

СВОЙСТВА ЛЬДА И МЕРЗЛЫХ ПОРОД

УДК 624.131.1:502 (571.121)

МЕТОД ЗАЩИТЫ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ ОТ ЭРОЗИИ

А.В. Елисеев, В.Г. Чеверев

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический ф-т,
119991, Москва, Ленинские горы, Россия, water@geol.msu.ru*

Предложен новый инженерно-биологический метод защиты от водной эрозии грунтов различной дисперсности. Он основан на оригинальном способе подбора оптимальной концентрации водного раствора поливинилового спирта, используемого в качестве рекультиванта. Метод позволяет одновременно получить защищающее от эрозии пленочное покрытие и создать благоприятные стартовые условия для формирования сплошного дернового слоя.

Эрозия грунтов, методы защиты, рекультивация

METHOD OF EROSION PROTECTION OF THE DISPERSED SOILS

A. V. Eliseev, V. G. Cheverev

*Lomonosov Moscow State University, Department of Geology,
119991, Moscow, Leninskiye Gory, Russia, water@geol.msu.ru*

A new bio-engineering method for soil protection from water erosion has been suggested. This method is based on original way of selecting optimal polyvinyl alcohol solution concentration. This solution is used as reclaiming substrate. It allows simultaneous obtaining the protective membranous cover and creating favorable basic conditions for the formation of continuous plant stratum.

Soil erosion, protection methods, reclaiming

ВВЕДЕНИЕ

Нарушение растительного покрова северных ландшафтов при хозяйственном освоении территории приводит к активизации эрозионных процессов и развитию овражной сети. Существенная экологическая проблема на Севере возникает также при устройстве многочисленных песчаных карьеров. Решение проблемы рекультивации эродированных ландшафтов на Севере позволит решить и проблему защиты земляных сооружений от опасных эрозионных процессов. В обоих случаях требуется техническая и биологическая защита песчаного субстрата от эрозии, так как, например, на территории Западной Сибири широко распространены тонкодисперсные грунты. Именно из них производят отсыпку дорог, промплощадок и дамб [Ананенков и др., 2000].

В настоящее время существуют различные методы, позволяющие в определенной степени решать указанные проблемы. Их можно объединить в три основные группы: методы инженерной, биологической и инженерно-биологической противозерозионной защиты (или рекультивации). При этом не

исключается, что некоторые эродированные ландшафты при благоприятных условиях могут быть оставлены на самозарастание.

Методы инженерной защиты. Инженерная защита территории от эрозии основана на использовании, во-первых, класса пространственных армирующих структур из синтетических или других искусственных материалов, таких как геосетки, георешетки, геоматы, габионы, нетканые материалы, во-вторых, на применении класса вяжущих материалов, например, латекса, поливинилового спирта, нерозина, мочевиноформальдегидных препаратов, отходов нефтепереработки, отработанных буровых растворов и т. д. [Чеверев, 1996; Чугунов и др., 1996; Ананенков и др., 2000]. К методам инженерной защиты территории от эрозии можно отнести также приемы, снижающие энергию водного потока путем планировки местности.

Инженерные методы весьма надежны и предпочтительны на отдельных участках с высокой крутизной (более 6–15°), там, где образуются локальные водные потоки с высокой энергией размыва.

Их недостатками являются высокая стоимость материалов и сложность механизации для одних, повышение общего уровня загрязненности территории для других.

Несмотря на то что биологические или инженерно-биологические методы при условиях высоких энергий водных потоков не гарантируют полной защиты от эрозии грунтов, они незаменимы при защите от эрозии больших площадей со слабой и умеренной энергией водных потоков.

Методы биологической защиты. Биологическая защита основана на восстановлении на эродированном рельефе растительного слоя (в основном многолетних злаковых трав и кустарников). Осуществляется она путем оторфовывания субстрата, задержания его демутационным способом, внесения альгофитомелиоранта, пропитки бентонитовым буровым раствором, засева оптимальным составом растений-рекультивантов, посадки кустарников и т. д. [Ананенков и др., 2000].

