

УДК 624.1:631.459.42

DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-109-118

М. А. Еналдиева

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (Государственный технологический университет), Владикавказ, Российская Федерация

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ СКЛОНОВ ГОРНЫХ И ПРЕДГОРНЫХ ЛАНДШАФТОВ

Цель работы – обзор инновационных технологий закрепления склонов горных и предгорных ландшафтов и оценка возможности их применения в различных геотехнических условиях. Природоохранное обустройство природных ландшафтов, охрана окружающей среды, рекультивация нарушенных земель на сегодня являются первостепенными задачами. Одно из основных инженерных мероприятий по стабилизации оползневых участков – механическое удержание деформированных земляных масс в равновесном состоянии и искусственное их закрепление с помощью подпорных стенок, откосных креплений, каменных контрбанкетов, свай-шпонок, а также за счет обжига глинистого грунта, посадки деревьев на склонах. Важным направлением в практике создания противооползневых сооружений является разработка более экономичных и эффективных облегченных конструкций за счет использования проволочных анкеров при строительстве откосных креплений и подпорных сооружений. В работе рассматриваются четыре технических решения, направленных на предотвращение возникновения оползневых процессов, а именно: способы анкеровки оползневых склонов, закрепления горных склонов от оползней, в том числе с помощью сеточных анкеров, а также устройство для укрепления оползней на основе гибких свай в сейсмических зонах. Предложенные технические решения позволяют в значительной степени повысить устойчивость к оползанию откосных креплений при минимальных затратах, в максимальной степени использовать прочностные свойства металлов, из которых изготавливаются анкеры.

Ключевые слова: оползневый склон, зонтиковый анкер, котлован, подпорные стенки, противооползневые конструкции, траншеи, сеточные анкеры, эрозия.

M. A. Enaldieva

North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russian Federation

INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF MOUNTAIN AND PIEDMONT LANDSCAPES SLOPE STABILIZATION

The purpose of the work is a review of innovative technologies for mountain and piedmont landscapes slopes stabilization and assessment of the possibility of their use under various geotechnical conditions. Environment protected management of natural landscapes, environmental protection, reclamation of disturbed lands today are paramount tasks. One of the main engineering measures to stabilize landslide areas is the mechanical retention of distorted earthen masses in an equilibrium state and their artificial stabilization with the help of retaining walls, sloping linings, stone counterberms, pile plates, as well as with loamy soil burning, trees planting on the slopes. An important direction in the practice of creating landslide protection structures is the development of more economical and efficient lightweight

structures by means of the wire ties use in the construction of sloping linings and retaining walls. Four technologies aimed at preventing landslide processes are considered, namely: methods of anchoring landslip slopes, securing mountain slopes from landslides, including grid anchors, as well as a device for strengthening landslides on the base of flexible piles in seismic zones. The proposed engineering decisions make it possible to increase significantly the resistance to sloping linings sliding at minimum expense, to use the metals strength properties from which the anchors are made to the maximum extent.

Keywords: landslide slope, umbrella anchor, trench, retaining walls, landslide protection structures, ditch, net anchors, erosion.

Введение. Интенсификация хозяйственной деятельности в связи с научно-техническим прогрессом стала причиной больших изменений, происходящих в природе, и в частности усиления эрозии земель различного назначения. Природоохранное обустройство природных ландшафтов, охрана окружающей среды, рекультивация нарушенных земель на сегодня являются первостепенными задачами.

Активизации этих процессов способствует хозяйственная деятельность человека: увеличение крутизны склонов и откосов при их подрезке дорогами и карьерами, снижение прочности пород при их переувлажнении и подтоплении каналами, водохранилищами [1, 2].

Инженерными мероприятиями по стабилизации оползневых участков являются механическое удержание деформированных земляных масс в равновесном состоянии и искусственное их закрепление применением подпорных стенок, откосных креплений, каменных контрбанкетов, свай-шпонок, посадкой деревьев на склонах.

