

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 551.435.8 (476)

РОЛЬ СУФФОЗИИ В ФОРМИРОВАНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ БЕЛОРУССИИ

© 2023 г. И. А. Красовская¹, А. Н. Галкин^{1,*}, А. И. Павловский^{2,**}, С. В. Андрушко²

¹Витебский государственный университет имени П.М. Машиерова,
Московский пр-т, 33, Витебск, 210038 Беларусь

²Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,
ул. Советская, 104, Гомель, 246028, Беларусь

*E-mail: galkin-alexandr@yandex.ru

**E-mail: aipavlovsky@mail.ru

Поступила в редакцию 20.06.2023 г.

После доработки 30.08.2023 г.

Принята к публикации 06.09.2023 г.

В статье приведены результаты комплексного изучения условий развития и распространения природной и техногенной суффозии на территории Белоруссии. Отмечено, что в слабонарушенных естественных условиях наиболее благоприятные обстановки развития суффозии сложились в пределах моренных и водно-ледниковых равнин и низин в восточной части страны, а также краевых ледниковых гряд и возвышенностей с покровом лессовых и лессовидных образований, обладающих повышенной пылеватостью, относительно невысокой плотностью скелета грунта, легкой размокаемостью и тиксотропностью, что способствует интенсивному развитию процесса суффозии. Рассмотрены активные природные факторы, условия развития и распространения суффозии, формы ее проявления в массивах лессовых и лессовидных грунтов. Проведен анализ проявлений суффозионного процесса в техногенно нарушенных условиях. На конкретных примерах показано их негативное влияние на функционирование природно-технических систем различного уровня организации. По мнению авторов, создание системы мониторинга за развитием суффозии, как и других экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов, позволит получать актуальную информацию о распространении и активности проявления указанных процессов и факторах, их определяющих.

Ключевые слова: суффозия, слабонарушенные природные условия, лессовые и лессовидные грунты, активные природные факторы развития, техногенно нарушенные условия, формы рельефа

DOI: 10.31857/S0869780923050053, EDN: ANVTQM

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия процесс суффозии стал привлекать все более пристальное внимание широкого круга специалистов, изучающих взаимодействие человека с геологической средой. Несмотря на то что проявления суффозии встречаются практически повсеместно, в силу ряда причин роль этого процесса длительное время недооценивалась. В настоящее время отношение к проблеме инженерно-геологического изучения суффозии стало заметно меняться в связи с необходимостью хозяйственного освоения суффозионно-опасных территорий и с резко возросшей техногенной активизацией процесса [3, 22].

В понятие “суффозия” разные исследователи вкладывают неоднозначный смысл. Впервые этот термин был предложен в конце XIX в. А.П. Павловым [19], который обозначал им разрушение или растворение минеральных частиц горных по-

род подземными водами. Однако растворение грунтов подземными и поверхностными водами в современной трактовке получило название “карстовый процесс”. Поэтому определение А.П. Павлова слишком широко трактует понятие процесса суффозии.

Большинство специалистов под *суффозией* понимают процесс *механического выноса мелких частиц из слоя дисперсного грунта, слагающего грунтовую толщу или выполняющего роль заполнителя трещин и полостей в скальных или полускальных грунтах, фильтрационным потоком подземных вод.*

Данному процессу подвержены преимущественно пылеватые и мелкозернистые пески, лессовые и реже пылегато-глинистые грунты. В глинах, не имеющих крупных сообщающихся друг с другом пор, внутренний размыв грунта может происходить по трещинам, образующимся в результате процесса выветривания, или по ходам

землеройных животных и корневой системы древесной растительности.

К числу основных причин и условий ее развития следует отнести: 1) структурно-текстурную неоднородность грунтов, при которой возможны передвижение более мелких частиц среди более крупных и их вынос; 2) определенную гидродинамическую силу подземного потока; 3) наличие областей выноса мелких частиц, переносимых потоком. Согласно В.Д. Ломтадзе [10], среди показателей, обуславливающих интенсивность развития суффозии, следует выделить критические градиенты и давление воды, при которых начинается процесс. В естественных условиях интенсивность процесса в значительной степени будет зависеть от характера проницаемости среды протекания процесса. При наличии в грунтовой толще сквозных подземных каналов, соединяющих источник поступления воды со свободным пространством, суффозия будет принимать вид подземной эрозии [8].

По условиям проявления в массиве грунтов различают суффозию контактную и внутрипластовую. При контактной суффозии происходит проникновение мелких частиц, выносимых фильтрационным потоком из одного слоя в толщу другого, контактирующего с ним. Внутрипластовая суффозия выражается в переносе мелких частиц внутри слоя или выносом всей массы грунта, вмещающей фильтрационный поток, который развивается, как правило, вдоль ослабленных зон – трещин, контактов с другими породами и др. [2]. При этом транспортируемый подземным потоком материал может либо аккумулироваться в порах, трещинах и полостях грунтовых массивов, либо выноситься на земную поверхность.

Проявления суффозии весьма разнообразны. Они могут быть как поверхностными (или открытыми), так и подземными (или закрытыми). Поверхностные проявления четко выражены в рельефе и легко поддаются идентификации. В зависимости от строения земной поверхности они принимают различные формы и могут быть как аккумулятивными (конусы суффозионного выноса), так и деструктивными (поноры, провалы, впадины, блюдца, воронки, западины и т.д., на склонах – ниши, обрушение свода которых часто способствует возникновению оползней) [4].

Подземные проявления – это, по сути, структурные элементы массива грунтов. В зависимости от морфологии и происхождения В.П. Хоменко выделяет четыре их типа [24]: полости (пещеры, тоннели), псевдоплывинные зоны, зоны разуплотнения и зоны дезинтеграции.

