УДК: 624.138.4

**Самарин Е.Н.**

к.г.-м.н., доцент кафедры инженерной и экологической геологии ФГБОУ ВПО МГУ им. М.В. Ломоносова

**Зеркаль О.В.**

к.г.-м.н., в.н.с. кафедры инженерной и экологической геологии ФГБОУ ВПО МГУ им. М.В. Ломоносова

генеральный директор ООО «Инженерная защита», г.Сочи

**Пономарев Ан.Ал.**

магистрант кафедры инженерной и экологической геологии ФГБОУ ВПО МГУ им. М.В. Ломоносова

**Пономарев Ал.Ан.**

**СТАБИЛИЗАЦИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНОВ, СЛОЖЕННЫХ ТОНКОПЛИТЧАТЫМИ АРГИЛЛИТАМИ, ИНЪЕКЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ.**

**Abstract:** A thin tile argillites, developed in the middle reaches of the Mzymta valley, create great difficulties for economic development of the territory. It is shown that stabilization of landslide slopes composed of these soils is possible by permeable grouting of the cement suspensions and solutions of colloidal silica and hydro fracture grouting of synthetic resin in combination with the pin fields.

Инженерно-хозяйственная деятельность в горно-складчатой местности представляет собой чрезвычайно сложную задачу, поскольку сложные структурно-тектонические условия, а также высокая расчлененность рельефа являются факторами, обуславливающими развитие широко спектра современных склоновых процессов. Интенсивность их проявления как правило повышается вследствие инженерно-строительной деятельности. В настоящее время в качестве оперативных мероприятий по повышению устойчивости склонов используются нагели, «микросваи» или анкеры, буронабивные сваи (бетонолитные столбы) большого диаметра (Bruce, Boley, 1987). Применение того или иного метода зависит от оперативной ситуации на конкретной строительной площадке и особенностей проявления оползневых деформаций склона.

Район пос.Красная Поляна, где размещены основные сооружения Олимпийского горного кластера, расположен в зоне распространения структурно-неустойчивых грунтов, характеризующихся крайне низкой сопротивляемостью выветриванию. Вследствие этого в процессе строительных работ на ряде объектов при техногенном удалении чехла четвертичных отложений наблюдалось быстрое разуплотнение коренных отложений и возникновение серии поверхностных оползней. В частности, указанные проблемы проявились при строительстве комплекса Олимпийских трамплинов, где на отдельных этапах строительства объем денудировавшего со склона грунта достигал 100 тыс. м3 в месяц и более. В связи с этим, в качестве одного из мероприятий по стабилизации было использовано покрытие склона геоматами марки “Kokomat”, которые крепились при помощи системы нагелей длиной 5-7 м. Такая схема способствует не только предотвращению поверхностной денудации оползневого склона, но и общему повышению прочностных свойств верхней части массива грунта. В качестве запяточного крепления нагелей для региона традиционно используют инъекции 5-10 % суспензии портландцемента. Однако, высокая степень разуплотнения поверхностного слоя приводит к оползанию покрытия вниз по склону.

Опытные работы проводились на поверхности искусственных террас в средней части оползневого склона к северо-востоку от трамплина К-125. В геологическом строении участка принимают участие нижне-среднеюрские отложения, представленные аргиллитами с прослоями и септариями небольшой мощности известняков, песчаников, гравелитов. Аргиллиты содержат в своем составе существенное количество пелитаморфного органического вещества; основная терригенная составляющая (кварц) сцементирована непрочной мелкочешуйчатой хлорит-серицитовой массой, в связи с чем аргиллиты быстро размокают до полной потери структурной прочности. Так, экспериментально установлено, что скорость размокания образцов аргиллита кубической формы с гранью 4 см размокают в течение 1-2 минут. Верхнеплейстоцен-голоценовые образования после удаления делювиально-осыпных накоплений, представлены преимущественно оползневыми блоками разного возраста, развитыми по юрским аргиллитам. Мощность голоценовых оползней, спровоцированных техногенной строительной деятельностью, оценивается в 5-17 м, мощность древних оползневых блоков - в 30-50 м.

Участок находится в зоне дробления крупного Краснополянского разлома с зоной дробления и перемятия пород более 700 м. На участках, не подвергавшихся тектоническому воздействию породы залегают в виде моноклинали с падением в юго-западных румбах 210-2300 под углами от 30-350 до 55-650. Непосредственно на участке расположения комплекса трамплинов элементы залегания пород существенно нарушены. Породы фрагментарно смяты в запрокинутые складки, которые прослеживаются в общей структуре массива, разбитого на отдельные блоки. Характер залегания пород изменяется от субгоризонтального до практически вертикального. Размер же самих блоков может изменяться от первых метров до нескольких десятков метров. Породы интенсивно разбиты трещинами. Тектонические трещины, с шириной раскрытия до 2-4 см, заполнены кварцем и кальцитом; оползневые трещины, с шириной раскрытия до 1-2 см, заполнены глинистым грунтами (суглинки, глины); трещины разуплотнения, с шириной раскрытия от долей миллиметра до 1-2 мм, как правило, заполнителя не имеют.