В последние годы большое распространение получили габионные подпорные стенки и матрасы для закрепления откосов [3–5]. Наиболее распространенными являются коробчатые габионы, которые представляют собой объемные конструкции заводского изготовления, выполненные из металлической сетки двойного кручения с шестиугольными ячейками, разделенные на секции при помощи диафрагм. Применение таких массивных конструкций на больших площадях при закреплении склонов и на других звеньях горных и предгорных ландшафтов не всегда экономически оправданно [6, 7].

Важным направлением в практике создания противооползневых сооружений является разработка более экономичных и эффективных облегченных конструкций за счет использования проволочных анкеров при строительстве откосных креплений и подпорных сооружений.

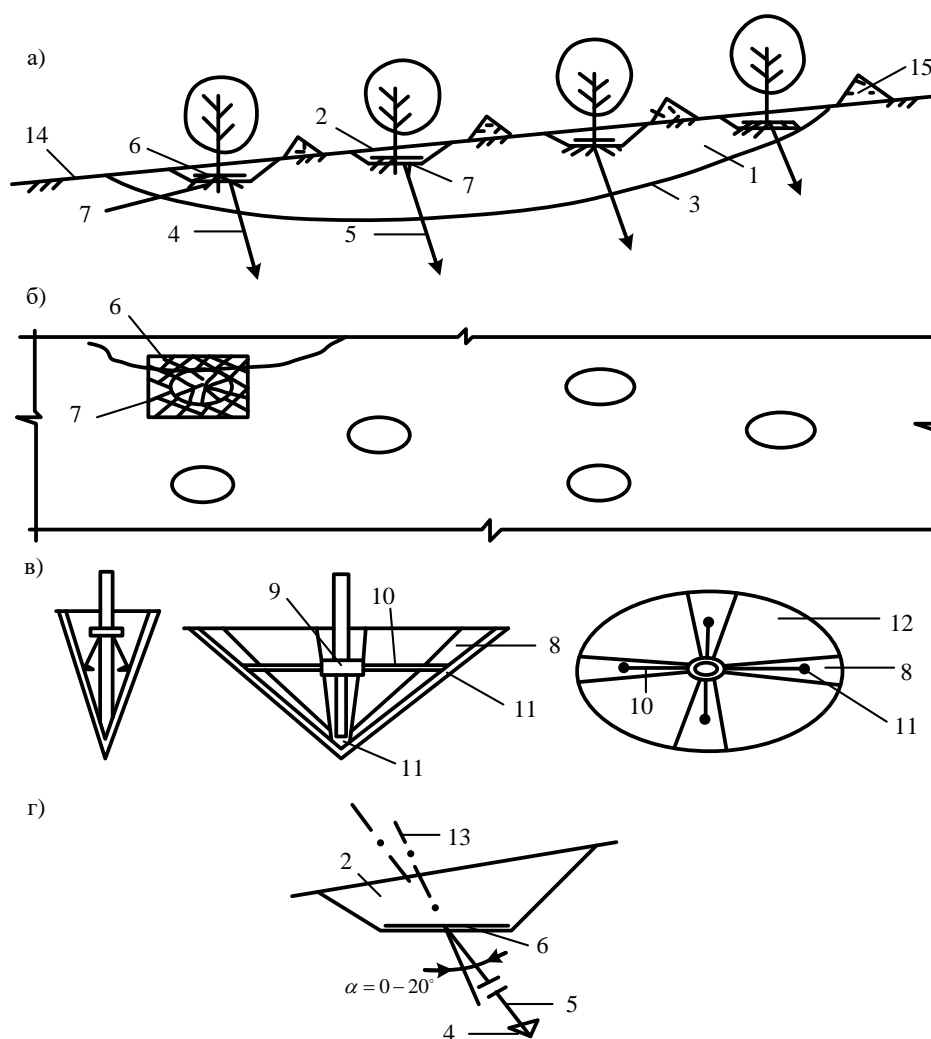
Цель работы – обзор инновационных технологий закрепления склонов горных и предгорных ландшафтов и оценка возможности их применения в различных геотехнических условиях.

Материалы и методы. При анализе существующих инновационных технологий закрепления склонов горных и предгорных ландшафтов использовались аналитический, синтетический, сравнительный, логический и исторический методы. Информационную базу исследования составили материалы по техническим решениям закрепления оползневых склонов таких ученых, как В. М. Ивонин [8], Т. Ю. Хаширова [9], З. Г. Ламердонов [3], С. М. Васильев [10], Е. В. Кузнецов [11] и др.

