

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ ВИТЕБСКА

<https://doi.org/10.25296/1993-5056-2018-13-6-66-75>

УДК 624.131:551 (476.5)



<http://www.sheridan85.narod.ru/vitebsk2.html>

ТОРБЕНКО А.Б.

Витебский государственный университет им. П.М. Машерова, г. Витебск, Беларусь, torbenko_a@mail.ru
 Адрес: Московский проспект, д. 33, г. Витебск, 210038, Беларусь

ГАЛКИН А.Н.*

Витебский государственный университет им. П.М. Машерова, г. Витебск, Беларусь, galkin-alexandr@yandex.ru

КРАСОВСКАЯ И.А.

Витебский государственный университет им. П.М. Машерова, г. Витебск, Беларусь, iakrasovskaya@yandex.ru

Аннотация

Экзогенные геологические и инженерно-геологические процессы (ЭГиИГП) — один из наиболее динамичных факторов преобразования земной поверхности, который существенно влияет как на геологическую среду, так и хозяйственную деятельность человека. Распространение, интенсивность развития и масштабы последствий процессов на урбанизированных территориях становятся с каждым годом все ощутимее, нередко принося значительный материальный ущерб. Цель работы — рассмотреть особенности проявления современных экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов на территории Витебска для последующей разработки рекомендаций органам исполнительной власти и природоохранным учреждениям города по организации мероприятий инженерной защиты территории от неблагоприятных воздействий ЭГиИГП. Работа базируется на результатах инженерно-геологических и эколого-геологических исследований территории города, которые проводились авторами в период с 2003 по 2017 гг. в составе научного коллектива биологического факультета Витебского государственного университета имени П.М. Машерова. Исследования включали в себя наземные визуальные наблюдения за развитием ЭГиИГП, в том числе картирование и фотосъемку, обобщение и анализ собранных данных, компьютерную обработку материалов наблюдений, различных карт и космических снимков. Результаты исследований свидетельствуют о том, что среди современных экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов и явлений широкое развитие в Витебске получили эрозийные, суффозионные, склоновые процессы, провальные явления, подтопление, заболачивание и морозное пучение территории, осадки и деформации зданий. При этом отмечается, что степень их изученности на территории города недостаточно высока и весьма неравномерна. Постановка работ по оценке проявления этих процессов носит, как правило, эпизодический характер. Тем не менее, результаты исследований указывают на то, что рассматриваемая проблема для Витебска актуальна и требует дальнейшего изучения ЭГиИГП, их негативного влияния на состояние геологической среды и, как следствие, всей инфраструктуры города.

Ключевые слова:

экзогенные геологические и инженерно-геологические процессы; эрозия, суффозия; провальные явления; склоновые процессы; подтопление; заболачивание; морозное пучение; осадки и деформации зданий

Ссылка для цитирования:

Торбенко А.Б., Галкин А.Н., Красовская И.А., 2018. Особенности проявления современных экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов на территории Витебска. Инженерная геология, Том XIII, № 6, с. 66–75, <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2018-13-6-66-75>

FEATURES OF THE MANIFESTATION OF MODERN EXOGENOUS GEOLOGICAL AND ENGINEERING-GEOLOGICAL PROCESSES IN THE TERRITORY OF VITEBSK

ANDREY B. TORBENKO

Masherov Vitebsk State University, Vitebsk, Belarus, torbenko_a@mail.ru

Address: Bld. 33, Moscow Ave, 210038, Vitebsk, Belarus

ALEXANDER N. GALKIN*

Masherov Vitebsk State University, Vitebsk, Belarus, galkin-alexandr@yandex.ru

IRINA A. KRASOVSKAYA

Masherov Vitebsk State University, Vitebsk, Belarus, iakrasovskaya@yandex.ru

Abstract

Exogenous geological and engineering-geological processes (EGIGP) is one of the most dynamic factors in the transformation of the earth's surface, which significantly affects both the geological environment and human economic activity. The spread, the intensity of development and the scale of the consequences of the processes in urban areas are becoming more tangible every year, often causing significant material damage. The purpose of the work is to consider the specific manifestations of modern exogenous geological and engineering-geological processes on the territory of Vitebsk for the subsequent development of recommendations to the executive authorities and environmental institutions of the city on the organization of engineering protection of the territory from the adverse effects of EGIGP. The work is based on the results of engineering-geological and ecological-geological studies of the city's territory, which were conducted by the authors from 2003 to 2017 as part of the scientific team of the biological faculty of Masherov Vitebsk State University. The studies included ground-based visual observations of the development of EGIGP, including mapping and photographing, compiling and analyzing the collected data, computer processing of observational data, various maps and satellite images. Research results indicate that among modern exogenous geological and engineering-geological processes and phenomena: erosion, suffusion, slope processes, failures, flooding, waterlogging and frost heaving of the territory, precipitation and deformation of buildings have been widely developed in Vitebsk. It is noted that the degree of their knowledge in the city is not high enough and very uneven. The formulation of works on the evaluation of the manifestation of these processes is, as a rule, sporadic. Nevertheless the results of studies indicate that the problem under consideration is relevant for Vitebsk and requires further study of EGIGP, their negative impact on the state of the geological environment and, as a result, the entire infrastructure of the city.

Key words:

exogenous geological and engineering-geological processes; erosion, suffusion; failures, slope processes, flooding, waterlogging, frost heaving, precipitation and deformation of buildings

For citation:

Torbenko A.B., Galkin A.N., Krasovskaya I.A., 2018. Features of the manifestation of modern exogenous geological and engineering-geological processes in the territory of Vitebsk. *Engineering Geology*, Vol. XIII, No. 6, pp. 66–75, <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2018-13-6-66-75>

Введение

Экзогенные геологические и инженерно-геологические процессы (ЭГиИГП) являются одним из наиболее динамичных факторов преобразования земной поверхности и существенно влияют на природную среду и хозяйственную деятельность человека. Пространственное распространение, интенсивность проявления и масштабы последствий процессов на городских территориях становятся с каждым годом все ощутимее, нередко принося значительный материальный ущерб.

