

**А.А. Тимшина, Е.Н. Сычкина**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, Россия

### **Анализ устойчивости склонов, сложенных аргиллитоподобными глинами**

Статья посвящена проблеме строительства на склоновых территориях, сложенных аргиллитоподобными глинами. Цель работы – анализ устойчивости откосов, сложенных аргиллитоподобными глинами. В работе выявлено влияние процесса подтопления на физико-механические свойства аргиллитоподобных глин, а именно: удельное сцепление сокращается примерно в 7 раз, угол внутреннего трения и модуль деформации – более чем в 1,5 раза. Кроме того, в статье представлены результаты расчетов коэффициента устойчивости, отображающие снижение устойчивости склона при изменении прочностных характеристик аргиллитоподобных глин. Авторами определены основные причины возникновения аварийной ситуации. В качестве комплекса мероприятий для исправления сложившейся инженерно-геологической ситуации авторами предложены организация поверхностного и подземного стока, а также замена разрушенной подпорной стены на фильтрующую железобетонную подпорную стенку.

**Ключевые слова:** устойчивость склона, коэффициент устойчивости, аргиллитоподобные глины, степень водонасыщения, подпорная стена.

**A.A. Timshina, E.N. Sychkina**

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

### **Analysis the stability of slopes consisting of claystones**

The article is dedicated to the problem of construction on slopes consisting of claystones. Purpose – analysis the stability of slopes consisting of claystones. Besides the authors assessed influence of physical flooding on properties of claystones, specifically: specific cohesion is reduced about 7 times, angle of internal friction and deformation module - more than 1.5 times. More than that, in the article. The authors presents the results of calculations of the stability factor. Results showing a decrease slope stability when the strength characteristics of claystones is changing. In the article the authors identified the main causes of the emergency. Besides, in the article is offered recommendations to address the emergency, such as: organization of surface and groundwater runoff, filter reinforced concrete retaining wall.

**Keywords:** slopes stability, stability factor, claystones, degree of saturation, retaining wall.

#### **1. Введение**

В процессе проектирования гражданских и промышленных объектов, расположенных на приоткосных территориях очень важно провести анализ устойчивости склонов. Недостаточное исследование склонов на предмет их устойчивость после строительства на таких территориях зданий или сооружений, может привести к отрицательным последствиям, в том числе к аварийным ситуациям.

Для города Перми, где большое количество жилых домов построено вдоль бровок оврагов, откосов выемки Транссибирской магистрали, склонов долин рек Данилиха и Егошиха, особенно важна проблема анализа устойчивости склонов.

В данной работе обратимся к вопросу обеспечения устойчивости откосов, сложенных аргиллитоподобными глинами. Аргиллит представляет собой полускальный грунт глинистого состава, образовавшийся в результате окаменения дисперсных глинистых грунтов при уплотнении, дегидратации и кристаллизации

коллоидов [1]. Важно отметить, что под воздействием водонасыщения у аргиллитоподобных глин значительно ухудшаются прочностные свойства и возрастает деформируемость. Это было доказано в работах А.Б. Пономарева и Е.Н. Сычкиной [2]. Так, в своих работах Д.И. Зотов [3], Н.А. Самусь [4], А.Я. Глушко и В.В. Разумов [5] отмечали, что одной из основных причин потери устойчивости склона является его обводнение.

На сегодняшний день вопрос обеспечения устойчивости склонов достаточно глубоко и разносторонне изучен К.В. Лехановой и А.Л. Новодзинским [6], А.В. Жабко [7], [8], В.К. Цветковой, Е.Г. Власовой и Н.Я. Наумовой [9], Д.В. Волик и С.И. Маций [10], А.Б. Пономаревым и К.В. Решетниковой [11] и другими. Однако, учитывая геологические условия города Перми, необходимо отметить необходимость исследования данного вопроса с изучением конкретных примеров и поиском наиболее рациональных методов расчета устойчивости склона, а также выбор оптимальных решений по устранению аварийных ситуаций.

