

2 Дерягин Б.В., Кладько С.Н., Чураев Н.В. Свойства тонких незамерзающих слоев воды и морозное пучение грунтов // Тр. Третьего симпозиума по реологии грунтов. – Ереван, 1980. – С. 45–57.

3 Невзоров А.Л. Фундаменты на сезоннопромерзающих грунтах. Учебное пособие. – М. : Изд-во АСВ, 2000. – 152 с.

4 Ф.А. Максимов, Э.Л. Толмачев Лабораторные исследования морозного пучения грунтов прибором конструкции Южно-Уральского государственного университета // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». № 35. – Вып. 9. 2009. – С. 52–56.

5 Орлов В.О. Принципы расчета фундаментов на пучинистых грунтах // Проблемы механики грунтов и инженерного мерзлотоведения. – М., 1990. – С. 187–198.

6 СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. – М. : Госстрой, 2005. – 131 с.

7 Пособие П9-2000 к СНБ 5.01.01-99. Проектирование оснований и фундаментов в пучинистых при промерзании грунтах. – Минск : Минстройархитектуры, 2001. – 36 с.

8 ТКП 45-3.03-19-2006. Автомобильные дороги. Нормы проектирования. – Минск : Минстройархитектуры, 2006. – 43 с.

9 ГОСТ 28622-2012. Метод лабораторного определения степени пучинистости. – М.: Стандартиформ, 2013. – 12 с.

10 ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. – М. : Стандартиформ, 2013. – 38 с.

11 ASTM D 5918. Standard test methods for frost heave and thaw weakening susceptibility of soils. ASTM, 2006.

12 Nytiris N., Stott R., Mc’Innes K. The importance of site investigation in the construction industry: a lesson to be taught to every graduate civil and structural engineer // World Transactions on Engineering and Technology Education. 2014. – Vol. 12. – № 3.

Т.А. МЕЛЕЖ

## **СОВРЕМЕННЫЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЭКЗОГЕННОЙ ГЕОДИНАМИКИ В РЕЧНОЙ ДОЛИНЕ ЗАПАДНОЙ ДВИНЫ**

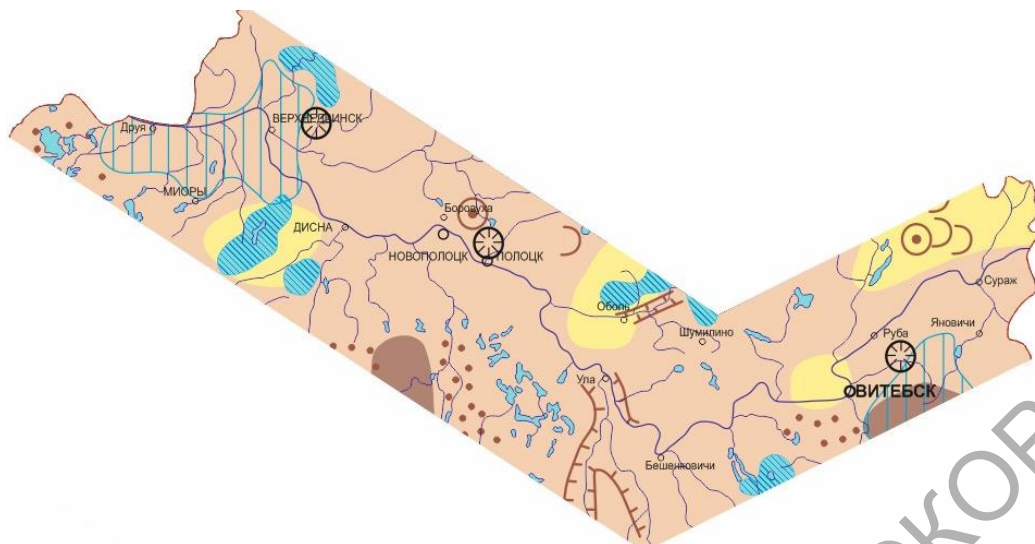
*УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины»,  
г. Гомель, Республика Беларусь  
[tatyana.melezh@mail.ru](mailto:tatyana.melezh@mail.ru)*

Все многообразие инженерно-геологических процессов протекающих в пределах долины Западной Двины можно объединить в несколько групп: гидрогеологическая (подтопление, суффозия); флювиальная (оврагообразование, линейная и плоскостная эрозия); климатическая (промерзание и оттаивание грунтов, пучение); биогенная (заболачивание, торфонакопление); гравитационная (осыпи, оползни, крип); эоловая (дефляция, коррозия) (рисунок 1).

