

БИОИНЖЕНЕРНОЕ УКРЕПЛЕНИЕ СКЛОНОВ НА ВЫРАЖЕННОМ РЕЛЬЕФЕ

В.С. ТЕОДОРОНСКИЙ, *проф. каф. ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства МГУЛ, д-р с.-х. наук,*

М.А. ФИЛИПЬЕВ, *асп. каф. ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства МГУЛ*

help-landscape@mail.ru, vst01@mail.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Рассматривается идея, предназначенная прежде всего для биоинженерного укрепления почв на выраженном рельефе от эрозионных процессов. Это описание особенностей, принципов, дизайна при строительстве с помощью биоинженерных методов. Описаны два подхода по биоинженерным методам укрепления почв: с помощью растительных компонентов и растительных компонентов, объединенных с простыми строительными конструкциями. Использование таких способов, как показывает практика, создает предпосылки для повышения устойчивости к неблагоприятным воздействиям среды и эстетической привлекательности городских территорий. Стабилизация склона с помощью растительности возможна в комплексе с простыми строительными материалами, с габионами, с декоративным камнем, деревянными или бетонными включениями. Описаны основные методы по биоинженерному укреплению почв на выраженном рельефе от эрозионных процессов, применяемые в развитых странах, которые могут быть применены на территории Российской Федерации. Единственное ограничение накладывает растительный компонент, который необходимо подбирать в соответствии с нашими климатическими условиями и требованиями для использования на выраженном рельефе. Большинство растений, применяемых при строительстве с помощью биоинженерных методов в других странах, не подходят для нашей местности. Особенность данных методов заключается в экономической выгоде при строительстве, по сравнению с другими методами, результат которых имеет такую же эффективность. Растительность становится дополнительным укреплением по мере развития корневой системы, которая, проникая в почву склона, связывает его в единую массу. В течение определенного времени инертные элементы конструкции уходят как бы на второй план, а растительность развивается и становится основным элементом укрепления склона.

Ключевые слова: биоинженерное укрепление почв, биоинженерные методы, живые черенки, живые фашины, живые связки растений, живые связки растений с деревянными кольями, живые стены, растительность в сочетании с габионами, растительность в сочетании с камнями.

Городские территории с выраженным рельефом во многих случаях подвержены деструктивным процессам, эрозии почв на поверхности крутых склонов (откосов). Анализ зарубежной практики и литературных источников показал, что для своевременной стабилизации и укрепления крутых склонов возможно применение различных способов так называемого «биоинженерного характера». Использование таких способов, как показывает практика, создает предпосылки для повышения устойчивости к неблагоприятным воздействиям среды и эстетической привлекательности городских территорий.

Основная идея стабилизации и укрепления откосов путем использования биоинженерных способов заключается в использовании травянистых, травяно-кустарничковых и кустарниковых растений, образующих разветвленную корневую систему. Правильно подобранные растения для укрепления склона (откоса) могут стать главным структурным

компонентом стабилизации. Стабилизация склона с помощью растительности возможна в комплексе с простыми строительными материалами, с габионами, с декоративным камнем, деревянными или бетонными включениями. Такой комплексный подход может обеспечить снижение сопротивления нагрузкам земляных масс и предотвратить деформацию склона на начальном этапе процесса стабилизации. Растительность становится дополнительным укреплением по мере развития корневой системы, которая, проникая в почву склона, связывает его в единую массу. В течение определенного времени инертные элементы конструкции уходят как бы на второй план, а растительность развивается и становится основным элементом укрепления склона.

Растительность как компонент стабилизации. Травянистые, травяно-кустарничковые растения и кустарники при оптимальном подборе ассортимента и правильном

выполнении технологии работ могут обеспечить долгосрочную защиту от эрозии почвы, ее «движения» на склонах при уклонах 1:3, 1:2,5. Растительность предотвращает поверхностную эрозию путем

- связывания и задерживания частиц почвы;
- уменьшения скорости движения осадков по поверхности склона;
- перехвата дождевых капель вегетативной массой, что не дает прямого попадания на поверхность склона;
- улучшения гранулометрического состава почвенного слоя и поддержания способности проникновения воды в почву склона;
- уменьшения циклов таяния снега и замораживания почвы на склоне.