Целью работы являлся анализ устойчивости откосов, сложенных аргиллитоподобными глинами, на примере объекта, расположенного в г. Перми. Для достижения указанной цели авторами были поставлены следующие задачи:

- 1) Выполнить обзор исследований по вопросу оценки устойчивости оснований;
- 2) Изучить физико-механические свойства аргиллитоподобных глин на площадке исследований с учетом изменения уровня грунтовых вод;
- 3) Изучить изменение устойчивости склона при ухудшении прочностных характеристик аргиллитоподобных глин;
- 4) Проанализировать причины аварийной ситуации и предложить наиболее рациональные способы ее устранения.

## **2. Объект исследования**

Одним из объектов, расположенном в непосредственной близости со склоном является десяти этажный жилой дом, построенный вдоль склона долины реки Малая Язвая в г.Перми. В 1989 г. были проведены инженерно-геологические изыскания для определения исходных данных, необходимых для строительства объекта. В соответствии с изысканиями район изысканий относится к III категории сложности по инженерно-геологическим условиям. В соответствии с геологическим строением, полевыми и лабораторными данными были выделены следующие инженерно-геологические элементы (ИГЭ):

ИГЭ-1. Глина с неравномерным содержанием дресвы и щебня коренных пород от 15% до 50%, преимущественно твердой и полутвердой консистенции, реже тугопластичной, плотной.

ИГЭ-2. Аргиллит сильновыветрелый, прослойками по 5-10 см в кровле слоя до состояния глины, дресвы и крепкого щебня, малой степени водонасыщения, с глубины 9,5-11м по трещинам обводнен, преимущественно средней крепости, участками слабый, часто с прослоями песчаника тонкозернистого, на глинисто-известковистом цементе, сильновыветрелого, трещиноватого, средней крепости, обводненного.

Физические свойства насыпного грунта, перекрывающего выделенные ИГЭ, ввиду его разнородности в единый элемент не выделены. При проведении работ в 2007 г. установившийся уровень грунтовых вод зафиксирован на отметках 140,26-141,45 м. Геологическое строение участка отображено на Рис. 1.

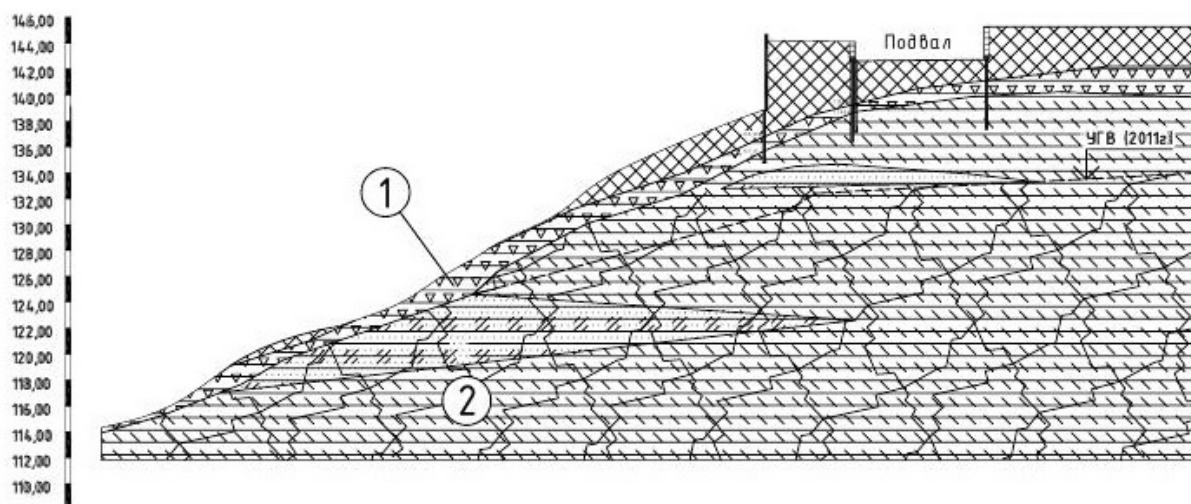


Рис. 1. Геологическое строение участка исследований

Строительство жилого дома началось в июне 1993г. при строительстве здание и подпорная стенка были смещены в сторону склона без учета результатов изысканий, проведенных в 1989г., в соответствии с которыми было рекомендовано смещение здания от бровки склона в сторону водораздела, а так же не допущение обводнения склона, дополнительного его пригружения и подрезки, кроме того ведение строгого авторского надзора при строительстве.