Для территории Витебска характерен целый комплекс ЭГиИГП и созданных ими явлений. Этот комплекс достаточно обширен и специфичен. Он включает в себя эрозийные процессы, суффозию, оползни, крип, подтопление, заболачивание, морозное пучение и другие процессы. При этом следует заметить, что их проявление и развитие на территории города весьма неравномерно и происходит с различной степенью активности.

Цель настоящей работы — охарактеризовать особенности проявления современных экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов на территории Витебска для последующей разработки рекомендаций органам исполнительной власти и природоохранным учреждениям города по организации мероприятий инженерной защиты данной территории от неблагоприятных воздействий ЭГиИГП.

В основу работы положены результаты инженерно-геологических и эколого-геологических исследований территории Витебска, проводимых в период с 2003 по 2017 гг. научным коллективом из числа сотрудников кафедр географии и экологии и охраны природы биологического факультета Витебского государственного университета имени П.М. Машерова (ВГУ имени П.М. Машерова) при непосредственном участии авторов. Исследования включали в себя наземные визуальные наблюдения за развитием ЭГиИГП, в том числе их картирование и фо-



Рис. 1. Активный овраг в долине р. Витьба в районе моста Юбилейный (июнь 2010 г.). Фото А.Н. Галкина

Fig. 1. Active ravine in the valley of the Vitba River in the area of the Yubileyny Bridge (June 2010). Photo by A.N. Galkin

тосъемку, обобщение и анализ собранных данных, компьютерную обработку результатов наблюдений, различных карт и космических снимков.

Характеристика современных экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов на территории Витебска

Среди комплекса современных ЭГйИГП на территории города своей масштабностью и интенсивностью выделяются эрозионные, которые проявляются в виде плоскостного смыва, оврагообразования и русловых процессов.

Эрозионные процессы

Плоскостная эрозия в наибольшей степени выражена в левобережной части Витебска, характеризующейся холмистым рельефом, значительным перепадом высот — до 80 м, часто оголенными, не задернованными склонами, сложенными пылеватыми суглинистыми и супесчаными грунтами. Здесь величина плоскостного смыва составляет в среднем 0,6 мм/год. В отдельные периоды этот показатель может возрасти до 1,0 мм/год и выше [5].

Активному развитию плоскостного смыва в городе часто подвержены и техногенные откосные сооружения — дорожные выемки, насыпи, карьеры, отвалы и др. В результате длительного, порой незаметного, развития данного процесса нередко наступают ситуации, угрожающие устойчивости и нормальной эксплуатации этих сооружений, а вымываемый материал заливает и заполняет дорожные водоотводящие и дренажные сооружения, проезжую часть дорог, водоемы. Особенно сильно впечатляют результаты плоскостной эрозии после проливных дождей и быстрого снеготаяния [4].

Оврагообразование в Витебске приурочено преимущественно к склонам речных долин Западной Двины, Лучосы, Витьбы, а также крупных овражно-балочных систем Дунай и Гапеевский. Сформировались овражные формы на территории города задолго до хозяйственного освоения ее человеком. Происходило это, по всей вероятности, после того как по Западной Двине заметно сократился отток талых ледниковых вод, и уровень воды в ней на участке глубокого вреза долины существенно снизился. В сохранявшихся в это время перигляциальных условиях,

вследствие низких температур и отсутствия или слабого развития в результате этого растительности, поверхностные породы подвергались интенсивному размыву. При значительной глубине расчленения территории были вскрыты водоносные горизонты, появились в связи с этим постоянные водотоки разной длины и с различными расходами воды. С появлением растительности, особенно древесной, обстановка стабилизировалась, активизация эрозии могла проявляться лишь в экстремальных условиях, например, при выпадении очень сильных ливневых дождей или интенсивного таяния снега. Большинство овражных форм находится в стадии молодости. Они активно действующие и имеют V-образный поперечный профиль с крутыми и обрывистыми бортами. Рост их числа особенно заметно проходил с начала 1960-х годов и был связан с теми же изменениями в застройке города, которые привели к развитию в овражно-балочных системах глубинной эрозии. Появлялись они на склонах в местах наибольшей концентрации поверхностных вод при отсутствии водосбросных сооружений или в случаях неграмотного выбора их типа, нарушения технологии строительства и по другим причинам [1].

Образовавшиеся относительно недавно овраги с невыработанным профилем равновесия более активны (рис. 1). Среди них особенно опасными являются овражные формы, обладающие обширной площадью водосбора.

Наряду с появлением новых рытвин и промоин в овражно-балочных системах города отмечается и обратная тенденция — уменьшение их количества. Происходит это в результате засыпки их грунтом с целью последующего освоения выровненных таким образом территорий (рис. 2). Такие засыпанные отрицательные формы рельефа относят к неблагоприятным по своим инженерно-геологическим параметрам. Насыпной грунт погребенных участков овражно-балочных систем обладает значительной сжимаемостью под влиянием динамических (транспорт) и статистических (здания, различные сооружения) нагрузок. Осадка сооружений на подобных грунтах протекает многие годы и может достигать 20–30 см при скорости оседания 2–3 см в год [2].

Русловые процессы, представленные преимущественно боковой эрозией, характерны для всех постоянных водотоков в городе. При этом следует отметить, что в долинах рек в пределах городской черты эрозионные процессы имеют весьма ограниченное распространение, поскольку речные берега в большинстве своем защищены от размыва благодаря устройству набережных, выполаживанию берегов и т.д. Весьма интенсивно русловые процессы протекают в балочных системах Дунай и Гапеевский (рис. 3).