Результаты и обсуждение. В работе рассматриваются технические решения, направленные на решение проблемы возникновения оползневых процессов, а именно: способы анкеровки оползневых склонов, закрепления горных склонов от оползней, в т. ч. с помощью сеточных анкеров, а также устройство для укрепления оползней в сейсмических зонах.

Более подробно проанализируем особенности реализации способа анкеровки оползневых склонов (рисунок 1). Данный способ осуществляется в следующей последовательности. В коренной породе отрываются котлованы, имеющие шахматное расположение в плане [12]. Далее ниже поверхности скольжения в котлован заглубляется на требуемую глубину раскрывающийся зонтиковый анкер, прикрепленный к тросу. Для заглубления раскрывающегося зонтикового анкера используются специальные механизмы. Заглубление зависит от мощности оползающего пласта и может достигать 10 м. Трос прикрепляется к сетке, уложенной на дно котлована. В котлован устанавливается дерево с корневой системой, которая крепко срастается

с сеткой по мере роста. Раскрывающийся зонтичный анкер состоит из лепестков, которые раскрываются в результате опускания колец, соединенных раскосами через шарниры при подъеме раскрывающегося анкера вверх. Ось установки троса совпадает с нормалью к поверхности рельефа или имеет небольшой угол отклонения. При такой установке даже при незначительном смещении оползня трос работает только на растяжение, и это позволяет в максимальной степени использовать его несущую способность.



a – поперечное сечение оползневого откоса, закрепленного сетками с анкерами (общий вид); *б* – оползневой откос, закрепленный сетками с анкерами (вид сверху); *в* – раскрывающийся анкер; *г* – трос с анкером, ось которого наклонена к нормали поверхности рельефа (поперечный разрез); *1* – коренная порода; *2* – котлован; *3* – поверхности скольжения; *4* – зонтичный анкер; *5* – трос; *6* – обратная засыпка; *7* – корневая система; *8* – лепестки; *9* – кольца; *10* – раскосы; *11* – шарниры к поверхности рельефа; *12* – стеклоткань; *13* – нормаль к поверхности рельефа; *14* – поверхность рельефа; *15* – обратная засыпка

Рисунок 1 – Способ анкеровки оползневых склонов

Рассмотренный способ анкеровки оползневых склонов является экономически более выгодным, более долговечным и экологически безопасным в сравнении с существующими аналогичными техническими решениями, но имеет ограничения в применении в случае осуществления этого способа в сейсмически активных областях.

В связи с этим дальнейшие исследования позволили разработать способ закрепления горных склонов от оползней в сейсмических зонах [13], который осуществляется в следующей последовательности. Трос прикрепляется к сетке, которая уложена на дно траншей, имеющих поперечное расположение. Количество анкеров зависит от требуемой силы закрепления, которая может определяться в результате расчетов. Поперечно уложенные полосы соединяются между собой продольными перемычками, и образуется клеточное в плане крепление. В траншею засеивается трава с корневой системой, которая крепко срастается с сеткой по мере роста. В качестве сетки может использоваться плетеная металлическая либо другая сетка с высокими прочностными характеристиками.

Представленное техническое решение обладает такими же достоинствами, как и предыдущий способ, однако применение для закрепления травы снижает прочностные характеристики конструкции в целом в связи с низкой стрессоустойчивостью биологических систем к внешним агрессивным факторам среды.

Перспективным является способ, основывающийся на создании на оползневом склоне глубоких траншей с заглублением в несмещающийся грунт ниже поверхности скольжения поперек склону или возможному направлению оползня, при этом в траншее вставляется сетка [14], выполненная в виде металлической плетеной сетки или сетки с двойным кручением в узлах. После этого траншеи заполняют грунтом методом обратной засыпки. Оптимальным плановым расположением глубоких траншей является шахматное. Ось траншеи совпадает с нормалью к поверхности рельефа или имеет небольшой угол отклонения.