Строительство было завершено в декабре 1998 г. но уже в мае 1999г были обнаружены признаки разрушения подпорной стенки.

В связи с этим в 2000 году были выполнены уточняющие инженерно-геологические изыскания и наблюдения за режимом техногенных и трещинно-грунтовых подземных вод. В результате изысканий было выявлено, что длительное нахождение воды в теле насыпных грунтов, ее инфильтрация в грунт и отсутствие водоотлива привели к увеличению природной влажности и изменению значений физико-механических свойств насыпных грунтов и аргиллитоподобных глин. Значения некоторых физико-механических параметров аргиллитоподобной глины при изменении влажности приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения физико-механических параметров аргиллитоподобной глины

Год изысканий	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Влажность, д.е.	Коэффициент водонасыщения, д.е.	Удельное сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, °	Модуль деформации, МПа
1989 г.	1,80	0,19	0,66	25,0	32	4,5
2000 г.	1,82	0,28	0,81	3,4	20	2,9

Из таблицы 1 видно, что при увеличении влажности и степени водонасыщения аргиллитоподобной глины наблюдается значительное снижение значений прочностных и деформационных характеристик: удельное сцепление сокращается примерно в 7 раз, угол внутреннего трения и модуль деформации – более чем в 1,5 раза.

### 3. Определение устойчивости склона

Необходимо отметить, что при анализе устойчивости склонов главной задачей является определение коэффициента устойчивости или запаса устойчивости склона. В соответствии с ОДМ 218.2.006-2010 коэффициентом устойчивости называется отношение суммы всех сил, удерживающих откос в равновесии, к сумме всех сдвигающих сил, стремящихся вывести его из равновесия.

В данной работе приведены результаты расчетов устойчивости склона, выполненные исходя из инженерно-геологических условий до начала строительства (1989 г.) и исходя из инженерно-геологических условий после окончания строительства (2011 г.). Указанные расчеты устойчивости склона выполнялись по методу круглоцилиндрических поверхностей, приведенному в ОДМ 218.2.006-2010 «Рекомендации по расчету устойчивости оползнеопасных склонов (откосов) и определению оползневых давлений на инженерные сооружения автомобильных дорог».

Методика выполнения данного расчета состоит из следующих этапов: определение основных инженерно-геологических условий и физико-механических свойств грунтов площадки; выбор расчетной схемы склона, в том числе радиуса скольжения круглоцилиндрической поверхности; деление склона на отсеки; для каждого из отсеков определялись параметры, необходимые для расчета коэффициента устойчивости по формуле (1):

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot \tan \varphi_i + \sum_{i=1}^{i=n} c_i \cdot l_i}{\sum_{i=1}^{i=n} Q_i} \quad (1)$$

где  $K_y$  – коэффициент запаса устойчивости склона (фактический коэффициент устойчивости);  $N_i$  – нормальная составляющая веса отсека, кН;  $c_i$  – удельное сцепление и в уровне подошвы отсека, кПа;  $\varphi_i$  – угол внутреннего трения в уровне подошвы отсека, град.;  $l_i$  – длина подошвы или основания отсека (длина плоской поверхности скольжения в пределах отсека или длина хорды, соединяющей границы подошвы отсека), м;  $Q_i$  – сдвигающая сила (касательная составляющая веса отсека), кН.

Важно отметить, что при данном расчете принимается ряд условных допущений, описанных Г.К. Клейном [12].

В соответствии с результатами выполненных расчетов в 1989 г. коэффициент устойчивости склона по наиболее опасной линии скольжения в природных условиях составил 1,035 - 1,36. Однако, в 2011 г. максимальное значение коэффициента устойчивости склона лишь 1,075, что на 10 % ниже среднего значения коэффициента устойчивости до начала строительства. Полученные результаты графически представлены на Рис. 2.