Суффозионные процессы

Весьма распространенным и опасным процессом в городе является *суффозия*. Развивается она в неоднородных по гранулометрическому составу грунтах с размером пор, достаточным для передвижения тонкодисперсных частиц, при значительном градиенте напора фильтрационного потока и наличии условий для разгрузки.

Суффозию можно наблюдать на склонах берегов рек и оврагов — в местах выхода на поверхность подземных вод. Особенно широко данный процесс проявляется на склонах оврага Гапеевский — в районах Московского проспекта и улицы Правды (рис. 4). Это ослабляет скло-

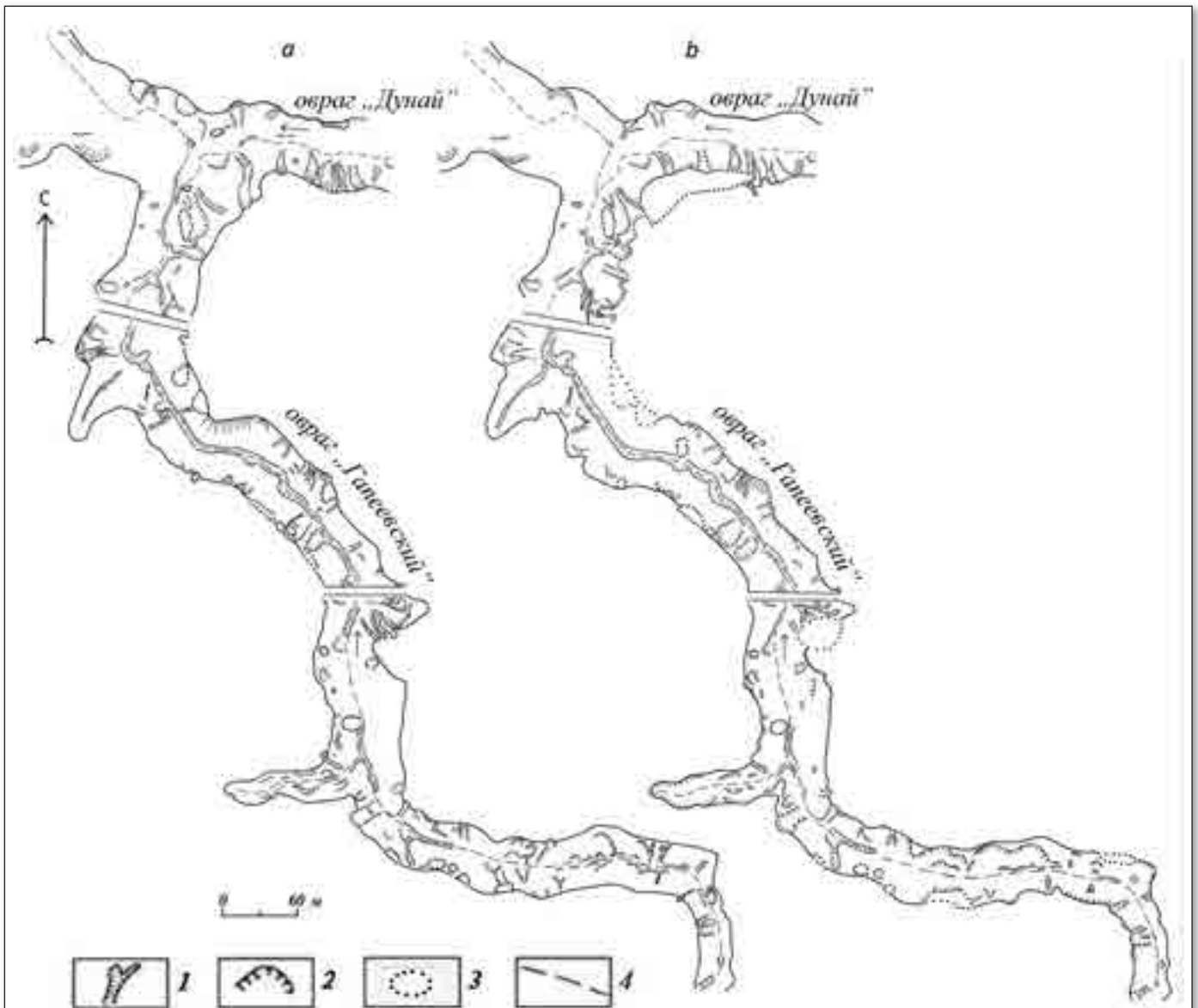


Рис. 2. Схема участков овражно-балочных систем Гапеевский и Дунай по состоянию на: *a* — 1998 г., *b* — 2014 г. 1 — овражные формы; 2 — формы склоновых процессов (оползни, оплывины); 3 — контуры насыпных грунтов; 4 — линия водотока

Fig. 2. Scheme of sites of gullies and ravines systems Gapeevsky and Dunay as of: *a* — 1998, *b* — 2014. 1 — gully forms; 2 — forms of slope processes (landslides, mudflows); 3 — contours of loose soils; 4 — water flow line

ны и способствует их оползанию, а на равнинных участках — оседанию и провалам.

Часто причиной суффозии в городе является хозяйственная деятельность. Причем техногенная суффозия по своей интенсивности нередко превосходит природную. Утечки из водонесущих коммуникаций, вскрытие водоносных горизонтов выработками, работа дренажных систем способствуют активному развитию данного процесса. Благоприятные условия для суффозии создаются при строительстве и эксплуатации различных инженерных объектов, когда осуществляется отсыпка песчаных и крупнообломочных пород на слабопроницаемое основание. Суффозия, возникающая в грунтах отсыпки, зачастую приводит к деформации тротуаров, отмостки, лестниц. Такие явления в городе можно наблюдать на улицах Ленина, Правды, Жесткова, Чкалова, проспектах Московский, Победы и др.

Активизация суффозионных процессов происходит, как правило, весной и осенью после выпадения значи-

тельного количества атмосферных осадков, что, с одной стороны, повышает уровни подземных вод, а с другой — увеличивает расход воды в ливневой канализации и, соответственно, объем утечки из нее [7].