Применение только биологических приемов проблемы противоэрозионной защиты не решает, так как без каких-либо технических средств трудно создать противоэрозионный эффект и благоприятные по влажности и температуре стартовые условия для прорастания и укоренения на защищаемом субстрате дернообразующих трав. Посеянные семена уносятся ветром, смываются атмосферными осадками, а минеральные удобрения и стимуляторы роста вымываются из формируемого почвенного слоя. К тому же без пленочного покрытия, например, песчаные грунты быстро высыхают и теряют влагу, необходимую для растений.

Методы инженерно-биологической защиты. Инженерно-биологическая защита проходит в два этапа – инженерный и биологический. На первом этапе проводятся профилактические мероприятия, направленные на стабилизацию грунтов от эрозионных процессов. Требуемый эффект достигается путем применения двух приемов: формирование противоэрозионных форм рельефа местности и создание противоэрозионного профилактического покрытия.

Суть первого приема заключается в изменении морфологии эрозионных участков с целью уменьшения энергии размывающего потока. Это достигается путем выполаживания поверхности склонов, предотвращения локализации водных потоков в виде крупных ручьев, создания различных перегородок на пути плоскостного смыва (террасирование) и т. д. Второй прием служит для закрепления созданных противоэрозионных форм рельефа путем нанесения на поверхность субстрата искусственного профилактического противоэрозионного покрытия.

Последующий биологический этап защиты представляет собой задержание созданного на первом этапе ландшафта. Он осуществляется после

планировки рельефа, но одновременно с созданием искусственного противоэрозионного покрытия. То есть закрепляющая пропитка поверхности минерального субстрата раствором мелиоранта осуществляется после (или во время) внесения в поверхностный слой грунта семян многолетних трав, удобрений и гуматов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведенные нами ранее многолетние лабораторные и полевые исследования позволили предложить технологию инженерно-биологической защиты грунтов от эрозии и рекультивации песчаных карьеров на основе применения экологически безопасного рекультиванта – водного раствора поливинилового спирта (ПВС) малых концентраций. Новизна технологии подтверждена патентами [Способ..., 1993; Композиция..., 2006; Способ..., 2006].

Полевые исследования. Разработка технологии инженерно-биологической защиты территории от эрозионных процессов, основанной на использовании раствора ПВС, проводилась нами на территории газоконденсатного месторождения Медвежье начиная с 2003 г. Для полевых испытаний был выбран закрытый песчаный карьер. К технологии предъявлялись следующие требования. Она должна, во-первых, обеспечивать благоприятный для растений влажностный режим в корнеобитаемом слое грунта, во-вторых, защищать его от эрозии и вымывания питательных веществ и, в-третьих, сочетать в себе возможность механизации с экономической эффективностью.

На опытных площадках полигона проводился поиск оптимальной концентрации раствора ПВС в диапазоне от 0,5 до 3 % [Чеврев и др., 2005]. Для мелко- и среднезернистого песка из данного карьера была установлена оптимальная концентрация 1 %. Полимер создает эластичную пористую ячеистую структуру в верхнем 2–3-сантиметровом слое песка с пленкой на поверхности, которая удерживает его от эрозии. Она защищает грунт не только от размыва, но и от высыхания и вымывания питательных веществ и семян, внесенных ранее. Полимерная пленка, с одной стороны, достаточно прочна, чтобы выдержать воздействие эрозионных процессов, с другой – достаточно эластична, чтобы не препятствовать росту растений. Четырехлетние наблюдения на опытном полигоне показали, что в результате применения полимера указанной концентрации был получен устойчивый дерновый покров. Участки песчаного карьера, прилегающие к опытному полигону, на которых не создавалось профилактического покрытия, использовались для сравнения. На них за прошедшие четыре года не появилось никакой растительности, т. е. самозарастания песчаной поверхности местными видами не происходило.

На полигоне также исследовалась возможность применения раствора полимера с добавлением к песку порошка бентонитовой глины (как почвообразующего минерала) в весовом соотношении 1, 2 и 4 %. Однако на таких площадках ввиду адсорбции молекул ПВС на глинистых частицах в испытуемом слое не произошло образования защитной пленки на поверхности минерального субстрата.