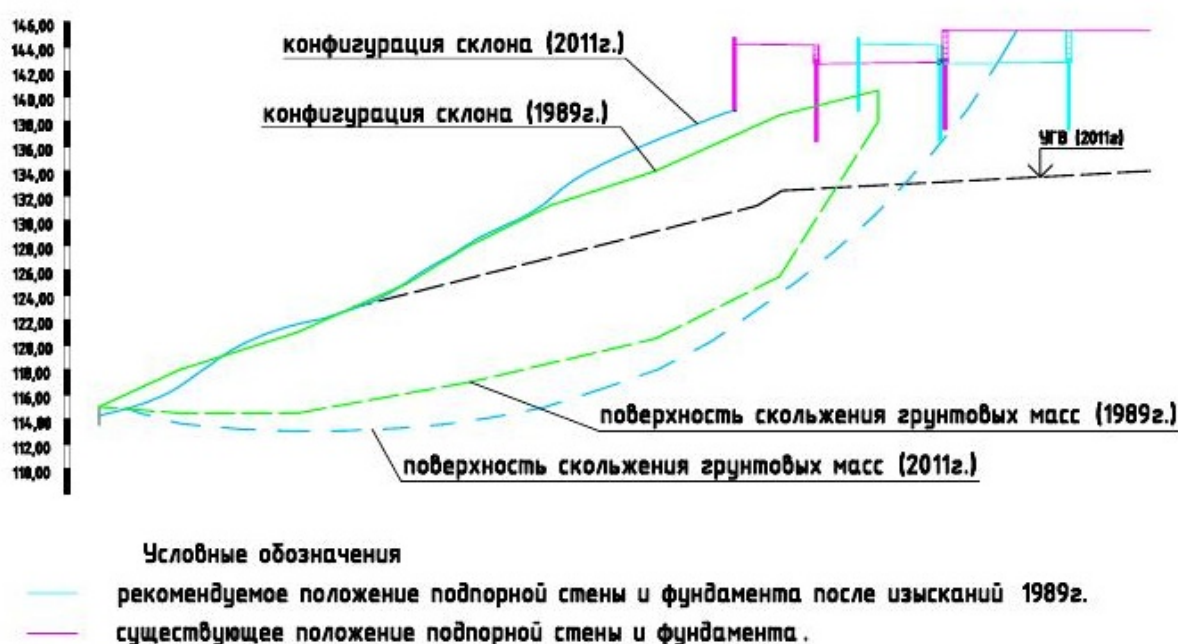


Рис.2. Профиль склона и линии скольжения по данным 1989 г. и 2011 г.

Из Рис. 2 видно, что при строительстве в верхней части склона была пригружена насыпными грунтами, что создало дополнительную нагрузку на склон и подпорную стенку. Кроме того, фактическое расположение фундамента здания оказалось ближе к бровке склона, чем рекомендуемое, что привело к изменению радиуса траектории скольжения склона по круглоцилиндрической поверхности, и, соответственно, склон стал менее устойчивым.

#### 4. Способы устранения аварийной ситуации

Анализ результатов работ 2000 г. в сравнении с материалами 1989 г указывает на определенные изменения инженерно-геологических условий, произошедшие за период с 1989 г., при этом отсутствие организованного стока поверхностных и грунтовых вод, засыпка естественных дрена, строительство подпорной стенки без дренажа, наличие под домом тальвега небольшого ложка, утечки из водонесущих коммуникаций, наличие возле дома газонов с хорошо фильтрующими грунтами привело к образованию под домом и в теле насыпного грунта подпорной стенки горизонта техногенных вод. Эти основные причины и привели к разрушению подпорной стенки, которая стояла на пути накапливающейся воды.

На сегодняшний день разработано много способов защиты склонов от оползневой опасности. Однако в данной ситуации выбор способа устранения аварии осложняется расположением уже построенного объекта вблизи откоса и невозможность изменения рельефа склона. Таким образом, изменение баланса грунтовых масс либо замена или закрепление слабого грунта становится практически невозможным.