Данное техническое решение обладает значительным запасом надежности, прочности, что обеспечивает безопасную работу всей конструкции в целом и отдельных ее элементов. Однако применение металлической сетки снижает срок эксплуатации в связи с возможной ее коррозией в результате воздействия факторов окружающей среды.

Как показывают проведенные исследования [15], в сейсмически активных зонах требуется использовать устройство для укрепления оползней, характеризующееся равномерным распределением нагрузок. Достигнуть данного эффекта можно, если на оползневом склоне в коренной породе пробурить глубокие отверстия с заглублением в несмещающийся грунт ниже поверхности скольжения поперек склону или возможному направлению оползня [16]. При этом в предварительно пробуренные глубокие отверстия с заглублением в несмещающийся грунт ниже поверхности скольжения вставляются гибкие сваи. Последние собираются предварительно и состоят из трех арматур с треугольным расположением в плане, на которые надеваются цельные или полые бетонные элементы, разделенные между собой мягкой прокладкой. Такое плановое расположение арматур в теле гибкой сваи обеспечивает работу двух из них на растяжение при любом возможном варианте изгиба гибкой сваи. На концах арматуры нарезана резьба, и бетонные элементы стягиваются с двух концов гибкой сваи болтами через металлический упорный элемент. К верхней части гибкой сваи прикреплен сеточный «фартук», имеющий в плане треугольную форму.

Рассматриваемое устройство для противооползневого укрепления склонов в сейсмических зонах [17] экономически более выгодно и при этом характеризуется более высокими показателями долговечности и надежности в сравнении с аналогичными техническими решениями. Деформация свай при сейсмических нагрузках компенсируется за счет использования сеточного «фартука», который способствует сохранению конструктивной целостности.

Основным фактором, сдерживающим широкое применение проволочных анкеров в практике, выступает отсутствие совершенных технологий их монтажа [18]. В связи с этим автором предлагается на основании проведенного теоретического анализа [19] использовать следующие технологии установки проволочных анкеров: с откапыванием ям, с помощью забивки направляющей штанги и двух и более ударных молотов.

Заключение

1 Перспективным является расширение области использования проволочных анкеров в природоохранном и водохозяйственном обустройстве природных ландшафтов.

2 Рассмотренные способы борьбы с оползневыми явлениями в предгорных районах являются перспективными и актуальными, при этом основной элемент, обеспечивающий надежную работу этих сооружений, – проволочные анкера.

3 Предложенные технические решения позволяют в значительной степени повысить устойчивость к оползанию откосных креплений при минимальных затратах, в максимальной степени использовать прочностные свойства металлов, из которых изготавливаются анкера.

Список использованных источников

1 Geological Hazards / B. A. Bolt, W. L. Horn, G. A. Macdonald, R. F. Scott. – Rev. 2nd ed. – Springer, 1977. – 341 p.

2 Черноморец, С. С. Регенерация селевой массы / С. С. Черноморец // Защита народнохозяйственных объектов от воздействия селевых потоков: Междунар. науч. техн. конф., г. Пятигорск, 17–21 нояб. 2003 г. – Новочеркасск – Пятигорск, 2003. – Вып. 1. – С. 29–30.

3 Ламердонов, З. Г. Гибкие берегозащитные сооружения, адаптированные к морфологическим условиям рек / З. Г. Ламердонов. – Нальчик: КБГСХА, 2004. – 151 с.

4 Vox, G. E. P. Transformations of the Independent Variables / G. E. P. Vox, P. W. Tidwel // Technometrics. – 1962. – Vol. 4. – P. 531–550.

5 Технические решения габионных конструкций: сборник типовых решений / ЗАО «Габионы Маккаферри СНГ». – М., 1996. – 32 с.

6 Numerical simulation of flexible gabion arch dam to prevent and control debris flow blocks / J. Su [et al.] // Chinese Journal of Geotechnical Engineering. – 2015. – Vol. 37, № 2. – P. 269–275.

7 Landslide hazards and mitigation measures at Gangtok, Sikkim Himalaya / R. Bhasin [et al.] // Engineering Geology. – 2002. – Vol. 64, № 4. – P. 351–368.

8 Ивонин, В. М. Эрозия почв и противоэрозионные системы: учеб. пособие для вузов / В. М. Ивонин, В. А. Тертерян. – Ростов н/Д.: СКНЦ ВШ, 2003. – 156 с.