В естественных условиях суффозия развивается сравнительно медленно (годы, десятки лет), тогда как под влиянием техногенных факторов ее скорость резко возрастает. Наиболее интенсивно

она протекает на участках сосредоточенной фильтрации в районах возведения плотин или водохранилищ, при длительных откачках подземных вод из открытых и подземных горных выработок, прорывов водопроводных и канализационных сетей и т.д.

На территории Белоруссии суффозия – один из довольно распространенных экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов. Ее изучением в разные годы занимались Г.А. Колпашников [7], О.П. Корсакова [8], Е.А. Кухарик [10], А.В. Матвеев, Л.А. Нечипоренко [12–14, 19], В.М. Мотуз [15, 16], А.И. Павловский [21] и др. Работы этих авторов посвящены в большей части исследованиям факторов развития и распространения суффозионного процесса в слабонарушенных природных условиях, суффозионных форм рельефа и механизма их образования. При этом техногенной суффозии и ее проявлениям на территории страны, особенно в городах, уделено крайне мало внимания.

Целью данной работы является комплексное изучение условий развития и распространения природной и техногенной суффозии, а также основных форм ее проявления на территории Белоруссии.

Работа базируется на анализе фактического материала, собранного и обработанного авторами более чем за 30-летний период, на основе использования данных собственных натурных наблюдений за развитием суффозии и других экзогенных процессов, аэрофото- и космических снимков, литературных и других открытых источников информации, фондовых материалов различных геологических организаций.

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ СУФФОЗИОННОГО ПРОЦЕССА В СЛАБОНАРУШЕННЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ

В слабонарушенных природных условиях на территории Белоруссии наиболее благоприятные обстановки развития суффозии сложились в пределах районов с покровом лессовых и лессовидных образований, широко распространенных в восточной части страны на плоских водоразделах Днепра, Березины и Сожа, а также на склонах Минской, Новогрудской и Оршанской возвышенностей, Копыльской и Мозырской гряд и в некоторых других местах (рис. 1) [3, 12–14].

Представлены эти образования преимущественно лессовидными грунтами (типичные лессы прослеживаются лишь на небольших участках); подстилаются разнообразными по строению и составу моренными, флювиогляциальными, озерно-ледниковыми, аллювиальными, озерными и другими генетическими типами отложений четвертич-

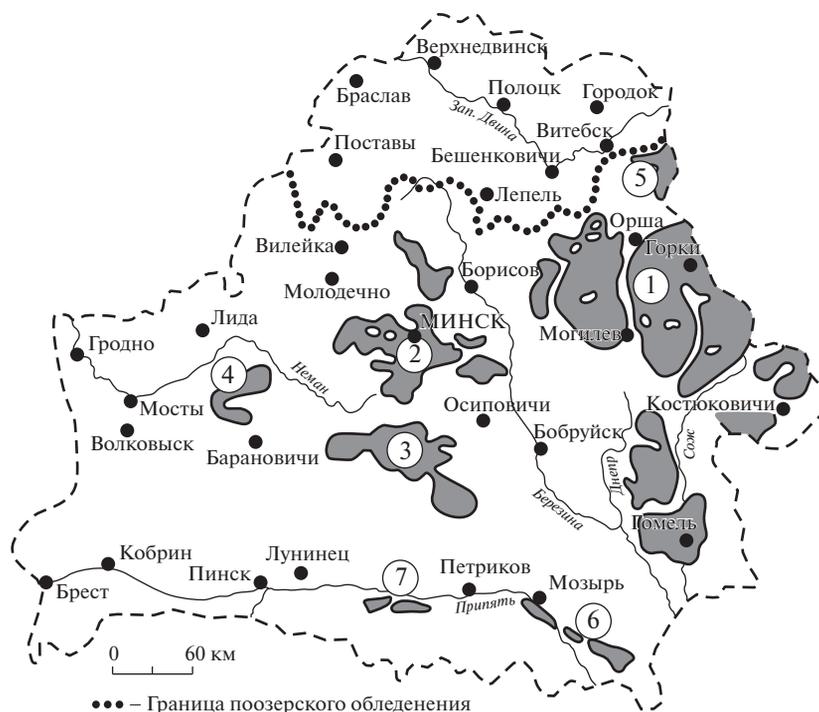


Рис. 1. Основные районы распространения лессовых и лессовидных грунтов на территории Белоруссии [9]: 1 – Оршанско-Могилевский; 2 – Минский; 3 – Слуцкий; 4 – Новогрудско-Кореличский; 5 – Лиозненский; 6 – Мозырско-Хойникско-Брагинский; 7 – Туровский.

ной толщи. Мощность лессовых и лессовидных грунтов обычно небольшая и изменяется от 0.5 м на повышенных участках до 10 м и более в нижних частях склонов, в котловинах, ложбинах стока и других понижениях рельефа. На отдельных участках их мощность может увеличиваться в направлении от I надпойменной террасы в сторону водораздельного плато [2, 16].

Лессовидные грунты часто слоистые и на глубину до 1.0–1.5 м обычно изменены почвенными процессами. По литологическому составу они весьма неоднородны, представлены преимущественно пылеватыми супесями и легкими суглинками палево-желтого или палево-бурого цвета, иногда встречаются пылеватые лессовидные пески и пылеватые слабо облессованные глины [2]. В некоторых разрезах лессовидных отложений отмечались прослойки мелко- и разноразмерного песка, единичные зерна гравия, окатанная галька и даже мелкие валуны (до 10–15 см в поперечнике) из изверженных и осадочных пород [16].