Лабораторные исследования. Поведение молекул полимера в грунте при его смачивании меллиорирующим раствором исследовалось в лаборатории. Результаты показали, что раствор, попадая в грунт, движется вниз под действием силы тяжести до тех пор, пока вся жидкость, находящаяся на поверхности, не впитается. После этого раствор задерживается в верхнем слое благодаря действию капиллярных сил.

Согласно принятой нами технологии, раствор ПВС методом дождевания равномерно наносился на поверхность образцов грунтов из расчета 10 л на 1 м². Это создавало слой воды толщиной 1 см. При этом минимальный столб капиллярного поднятия даже в гравелистых песках составляет 10 см, что гарантирует от стекания раствора ПВС в дисперсных грунтах в глубь массива только под действием силы гравитации.

После впитывания и удержания раствора полимера капиллярными силами в верхнем 2–3-сантиметровом слое грунта движение молекул ПВС вниз может идти только под действием градиента концентрации его в растворе. Это движение медленное, на молекулярном уровне. В процессе высыхания обработанного слоя происходит обратное движение молекул ПВС вверх вместе с молекулами воды молярным путем. Известно, что скорость молярного передвижения в воде значительно выше скорости молекулярного, следовательно, в нашем случае преобладает перемещение полимера вверх в зону испарения.

Проведенный анализ опытных данных показал, что концентрирование полимера у поверхности (образование пленочного профилактического покрытия) зависит от интенсивности испарения влаги с поверхности грунта. На концентрирование полимера также влияет тип грунта, в основном его гранулометрический состав. Глинистые и пылеватые частицы адсорбируют полимер на своей поверхности и удерживают его в порах, препятствуя движению молекул ПВС к поверхности испарения влаги. Влияние этого фактора в песке, естественно, будет минимальным, а в глинах – максимальным. Такой фактор будет препятствовать образованию защитной пленки в глинистых грунтах, что и было подтверждено полевыми и лабораторными исследованиями. В конечном счете решающее влияние на подбор оптимальной рецептуры метода оказывают только два фактора: дисперсность грунта и интенсивность испарения влаги с его поверхности, зависящая от погодных условий.

Для выявления закономерностей поведения ПВС внутри различных грунтов в 2004–2007 гг. была проведена серия лабораторных опытов. Цель исследований – уточнение поведения раствора ПВС в различных песчаных субстратах в промежуток времени от нанесения раствора на образец грунта до его высыхания через обработанную полимером поверхность. Для выполнения поставленной цели сформулированы три основные задачи: 1) проследить динамику испарения влаги из образцов за период их сушки, 2) установить закономерность распределения ПВС по глубине образцов после их высушивания, 3) определить характер распределения влаги в образцах грунтов после их просушивания.

Для выполнения поставленных задач было проведено пять серий опытов и одно отдельное испытание. Каждая серия делилась на два этапа: на первом этапе изучали испарение влаги из образцов, обработанных раствором ПВС различных концентраций (0, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 %), и определяли конечное распределение влаги по глубине; на втором получали конечное распределение полимера по глубине. Каждая серия повторяла одни и те же исследования, различался только грунт. Для испытания были взяты песок пылеватый, супесь, суглинок и глина.

Для выполнения работ в рамках *первого этапа* было подготовлено пять образцов, которые помещались в стаканчики емкостью 200 мл. Грунт засыпался постепенно, небольшими порциями, до отметки 170 мл, с постоянным постукиванием металлической палочкой по стакану (для достижения плотного состояния грунта). Перед опытами определялась начальная масса образцов. Затем образцы капиллярно насыщались водой, что имитировало природную обстановку, существующую на песчаных отсыпках после дождя.

Следующий шаг – обработка поверхности образца раствором ПВС различных концентраций. В каждый стаканчик наливали раствор нужной концентрации (0, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 %). Объем рассчитывали умножением площади поверхности грунта в стаканчике на толщину слоя 1 см. По аналогичной методике определялся объем раствора и при полевых исследованиях.

