности при строительстве плоскостных бетонных сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 11. С. 54–57.
7. *Ломтадзе В.Д.* Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л.: Недра, 1977. 479 с.
8. *Подлесных А.И., Лаврусевич И.А.* Геоэкологические проблемы цементного производства // Разведка и охрана недр. 2016. № 6. С. 46–51.
9. Российский статистический ежегодник. М.: Росстат, 2015. 728 с.
10. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. М.: Госстрой России, 2000. 93 с.
11. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. М.: Минрегион России, 2012. 60 с.
12. *Хоменко В.П.* Закономерности и прогноз суффозионных процессов. М.: ГЕОС, 2003. 216 с.

ЭЛЕКТРОННАЯ ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ

«ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ», «ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ»,
«ГЕОТЕХНИКА» И «ГЕОРИСК»



www.geomark.ru

КОНГРЕСС МОЛОДЫХ ГЕОГРАФОВ

16-22 октября 2017 г.
г. Тверь
<http://geopoisk.tversu.ru>



ГЕ  ПОИСК



 **Тверская Жизнь**