Однако в качестве комплекса мероприятий для исправления инженерно-геологической ситуации, сложившейся на данной территории рационально использовать: организацию поверхностного и подземного стока, а также восстановление подпорной стенки.

В процессе поиска наиболее оптимального варианта подпорной стены авторами рассматривались мембранные подпорные стены, подпорные стенки из многокомпонентных блоков и габионных сеток, и многие другие, так как для выбора наиболее оптимальной подпорной стенки необходимо учесть условия, в которых она будет эксплуатироваться. А, исходя из анализа аварийной ситуации для данного объекта, осложняющим фактором является проблема обводненности грунтов, в связи с этим в сложившейся ситуации рационально будет применить фильтрующую железобетонную подпорную стенку, предложенную А.П. Петренко и В.А. Галаган [13].

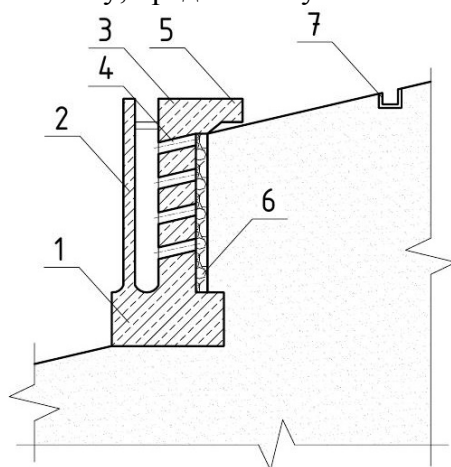


Рис. 3 Конструкция фильтрующей железобетонной подпорной стенки [13],  
где: 1 – основание подпорной стенки; 2 – лицевая часть подпорной стенки; 3 – фильтрующая часть подпорной стенки; 4 – дренажные отверстия, расположенные в шахматном порядке; 5 – уступ против переполазания грунта; 6 – фильтрующее покрытие; 7 – водоотводный лоток.

Данная подпорная стенка (Рис. 3) устраивается на буронабивных сваях, объединенных ростверком, состоит из фильтрующей и лицевой частей. Фильтрующая часть устраивается с уступом, который необходим для предотвращения переползания грунта. Между фильтрующей частью и массивом грунта необходимо использовать дренирующий материал. Фильтрующая часть ограждения выполняется с расположенными в шахматном порядке дренажными отверстиями, образованными путем заложения в опалубку отрезкой асбестоцементных труб. Лицевая и фильтрующая части ограждения соединяются между собой с помощью закладных изделий, из полосовой стали, в их верхней части конструктивно с целью уменьшения расхода арматуры для лицевой части ограждения. С верхней стороны фильтрующей железобетонной подпорной стенки устраивается водоотводный лоток. Главным преимуществом применения данной конструкции является дренаж через нее поверхностных и грунтовых вод, в связи с чем уменьшаются трудозатраты, затраты материалов и капитальных вложений на устройство дополнительного закрытого и открытого дренажа в непосредственной близости с подпорной стенкой.

## **5. Заключение**

В результате анализа инженерно-геологических условий исследуемого аварийного объекта выявлены следующие причины нарушения устойчивости склона: длительное нахождение воды в основании здания, что привело к увеличению природной влажности и изменению значений физико-механических свойств насыпных грунтов и аргиллитоподобных глин; отсутствие организованного стока поверхностных и грунтовых вод, утечки из водонесущих коммуникаций, строительство подпорной стенки без дренажа.

В работе выявлена зависимость прочностных и деформационных характеристик аргиллитоподобной глины от влажности и степени водонасыщения, а именно: удельное сцепление сокращается примерно в 7 раз, угол внутреннего трения и модуль деформации – более чем в 1,5 раза.

Выполненные расчеты коэффициентов устойчивости показали его сокращение в 2011 г. на 10 %, по сравнению со значением коэффициента устойчивости склона до начала строительства.

В сложившейся ситуации авторы считают целесообразным применить фильтрующую железобетонную подпорную стенку, предложенную А.П. Петренко и В.А. Галаган. Данная конструкция подпорной стенки позволит обеспечить отвод подземных и поверхностных вод, тем самым существенно уменьшить нагрузку на подпорную стенку.