Одним из главных признаков, выделяющих лессовые и лессовидные образования на территории Белоруссии среди других литолого-генетических типов отложений, является преимущественно пылеватый состав (содержание пылеватых частиц в них колеблется от 52 до 88%). В отличие от озерно-ледниковых отложений, которые также богаты пылеватыми частицами, в лессах и лессовид-

ных грунтах все размерные фракции распределены относительно равномерно по всей толще [2].

Естественная влажность рассматриваемых грунтов, сильно зависящая от времени года, климата, рельефа и других факторов, варьирует в интервале 9–25%, преобладают значения 12–20%, степень влажности колеблется от 0.30 до 0.98. Плотность грунта при естественной влажности обычно изменяется от 1.50 до 2.20 г/см³, плотность скелета – 1.53–1.73 г/см³. Наиболее характерное значение плотности скелета для данных грунтов составляет 1.63–1.64 г/см³. Их пористость изменяется от 32 до 55%, коэффициент пористости – от 0.40 до 1.00 (в среднем 0.70) [2, 3]. Нередко в грунтах можно наблюдать хорошо выраженные макропоры в виде пустот размером, превышающим размер минеральных частиц. Часть пор унаследована от растительных остатков и корней, иногда пористость увеличивается за счет ископаемых почв. Чаше отмечаются неправильные округлые и удлиненные поры, встречаются шести- и четырехугольные. Иногда удлиненные поры, соединяясь, формируют цепочки и системы. Их стенки нередко бывают рыхлыми, слабо сцементированными или уплотненными за счет гидрослюдистого или карбонатного цемента. По водопроницаемости рассматриваемые грунты относятся к полупроницаемым (коэффициент фильтрации 0.3–1.2 м/сут); из-за повышенной

пылеватости и относительно невысокой плотности скелета грунта они обладают легкой размокаемостью и тиксотропностью, способствующими интенсивному развитию суффозии [2].

Наряду со специфическими свойствами лессовых и лессовидных грунтов, большое влияние на формирование суффозии в стране оказывают гидрогеологические условия. Так, исследованиями О.П. Корсаковой [8] установлено, что в лессовидных толщах на территории Белоруссии грунтовые воды обычно залегают в нижней части разреза, часто в виде линз. Водоупором для них служат в основном глинистые грунты сожской морены. Глубина залегания грунтовых вод колеблется от 0.2 до 7.0 м, в среднем — 1–2 м, и зависит в значительной степени от мощности грунтовой толщи и геоморфологической обстановки, определяющей характер инфильтрации атмосферных осадков вглубь массива; наличия эрозионного вреза или мест разгрузки грунтовых вод, где в первую очередь происходит формирование суффозионных форм рельефа.

Согласно натурным наблюдениям установлено, что на склонах речных долин, в местах пересеченного рельефа с крутыми короткими склонами преобладает площадной сток, что способствует в период обильного снеготаяния и ливней интенсивному проникновению влаги вглубь массива в значительном количестве [8, 21]. Высокий суффозионный потенциал при таких условиях часто реализуется в образовании подземных и связанных с ними поверхностных форм рельефа. Их возникновение, как правило, сопряжено с большой скоростью сформированного в подземных руслах грунтового водного потока (до нескольких десятков м/сут). Режим таких вод носит кратковременный характер, он полностью определяется климатическими условиями конкретной территории.

На повышенных же участках междуречий, для которых характерен пологоволнистый сглаженный рельеф с небольшим колебанием относительных высот, условия фильтрации спокойные; на значительных территориях просачивание воды вследствие неравномерного ее распределения идет медленно, сопровождаясь иссушением склонов и переувлажнением понижений. В таких условиях обычно происходит формирование поверхностных форм суффозионного рельефа.

Нередко на участках распространения массивов лессовых и лессовидных грунтов геоморфологическая обстановка способна затруднить или исключить разгрузку подземных вод, что можно наблюдать, к примеру, на приводораздельных территориях. В таких случаях образование поверхностного суффозионного рельефа будет уже связано со структурными изменениями в грунтах

под действием инфильтрационного водного потока [8].

В естественных условиях на формирование и режим грунтовых вод в лессовых и лессовидных грунтах Белоруссии значительное влияние оказывают также климатические факторы, прежде всего режим атмосферных осадков. Данные режимных наблюдений в бассейне р. Днепрец Горещкой равнины в условиях суффозионного рельефа свидетельствуют о том, что формирование и питание грунтовых вод в лессовых грунтах происходит в понижениях, в которых зимой происходит перераспределение снежного покрова в результате метелевого переноса, а летом влаги в результате перераспределения площадного стока [8]. Установлено, что грунтовые воды появляются в апреле после снеготаяния, и уровень их постепенно понижается при незначительных колебаниях в зависимости от количества атмосферных осадков. При этом понижение происходит тем стремительнее, чем лучше условия поверхностного и подземного стока.

Через перераспределение площадного стока проявляется влияние растительности на режим грунтовых вод. Сведение лесов и распашка территории приводят к значительному увеличению количества влаги, достигшей поверхности земли. Грунтовая толща насыщается водой в большей степени и на большую глубину, чем под пологом леса. Кроме того, происходит усиление площадного стока, что способствует накоплению влаги в понижениях рельефа.