Отличительной особенностью склоновых массивов, сложенных нижнеюрскими аргиллитами, является их дифференциация на две части. Верхняя часть мощностью до 10 м представлена сильно выветрелыми аргиллитами, для неё характерны высокие коэффициенты фильтрации и высокая трещиноватость. Удельное водопоглощение аргиллитов в верхней части разреза превышает 0,5 л/мин. Нижняя часть массива сложена плотными тонко трещиноватыми черными аргиллитами с очень низкими коэффициентами фильтрации (табл.1). Невыветрелые грунты прочностью на раздавливание 7,0-9,0 МПа, углом трения 25-300 и сцеплением 25-30 кПа, выветрелые – 3,0-3,5 МПа, 26-280 и 9-11 кПа соответственно.

Таблица 1. Показатели физических свойств аргиллитов.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Грунты | Wест.,% | Pест, г/см3 | Kф,м/сут | n, % | е, д.ед. |
| Выветрелый аргиллит, верхняя часть массива | 12-15 | 1,8-2,0 | 10-12 | 32-35 | 0,5 |
| Аргиллит, нижняя часть массива | 2-3 | 2,0-2,5 | 0,001 | 7 | 0,08 |

Подобная особенность строения сильно усложняет использование метода анкерного крепления склоновых массивов. В целях исследования возможности широкого промышленного внедрения были протестированы 3 методики.

**Инъекция пропиткой выветрелых аргиллитов цементной суспензией.** Экспериментально подобранный вариант рабочего раствора имеет следующий состав: водоцементное соотношение В/Ц суспензии на основе ординарного портландцемента по ГОСТ 31108-2033 - 1,65, с 7 %-ной добавкой жидкого стекла (силикатный модуль Mc ~ 2,8). Такой раствор характеризуется условной вязкостью в 1,4 раза большей, чем у воды. Инъекция производилась через вкручиваемые инъектора конструкции ООО «Инженерная защита», диаметром 40 мм и длиной 1,5 м. для проведения инъекции было пробурено шесть шпуров. Расстояние между шпурами по горизонту 2 м, по склону 1,5 – 1,8 м. Угол бурения – 90 градусов к поверхности склона. для этого использовался пневматический перфоратор ПП-63 и компрессор PDS-390. После бурения и продувки шпуров были установлены инъектора. Нагнетание цементной суспензии производилось последовательно. В качестве насоса использован растворонасос СО49ПА с электроприводом. Для последующего определения радиуса инъекции в суспензию был добавлен краситель. Давление нагнетация варьировалось от 6 до 12 атм., расход раствора на один инъектор составил – 50-60 л.

Последующее вскрытие закрепленного массива показало, что при давлениях не выше 6 атм. наблюдается равномерное заполнение трещин цементным раствором, причем радиус закрепления может достигать 0,5 м. При увеличении давления происходит гидроразрыв с выходом раствора на поверхность на расстоянии не более 15-20 см от инъектора. Плотность аргиллитов увеличивается до 2,31 г/см3, то есть становится сопоставимой с плотностью невыветрелых разностей грунта, главным образом за счет уменьшения трещинной пустотности, а прочность на сжатие увеличивается до 16,2 МПа. Попытка использования данного раствора для закрепления нижней части массива привела к его выходу в более выветрелую верхнюю толщу с последующим распространением в ней.

**Закрепление массива невыветрелых аргиллитов нагелями с инъекцией синтетической смолой.** В качестве инъекционного материала была использована двухкомпонентная синтетическая органо-минеральная смола марки «Geoflex», производство фирмы «Minova CarboTech GmbH», Германия. В настоящее время накоплен значительный положительный опыт применения синтетических смол подобного типа на угольных шахтах Кузбасса. Например, смола «Geoflex» с успехом использована при проходке разрывных нарушений (шахты «Имени Ленина», разрезы «Сибиргинский» и Томусинская 5-6»), при стабилизации очистных забоев (шахты «Большевик», «Казанковская», «Кыргайская», «Распадская» и «Октябрьская»); при отработке пологого пласта с выпуском подкровельной пачки угля (шахта «Ольжерасская – Новая», УК ОАО «Южный Кузбас») (Климчук, Маланченко, 2007, 2009).

Органо-минеральная смола «Geoflex» имеет двухкомпонентный состав. Раствор А представляет собой жидкое стекло (силикатный модуль Mc ~ 3,0) с добавками, плотностью 1,48 г/см3 и вязкостью приблизительно 260 сп при 150С. Раствор В представляет собой толуилендифенолдиизоцианат с плотностью 1,14±0,03 г/см3 и вязкостью порядка 150±30 сп. При смешении растворов происходит их разогрев приблизительно до 1000С, что приводит к разложению не реакционноспособного дифенилуретана на фенол и диизоцианат, который, реагируя с жидким стеклом, образует полимер (Воробьев, 2004). Время индукционного периода составляет 2 мин., время окончания схватывания не превышает 4 мин.