Провальные явления

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 катастрофический характер, распространяется по всем подземным пустотам и каналам и сопровождается интенсивным выносом дисперсных частиц. Кровли формирующихся при этом полостей мгновенно обрушаются. Так, в марте 2000 г. в районе дома № 45 по улице Максима Горького из-за прорыва канализационного коллектора, залегающего на глубине 3,5 м, под трамвайными путями образовалась воронка глубиной около 1 м и диаметром более 1,5 м. В резуль-



Рис. 3. Русло ручья в овраге Гапеевский (июнь 2010 г.). Фото А.Н. Галкина

Fig. 3. Watercourse in the Gapevsky ravine (June 2010). Photo by A.N. Galkin



Рис. 4. Суффозионная ниша на склоне оврага Гапеевский в районе Московского проспекта (июль 2008 г.). Фото А.Н. Галкина

Fig. 4. Suffosion niche on the slope of the Gapevsky ravine near Moscow Avenue (July 2008). Photo by A.N. Galkin

тате движение трамваев было парализовано на три часа до устранения аварии [3].

В качестве другого примера можно привести ситуацию, сложившуюся в июле 2011 г. на проезжей части и тротуаре по ул. Ленина вблизи Амфитеатра, когда из-за прорыва переполненного ливневой водой канализационного коллектора образовался провал диаметром и глубиной около 1,5 м (рис. 5, а). В мае 2012 г. почти на этом же месте при аналогичных обстоятельствах авария повторилась (рис. 5, б) и привела к несчастному случаю [10, 11].

Склоновые процессы

Активно в городе проявляются гравитационные склоновые процессы, среди которых наиболее опасными являются оползни, приносящие значительный ущерб.

Оползневые процессы в Витебске отличаются многообразием генезиса и форм проявления. В пределах города можно встретить оползни срезания, выдавливания, потоки, а также суффозионные (рис. 6).

Первые — *оползни срезания* — образуются на относительно высоких и крутых (30° и более) склонах, сложенных моренными и флювиогляциальными отложениями.

Деформации пород развиваются вследствие изменения напряженного состояния и «мгновенной» потери прочности. Основной деформируемый горизонт представлен глинистыми, песчано-глинистыми грунтами преимущественно полутвердой и твердой консистенций средней и высокой степени уплотнения. Поверхность скольжения выражена четко, в продольном сечении имеет преимущественно вогнутую неправильную форму. Эта поверхность может либо срезать пласты различного литологического состава под разными углами (инсеквентный оползень), либо формироваться в однородной толще (асеквентный оползень). Для оползней срезания характерна большая глубина захвата пород склона (рис. 6, а), что в некоторых случаях способствует созданию неблагоприятных обстановок. Так, например, 23 августа 2006 года 15-ти этажный жилой дом по улице Правды оказался в катастрофической ситуации, созданной внезапно возникшим оползнем. Образовавшийся в близко расположенном от здания глубоком — до 30 м — овраге в условиях проливного дождя этот оползень «съедал» до 1 погонного метра грунта в час. В результате в течение нескольких часов образовалась выемка глубиной 18–20 м и шириной до 50 м, угрожавшая за короткое время вплотную подойти к фундаменту высотного дома. Возникла опасность для всего здания, и потребовалась эвакуация жителей. Своевременно принятые меры, заключающиеся в засыпке выемки 2,5 тыс. м³ скальной породы, позволили избежать катастрофы [3].

Оползни выдавливания в Витебске часто формируются на склонах крупных оврагов и балок в результате отседания и смещения блоков плотных однородных или слоистых пород вследствие вязкопластического течения подстилающего относительно слабого пласта и его выдавливания под весом перекрывающей толщи. Обычно у этих оползней основной деформируемый горизонт сложен глинистыми породами пластичной и полутвердой консистенции, слабой и средней степени уплотнения, залегающими в массиве склона или в его основании. Смещение происходит во всем объеме основного деформируемого горизонта, поэтому поверхность смещения выражена нечетко (рис. 6, б).

Оползни-потоки — наиболее часто встречающийся тип оползней на территории города. Сложены они, как правило, водонасыщенными глинистыми, пылеватыми и обломочно-глинистыми массами, возникают при увлажнении образующих их пород дождевыми, снеговыми, подземными или хозяйственными водами. Необходимыми условиями для формирования данных оползней являются: склон крутизной $12\text{--}15^\circ$, наличие постоянно пополняющегося источника рыхлого материала и его обводнение. По своим морфологическим признакам, глубине и скоростям смещения оползни этого типа весьма разнообразны. Ими часто захватываются значительные площади земной поверхности. Однако глубины смещения редко превышают 1–1,5 м, а объемы единичных оползней обычно не более десятков или сотен кубических метров (рис. 6, с).

Суффозионные оползни часто возникают в глубоких оврагах, дренирующих подземные воды (овраги Гапеевский и Дунай), и представляют собой смещение продуктов обрушения суффозионных ниш, сложенных однородными или слоистыми породами. При этом основной деформируемый горизонт обычно сложен водонасыщенными