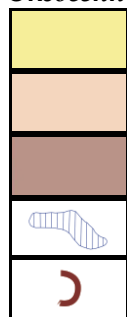
Причины развития процессов экзогенной геодинамики обусловлены не только естественными, но и антропогенными факторами.

По водно-эрозионному районированию Беларуси [6] изучаемая территория относится к Нарочано-Западно-Двинской области, которая объединяет семь эрозионных районов (на изучаемой территории представлено шесть) (рисунок 2). Занимая всю северную часть Поозерья, она включает бассейн реки Западная Двина и реки Вилии.

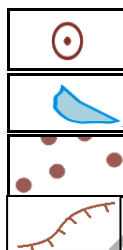
Выделяется широким распространением ледниково-озерных низин и равнин, озерных котловин и молодых краевых ледниковых возвышенностей. Плоскостная и линейная эрозия в основном развивается на ледниковых возвышенностях (Витебская, Браславская, Городокская, Освейская и др.), на крутых склонах речных долин.



**Экзогенныя працэсы:**



- отсутствует делювиальный снос
- слабый делювиальный снос
- сильный делювиальный снос
- линейная эрозия
- эоловая аккумуляция



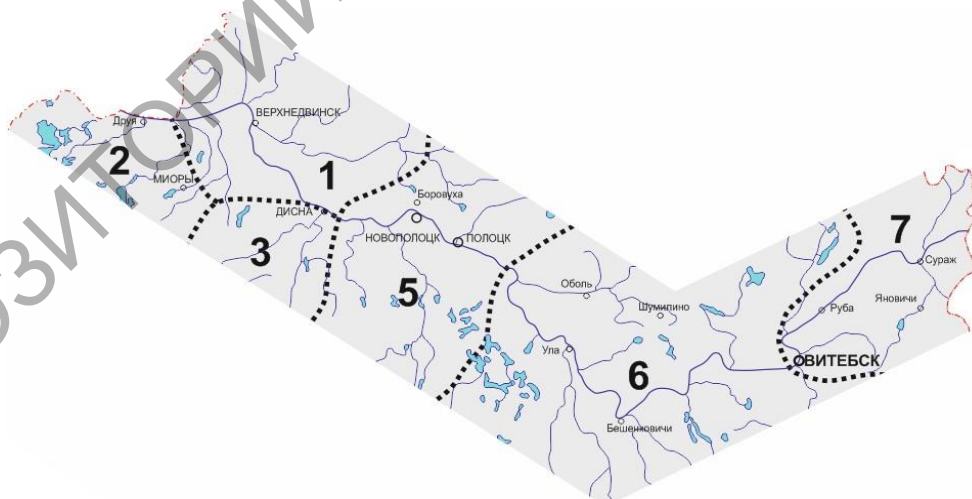
- эоловая дефляция
- заболачивание
- крип
- обвалы, осыпи, оползни

**Техногенныя працэсы:**



- денудация

**Рисунок 1 – Картосхема проявления инженерно-геологических процессов экзотехногенной геодинамики в долине реки Западной Двины (масштаб 1 : 1430000)**



- 1 – Освейско-Дрисский район; 2 – Брагславыскі раён; 3 – Діснанскі раён; 5 – Палота-Ушацкі раён; 6 – Лучоса-Обольскі раён; 7 – Віцебска-Гарадоцкі раён