## **Библиографический список**

1. Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А., Голодковская Г.А., Васильчук Ю.К., Зиангиров Р.С. Грунтоведение // 6-е изд., переработ, и доп. — М.: МГУ, 2005. — 1024 с.
2. Ponomaryov A., Sychkina E. Analysis of strain anisotropy and hygroscopic property of clay and claystone // Applied Clay Science. 2015. Vol. 114. P. 61 - 169.
3. Зотов Д.И. Особенности развития оползневого процесса на территории нижегородской области // Вестник ВИ ГПС МЧС России . - 2014. - № 4 (13). – С. 55-59
4. Самусь Н.А. Оползневые процессы на территории волгоградской агломерации // Известия ВГПУ. - 2007. - № 6. – С. 86-101.

5. Глушко А.Я., Разумов В.В. Опасности проявления оползневых процессов в южном федеральном округе // Юг России: экология, развитие . - 2009. - № 4. – С. 138-145.
6. Леханова К.В. и Новодзинский А.Л. Сравнение численных и аналитических методов расчета устойчивости грунтовых откосов // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. - 2014. - № 1.- С. 45-50.
7. Жабко А. В. Теория расчета устойчивости откосов и оснований. Анализ, характеристика и классификация существующих методов расчета устойчивости откосов // Известия УГГУ . - 2015. - № 4 (40). - С. 45-57.
8. Жабко А. В. Основы общей теории расчета устойчивости откосов // Известия УГГУ . - 2013. - № 4 (32). - С. 47-58.
9. Цветков В.К., Власова Е.Г., Наумова Н.Я. Зависимость между основными параметрами однородных грунтовых откосов и склонов при нарушении их устойчивости // Вестник ВолгГАСУ. Строительство и архитектура. – 2008. - № 11 (30). – С. 15-19.
10. Волик Д.В., Маций С.И. Оценка пространственной устойчивости склонов. // Вестник ВолгГАСУ. Строительство и архитектура. – 2008. - № 10 (29). – С. 47-52.
11. Пономарев А.Б., Новодзинский А.Л., Решетникова К.В.. Результаты экспертной оценки устойчивости склона // Вестник ВолгГАСУ. Строительство и архитектура. – 2008. - № 11 (30). – С. 5-8.
12. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел // 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1977. - 256 с.
13. Фильтрующая железобетонная подпорная стенка: пат. 2112108 Рос. Федерация : МКП<sup>6</sup> Е 02 D 29/02 / Петренко А. П., Галаган В.А., заявитель и патентообладатель Петренко А.П., Галаган В.А. – № 96117991/03. заявл. 10.09.96, опубл. 27.05.98, Бюл. №6 – 5 с. : ил.

## References

1. Trofimov V.T., Korolev V.A., Voznesenskii E.A., Golodkovskaia G.A., Vasil'chuk Iu.K., Ziangirov R.S. Gruntovedenie [Ground science]. Moscow: MSU, 2005. — 1024 s.
2. Ponomaryov A., Sychkina E. Analysis of strain anisotropy and hygroscopic property of clay and claystone. Applied Clay Science. 2015. Vol. 114. P. 61 - 169.
3. Zotov D.I. Osobennosti razvitiia opolzneвого protsessa na territorii nizhegorodskoi oblasti [Features of landslide process development in nizhny novgorod region]. *Vestnik Voronezhskii institut Gosudarstvennoi protivopozharnoi sluzhby MChS Rossii*, 2014, no. 4 (13). pp. 55-59.
4. Samus' N.A. Opolznevyie protsessy na territorii volgogradskoi aglomeratsii [Landslide process in volgograd region]. *Izvestiia VGPU*. 2007, no. 6. pp. 86-101.
5. Glushko A.Ia., Razumov V.V. Opasnosti proiavlennii opolznevykh protsessov v iuzhnom federal'nom okruge [A danger of landslide processes manifestation on The South Federal regions territory]. *Iug Rossii: ekologiia, razvitie*. 2009, no. 4. pp. 138-145.
6. Lekhanova K.V. i Novodzinskii A.L. Sravnenie chislennykh i analiticheskikh metodov rascheta ustoichivosti gruntovykh otkosov [Comparison of numerical and analytical methods of calculating the slope stability]. *Vestnik PNIPU. Stroitelstvo i arkhitektura*. 2014, no. 1. pp. 45-50.
7. Zhabko A. V. Teoriia rascheta ustoichivosti otkosov i osnovanii. Analiz, kharakteristika i klassifikatsiia sushchestvuiushchikh metodov rascheta ustoichivosti otkosov [Theory of calculation of slopes and grounds stability. Analysis, characterization and classification of existing methods for calculating the slopes stability]. *Izvestiia UGGU* . 2015, no. 4 (40). pp. 45-57.