После всех подготовительных мер образцы помещались в аппарат под струю воздуха. С одной стороны, это позволяло интенсифицировать процесс испарения, с другой – моделировать природную обстановку. Скорость воздушного потока на протяжении всех опытов задавалась в диапазоне 3–5 м/с. Эксперимент длился 24 ч, замеры производились через 5, 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 480 и 1440 мин после начала опыта.

На *втором этапе* производилась разделка образца на слои. Вначале отделялась полимерная пленка, далее 1 см от поверхности, 2 см, 3 см и оставшиеся 3 см грунта. Грунт перекладывался в бюк-

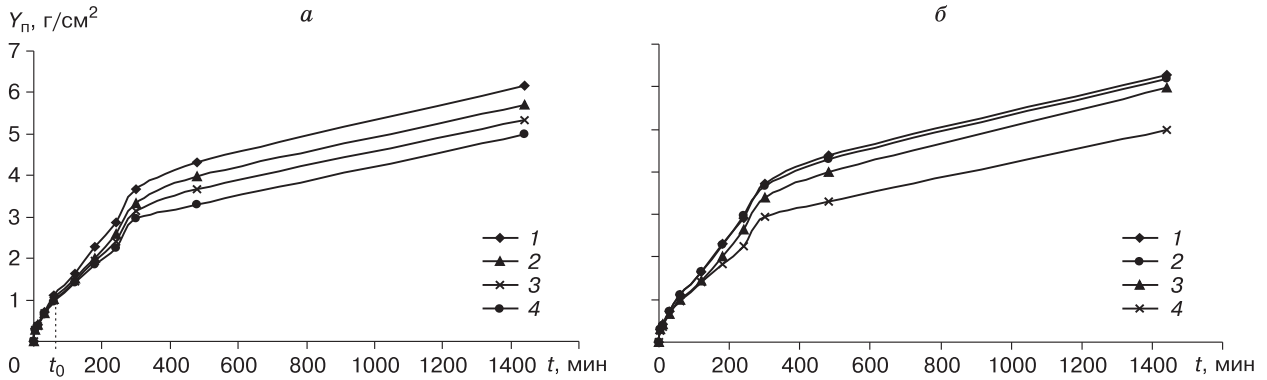


Рис. 1. Скорость удельного испарения влаги (Y_p) с поверхности различных грунтов во времени после обработки ее раствором ПВС различной концентрации ($C_{ПВС}$):

a – скорость удельного испарения влаги из супеси, $C_{ПВС}$: 1 – 0 %, 2 – 1,0 %, 3 – 1,5 %, 4 – 2,0 %; *б* – сравнение суммарного удельного испарения из глины (1, 2) и песка (3, 4), $C_{ПВС}$: 1, 3 – 0 %, 2, 4 – 2,0 %.

сы, взвешивался и помещался в сушильный шкаф на 5 ч. Затем измерялась масса сухого грунта и рассчитывалась влажность каждого выделенного слоя. Следующий шаг – закладка образцов в тигли, замер их начальной массы на аналитических весах и помещение в муфельную печь с температурой 700 °С. Время выжигания полимера в печи составляло 30 мин. После извлечения из печи грунт взвешивался на аналитических весах и рассчитывалось послыйное содержание полимера.

Третий этап работ отделен от предыдущих двух только логически, так как методически это, по сути, повторение первого и второго этапов. Создаются одинаковые образцы по той же методике, однако время испарения влаги из образцов определяется первым этапом, где фиксируется начало пленкообразования. Это видно по отклонению кривой скорости испарения из обработанных полимером образцов от кривой, полученной из образца, насыщенного чистой водой, принятого в качестве эталона (рис. 1).

Необходимость выбора определенного времени разделки образца связана с тем обстоятельством, что начальное распределение полимера достаточно условное понятие. Так как механизм миграции точно не известен, в этом случае достаточно четко во всех образцах можно выделить только одну характерную точку – момент времени (t_0), когда влияние полимерной пленки на испарение влаги с поверхности грунта становится заметным. Это точка, от которой считают начальное распределение влаги и полимера (см. рис. 1, *a*). Каждая из пяти серий опытов проводилась с описанной последовательностью и по одной и той же методике.