Для наиболее эффективной защиты от поверхностной эрозии травянистая, травяно-кустарничковая растительность, как показывает опыт, может быть использована в сочетании с древесно-кустарниковыми растениями. Такие сочетания могут обеспечивать интенсивную защиту довольно крутых склонов, с соотношением сторон до 1:1,5. Почвенный слой склона укрепляется корнями и сохраняет влагу, предотвращается также явление «пучинистости».

Растительные компоненты совместно с простыми строительными материалами. Строительные конструкции из инертных материалов, укладываемые по склону, помогают стабилизировать склон от массового движения почвенных частиц и защитить его от сползания на начальном этапе. Затем идет процесс озеленения, посадок растений по укрепленному склону. Показано, что строительные конструкции играют роль в ускорении приживаемости растительности в течение критического периода прорастания корневой системы растений. Без стабилизации строительными конструкциями растения не успели бы прижиться.

Особенности использования биоинженерных способов обработки склонов. Биоинженерные способы укрепления почв имеют ряд основных ограничений, таких как крутизна откоса, освещенность местности, гидрологические условия, поэтому воз-

никает необходимость учитывать экологические особенности местности и привлекать к решению специалистов разных областей науки и практики. Показано, что применение данных способов эффективно и может укреплять склоны набережных рек, ручьев, при защите и ремонте оврагов. Недопустимо применение данных способов в ситуациях с непригодными токсичными грунтами для роста и развития растений, а кроме того, не подходят для заболоченной местности или укрепления берегов водоемов с высоким уровнем грунтовых вод, куда растительность может быть погружена в течение длительных периодов.

Биоинженерный способ можно охарактеризовать следующими признаками:

– *Экологическая совместимость.* Способ требует минимальных расходов на оборудование и трудозатрат, оказывает относительно незначительное воздействие на местность. Это является приоритетным соображением в экологически чувствительных областях, таких как парки, лесистые местности, прибрежные территории, где эстетическое качество, ареал обитания диких животных и подобные ценности могут быть по значимости на первом плане.

– *Эффективность издержек.* Растительные компоненты совместно с простыми строительными конструкциями экономически выгоднее, чем использование часто применяемых способов укрепления склонов, например путем бетонирования поверхности откосов, что является трудоемким, а затраты на оплату труда и материалы намного выше, чем при биоинженерном способе.

– *Сроки посадки растений.* Биоинженерные способы с использованием растительных компонентов могут быть применены в течение бездействующего сезона строительства, обычно осенью и в начале весны.

– *Биоинженерные способы.* Являются альтернативой в той местности, где использование строительной техники и оборудования невозможно, ручной труд является приоритетным.