**Рисунок 2 – Картосхема водно-эрозионного районирования долины реки Западной Двины (масштаб 1 : 1570000)**

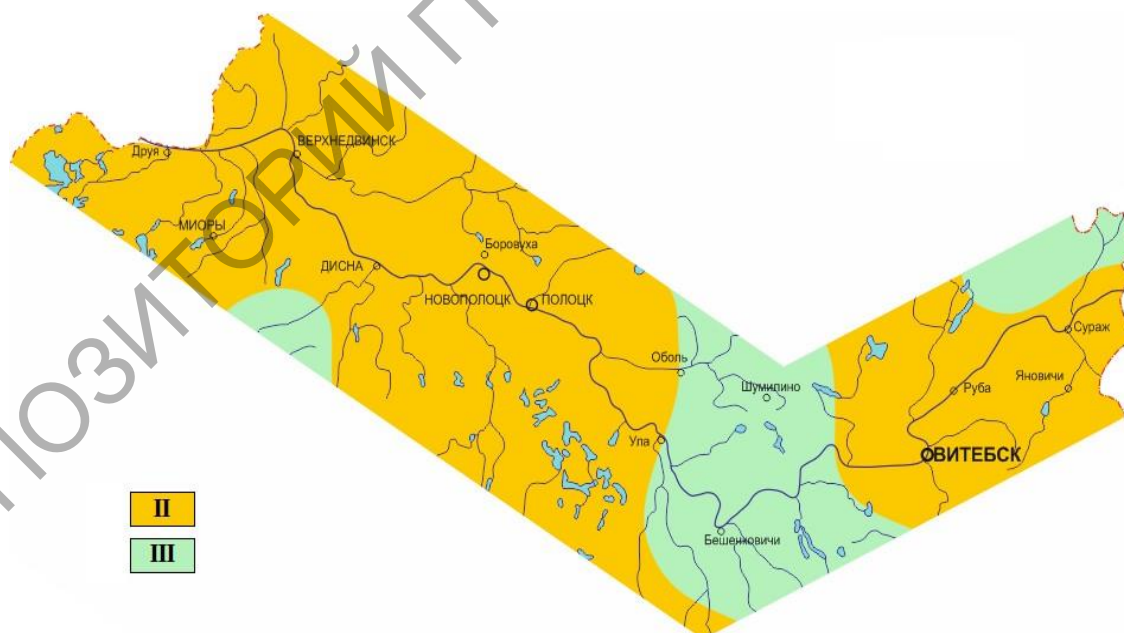
В сложном комплексе природных условий, обуславливающих развитие водно-эрозионных процессов, необходимо учитывать растительный покров. Растительность уменьшает возможности проявления эрозионных процессов или полностью их исключает, она рассеивает кинетическую энергию капель, тем самым снижая на порядок транспортирующую способность поверхностного стока.

Нередко эрозионные процессы тяготеют к населенным пунктам, дорогам, трубопроводам и другим инженерно-коммуникационным сооружениям, что прежде всего связано с нарушением почвенно-растительного покрова и увеличением поверхностного стока за счет оголенности территории и наличия антропогенных источников воды [1].

Из других видов хозяйственной деятельности человека, значительно влияющих на водно-эрозионные процессы, на территории исследования необходимо отметить добычу полезных ископаемых, которая в основном ведется открытым способом. Карьерные разработки значительно удешевляют добычу полезных ископаемых, однако часто приводят к развитию на склонах выработок и горных отвалов оврагов. Особенно интенсивно развиваются такие формы в заброшенных и не рекультивированных карьерах [6].

Кроме того, водная эрозия часто стимулируется водно-хозяйственными работами (на склонах водохранилищ наблюдается в результате подъема уровня грунтовых вод омоложение старых форм линейной эрозии и формирование новых), лесотехническими мероприятиями (сплошная рубка леса, нарушение почвенно-растительного покрова техникой и т.д.), рекреационными и другими видами хозяйственной деятельности. Интенсивное развитие эрозионных процессов связано не с хозяйственной деятельностью человека вообще, а с мероприятиями, не учитывающими закономерности развития рельефа и особенности природных условий территорий, вовлеченных в хозяйственный оборот.