Совместное действие перечисленных выше факторов на развитие процессов суффозии на территории Белоруссии обусловило образование специфических, часто взаимосвязанных и взаимообусловленных форм рельефа. Наиболее типичными из них являются западины и блюдца — неглубокие, овальной или грушеобразной, часто округлой формы понижения (рис. 2), возникающие в результате неравномерного распределения влаги в толще лессовидных грунтов, сопровождающегося иссушением склонов и переувлажнением понижений. Их относительная глубина составляет 0.1–1.5 м, иногда 3.0 м; площадь колеблется от 100 до 20000 м² при диаметре (или ширине вытянутых форм) от 30 до 120 м. Реже образуются небольшие ложбинообразные понижения длиной 2–3 м и шириной 0.2–0.8 м [12]. Причем их формирование происходит, как правило, при неглубоком залегании грунтового водоносного горизонта вблизи вскрытых эрозионных форм. Если же уровень грунтовых вод устанавливается на глубине более 5 м, то образуются суффозионные депрессии.

Западины часто располагаются в виде цепочек по плоским тальвегам, иногда объединяются в массивы (см. рис. 2). Их количество и размер



Рис. 2. Суффозионный рельеф западной части Горецкой моренной равнины с краевыми ледниковыми образованиями (Оршанский район Витебской области) [22].

устанавливаются в прямой зависимости от мощности лессовой толщи. 70% общей площади западин приходится на участки с мощностью лессовых и лессовидных грунтов более 4 м [3].

Наряду с мощностью грунтов значительное влияние на интенсивность образования суффозионных форм оказывает и рельеф. В частности, западины отсутствуют на плоских поверхностях с превышениями до 2 м, а также на коротких крутых склонах Мозырской гряды и отдельных участков Минской и Новогрудской возвышенностей. На юго-востоке Минской возвышенности, в пределах Хойникской, Стрешинской, Чечерской и некоторых других моренных и водно-ледниковых равнин и низин из-за малой мощности (1 м и менее) лессовидных грунтов проявление процессов суффозии характеризуется слабой интенсивностью, поэтому количество западин здесь относительно невелико — до 2 шт./км². Наибольшая же плотность суффозионных форм (70–80 шт./км² и более) приурочена к районам с волнистым и пологоволнистым рельефом и более мощным чехлом (до 10 м) лессовидных пород. Такие условия для развития суффозионных процессов благоприятно сложились в восточной части Могилевской водно-ледниково-моренной и на Горецкой моренной с краевыми ледниковыми образованиями равнинах [2, 8].

Следует отметить, что в естественных условиях суффозионные западины часто закустарены и за-

болочены, обрамлены преимущественно березово-ивняковыми зарослями, а в центре заняты осоковыми, осоково-злаковыми и разнотравными ассоциациями. Возраст подавляющего их большинства около 150–200 лет [10], единично (в основном в пределах Могилевской и Горецкой равнин) встречаются западины возрастом 1000–1500 лет, который был установлен по мощности накопившегося в них торфа (1.0–1.5 м) [8]. В целях хозяйственного освоения территории с развитием подобных форм рельефа малопригодны, попытки их мелиорации не принесли каких-либо положительных результатов.

Нередко на склонах оврагов, балок и речных долин встречаются суффозионные циркообразные ниши (рис. 3а). Наиболее ярко эти формы проявляются в овражно-балочных системах Мозырской и Новогрудской возвышенностей, реже их можно наблюдать в долинах рек в пределах Оршанской возвышенности и Могилевской равнины. Они не отличаются крупными размерами и в поперечнике не превышают 4–5 м [2].

На участках, где мощность лессовых и лессовидных толщ значительна (более 5 м), с поверхностными суффозионными формами тесно связаны подземные, которые в совокупности образуют единый комплекс форм суффозионного рельефа. Их морфология обязана преимущественно действию водного потока, сосредоточенного в руслах внутри грунтового массива. В геоморфологическом плане