– *Использование местного посадочного материала.* На прилегающей территории

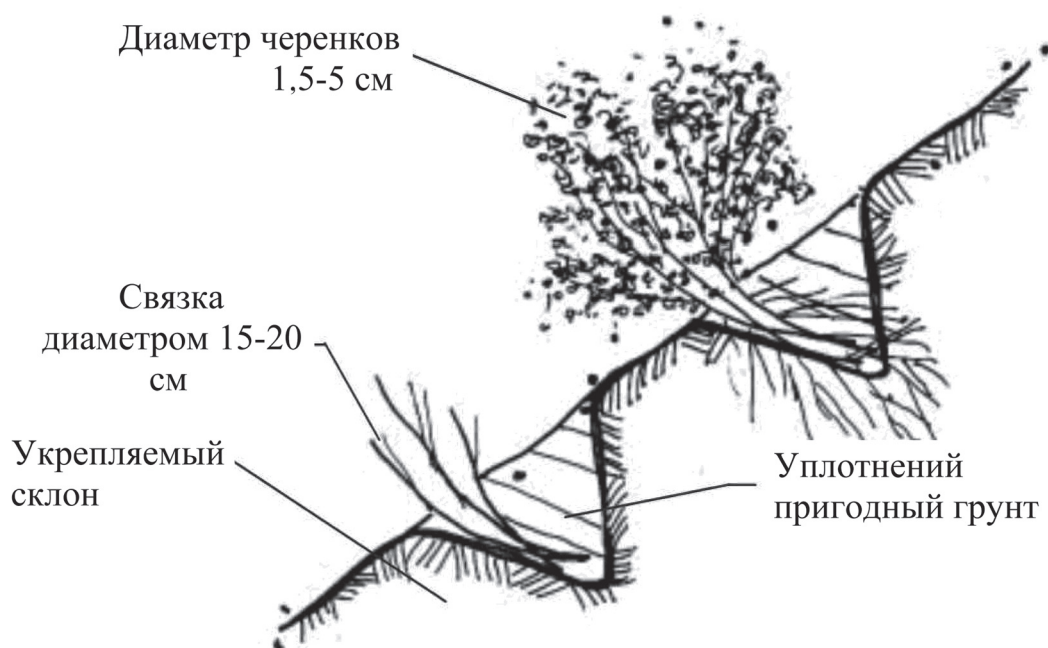


Рис. 1. Биоинженерный способ укрепления почв живыми связками черенков «Brushlayer»
Fig. 1. The method of strengthening soil bioengineered ligaments live cuttings «Brushlayer»

может быть использована произрастающая растительность.

– *Требования к обслуживанию.* Биоинженерные конструкции требуют соответствующего обслуживания, которое заключается в тщательном техническом осмотре и уходе за растениями в период их укоренения и адаптации на местности. Как правило, растительность в первый период уязвима от внешних факторов среды, от вытаптывания, засухи, дефицита питательных веществ, подвержена воздействию токсинов и вредителей.

Основные биоинженерные способы стабилизации склонов. Данные ниже приводимых способов не являются универсальной конструкцией для всех территорий с выраженным рельефом. Каждая отдельная местность обладает своими характерными чертами и особенностями и требует отдельной проработки.

Способ укрепления живыми черенками («Live stake»)

Способ используется для предотвращения поверхностной эрозии. Живые черенки сажают перпендикулярно в склон и уплотняют почву. Если склон правильно подготовлен и посадка черенков будет произведена с необходимыми требованиями, то растения, с

большой вероятностью, укоренятся и начнут выполнять укрепляющую роль. Система черенков создает плотную разветвленную корневую систему, которая стабилизирует склон, укрепляя и связывая частицы почвы. Большинство черенков вида ивы быстро укореняются и начинают выполнять функцию по защите от эрозии почвы вскоре после посадки. Данный способ применим для относительно несложных склонов с соотношением сторон 1:2, когда время и бюджет на строительство ограничены. Он улучшает условия для естественного возобновления и распространения окружающей растительности. Способ может использоваться совместно с другими биоинженерными методами укрепления.

Способ укрепления живыми фашинами («Live fascine»)

Конструкция представляет собой скрученные между собой, как правило ивовые, быстро укореняемые черенки, связанные друг с другом с помощью проволоки или бечевки, образующие длинную связку прутьев. Эта связка устанавливается вдоль склона в специально вырытые траншеи. Затем связка из черенков начинает укореняться, тем самым способствуя укреплению почвенного слоя склона. Способ эффективен при стаби-