В связи со сложившимися природно-хозяйственными условиями и пространственной дифференциацией форм линейной эрозии, по потенциальным возможностям развития линейной эрозии на территории Беларуси, выделяются три класса земель (рисунок 3), изучаемая территория относится расположена в пределах второго и третьего класса земель [6].



- II – класс низкого и среднего потенциала развития современной линейной эрозии;  
III – класс отсутствия потенциала развития современной линейной эрозии

**Рисунок 3 – Картограмма оценки потенциала развития форм линейной эрозии долины Западной Двины (масштаб 1 : 1470000)**

*II класс* земель имеет низкий и средний потенциал развития современной линейной эрозии. К этому классу относятся сильноденудированные краевые комплексы в пределах равнин Предполесья, а также краевые ледниковые возвышенности Поозерья. Здесь редко встречаются значительные овражно-балочные системы. Характерны слабо развивающиеся овраги и закрепленные балки длиной до 3 км. Многие эрозионные формы наследуют древние ложбины стока талых вод, лощины. В настоящее время в результате отмирания верховьев малых рек идет процесс их унаследования вторичными эрозионными формами. Эти территории менее подвержены хозяйственной деятельности человека, особенно в Поозерье. Однако там, где идет интенсивное освоение земель, опасность развития линейной эрозии резко возрастает [1, 4, 6].

*III класс* земель характеризуется отсутствием потенциала развития современной линейной эрозии. Он включает значительные площади в Полесье, низинные и равнинные участки на северо-западе и севере Беларуси. Отсутствие форм линейной эрозии связано с выположенностью рельефа. Лишь на незначительных участках в прибортовых частях речных долин и на террасах могут возникать небольшие промоины и овраги, которые, однако, довольно быстро прекращают свое развитие и зарастают.

Склоны речной долины Западной Двины и некоторых ее притоков подвержены эрозионному расчленению, особенно интенсивно данный процесс проявляется в районах городов Верхнедвинск и Друя. В среднем течении западной Двины отмечается 1 – 2 оврага на один километр длины. Овраги приурочены к уступам второй и первой надпойменных террас и развиваются в пределах спрямленных участков рек [5].

**Заболачивание.** Около 8 % территории исследования заболочено. Наиболее крупные болотные массивы расположены на месте спущенных озер: Ельня, Освейское, Оболь-2, Журавлиное и др. Геологическое значение процесса выражается в торфообразовании и торфонакоплении. Заболоченные участки приурочены в основном к пойменным террасам, выровненным водоразделам, основаниям пологих склонов, понижениям надпойменных террас. Негативные последствия заболачивания как одного из видов природных опасностей связаны с рядом факторов: разрушение дорожных покрытий и ухудшение проходимости территории; снижение несущей способности грунтов (опоры ЛЭП, трубопроводы и др.); ухудшение качества питьевых вод за счет микробиологического загрязнения и других биохимических процессов; ухудшение качества сельскохозяйственных земель и лесных угодий.

**Гравитационные процессы.** На исследуемой территории различаются медленное перемещение материала на склонах (крип) и процессы, идущие с высокой скоростью (обвалы, осыпи). Необходимое условие протекания таких процессов – сравнительно крутые склоны (для крипа – более 2°, для оползней, обвалов, осыпей – около 15–20°).