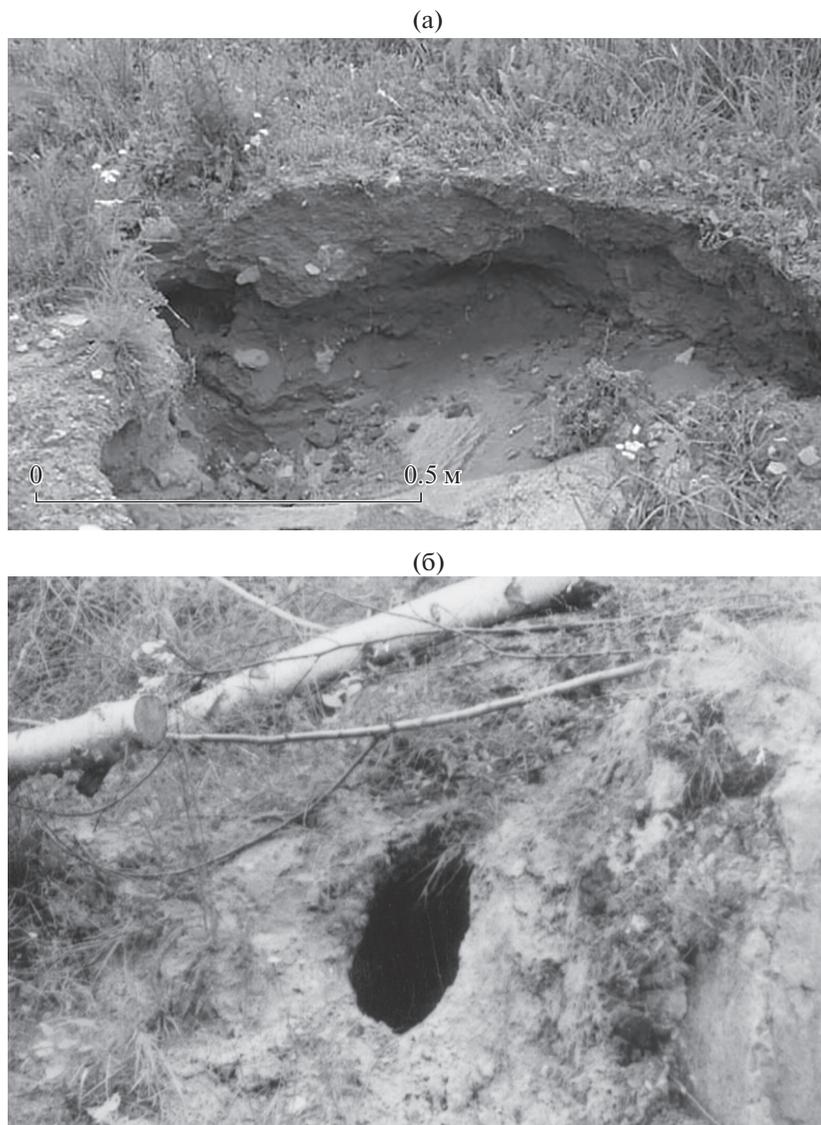


Рис. 3. Суффозионные формы рельефа: а – ниша на склоне оврага Гапеевский в г. Витебск; б – колодец в вершине оврага в г. Мозырь Гомельской обл., с диаметрами входного отверстия 0.5–0.8 м, донной части – 1.2–1.7 м и глубиной 2.8 м (фото А.Н. Галкина, 2008; А.И. Павловского, 1993).

этот комплекс приурочен к относительно глубоким эрозионным врезам – обрывистым берегам рек, молодым крутосклонным оврагам, иногда к крупным карьерным выработкам, дорожным выемкам и другим отрицательным формам рельефа. Наибольшее распространение он получил в пределах Оршанской, Новогрудской и Мозырской возвышенностей.

Среди подземных форм данного комплекса выделяют: входные, транспортные и остаточные формы. Наиболее часто встречаемая входная форма, занимающая в комплексе верхнее положение, – это поноры. Их глубина составляет 0.4–0.7 м при диаметре от 0.2 до 0.5 м.

Из других входных форм суффозионного рельефа выделяются воронки, колодцы и шахты. Колодцы отличаются от воронок отвесными

стенками, размерами (их глубина равна диаметру или несколько превышает его), расположением понор преимущественно в боковых стенках (в воронках поноры размещаются на дне), а также более широким распространением (см. рис. 3б). На территории Белоруссии воронки – редко встречаемая форма.

Единично отмечены и шахты, которые образуются в результате размыва глубоких вертикальных путей фильтрации. Соотношение глубины и диаметра у них различается в 5 и более раз [8]. Такие длинные пути фильтрации не свойственны массивам лессовых грунтов Белоруссии и встречаются довольно редко.

Следует отметить, что каждая из входных форм может развиваться самостоятельно. Если в этом развитии намечается последовательность,

то первичной является воронка. Она может впоследствии трансформироваться либо в колодец, либо в шахту.

Характерной особенностью морфологии суффозионного рельефа, развивающегося в лессовых и лессовидных грунтах страны, является наличие тоннелей и пещер — транспортных подземных форм. Развитие тоннелей происходит, как правило, внутри массива по падению поверхности склонов. На их присутствие указывают слепые обрывы, свидетельствующие о том, что ниже по направлению базиса эрозии осуществляется подземный сток по каналам и ходам, являющимся элементарными разновидностями тоннелей. Ходы отличаются от каналов меньшими размерами, расположением в непосредственной близости от поверхности и тем, что могут закладываться не только в сторону падения склона, но и в противоположную. На поверхности тоннели обнаруживаются только после вскрытия их эрозионной формой, например, оврагом (рис. 4). Пещеры развиваются в непосредственной близости к обрыву вдоль крупных трещин в результате локального изменения силы воздействия грунтового потока в наиболее ослабленных зонах. Для них всегда характерна щелевидная форма. Причиной их появления является обрушение блока породы в стенках обрывов.

Суффозия, сопровождаемая процессами линейного размыва и обрушения, нередко приводит к образованию остаточных форм рельефа, среди которых выделяются останцы и арки. На территории Белоруссии они получили распространение на участках развития лессовидных грунтов значительной мощности (свыше 3 м) в верховьях оврагов и на обрывистых берегах рек. Их образование и длительность существования определяются главным образом режимом и количеством атмосферных осадков.

В заключение отметим, что наличие подземных форм суффозионного рельефа довольно сильно осложняет инженерное освоение территории и требует специальных инженерно-геологических исследований.

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ СУФФОЗИОННОГО ПРОЦЕССА В ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Суффозия, развивающаяся в техногенно нарушенных условиях (например, на урбанизированных территориях, участках гидротехнических сооружений, в береговой зоне водохранилищ и т.д.), заслуживает особого внимания, поскольку ее проявления по своей интенсивности и причиненному ущербу часто превосходят природную.



Рис. 4. Овраг на склоне балки в урочище “Булавки” Мозырского района Гомельской обл., сформировавшийся в результате провалов над суффозионными каналами (фото А.И. Павловского, 1993).

Утечки из водонесущих коммуникаций в городах, вскрытие водоносных горизонтов горными выработками, работа дренажных систем и водозаборных скважин способствуют активному развитию процессов суффозии, сопровождаемых образованием различных депрессий, воронок, пещер, провалов и т.д. Причем образовываться эти формы могут в толщах дисперсных грунтов разного литологического состава: песчано-гравийного, песчаного, песчано-глинистого или глинистого.

Довольно быстро образуются суффозионные провалы при авариях водопроводных и канализационных систем, когда вода вырывается из труб под высоким давлением. В этом случае струйный размыв грунта способен приобретать опасный и ущербнонаносящий характер, распространяется по всем подземным полостям и сопровождается интенсивным выносом дисперсных частиц. Формирующиеся при этом пустоты мгновенно обрушаются (рис. 5).