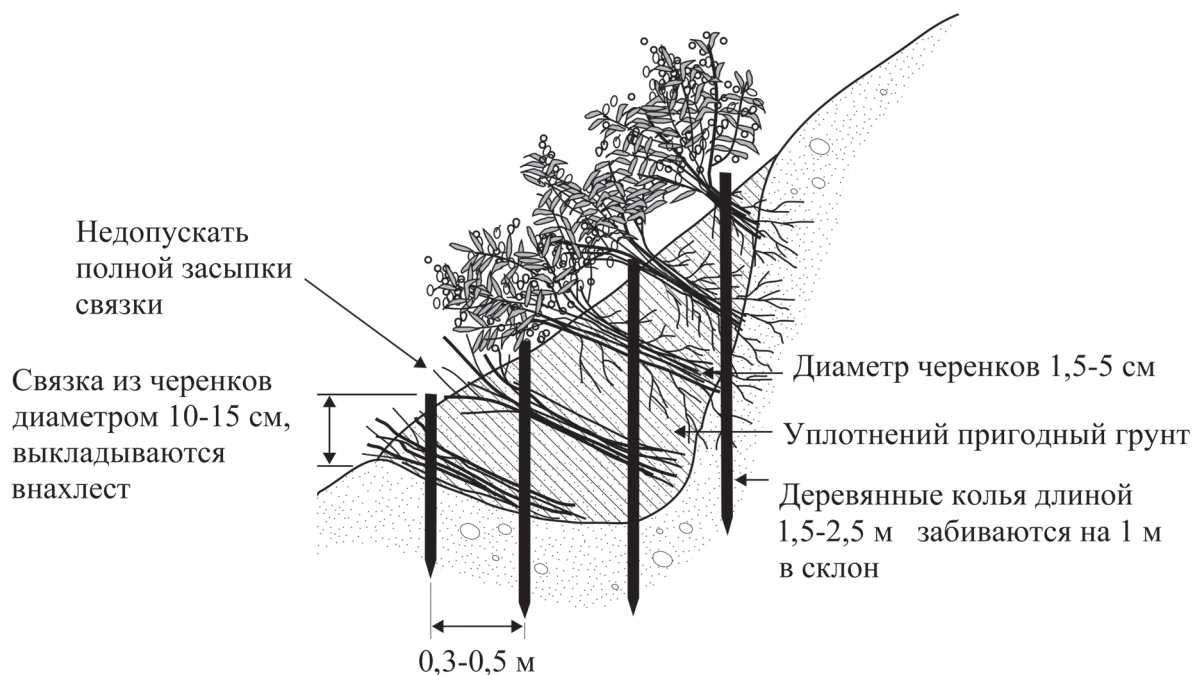


Рис. 2. Способ укрепления склона связками живых черенков в сочетании с кольями
Fig. 2. The process of slope strengthening with the ligaments of live cuttings in combination with stakes

лизации склона с поверхностным слоем почвы, крутых склонов с соотношением сторон до 1:1. После установки конструкция сразу же уменьшает поверхностную эрозию. Она применима для крутых, каменистых склонов, так как не требует глубокого заглубления, создает микроклимат, способствующий росту растительности.

Способ укрепления живыми связками черенков «Brushlayer»

Способ подобен предыдущему методу. Так же скручиваются черенки растений, но не объединяются в общую длинную связку, а устанавливаются перпендикулярно в вырытые траншеи на склоне. Перпендикулярная ориентация связанных растений более эффективна с точки зрения укрепления склона, рекомендуется применять на склонах с соотношением сторон до 1:2. *Эффективность способа.* С помощью рядов живых связок можно сформировать склон и сделать его более пологим. Связанные прутья растений укрепляют склон сразу же после установки. При развитии корневой системы добавляется сопротивление поверхностной эрозии. Предотвращает разрушение склона. Происходит насыщение влагой или осушение чрезмер-

но увлажненных территорий с выраженным рельефом. Улучшает микроклимат в районе склона, что также способствует естественной регенерации растительности и укреплению склона (рис. 2).

Способ стабилизации склона связками живых черенков с деревянными кольями «Branchpacking»

Живые связки черенков скручиваются между собой и высаживаются на подготовленном склоне. Сначала у основания склона вбиваются деревянные колья, затем высаживаются связки растений, подсыпается и утрамбовывается земля, и далее в той же последовательности по всей длине склона. Способ эффективен на склонах с выраженным рельефом с соотношением сторон до 1:1 (рис. 2).

Способ стабилизации живыми стенами «Live cribwall»

Суть способа представляет собой подобие строительства «спичечного домика», как сооружения из инертных материалов, таких как бетонные столбы или деревянные брусья, уложенные друг на друга таким образом, чтобы в стенах конструкции оставались зазоры, а центральная часть конструкции фор-