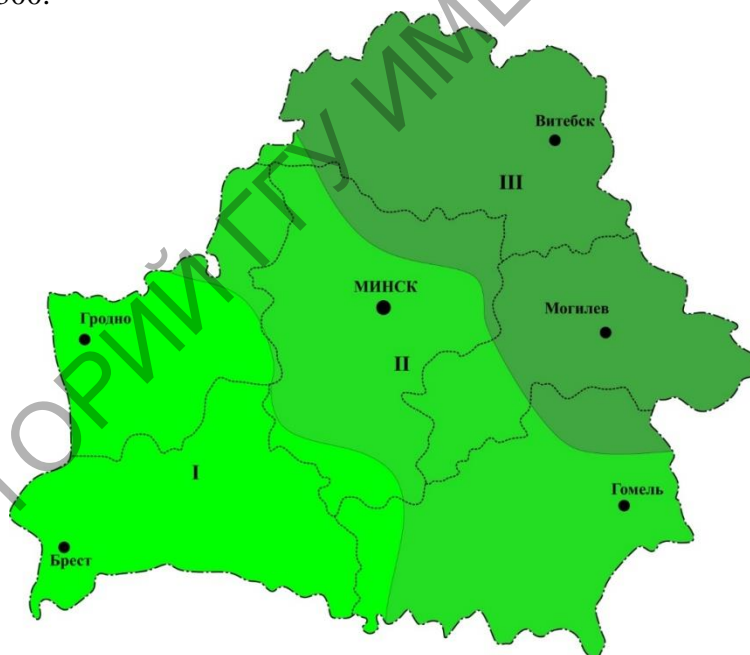
**Оползневые явления.** Для Белорусского Поозерья, в пределах которого расположена долина Западной Двины, крутизна склонов изменяется в широком диапазоне – для Полоцкой низины ее значения составляют 0,5 – 1,0°, для Витебской возвышенности – 3–7°. Оползневые процессы в пределах территории изучения проявляются на площадях развития овражно-балочных систем, практически во всех карьерах, на некоторых дорожных выемках. Условия развития оползней связаны как с природными, так и с антропогенными факторами [5].

**Осыпи,** как и оползни, характерны для склонов речных долин и карьеров. Большинство осыпей приурочено к склонам, сложенным песчаными породами. Часто в кровле формируются осыпи, масса которых удерживается за счет сцементированных песков и корней растительности [6]. *Крип* – смещение рыхлого покрова вниз по склону под влиянием периодического изменения объема грунтовой массы, вызываемого колебаниями температуры (температурный крип), попеременным промерзанием и оттаиванием (мерзлотный, или криогенный, крип), набуханием и усадкой глинистой составной части при увлажнении и высыхании (гигрогенный крип, характерный для исследуемой территории).

**Эоловые процессы.** Геологическая работа ветра состоит из процессов: дефляции, корразии, переноса, аккумуляции [6]. В крутых обрывах (откосах), сложенных породами различной прочности, проявляется избирательный характер работы ветра. Проявления дефляции на Поозерье распространены в основном на распаханных склонах холмов с наветренной стороны.

**Суффозия.** В пределах изучаемой района на урбанизированных территориях широко развита техногенная суффозия. Основной причиной развития являются утечки из водонесущих коммуникаций (особенно теплопроводных и/или имеющих большой износ), высачивание под большим давлением и аварийные прорывы воды из этих коммуникаций постоянно приводят к размыву, разрушению и выносу вмещающих и перекрывающих их дисперсных грунтов (в том числе грунтов засыпки) и деформациям расположенных над ними объектов городского хозяйства. Суффозия, происходящая в грунтах отсыпки, зачастую приводит к деформациям тротуаров, лестниц, отмосток. Суффозия отмечается также в пределах засыпанных больших оврагов, поскольку они продолжают служить естественными дренами.

Достаточно широко развито **морозное пучение**. Происходит оно за счет объемных деформаций глинистых, пылеватых мелкопесчаных грунтов при их замерзании (объем грунта увеличивается на 10 – 20 %) и проявляется, преимущественно, в виде деформаций асфальтового покрытия, а также зданий и сооружений. Большое влияние на глубину промерзания грунтов оказывает их состав. Согласно схеме районирования Беларуси по глубине промерзания грунтов, территория изучения относится к III району [2]: Северо-Восточному (рисунок 4), характеризующийся следующими параметрами – средняя многолетняя глубина промерзания грунтов 60 – 75 см и сумма градусо-дней мороза 1000 – 1300.