Полученные результаты представлены на рис. 1–3. Их анализ проводился исходя из требований по сохранению влаги в грунте и противоэрозийной устойчивости. Опыты подтвердили способность полимерной пленки препятствовать испаре-

нию влаги из грунта. Желаемый эффект начинал проявляться уже через 30–40 мин. Однако видно, что в глинах уменьшение суммарного испарения для образца, обработанного 2%-ным раствором ПВС относительно контрольного (0 %), значительно меньше, чем в песке. Суммарное испарение в глинах оказалось выше (см. рис. 1, *б*).

По конечному распределению влаги по глубине образца отчетливо прослеживается общая закономерность у всех защищенных полимером образцов: на глубине от 1 до 3 см выделяется зона повышенной влажности. Она более четко выражена в песчаных и суглинистых образцах, обработанных более концентрированными растворами полимера [Чеве́рев и др., 2005]. Для глин эта зона выделяется вне зависимости от присутствия или отсутствия ПВС (рис. 2). По кривым конечной влажности для образцов, увлажненных чистой водой, достаточно легко прослеживается изменение влажности в зависимости от типа грунта в выделенном на глубине

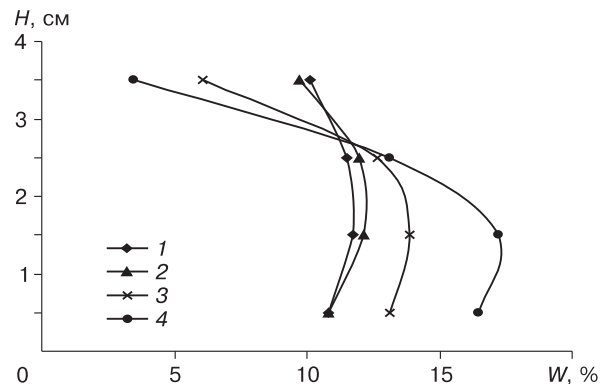


Рис. 2. Распределение весовой влажности (W) по глубине (H) образца глины, обработанной раствором полимера различной концентрации ($C_{ПВС}$):
1 – 0 %, 2 – 1,0 %, 3 – 1,5 %, 4 – 2,0 %.

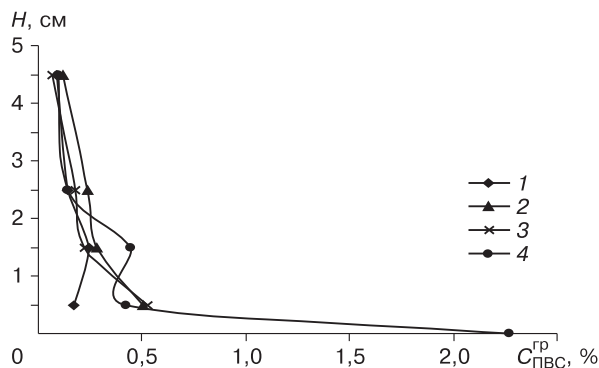


Рис. 3. Удельное содержание полимера относительно сухого грунта ($C_{ПВС}^{гр}$) по глубине (H) образца суглинка после формирования полимерной пленки: $C_{ПВС}$, %: 1 – 0,5, 2 – 1,0, 3 – 1,5, 4 – 2,0.

1–3 см слое. Она закономерно повышается с увеличением дисперсности грунтов: песок – 10,8 %, суглинок – 11,7 %, глина – 12,6 %.

Подобное влияние на распределение влаги по высоте образцов оказывает и ПВС, что четко видно при сравнении концентраций 0 % и 0,5–2,0 %. Но влияние полимера максимально в песках и минимально в глинах (см. рис. 1, б). Отсюда следует, что формированию влагозапаса для корней растений в ряду песок–суглинок удовлетворяет раствор полимера с концентрацией в диапазоне 1–2 %, для глины его применение нецелесообразно.