9 Хаширова, Т. Ю. Охрана горных и предгорных ландшафтов управлением твердого стока / Т. Ю. Хаширова. – Нальчик: Полиграфсервис и Т, 2007. – 220 с.

10 Васильев, С. М. Оползни и их проявление на территории Ростовской области / С. М. Васильев, А. В. Акоюн // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2016. – № 1(41). – С. 177–184.

11 Кузнецов, Е. В. Сельскохозяйственный мелиоративный комплекс для устойчивого развития агроландшафтов: практикум к проведению лаборатор. работ / Е. В. Кузнецов, А. Е. Хаджиди. – Краснодар: ЭДВИ, 2014. – 200 с.

12 Пат. 2437985 Российская Федерация, МПК Е 02 D 17/20. Способ анкеровки оползневых склонов / Еналдиева М. А.; заявитель и патентообладатель Еналдиева М. А. – № 2010123159/03; заявл. 07.06.10; опубл. 27.11.11, Бюл. № 1. – 6 с.

13 Пат. 2435906 Российская Федерация, МПК Е 02 D 17/20. Способ закрепления горных склонов от оползней / Еналдиева М. А.; заявитель и патентообладатель Еналдиева М. А. – № 2010123161/03; заявл. 07.06.10; опубл. 10.12.11, Бюл. № 34. – 6 с.

14 Пат. 2439249 Российская Федерация, МПК Е 02 D 29/02. Способ закрепления оползней / Еналдиева М. А.; заявитель и патентообладатель Еналдиева М. А. – № 2010123161/03; заявл. 10.06.10; опубл. 10.01.12, Бюл. № 1. – 6 с.

15 Гинзбург, Л. К. Противооползневые сооружения: монография / Л. К. Гинзбург. – Днепропетровск: Лира ЛТД, 2007. – 188 с.

16 Knight, D. W. Boundary shear in symmetrical compound channels / D. W. Knight, M. E. Nared // Journal of Hydraulic Engineering. – 1984. – Vol. 110, № 10. – P. 1412–1430.

17 Пат. 2435907 Российская Федерация, МПК Е 02 D 17/20. Устройство для укрепления оползней в сейсмических зонах / Еналдиева М. А.; заявитель и патентообладатель Еналдиева М. А. – № 2010127665/03; заявл. 05.07.10; опубл. 10.12.11, Бюл. № 34. – 6 с.

18 Васильев, С. М. Противооползневые гибкие подпорные сооружения и оценка конструктивных решений / С. М. Васильев, Е. А. Акбашева // Современные проблемы науки и образования [Электронный ресурс]. – 2015. – Вып. 1. – С. 419. – Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=19562>.

19 Хуан, Я. Х. Устойчивость земляных откосов / Я. Х. Хуан. – М.: Стройиздат, 1988. – 240 с.

References

1 Bolt B.A., Horn W.L., Macdonald G.A., Scott R.F., 1977. Geological Hazards. Rev. 2nd ed., Springer, 341 p. (In English).

2 Chernomorets S.S., 2003. *Regeneratsiya selevoy massy* [Regeneration of Mudflow]. *Zashchita narodnokhozyaystvennykh ob"ektov ot vozdeystviya selevykh potokov: Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya* [Protection of national economic facilities from the effects of mudflows: International Scientific Technological Conference]. Novocherkassk – Pyatigorsk, vol. 1, pp. 29-30. (In Russian).

3 Lamerdonov Z.G., 2004. *Gibkie beregozashchitnye sooruzheniya, adaptirovannye k morfologicheskim usloviyam rek* [Flexible Coastal Protection Structures Adapted to the Morphological Conditions of Rivers]. Nalchik, KBGSHA Publ., 151 p. (In Russian).

4 Box G.E.P., Tidwel P.W., 1962. Transformations of the Independent Variables. *Technometrics*, vol. 4, pp. 531-550. (In English).

5 *Tekhnicheskie resheniya gabionnykh konstruktsiy: sbornik tipovykh resheniy* [Engineering Decisions of Gabion Structures: a collection of standard decisions]. 1996. CJSC Gabions Maccaferri SNG. Moscow, 32 p. (In Russian).