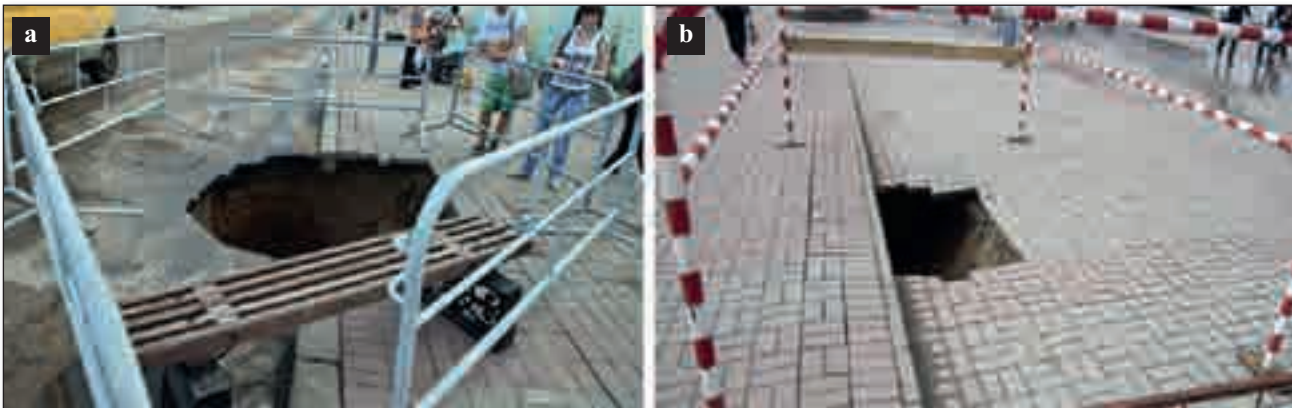


Рис. 5. Провалы по ул. Ленина вблизи Амфитеатра: *a* — июль 2011 г.; *b* — май 2012 г. [10, 11]. Фото А.Н. Галкина

Fig. 5. Failure on the Lenin street near the Amphitheater: *a* — July 2011; *b* — May 2012 [10, 11]. Photo by A.N. Galkin



Рис. 6. Оползни на территории Витебска: *a* — срезания (левый склон оврага Дунай по ул. Правды, август 2006 г.); *b* — выдавливания (левый склон оврага Гапеевский по Московскому проспекту, август 2006 г.); *c* — поток (левый склон оврага Гапеевский по Московскому проспекту, апрель 2008 г.). Фото А.Н. Галкина

Fig. 6. Landslides on the territory of Vitebsk: *a* — cutting (the left slope of the Dunay ravine along Pravda Street, August 2006); *b* — extrusion (the left slope of Gapeevsky ravine along Moscow Avenue, August 2006); *c* — the stream (the left slope of Gapeevsky ravine along Moscow Avenue, April 2008). Photo by A.N. Galkin

ми пылеватými и песчаными грунтами, находящимися в текучем состоянии. Поверхность смещения не выражена.

Широкое развитие на склонах речных долин и оврагов в городе получил *крип*, или медленное смещение дезинтегрированных рыхлых отложений вниз по склону вследствие периодического изменения термического режима и увлажнения. В подобное перемещение вовлекается слой покровных отложений мощностью около 0,5 м, причем эти отложения могут иметь разный гранулометрический состав.

По данным наблюдений и информации, содержащейся в опубликованных картографических работах, скорости смещения материала на склонах в городе составляют от 2 до 4 мм/год, в отдельные годы этот показатель превышает 4 мм [4]. При этом перемещение грунтов в разные годы на одних и тех же участках может быть направлено в противоположные стороны.

Абсолютные значения скорости в целом прямо зависят от угла наклона, но направление движения не связано с этим показателем и, очевидно, определяется геологическим строением и другими локальными условиями развития данного процесса, которые могут меняться от года к году. Поэтому средние многолетние значения скоростей уступают их величине, измеренной в течение одного года [4].

Подобный неравномерный характер движения грунтов способствует тому, что на склонах возникают чередующиеся зоны сжатия и растяжения. На участках, где особенно велики напряжения растяжения, происходит разрыв сплош-

ности грунтов, и в таких условиях формируются ступенчатые и микроступенчатые наплывы или террасы.

Следует отметить, что на развитие и интенсивность крипа в городе существенное влияние оказывают увеличение крутизны склона, характер растительного покрова (на задернованных склонах интенсивность крипа выше, чем на склонах, занятых деревьями и кустарниками), отсыпка на склонах тонкодисперсного песчано-глинистого материала, нарушение дренированности склонов и их переувлажнение.

Подтопление, заболачивание и морозное пучение

Присутствие в верхней части геологического разреза моренных и озерно-ледниковых глинистых толщ с многочисленными линзами и прослоями обводненных песков в совокупности с техногенными и другими природными факторами (увеличение инфильтрационного питания грунтовых вод в результате преобразования верхней части разреза; значительное количество атмосферных осадков; подпор подземных вод в паводковый период; ликвидация мелких водотоков, канализирование рек, засыпка оврагов; заиление и засорение естественных дренажей; устройство снежных свалок и отсыпка техногенных грунтов; утечки из водонесущих коммуникаций; сокращение испарения с поверхности грунтовых вод за счет зданий и асфальтовых покрытий и т.д.) создают проблему *подтопления*. Причем, по нашим оценкам, подтопленной может считаться практически вся территории города, за исклю-