Условные обозначения:



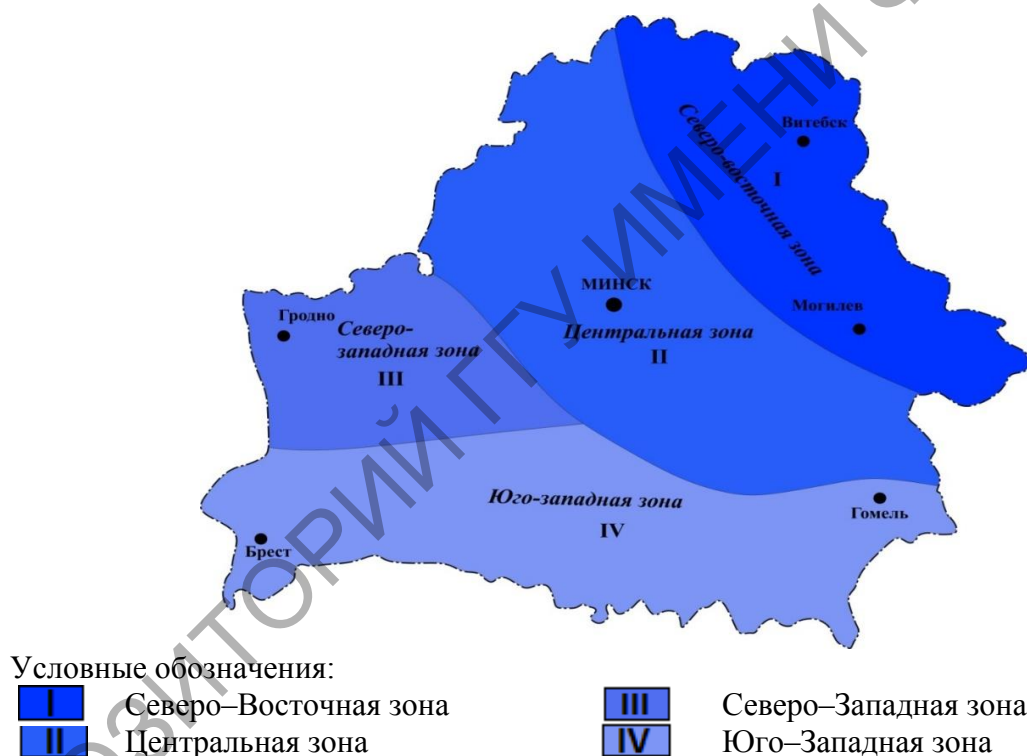
Юго-Западный район  
Центрально-Белорусский район  
Северо-Восточный район

**Рисунок 4 – Картосхема районирования Беларуси по глубине промерзания грунтов (составлено автором по данным [2]), масштаб 1 : 5130000**



Для территории Беларуси средняя скорость промерзания грунтов составляет 1,3 – 2,1 см/сут, а оттаивания – 2,3 – 4,0 см/сут, эти параметры зависят от типа грунта и степени его уплотнения. Так, песчаные грунты обладают малой поверхностной энергией, они промерзают без образования ледяных линз; пылеватые грунты обладают значительной поверхностной энергией и небольшим сопротивлением подъему воды, поэтому в них происходит интенсивное накопление влаги с образованием ледяных линз при промерзании; глинистые грунты обладают огромной поверхностной энергией и большим сопротивлением перемещению воды в порах, поэтому скорость перемещения в них небольшая. При отрицательных температурах они не успевают промерзнуть быстрее, чем вода поднимается в активную зону.

Пучение зависит от климатических, грунтовых и гидрологических условий. Учитывая вышеизложенное, а также то, что глубина промерзания грунтов играет важную роль в процессе пучинообразования, территорию Беларуси можно разделить на четыре зоны (рисунок 5) по условиям пучинообразования, территория исследования расположена в пределах I зоны – Северо-Восточная, которая характеризуется продолжительной зимой около 120 суток, устойчивым снежным покровом, стоящим 100–120 дней. Оттепелей сравнительно мало [2]. Промерзание грунта начинается в конце октября – начале ноября, а оттаивание – в конце марта – начале апреля. Средняя многолетняя отрицательная температура воздуха – 7 °С – 8 °С. Количество осадков – примерно 600 мм [2].