Нагнетание каждого раствора производилось отдельно при помощи двухкомпонентного пневматического поршневого насоса SK90 1:1 с двумя контурами для нагнетания через анкер типа «IRMA» длиной 2500 мм. Перед анкером устанавливался смеситель для перемешивания растворов. Давление нагнетания составило 9,5±0,2 атм. Расход рабочего раствора составил приблизительно 7,5 л/мин. Общий расход рабочего раствора составил приблизительно 60 л.

Трубка «IRMA» изготовлена из стальной ненарезной трубы; внешний Ø 25 мм, внутренний Ø 11 мм. На расстоянии 700 мм от головки анкера монтируется герметизатор длиной 250 мм, который способен изолировать скважину (шпур) диаметром до 60 мм. Процесс установки «IRMA» состоит в опускании инъекционно-анкерной трубки в пробуренный шпур и нагнетании через нее рабочего инъекционного состава.

Вскрытие инъекционно обработанного массива грунтов показало, что при выбранном давлении инъекции наблюдается гидроразрыв массива. Зона разрыва имеет основную трещину, ориентированную под углом приблизительно в 110-1200 к направлению инъекции, и имеет максимальную ширину около 2-3 см. Основная трещина на расстоянии около 1,5 м от инъектора распылялась на более мелкие трещины. Общая длина трещины более 3 м. Образующийся гель обладает высокой адгезией к минеральной поверхности аргиллита, образцы, хранившиеся в воздушно-влажной среде более 1 года не расслаивались. Для образцов с трещинами, заполненными полиуретаном, отмечается потеря до 10 % влажности, что сопоставимо с влажностью аргиллитов вне зоны поверхностного разуплотнения. Плотность аргиллитов увеличивается до 2,24 г/см3, прочность на сжатие увеличивается до 25,0 МПа.

Проведенные работы показывают возможность успешного армирования трещиноватых аргиллитов верхней части массива с помощью нагельных полей закреплённых методом гидроразрыва.

**Закрепление массива невыветрелых аргиллитов растворами коллоидного кремнезема.** В качестве инъекционного материала использовался раствор коллоидного кремнезема «Лейксил-30» НТЦ «Компас», г.Казань. Свойства некатализированного раствора: массовая доля диоксида кремния – 29 %, диаметр мицелл – 7,6 нм, плотность – 1,207 г/см3, рН – 10,07, кинематическая вязкость – 4,64 сСт (динамическая вязкость – 5,39 сп). В качестве отвердителя использован 10 %-ный раствор хлористого натрия, который добавлялся в соотношении 1:6. Вязкость рабочего раствора – 2,2 сп. Время схватывания составило 35 мин.

Образцы невыветрелых аргиллитов ненарушенного сложения вырезались кольцами диаметром 160 мм. Отобранные образцы пропитывались капилярно рабочим раствором коллоидного кремнезема. После схватывания кремнегеля образцы закрепленного грунта были подвергнуты 10-ти кратному циклическому замачиванию – высушиванию по стандартной методике. Закрепленные образцы и образцы естественного сложения в последствии были подвергнуты физико-механическим испытаниям методом плоскостного среза по схеме быстрого сдвига на установке МСУ-1. Общие результаты сдвиговых испытаний, представлены в таблице 2.

Таблица.2. Прочностные характеристики аргиллитов естественного сложения после 10-ти циклов замачивания.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Показатели прочности | Аргиллит в естественном сложении | После 10-ти циклов замачивания |
| Аргиллит в естественном сложении | Закрепленный аргиллит |
| Угол внутреннего трения, φ, градусы | 20-27 | 15-20 | 25-31 |
| Сцепление, С, кПа | 20-29 | 2-5 | 75-80 |

Общее время испытаний – 1,5 месяца. Полученные результаты показывают, что у образцов аргиллитов, закрепленных раствором коллоидного кремнезема, сцепление увеличивается в 3-4 раза по сравнению с таковым у незакрепленных грунтов. При этом закрепленные образцы сохраняют свою структуру несмотря на циклическое замачивание-высушивание, в то время как монолиты незакрепленного грунта после даже одного цикла замачивания полностью дезинтегрируются до практически полной потери структурной прочности. Кроме этого приблизительно на 40 % увеличивается угол внутреннего трения. Более того, следует ожидать повышения прочностных характеристик при последующей дегидратации кремнегеля.

Опытное нагнетание раствора коллоидного кремнезема в массив, выполненное по методике, аналогичной использованной при цементации, показало, что при закачивании 50 л рабочего раствора под давлением 5-6 атм с расходом 5-7 л/мин радиус распространения раствора составил около 1 м.

Полученные в результате опытно-производственных нагнетаний данные позволяют с уверенностью говорить о высоком потенциале применения растворов коллоидного кремнезоля для закрепления и стабилизации массивов, сложенных нижнеюрскими аргиллитами. В отличие от органических смол и водоцементных суспензий растворы кремнезоля значительно менее вязкие, время их гелеобразования хорошо регулируется, а разработанная технологическая схема по их нагнетанию в массив отличается мобильностью и простотой.