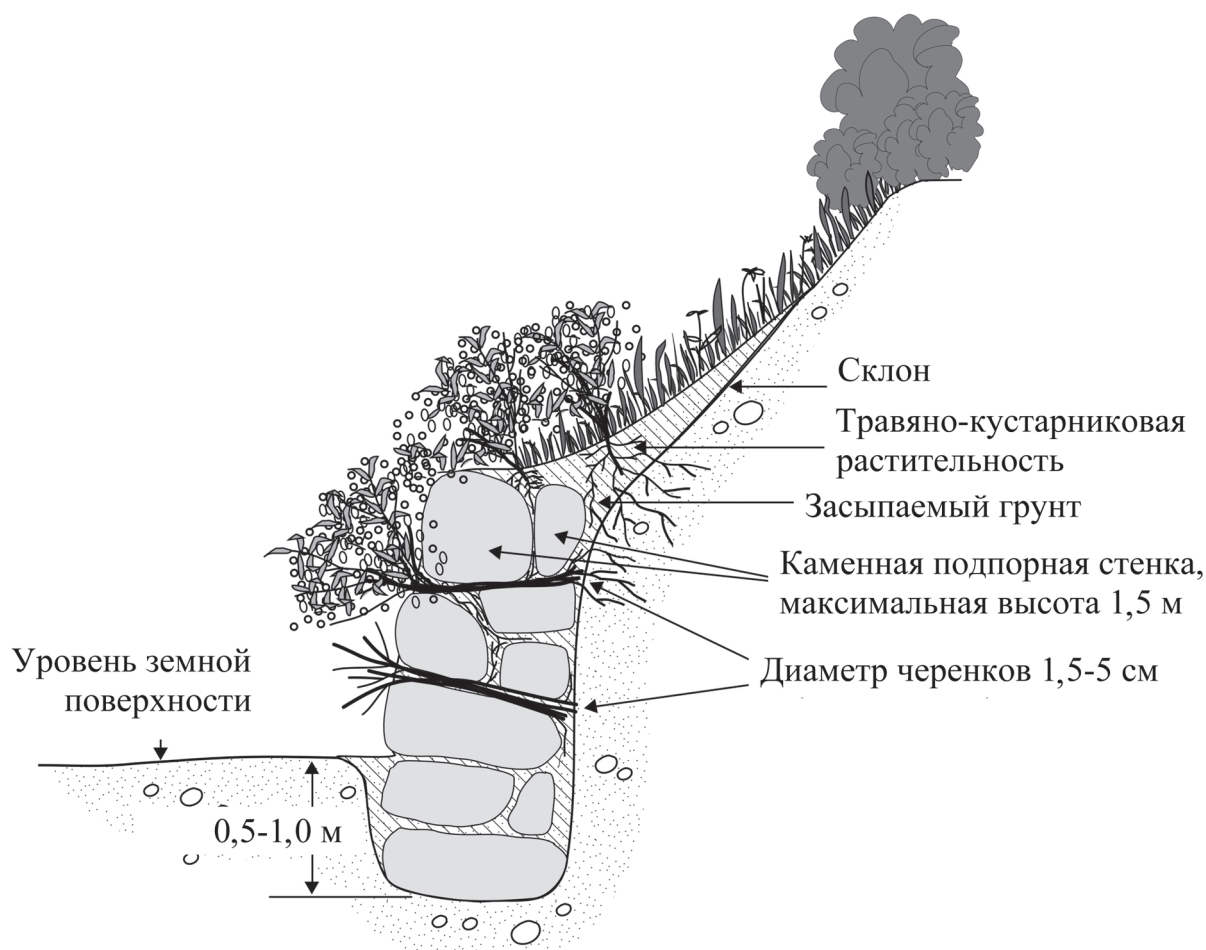


Рис. 3. Способ укрепления склона растениями в сочетании с камнем
Fig. 3. The process of slope strengthening with the plants in combination with stone

мировалась подобно «полой коробке». Далее через зазоры в стенках данной конструкции просовывают черенки растений, а внутреннюю часть «полой коробки» засыпают грунтом. После укоренения растения постепенно принимают на себя основные функции укрепления склона.

Применение и эффективность *способа живыми стенами*.

- Способ фактически может быть заменой на участках с выраженным рельефом, где обычно устанавливают невысокие бетонные подпорные стены.

- Способ не предназначен для сопротивления большим боковым земным нагрузкам. Максимальная высота такой конструкции не должна превышать 2 м, включая подземную часть.

- Способ применим там, где пространство ограничено и вертикальная подпор-

ная стенка необходима. Способ обеспечивает непосредственную защиту от поверхностной эрозии почв, а также долгосрочное укрепление крутого склона. Конструкция должна устраиваться с наклоном в сторону склона, так как объем земляных масс может выдавить всю конструкцию или ее части.

Способ сочетания растительности с габионами «Vegetated rock gabions»

На подготовленном склоне устанавливается первый ряд габионов с наполнением из инертного материала, сверху выкладываются черенки, с тем, чтобы они соприкасались с подготовленным почвенным слоем, за габионами; сверху устанавливается следующий ряд габионов; далее размещаются растения последовательно в каждый слой между габионами. Способ является альтернативой на участках с выраженным рельефом, где обычно устанавливают невысокие бетонные

подпорные стены; максимальная высота такой конструкции не должна превышать 2,5 м, включая подземную часть.