К примеру, в марте 2000 г. в районе дома № 45 по ул. Максима Горького в г. Витебск из-за прорыва канализационного коллектора, залегающего в техногенной песчаной толще на глубине 3.5 м, под трамвайными путями образовалась воронка глубиной около 1 м и площадью более 2.5 м². В результате движение трамваев было парализовано на три часа до устранения аварии [4].

Утром 10 марта 2014 г. в Минске по ул. Могилевской также из-за прорыва канализационного



Рис. 5. Прорыв водопроводной трубы, вызвавший суффозионный размыв грунта (а), и его последствия вблизи Ледового дворца в Гомеле, 2013 г. (б) [6].

коллектора, расположенного в толще техногенных песчано-глинистых грунтов на глубине более 3 м, под асфальтовым покрытием автомобильной дороги образовалась суффозионная воронка глубиной более 2 м и площадью 16 м². В результате движение транспорта было парализовано до вечера того же дня, пока коммунальные и дорожные службы не выполнили все необходимые ремонтные работы. Позднее в Минске крупные суффозионные провалы фиксировались на пересечении улиц Клары Цеткин и Мясникова (2016), на улицах Кирова (2017), Фабричной (2018) и в других местах.

Подобные аварийные ситуации случались в разные годы также в Бресте, Гомеле, Гродно, Жлобине, Могилеве и других городах страны. Так, в декабре 2013 г. в одном из дворов по ул. Луцкая в г. Брест в результате суффозии из-за прорыва водопроводной сети образовалась промоина глубиной более 1 м и площадью около 5 м². Два легковых автомобиля оказались в этой промоине [4]. В отдельных случаях суффозионные провалы способны провоцировать аварийность целых зданий, как это было установлено для некоторых домов в г. Могилев по ул. Любчанского [13].

Благоприятные условия для протекания суффозии создаются в процессе строительства и эксплуатации различных инженерных сооружений в городах, крупных автомобильных дорог, когда осуществляется отсыпка песчаных и крупнообломочных пород на слабопроницаемое основание, перекапывание глинистых грунтов, создание поверхностей контакта грунта с различными искусственными материалами и многое другое. В качестве примера можно привести сложившуюся ситуацию на участке автодороги Орша—Смоленск, когда при прокладке газопровода из-за суффозионного выноса массы песка из-под дорожного полотна возник крупный провал, повлекший аварию грузового автомобиля и, как следствие, причинение тяжкого вреда здоровью водителя и пассажира [7].

Довольно часто в городах в грунтах отсыпки суффозия приводит к деформациям тротуаров, отмоستков, лестниц (рис. 6). Причем активно это происходит, как правило, после выпадения значительного количества атмосферных осадков, что, с одной стороны, повышает уровни подземных вод, а с другой — увеличивает расход воды в ливневой канализации и, соответственно, объем утечек из нее. Показательным примером может служить ситуация, возникшая в июле 2011 г. на проезжей части и тротуаре по ул. Ленина вблизи летнего Амфитеатра в Витебске, когда из-за прорыва переполненного ливневой водой канализационного коллектора образовался провал диаметром и глубиной около 1.5 м (см. рис. 6а). В мае 2012 г. почти на этом же месте при аналогичных обстоятельствах авария повторилась (см. рис. 6б) и привела к несчастному случаю — провалилась девушка и с переломами конечностей была госпитализирована в больницу [5].

Нередко суффозионные процессы в пределах территории страны можно наблюдать на отдельных участках гидротехнических сооружений: дамб, плотин, мелиоративных каналов и т.д., в береговых зонах Вилейского, Заславского и др. водохранилищ, а также в бортах карьеров по добыче строительных материалов (например, месторождения “Крапужино”, “Веснянка”, “Узборье”, “Киржи” в Минской области), на территориях крупных промышленных предприятий и объектов энергетики [4].

Резюмируя вышесказанное, следует отметить, что для предупреждения и ликвидации последствий техногенно обусловленной суффозии требуются значительные материальные затраты, связанные не только с проведением инженерных изысканий, специальных обследований, разработкой проектов работ по ремонту водонесущих коммуникаций, дорожных покрытий, восстановлению и укреплению грунтовых оснований зданий и сооружений, бортов карьеров, мелиоратив-



Рис. 6. Деформации тротуаров, вызванные суффозией, в: а, б – Витебске вблизи летнего Амфитеатра (2011 и 2012); в – Гомеле вблизи парка “Фестивальный” (2020); г – Бресте на перекрестке улиц Мицкевича и Куйбышева (2020) [1, 5, 17, 18].

ных каналов и т.д., но и с проведением непосредственно самих работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Суффозионные процессы в последние два десятилетия стали одним из осложняющих факторов формирования инженерно-геологических условий отдельных территорий Белоруссии, особенно в крупных городах. В то же время следует отметить, что какие-либо специализированные наблюдения за их проявлением, как и любых других экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов, в стране давно не проводятся. Создание системы мониторинга экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов локального и регионального уровней позволило бы обеспечить получение актуальной информации о распространении и активности проявления указанных процессов, в том числе суффозионных, и факторах, их определяющих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будьте внимательнее. Яму у парка “Фестивального”, в которую несколько дней назад провалилась девушка, огородили. <https://imag.one/news/budte-vnimatelnee-yamu-u-parka-festivalnogo-1/2673069>.
2. *Галкин А.Н.* Инженерная геология Беларуси. В 3 ч. Ч. 1. Грунты Беларуси / Под ред. В.А. Королева. Витебск: ВГУ им. П.М. Машерова, 2016. 367 с.
3. *Галкин А.Н., Матвеев А.В., Жогло В.Г.* Инженерная геология Беларуси. Основные особенности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий и история их формирования. Витебск: ВГУ им. П.М. Машерова, 2006. 208 с.
4. *Галкин А.Н., Матвеев А.В., Павловский А.И., Санько А.Ф.* Инженерная геология Беларуси. В 3 ч. Ч. 2. Инженерная геодинамика Беларуси / Под ред. В.А. Королева. Витебск: ВГУ им. П.М. Машерова, 2017. 452 с.
5. Девушка провалилась под землю в центре Витебска. [Uhttps://news.tut.by/accidents/288712.html](https://news.tut.by/accidents/288712.html).