Если рассматривать полученные результаты с точки зрения противоэрозионной устойчивости, то необходимый эффект достигается при возникновении на поверхности образцов защитной полимерной пленки, наблюдавшейся во время полевых исследований. Лабораторные опыты показали, что необходимое покрытие образуется на песке при любой концентрации ПВС, начиная с 0,5 %. Для суглинка требуемая защитная пленка формируется при обработке его 2%-ным раствором полимера (рис. 3). В глинах образование полимерной пленки сильно затруднено, что и подтвердили исследования. Из сопоставления информации визуальных наблюдений и данных о распределении полимера по глубине образцов глины следует, что внесение раствора ПВС не приводит к образованию защитного пленочного покрытия на ней.

ВЫВОДЫ

1. Так как разрабатываемый метод предполагается использовать прежде всего на территории севера Западной Сибири, где широко распространены мелкодисперсные грунты, начиная от песков и заканчивая глинами, то остро стоит вопрос о поиске его области применения и универсализации метода в рамках этой области. Для решения этих двух про-

блем были проведены лабораторные исследования, которые подтвердили необходимость корректировки концентрации раствора полимера для различных типов грунтов.

2. Показано, что при обработке раствором ПВС поверхностного слоя грунта, состоящего из глинистых частиц, происходит заметная адсорбция полимера на минеральных поверхностях, в результате чего пленка при рассмотренных концентрациях (0–2 %) не образуется. Наоборот, в песках полимер молярно движется с водой к поверхности, где молекулы воды испаряются, а молекулы полимера скапливаются у поверхности, формируя защитную пленку. Из перечисленных в статье факторов, влияющих на поведение полимера, основными являются испарение и адсорбция молекул ПВС вокруг минеральных частиц.

3. Действие глинистых частиц таково, что для глин эффективное использование предложенного метода затруднительно. На этих грунтах целесообразно применение лишь биологической рекультивации. В суглинке возникновение полимерной пленки возможно, но только при концентрации ПВС не менее 2 %. Супесь и пылеватый песок характеризуются низкими значениями удельной активной поверхности и практически не адсорбируют молекулы поливинилового спирта на своей минеральной поверхности, что позволяет снизить концентрацию раствора для супеси до 1,5 % и для пылеватого песка до 1 %. Концентрация раствора для более крупнозернистых разностей песка была определена еще в период полевых испытаний и равна 1 %.

Литература

- Ананенков А.Г., Ставкин Г.П., Лобастова С.А., Хабибуллин И.Л. Экологические основы землепользования при освоении и разработке газовых и газоконденсатных месторождений Крайнего Севера. М., ООО “Недра-Бизнесцентр”, 2000, 316 с.
- Композиция для защиты грунтов от эрозии: патент 2267513 Рос. Федерация / Медко В.В., Смоллов Г.К., Кутвицкая Н.Б., Минкин М.А., Чевевер В.Г.; опубл. 10.01.06, Бюл. № 01.
- Способ создания профилактического покрытия против водной и ветровой эрозии: патент 1790593 Рос. Федерация / Чевевер В.Г., Панченко В.Ю., Гагарин В.Е., Торбин В.В., Чумичев А.В.; опубл. 23.01.93, Бюл. № 3.
- Способ защиты грунтов от эрозии: патент 2267514 Рос. Федерация / Медко В.В., Чевевер В.Г.; опубл. 10.01.06, Бюл. № 01.
- Чевевер В.Г. Техническая мелиорация грунтов криолитозоны водным раствором полимера // Материалы I конф. гео-криологов России. М., 1996, кн. 3, с. 178–188.
- Чевевер В.Г., Медко В.В., Видяпин И.Ю., Елисеев А.В. Инженерно-биологическая защита насыпных сооружений на Крайнем Севере // Материалы III конф. гео-криологов России. М., 2005, ч. 4, с. 309–314.
- Чугунов Л.С., Годунова Т.С., Просвирин В.В., Долгушин Н.В. Рекультивация песков на севере Тюменской области // Газовая пром-сть, 1996, № 12, с. 40–42.

Поступила в редакцию
27 марта 2008 г.