Способ сочетания растительности в сочетании с камнями «Vegetated rock wall»

Способ предназначен для больших боковых нагрузок со стороны склона и заключается в устройстве каменной подпорной стенки в сочетании с высаживаемыми растениями между камнями; связующим компонентом раствора является глина; со временем, с развитием корневых систем растений осуществляется основная функция стабилизации склона. Максимальная высота биоинженерной конструкции не должна превышать 1,5 м, включая подземную часть (рис. 3).

Библиографический список / References

1. Алперин, И.Е. Укрепление берегов судоходных каналов, рек и водохранилищ / И.Е. Алперин, Л.С. Быков, В.Б. Гуревич. — М.: Транспорт, 1973. Alperin I.E., Bykov L.S., Gurevich V.B. *Ukreplenie beregov sudokhodnykh kanalov, rek i vodokhranilishch* [Consolidation of navigable canals, rivers and reservoirs]. Moscow: Transport, 1973.
2. Кривицкий С.В. Биоинженерная защита берега водоема / С.В. Кривицкий // Экология и промышленность России, 2007. — № 1. — С. 4–6. Krivitskiy S.V. *Bioinzhenernaya zashchita berega vodoema* [Bioengineering protection of the waterfront] *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2007. No. 1. pp. 4-6.
3. Coppin N.J., Barker D.L., and Richards I. Use of vegetation in civil engineering. Butterworths, Sevenoaks, Kent, England. 1990.
4. Fridl W.F., Demetrious P.E. Biotechnical bank stabilization. Public Works. 1982.
5. Gray D.H. Proceedings: Workshop on biotechnical stabilization. The University of Michigan. 1991.
6. Gray D.H., Leiser A.T., White C.A. Combined vegetative-structural slope stabilization. Amer. Assoc. Civil Eng. 1980. Vol. 50, No. 1, pp. 82-85.
7. Gray D.H., Sotir R. Biotechnical stabilization of a highway cut slope. J. Geotechnical Eng. Amer. Assoc. Civil Eng. 1992. Vol. 118, No. 9.2.
8. Hynson J.R., Adamus P.R., Elmer J.O., Dewan T. Environmental features for levee projects. U.S. Army Corps of Eng., Wash., DC, Tech. Rep. E-83. 1983.
9. Kropp A. Biotechnical stabilization of a debris flow scar. Proceedings, XX Intl. Erosion Control Assoc. Conf., Vancouver, BC. 1989. pp. 413-429.
10. Lake D.W., Dickerson J.A. Cost effective biotechnical slope protection trials in New York. Amer. Soc. Agric. Eng. Pap. No. 892654. 1989 Intl. ASAE meeting, New Orleans, LA. 1989.
11. United States Navy. Soil bioengineering major gully washout repair, Silverhill Airfield, Baldwin County, AL, Naval Civil Eng. Lab., Port Hueneme, CA. 1991.

BIOENGINEERING SLOPE STABILIZATION AT EXPRESSED RELIEF

Teodoronsky V.S., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Agricultural); **Filip'ev M.A.**, gr. MSFU

help-landscape@mail.ru, vst01@mail.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

This article regards the idea of bioengineering strengthening of soils on the marked relief in order to avoid erosive processes. This is the description of features, principles and design when constructing by means of bioengineering methods. Two approaches on bioengineering methods of strengthening of soils are described: by means of vegetable components and vegetable components combined with simple construction designs. The use of such means in practice creates the preconditions for enhancing both resistance to the adverse effects of the environment and aesthetic appeal of urban territories. Slope stabilization using vegetation is possible in combination with simple building materials, with «gabions», decorative stones, wooden or concrete inclusions. The basic methods for bioengineering strengthening of soils on the marked relief in order to avoid erosion processes are described. They are used in the developed countries, and thus, can be applied on the territory of the Russian Federation. The only limitation imposes a vegetable component, which should be selected in accordance with our climatic conditions and requirements for the use on the marked relief. Most of the plants used in the construction by means of bioengineering methods in other countries are not suitable for our area. The main characteristic of these methods consists in economic benefits during the construction, compared to the other methods, which have the same result. The vegetation becomes an additional strengthening element with the development of the root system that penetrates into the slope soil, and thus, consolidates it. Within a certain time inert structural elements go to the background, and vegetation develops and becomes the main element of the strengthening of slopes.

Keywords: bioengineering strengthening of soils, bioengineering methods, live cuttings, live fascines, plants with wooden stakes, live walls, vegetation in combinations with gabions, vegetation in combination with stones.