8. Zhabko A. V. Osnovy obshchei teorii rascheta ustoichivosti otkosov [Fundamentals of the general theory of calculation of slope stability]. *Izvestiia UGGU*. 2013, no. 4 (32). pp. 47-58.
9. Tsvetkov V.K., Vlasova E.G., Naumova N.Ia. Zavisimost' mezhdu osnovnymi parametrami odnorodnykh gruntovykh otkosov i sklonov pri narushenii ikh ustoichivosti [The relationship between the main parameters of homogeneous ground slopes in violation of their stability]. *Vestnik Volgograd. gos. arkhitekturno-stroit. un-ta. Ser.: Stroitelstvo i arkhitektura*. 2008, no. 11 (30). pp. 15-19.
10. Volik D.V., Matsii S.I. Otsenka prostranstvennoi ustoichivosti sklonov [The method of an estimation of a three-dimensional stability of the slopes]. *Vestnik Volgograd. gos. arkhitekturno-stroit. un-ta. Ser.: Stroitelstvo i arkhitektura*. 2008, no. 10 (29). pp. 47-52.
11. Ponomarev A.B., Novodzinskii A.L., Reshetnikova K.V.. Rezul'taty ekspertnoi otsenki ustoichivosti sklona [The results of expert assessment of slope stability]. *Vestnik Volgograd. gos. arkhitekturno-stroit. un-ta. Ser.: Stroitelstvo i arkhitektura*. 2008, no. 11 (30). pp. 5-8.
12. Klein G.K. Stroitel'naia mekhanika sypuchikh tel [Structural Mechanics quick solid]. Moscow, Strojizdat, 1977. – 256 s.
13. Fil'truiushchaia zhelezobonnaia podpornaiia stenka [Filter ferroconcrete retaining wall] : pat. 2112108 Ros. Federatsiia : MKP<sup>6</sup> E 02 D 29/02 / Petrenko A. P., Galagan V.A., zaiavitel' i patentoobladatel' Petrenko A.P., Galagan V.A. no. 96117991/03. zaiavl. 10.09.96, opubl. 27.05.98, Biul. no.6 – 5 s. : ill.

#### Об авторах

**Тимшина, Анастасия Андреевна** – магистрант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, строительный факультет, гр. ОТР-15-1м (614990, г. Пермь, Комсомольский пр-т, 29, e-mail: [timshina.anastasija@gmail.com](mailto:timshina.anastasija@gmail.com)).

**Сычкина, Евгения Николаевна** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника» ПНИПУ (614990, г. Пермь, Комсомольский пр-т, 29, e-mail: [aspirant123@mail.ru](mailto:aspirant123@mail.ru)).

#### About the authors

**Anastasiya A. Timshina** (Perm, Russian Federation) – master student, Perm National Research Polytechnic University, The Department of Civil Engineering, gr. OTR-15-1m (614990, 29, Komsomolsky prospect, Perm, Russian Federation, e-mail: [timshina.anastasija@gmail.com](mailto:timshina.anastasija@gmail.com)).

**Evgeniya N. Sychkina** (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Ass. Professor, Department of [Construction Technology and Geotechnics](#), Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky prospect, Perm, Russian Federation, e-mail: [aspirant123@mail.ru](mailto:aspirant123@mail.ru)).