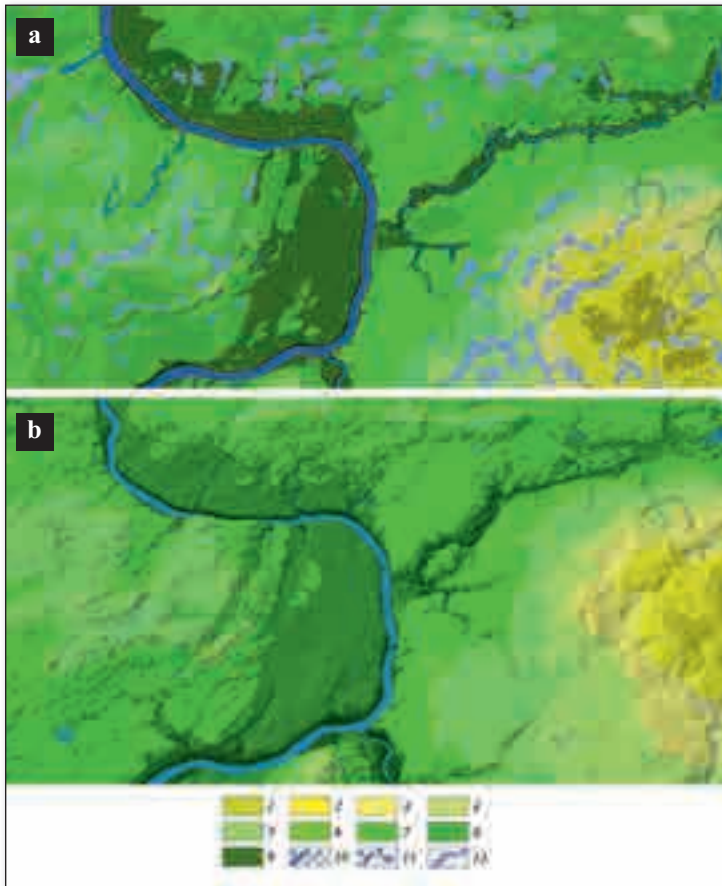


Рис. 7. Рельеф Витебска по состоянию на: *a* — конец 1930-х годов; *b* — конец 1980-х годов. Абсолютные высоты рельефа, м: 1 — 217–207, 2 — 206–197, 3 — 196–187, 4 — 186–176, 5 — 175–166, 6 — 165–156, 7 — 155–146, 8 — 145–136, 9 — 135–125; 10 — постоянные водотоки: *a* — р. Западная Двина, *b* — мелкие реки и ручьи, *c* — мелиоративные каналы; 11 — водоемы: *a* — естественные, *b* — искусственные; 12 — болота и заболоченные земли

Fig. 7. Relief of Vitebsk as of: *a* — the end of the 1930s; *b* — the end of the 1980s. Absolute heights of relief, m: 1 — 217–207, 2 — 206–197, 3 — 196–187, 4 — 186–176, 5 — 175–166, 6 — 165–156, 7 — 155–146, 8 — 145–136, 9 — 135–125; 10 — permanent streams: *a* — p. Western Dvina, *b* — small rivers and streams, *c* — melioration channels; 11 — reservoirs: *a* — natural, *b* — artificial; 12 — swamps and wetlands

чением сильно расчлененных и хорошо дренированных участков [7, 8]. Так, к примеру, в августе 2006 г. из-за проливных дождей в Витебске произошло более 90 случаев подтопления жилых и производственных зданий и сооружений: 15 домов на улице 2-я Полоцкая, 20 — на улице Войкова, 5 — на улице Тракторная, 40 — на улице Красного Партизана, 10 — на улице Заводская, строения комбината «Мастацтва», больницы скорой помощи, областной больницы и др. [5].

В начале 2000-х годов при возведении домов в новых малоосвоенных микрорайонах жилого массива «Билево» на восточной окраине города из-за масштабного подтопления территории строители столкнулись с проблемой обводнения грунтов основания и, как следствие, снижения их несущей способности. В ряде случаев это повлекло за собой организацию дополнительных инженерно-геологических изысканий, внесение в ходе строительства существенных изменений в проекты и принятие запоздалых экстренных мер по организации мелиоративных работ, что значительно увеличило общий срок и стоимость строительства отдельных зданий. Следует заметить, что



Рис. 8. Трещины на подпорных стойках парадной галереи главного корпуса Витебского госуниверситета имени П.М. Машерова на Московском проспекте, возникшие в результате морозного пучения супесчаных моренных грунтов в основании (январь 2006 г.). Фото А.Н. Галкина

опасность подтопления в городе заключается не столько в причинении материального ущерба, сколько в провоцировании возникновения других опасных процессов: овражной эрозии, суффозии, оползней и др., которые могут его усугубить.

С подтоплением в Витебске связан и такой процесс как *заболочивание*. Однако хозяйственное освоение территории часто приводит к его исчезновению. Так, в результате застройки и благоустройства отдельных кварталов города многие болота и заболоченные земли прекратили свое существование (рис. 7). Этому способствовало и способствует осуществление различных мероприятий, включающих в себя канализирование и засыпку мелких водотоков, вертикальную планировку, регулирование стока атмосферных осадков и др. [5].

Довольно активно на территории Витебска протекают процессы, непосредственно связанные с объектами городской инфраструктуры, среди которых значительный интерес представляет *морозное пучение*. Происходит оно за счет объемных деформаций водонасыщенных глинистых, пылеватых и мелкопесчаных грунтов при их замерзании и проявляется главным образом в виде деформаций тротуарных плиток и асфальтового покрытия, а также легких зданий и сооружений.

Проявление рассматриваемого процесса на территории города наблюдалось, например, вблизи главного корпуса Витебского госуниверситета имени П.М. Машерова по Московскому проспекту [5].

Здесь зимой 2005–2006 гг. имело место пучение грунтов, в результате чего на отдельных участках тротуарная плитка деформировалась на высоту 100–150 мм [3, 7], а в основании подпорных стоек навеса парадной галереи образовались трещины шириной до 15 мм (рис. 8). Подобные явления можно часто наблюдать на улицах Ленина, Правды, проспектах Победы, Строителей и др.

Осадки и деформации зданий

Широким развитием, как и морозное пучение, на территории города пользуются процессы, вызванные статическими и динамическими нагрузками от сооружений и транспорта. Одним из характерных проявлений таких

процессов являются осадки под действием *статических нагрузок*.

Установлено, что осадки зданий и сооружений, основанием которых служат песчаные грунты, характеризуются небольшими величинами (в верхнеплейстоценовых флювиогляциальных песках осадки достигают 19–25 мм) и быстрым затуханием после завершения строительства. На глинистых грунтах процесс осадки развивается медленно и продолжается длительное время после окончания строительства, отличаясь большими величинами (в современных суглинках осадки превышают 30 мм) [5].