6 Su J. [et al.], 2015. Numerical simulation of flexible gabion arch dam to prevent and control debris flow blocks. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 37, no. 2, pp. 269-275. (In English).

7 Sikkim Himalaya, Bhasin R. [et al.], 2002. Landslide hazards and mitigation measures at Gangtok. *Engineering Geology*, vol. 64, no. 4, pp. 351-368. (In English).

8 Ivonin V.M., Terteryan V.A., 2003. *Eroziya pochv i protiverozionnyye sistemy: ucheb. posobie dlya vuzov* [Soil Erosion and Erosion-preventing Systems: study guide for universities]. Rostov n/Don, SKNTS VS, 156 p. (In Russian).

9 Khashirova T.Yu., 2007. *Okhrana gornyykh i predgornyykh landshaftov upravleniem tverdogo stoka* [Protection of Mountain and Foothill Landscapes by Solid Runoff Control]. Nalchik, Polygraphservice and T. Publ., 220 p. (In Russian).

10 Vasil'ev S.M., Akopyan A.V., 2016. *Opolzni i ikh proyavlenie na territorii Rostovskoy oblasti* [Landslides and their manifestation on Rostov region territory]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa* [Bull. of the Nizhnevolzhskiy Agro-University Complex], no. 1(41), pp. 177-184. (In Russian).

11 Kuznetsov E.V., Khadzhi A.E., 2014. *Sel'skokhozyaystvennyy meliorativnyy kompleks dlya ustoychivogo razvitiya agrolandshaftov: praktikum k provedeniyu laborator. rabot* [Agricultural Land Reclamation Complex for Sustainable Development of Agrolandscapes: Practicum for conducting laboratory works]. Krasnodar, EDVI, 200 p. (In Russian).

12 Enaldieva M.A., 2011. *Sposob ankerovki opolznevyykh sklonov* [Method of Anchoring Landslide Slopes]. Patent RF, no. 2437985. (In Russian).

13 Enaldieva M.A., 2011. *Sposob zakrepleniya gornyykh sklonov ot opolzney* [The Method of Securing Mountain Slopes from Landslides]. Patent RF, no. 2435906. (In Russian).

14 Enaldieva M.A., 2012. *Sposob zakrepleniya opolzney* [The method of Strengthening Landslides]. Patent RF, no. 2439249. (In Russian).

15 Ginzburg L.K., 2007. *Protivoopolznevyye sooruzheniya: monografiya* [Landslide Protection Structures: monograph]. Dnepropetrovsk, Lira LTD Publ., 188 p. (In Russian).

16 Knight D.W., 1984. Boundary shear in the symmetrical compound channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 110, no. 10, pp. 1412-1430. (In English).

17 Enaldieva M.A., 2011. *Ustroystvo dlya ukrepleniya opolzney v seysmicheskikh zonakh* [Device for Strengthening Landslides in Seismic Zones]. Patent RF, no. 2435907. (In Russian).

18 Vasil'ev S.M., Akbasheva E.A., 2015. *Protivoopolznevyye gibkie podpornyye sooruzheniya i otsenka konstruktivnykh resheniy* [Landslide protection flexible retaining structures and evaluation of constructive solutions]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Urgent Issues of Science and Education], vol. 1, pp. 419, available: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=19562>. (In Russian).

19 Juan Ya.H., 1988. *Ustoychivost' zemlyanykh otkosov* [Stability of earth slopes]. Moscow, Stroizdat Publ., 240 p. (In Russian).

Еналдиева Мадина Анатольевна

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: доцент

Место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Северо-Кавказский горно-металлургический институт (Государственный технологический университет)

Адрес организации: ул. Николаева, 44, г. Владикавказ, Республика Северная Осетия – Алания, Российская Федерация, 362021

E-mail: teodolit68@mail.ru

Enaldieva Madina Anatolievna

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Associate Professor

Affiliation: North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University)

Affiliation address: st. Nikolaeva, 44, Vladikavkaz, Republic of North Ossetia – Alania, Russian Federation, 362021

E-mail: teodolit68@mail.ru