**Рисунок 5 – Картосхема зонирования территории Беларуси по условиям пучинообразования (составлено автором по данным [2]) масштаб 1 : 4700000**

Так, включения органики значительно уменьшают глубину промерзания, а понижение уровня грунтовых вод, удаление снежного покрова и другие процессы увеличивают глубину промерзания. Однако неглубокое залегание грунтовых вод способствует подтоку влаги к фронту промерзания, что активизирует процесс пучения.

Таким образом, в пределах долины Западной Двины развиваются и проявляются различные инженерно-геологические процессы, которые могут оказать негативное влияние

на природные и техногенные инженерные сооружения. Так, в результате длительного развития эрозионного процесса могут наступать ситуации, угрожающие устойчивости и нормальной эксплуатации инженерных сооружений. Также необходимо проводить противоэрозионные мероприятия, направленные на защиту почвенного покрова: организационно-хозяйственные, агротехнические, лесомелиоративные и гидротехнические. Особое внимание необходимо уделять предотвращению нарушения устойчивости склонов в результате проявления оползневых процессов. К мероприятиям по предотвращению развития оползневых процессов относятся: запрещение подрезки оползневых склонов и сооружение на них всякого рода выемок, недопущение различного рода подсыпок, запрещение строительства на склонах, запрещение неконтролируемого полива земельных участков, дренирование подземных вод, регулирование поверхностного стока, защита берегов от размыва, изменение физико-механических свойств грунтов склонов и прочее. Защита от суффозии осуществляется с помощью противосуффозионных инженерных мероприятий: архитектурно-планировочные решения, позволяющие на основе предварительных оценок избегать застройки суффозионно опасных участков, применение осд<sup>2</sup>\*/обых конструктивных элементов зданий и сооружений, обеспечивающих их надежную эксплуатацию и прочее.

Необходимо применять комплекс мер с целью оценки территорий по степени благоприятности их использования в инженерном освоении.

### Список литературы

1 Галкин А.Н. Инженерная геология Беларуси: монография. в 3 ч. / А.Н. Галкин, А.В. Матвеев, А.И. Павловский, А.Ф. Санько. – Витебск : ВГУ им. П.М. Машерова, 2017. – 452 с.

2 Глубина промерзания грунтов – важнейший фактор водно-теплового режима земляного полотна: <http://mognovse.ru/qmn-glubina-promerzaniya-gruntov-vajnejshij-faktor-vodno-teplo.html>. – Дата доступа 14.10.2018

3 Мележ, Т.А. Ранжирование инженерно-геоморфологических процессов в пределах крупных речных долин Беларуси / Т.А. Мележ // Геология в развивающемся мире: сборник научных трудов (по материалам X Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых). В 2-х томах. Ответственный редактор Р.Р. Гильмутдинов. 2017. – С. 140–142.

4 Павловский, А.И. Особенности инженерно-геологических условий долины реки Западная Двина в пределах Беларуси / А.И.Павловский, А.Н. Галкин, Т.А. Мележ // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2016. – № 1. – С. 136–143.

5 Павловский А.И. Закономерности проявления эрозионных процессов на территории Беларуси / А.И. Павловский. – Минск : Наука і тэхніка, 1994. – 102 с.

Д.С. НЕСТЕРОВ, В.А. КОРОЛЕВ

### МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПРИ ЭЛЕКТРООСМОСЕ

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Российская Федерация  
[dsnesterovmsu@gmail.com](mailto:dsnesterovmsu@gmail.com), [va-korolev@bk.ru](mailto:va-korolev@bk.ru)*

В настоящее время и в России, и в Беларуси объемы строительства постоянно увеличиваются, а инженерные сооружения усложняются. В связи с этим часто приходится осваивать территории с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями, в частности с водонасыщенными или загрязненными глинистыми грунтами.