Динамические нагрузки по-разному воздействуют на грунты, в зависимости от особенностей их состава и структуры, в результате чего происходят уплотнение рыхлых недоуплотненных отложений (при степени плотности менее 0,6) и нарушение структуры тиксотропных грунтов [6]. Динамические нагрузки на грунт передаются в результате вибрации при движении автомобильного и железнодорожного транспорта, работе строительных и других ударно-вибрационных механизмов. Авторские наблюдения показали, что в зданиях и сооружениях, расположенных вдоль улиц с интенсивным транспортным потоком, а также вблизи железнодорожных или трамвайных путей (проспекты Фрунзе, Московский, Черняховского, улицы Ленина, М. Горького, Герцена, Гагарина, Космонавтов и др.), довольно часто возникают деформации фундаментов и стеновых конструкций. Особенно интенсивно эти деформации проявляются у зданий в исторической части города (площадь Свободы, начало проспекта Фрунзе, улица Ленина), возведенных на грунтах культурного слоя (рис. 9, а, б, с), отличающихся низкой прочностью и повышенной сжимаемостью. Так, проводимые в 2008–2012 гг. Витебским отделом республиканского унитарного предприятия «Геосервис» инженерно-геологические изыскания в исторической зоне Витебска позволили выделить в ее пределах два литологических горизонта культурного слоя. Первый — песчаный, мощностью 4–7 м, сложенный преимущественно мелкими и пылеватыми песками со строительным мусором, который датируется XIX–XX веками; второй — глинистый, мощностью 2,5–6,5 м, заторфованный, с остатками слабо разложившейся древесины, с песчаными линзами и прослойками, сформированный по археологическим данным на протяжении нескольких веков [1].

Песчаные грунты культурного слоя слаболитифицированы, естественная влажность их 13–20%, преимущественно рыхлого и среднетяжелого сложения (1,77–1,94 г/см³); коэффициент пористости песков в среднем составляет 0,75.

Глинистые грунты культурного слоя отличаются весьма неоднородными свойствами: естественная влажность их изменяется в пределах от 10 до 117% и выше; плотность — от 0,97 до 1,89 г/см³, коэффициент пористости — от 0,68 до 3,58, число пластичности — от 5 до 24%. Относительное содержание органического вещества в них варьирует от 0,06 до 0,41. Консистенция грунтов изменяется от твердой до текучей. Прочностные показатели низкие: сцепление в среднем составляет $0,22 \times 10^5$ Па, угол внутреннего трения 25°. По деформационным характеристикам грунты относятся к повышенно сжимаемым и деформируемым — по данным компрессионных испытаний в диапазоне нагрузок 0,1–0,2 МПа их коэффициент сжимаемости изменяется от $0,050 \cdot 10^{-5}$ до $0,324 \cdot 10^{-5}$ Па⁻¹, а



Рис. 9. Здание первой в Витебске электростанции (1897–1898 гг.) на проспекте Фрунзе в исторической части города (а) и трещины в стеновых конструкциях, образовавшиеся в результате вибрации при движении городского транспорта (май 2016 г.) (б, с) [9, 12]

Fig. 9. The building of the first power station in Vitebsk (1897–1898) along Frunze Avenue in the historic part of the city (a) and cracks in wall structures resulting from vibrations during the movement of urban transport (May 2016) (b, c) [9, 12]

модуль деформации варьирует в интервале значений от 0,30 до 1,00 МПа при среднем значении 0,60 МПа [1].

Заключение

Степень изученности экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов в Витебске недостаточно высока и весьма неравномерна. Постановка работ по оценке проявления ЭГИИГП носит, как правило, эпизодический характер. Тем не менее, результаты авторских исследований свидетельствуют о том, что рассматриваемая проблема для Витебска актуальна и требует дальнейшего изучения ЭГИИГП, их негативного влияния на состояние геологической среды и, как следствие, всей инфраструктуры города.

С этой целью авторами в 2017 г. было высказано предложение органам исполнительной власти и природоохранным учреждениям Витебска осуществить совместную разработку комплексной программы по инженерной защите территории города от неблагоприятных воздействий экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов, которая включала бы в себя: организацию мониторинга состояния геологической среды и развития ЭГИИГП; создание региональной нормативно-правовой базы в сфере инженерной защиты территорий от опасных экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов; разработку генеральной схемы и

мероприятий инженерной защиты территории города от ЭГиИГП.

По мнению авторов, разработка программы и последующая ее реализация позволят предотвратить возникновение чрезвычайных ситуаций и повысить безопасность проживания населения.

Создание системы мониторинга состояния геологической среды и развития опасных процессов открывает воз-

можность заблаговременно на научной основе осуществлять инженерную защиту городских территорий, находящихся в зонах развития ЭГиИГП, а разработка специализированными изыскательскими и проектными организациями Витебска при участии научных сотрудников ВГУ им. П.М. Машерова региональных нормативных технических документов позволит существенно повысить качество и эффективность защитных мероприятий. 🌐