6. Из-за “гейзера” провалился тротуар у Ледового дворца. <https://gomelnews.onliner.by/2013/08/17/groval?ysclid=1islte88kq938164566>.
7. *Колпашиков Г.А.* Инженерная геология. Минск: Технопринт, 2005. 132 с.
8. *Корсакова О.П.* Геоморфологическая роль суффозии в лессовых породах Белоруссии: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 1990. 23 с.
9. *Лукашю К.І., Стэцко У.У.* Геаграфічныя асаблівасці распаўсюджання лессавых парод на тэрыторыі Беларусі // Весці АН БССР. Сер. фіз.-тэхн. навук. 1958. № 4. С. 94–105.
10. *Кухарик Е.А.* Особенности проявления современных карстовых и суффозионных процессов на территории Центральной Беларуси // Літасфера. 2022. № 2 (57). С. 94–100.
11. *Ломтадзе В.Д.* Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л.: Недра, 1977. 479 с.
12. *Матвеев А.В., Нечипоренко Л.А.* Особенности проявления и взаимодействия современных геологических процессов на территории Беларуси // Веснік Брэсц. ун-та. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навукі аб Зямлі. 2011. № 1. С. 91–99.
13. *Матвеев А.В., Нечипоренко Л.А.* Последствия проявления опасных геологических процессов на территории Беларуси // Природопользование. 2016. Вып. 29. С. 30–37.
14. *Матвеев А.В., Нечипоренко Л.А., Павловский А.И. и др.* Современная динамика рельефа Белоруссии. Минск: Навука і тэхніка, 1991. 102 с.
15. *Мотуз В.М.* О происхождении блюдцеобразных западин в лессовых породах БССР // Почвенные исследования и применение удобрений. 1978. Вып. 9. С. 9–13.
16. *Мотуз В.М.* Условия образования лессовых пород пригляциальной зоны плейстоцена (в пределах Белоруссии) // Инженерная геология. 1980. № 2. С. 14–25.
17. На улице Куйбышева в Бресте ведутся восстановительные работы, они продлятся до 6 августа. <https://news.21.by/other-news/2020/08/05/2095642.html?ysclid=19sl5arqrm335561330>.
18. На улице Ленина в Витебске после урагана провалилась земля. <http://news.tut.by/accidents/233977.html?crnd=286>.
19. *Нечипоренко Л.А.* Современные геологические процессы в бассейне Верхнего Днепра (на территории Беларуси) // Природопользование. 2011. Вып. 20. С. 41–47.
20. *Павлов А.П.* О рельефе равнин и его изменениях под влиянием работы подземных и поверхностных вод // Землеведение. 1898. Т. 5. Кн. 3–4. С. 91–147.
21. *Павловский А.И.* Закономерности проявления эрозионных процессов на территории Беларуси. Минск: Навука і тэхніка, 1994. 102 с.
22. Оршанский район Витебской области. <https://yandex.by/maps/geo/1494224590/?l=sat&ll=30.566134%2C54.372130&z=14>.
23. *Пендин В.В., Гусельцев А.С., Фоменко И.К., Зеркаль О.В., Сироткина О.Н.* Оценка суффозионной опасности площадки АЭС и ее окрестностей. Опасные для строительства геологические процессы // Сб. матер. Междунар. сем., посвящ. 70-летию д.г.-м.н. В.П. Хоменко. М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2019. С. 22–29.
24. *Хоменко В.П.* Закономерности и прогноз суффозионных процессов. М.: ГЕОС, 2003. 216 с.

THE ROLE OF SUFFUSION IN THE FORMATION OF ENGINEERING GEOLOGICAL CONDITIONS IN THE TERRITORY OF BELARUS

I. A. Krasovskaya^a, A. N. Galkin^{a,#}, A. I. Pavlovsky^{b,##}, and S. V. Andrushko^b

^a*Masherov Vitebsk State University,
Moskovskii pr. 33, Vitebsk, 210038 Belarus*

^b*F. Skorina Gomel State University,
Sovetskaya ul., 104, Gomel, 246028 Belarus*

[#]*E-mail: galkin-alexandr@yandex.ru*

^{##}*E-mail: aipavlovsky@mail.ru*

The article presents the results of a comprehensive study of the conditions for the development and spread of natural and technogenic suffusion by the Belarus territory. It is noted that in insignificantly disturbed natural geoenvironment, the most favorable conditions for the development of suffusion have developed within the moraine and water-glacial plains and lowlands of the eastern part of the country, as well as marginal ice ridges and uplands with a cover of loess and loess-like formations with increased silt content, relatively low density of the soil skeleton, easy soakability and thixotropy, which contribute to the intensive development of the suffusion process. Active natural factors, conditions for the development and spread of suffusion, as well as forms of its manifestation in loess and loess-like soil massifs are considered. Suffusion manifestation in technogenically disturbed geoenvironment is analyzed, and its negative impact on functioning of natural-anthropogenic systems of various organization levels is shown by specific examples. In the authors' opinion, the creation of a monitoring system for the development of suffusion, as well as other exogenous geological and engineering geological processes, will provide up-to-date information on the distribution and manifestation activity of these processes and the factors that determine them.

Keywords: *suffusion, insignificantly disturbed natural conditions, loess and loess-like soils, active natural development factors, technogenically disturbed conditions, landforms*

REFERENCES

1. [Be careful. The pit near the Festivalny park, into which a girl fell a few days ago, was fenced off]. <https://imag.one/news/budte-vnimatelnee-yamu-u-parka-festivalnogo-1/2673069> (in Russian)
2. Galkin, A.N. [Engineering geology of Belarus. Part 1. Soils of Belarus]. Korolev, V.A., Ed., Vitebsk, VSU Publ., 2016, 367 p. (in Russian)
3. Galkin, A.N., Matveev, A.V., Zhoglo, V.G. [Engineering geology of Belarus. The main features of the spatial variability of engineering-geological conditions and the history of their formation]. Vitebsk, VSU Publ., 2006, 208 p. (in Russian)
4. Galkin, A.N., Matveev, A.V., Pavlovsky, A.I., San'ko, A.F. [Engineering geology of Belarus. Part 2. Engineering geodynamics of Belarus]. Korolev, V.A., Ed., Vitebsk, VSU Publ., 2017, 452 p. (in Russian)
5. [The girl fell into the ground in the center of Vitebsk]. <https://news.tut.by/accidents/288712.html> (in Russian)
6. [Due to the "geyser", the sidewalk at the Ice Palace collapsed]. <https://gomelnews.onliner.by/2013/08/17/proval?ysclid=lislte88kq938164566> (in Russian)
7. Kolpashnikov, G.A. [Engineering geology]. Minsk, Tekhnoprint Publ., 2005, 132 p. (in Russian)
8. Korsakova, O.P. [Geomorphological role of suffusion in loess rocks of Belarus]. Extended abstract Cand. Sci. (Geogr.) dissertation, Moscow, MSU Publ., 1990, 23 p. (in Russian)
9. Lukashov, K.I., Stetsko U.U. [Geographical features of loess soil distribution in the Belarus territory]. *Vestsi AN BSSR. Ser. Fiz.-tekh. nauk*, 1958, no. 4, p. 94–105. (in Belorussian)
10. Kukharik, E.A. [Features of manifestation of modern karst and suffusion processes in the territory of Central Belarus]. *Litasfera*, 2022, no. 2 (57), pp. 94–100. (in Russian)
11. Lomtadze, V.D. [Engineering geology. Engineering geodynamics]. Leningrad, Nedra Publ., 1977, 479 p. (in Russian)
12. Matveev, A.V., Nechiporenko, L.A. [Peculiarities of manifestation and interaction of modern geological processes on the territory of Belarus]. *Vesnik Brestskaga universiteta. Seriya 5, Khimiya. Biyalogiya. Navuki ab Zyamli*, 2011, no. 1, pp. 91–99. (in Russian)
13. Matveev, A.V., Nechiporenko, L.A. [Consequences of the manifestation of dangerous geological processes on the territory of Belarus]. *Prirodopol'zovaniye*, 2016, no. 29, pp. 30–37. (in Russian)
14. Matveev, A.V., Nechiporenko, L.A., Pavlovsky, A.I. et al. [Modern dynamics of the relief in Belarus]. Minsk, Navuka i tekhnika Publ., 1991, 102 p. (in Russian)
15. Motuz, V.M. [On the origin of saucer-shaped depressions in loess rocks of the BSSR]. *Pochvennyye issledovaniya i primeneniye udobrenii*, 1978, no. 9, pp. 9–13. (in Russian)
16. Motuz, V.M. [Conditions for the formation of loess rocks in the periglacial zone of the Pleistocene (within Belarus)]. *Inzhenernaya geologiya*, 1980, no. 2, pp. 14–25. (in Russian)
17. [Restoration work is underway on Kuibyshev Street in Brest, they will last until August 6]. <https://news.21.by/other-news/2020/08/05/2095642.html?ysclid=I9sl5arqrm335561330> (in Russian)
18. [The earth collapsed on Lenin Street in Vitebsk after the hurricane]. <http://news.tut.by/accidents/233977.html?crnd=286> (in Russian)
19. Nechiporenko, L.A. [Modern geological processes in the Upper Dnieper basin (on the territory of Belarus)]. *Prirodopol'zovaniye*, 2011, no. 20, pp. 41–47. (in Russian)
20. Pavlov, A.P. [On the relief of the plains and its changes under the influence of the work of underground and surface waters]. *Zemlevedeniye*, 1898, vol. 5, book 3–4, pp. 91–147. (in Russian)
21. Pavlovsky, A.I. [Patterns of manifestation of erosion processes in the territory of Belarus]. Minsk, Navuka i tekhnika Publ., 102 p. (in Russian)
22. [Orsha district of the Vitebsk region]. <https://yandex.by/maps/geo/1494224590/?l=sat&ll=30.566134%2C54.372130&z=14> (in Russian)
23. Pendin, V.V., Gusel'tsev, A.S., Fomenko, I.K., Zerkal, O.V., Sirotkina, O.N. [Assessment of suffusion hazard at a NPP site and its vicinity. Geological processes hazardous to construction]. Proc. Intern. Workshop dedicated to the 70th birthday of Dr. V.P. Khomenko. Moscow, MISI-MGSU Publ., 2019, pp. 22–29. (in Russian)
24. Khomenko, V.P. [Regularities and forecasting of suffusion]. Moscow, GEOS Publ., 2003, 216 p. (in Russian)