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галкин А.Н., 2016. Инженерная геология Беларуси. Часть 1. Грунты Беларуси, под ред. В.А. Королева. Изд-во ВГУ имени П.М. Машерова, Витебск.
2. Галкин А.Н., 2015. Особенности долинно-балочных систем Витебска. Литасфера, № 2 (43), с. 100–109.
3. Галкин А.Н., Матвеев А.В., Жогло В.Г., 2006. Инженерная геология Беларуси. Основные особенности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий и история их формирования. Изд-во ВГУ имени П.М. Машерова, Витебск.
4. Галкин А.Н., Матвеев А.В., Павловский А.И., Санько А.Ф., 2017. Инженерная геология Беларуси. Часть 2. Инженерная геодинамика Беларуси, под ред. В.А. Королева. Изд-во ВГУ имени П.М. Машерова, Витебск.
5. Галкин А.Н., Тимошкова А.Д., Красовская И.А., Торбенко А.Б., 2007. Особенности проявления современных экзогенных процессов на территории Витебска Литасфера, № 1 (26), с. 73–77.
6. Кофф Г.Л., Минакова Т.Б., Котлов В.Ф. Бахирева Л.В., 1990. Методические основы оценки техногенных изменений геологической среды городов, под ред. Г.Л. Коффа, В.И. Осипова. Наука, Москва.
7. Красовская И.А., Тимошкова А.А., Галкин А.Н., 2008. Современные экзогенные геологические процессы на территории Витебска. Северные территории России: проблемы и перспективы развития, Материалы всероссийской конференции с международным участием, Архангельск, 2008, с. 703–706.
8. Торбенко А.Б., Галкин А.Н., Красовская И.А., Тимошкова А.Д., 2007. Техногенные факторы экологических изменений на территории г. Витебска. Природные ресурсы, № 2, с. 53–60.
9. Народныя навіны Віцебска, 2016. «Фотофакт: На здании первой электростанции Витебска обнаружены трещины», URL: <https://news.vitebsk.cc/2016/04/13/fotofakt-na-zdanii-pervoy-elektrostantsii-vitebska-obnaruzhenyi-treschinyi> (дата обращения: 29.10.2018).
10. Новости TUT.BY, 2011. «На улице Ленина в Витебске после урагана провалилась земля», URL: <http://news.tut.by/accidents/233977.html?crnd=286> (дата обращения: 04.07.2018).
11. Новости TUT.BY, 2012. «Девушка провалилась под землю в центре Витебска», URL: <https://news.tut.by/accidents/288712.html> (дата обращения: 04.07.2018).
12. Places.BY. Портал о Беларуси: достопримечательности, отдых, история, все для туриста, 2017. «Здание первой электростанции Витебска», URL: <https://places.by/2017/09/26/zdanie-pervoy-jelektrostantsii-vitebsk> (дата обращения: 29.10.2018).

REFERENCES

1. Galkin A.N., 2016. Engineering geology of Belarus. Part 1. Soils of Belarus, in V.A. Korolev (ed.). Publishing house of the Masherov Vitebsk State University, Vitebsk. (in Russian)
2. Galkin A.N., 2015. Features of Vitebsk valley-ravine systems. Lithosphere, No. 2 (43), pp. 100–109. (in Russian)
3. Galkin A.N., Matveev A.V., Zhoglo V.G., 2006. Engineering Geology of Belarus. The main features of the spatial variability of engineering-geological conditions and the history of their formation. Publishing house of the Masherov Vitebsk State University, Vitebsk. (in Russian)
4. Galkin A.N., Matveev A.V., Pavlovsky A.I., Sanko A.F., 2017. Engineering geology of Belarus. Part 2. Engineering geodynamics of Belarus, in V.A. Korolev (ed.). Publishing house of the Masherov Vitebsk State University, Vitebsk. (in Russian)
5. Galkin A.N., Timoshkova A.D., Krasovskaya I.A., Torbenko A.B., 2007. Features of the manifestation of modern exogenous processes in the territory of Vitebsk. Lithosphere, No. 1 (26), pp. 73–77. (in Russian)
6. Koff G.L., Minakova T.B., Kotlov V.F., Bakhireva L.V., 1990. Methodical basic assessments of technogenic changes in the geological environment of cities, in G.L. Koff, V.I. Osipov (ed.). Science, Moscow. (in Russian)
7. Krasovskaya I.A., Timoshkova A.A., Galkin A.N., 2008. Modern exogenous geological processes in the territory of Vitebsk. Northern Territories of Russia: Problems and Prospects of Development, Materials of the All-Russian Conference with International Participation, Arkhangelsk, 2008, pp. 703–706. (in Russian)
8. Torbenko A.B., Galkin A.N., Krasovskaya I.A., Timoshkova A.D., 2007. Technogenic factors of ecological changes in the territory of Vitebsk. Natural Resources, No. 2, pp. 53–60. (in Russian)

9. National news of Vitebsk, 2016. "Photograph: Cracks were found on the building of the first power station in Vitebsk", URL: <https://news.vitebsk.cc/2016/04/13/fotofakt-na-zdani-primoy-elektrostantsii-vitebska-obnaruzhenyi-treschinyi> (accessed: 29 October 2018). (in Russian)
10. News TUT.BY, 2011. "Land collapsed after Lenin's street in Vitebsk", URL: <http://news.tut.by/accidents/233977.html?crnd=286> (accessed: 4 July 2018). (in Russian)
11. News TUT.BY, 2012. "A girl collapsed under the ground in the center of Vitebsk", URL: <https://news.tut.by/accidents/288712.html> (accessed: 4 July 2018). (in Russian)
12. Places.BY. Portal about Belarus: sights, leisure, history, everything for tourists, 2017. "The building of the first power station of Vitebsk", URL: <https://places.by/2017/09/26/zdanie-pervoj-jelektrostantsii-vitebsk> (accessed: 29 October 2018). (in Russian)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ТОРБЕНКО АНДРЕЙ БОРИСОВИЧ

Старший преподаватель кафедры экологии и охраны природы Витебского государственного университета им. П.М. Машерова, г. Витебск, Беларусь

ГАЛКИН АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ

Профессор кафедры географии Витебского государственного университета им. П.М. Машерова, д.г.-м.н., г. Витебск, Беларусь

КРАСОВСКАЯ ИРИНА АНАТОЛЬЕВНА

Доцент кафедры географии Витебского государственного университета им. П.М. Машерова, к.г.-м.н., г. Витебск, Беларусь

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ANDREY B. TORBENKO

Senior Lecturer of the Department of Ecology and Nature Protection, Masherov Vitebsk State University, Vitebsk, Belarus

ALEXANDER N. GALKIN

Professor of the Department of Geography, Masherov Vitebsk State University, DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), Vitebsk, Belarus

IRINA A. KRASOVSKAYA

Associate professor of the Department of Geography, Masherov Vitebsk State University, PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), Vitebsk, Belarus



<https://pokatashkin.com>