

УДК 622.745 (100)

**Воробьев Александр Егорович**

доктор технических наук, профессор,  
проректор по международной деятельности,  
Институт повышения квалификации  
руководящих работников и специалистов  
топливно-энергетического комплекса,  
140103, Российская Федерация, Московская область,  
г. Раменское, Донинское шоссе, 4 км  
e-mail: fogel\_al@mail.ru

**Тчаро Хоноре**

аспирант, Инженерная академия  
Российского университета дружбы народов,  
117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

**Чекушина Татьяна Владимировна**

кандидат технических наук, доцент,  
ведущий научный сотрудник отдела горной экологии,  
Институт проблем комплексного освоения недр РАН,  
111020, г. Москва, Крюковский тупик, д.4  
e-mail: council-ras@bk.ru

**ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ  
ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ ГЛИНИСТЫХ  
ЭКРАНОВ НА ПЛОЩАДКАХ КУЧНОГО  
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ В ПЕРУ***Аннотация:*

Кучное выщелачивание (КВ) является самым дешевым из альтернативных методов способа получения золота и других металлов из минерального сырья. Практическая реализация технологии кучного выщелачивания сталкивается с серьезными современными экологическими проблемами в развитых и развивающихся странах мира, оптимальное решение которых все еще находится в состоянии опытно-промышленных работ. Одним из предпочтительных методов решения этих экологических проблем является применение различных видов покрытия с целью предотвращения проникновения технологических растворов в подземные воды, управления потоками воды во время дождей, а также уменьшения их испарения в окружающую среду. В настоящее время многие усилия принимаются по улучшению строительства, качества и экономичности проектов кучного выщелачивания. В статье рассматриваются возможности уменьшения объемов земляных работ, которые потребляют до 70 % капитальных затрат таких проектов. Важное значение для проектов КВ имеет обеспечение контакта непроницаемого слоя грунта с геомембраной. В мировой практике установлено, что при угле более 63,4° применение непроницаемого слоя грунта несколько осложнено и не всегда выгодно. Вместо непроницаемого слоя грунта предлагается использование мембран, так называемых геосинтетических глинистых экранов. Иногда геосинтетические глинистые экраны используются для обеспечения дополнительной герметичности в целях защиты грунтовых вод от последствий промышленной деятельности: складирования, добычи и хранения опасных материалов. В данной статье рассматриваются не только преимущества и недостатки, но и экономическая составляющая применения мембран на площадках кучного выщелачивания меди в Перу и других странах.

*Ключевые слова:* кучное выщелачивание, непроницаемый слой грунта, геосинтетические глинистые экраны, геомембрана, штабель КВ, геоконпозиты, экономика

DOI: 10.18454/2313-1586.2017.02.062

**Vorobjev Alexander E.**

Doctor of technical sciences,  
The Institute of continuous education top managers  
and specialists of fuel and power industries,  
140103, Moscow region, Ramenskoye,  
4 km, Doninskoe highway  
e-mail: fogel\_al@mail.ru

**Tcharo Honore**

post graduate student  
of Engineering Academy,  
Peoples Friendship University of Russia,  
117198, Moscow, 6 Miklukho-Maklaya st.

**Chekushina Tatyana V.**

candidate of technical sciences,  
The Institute of comprehensive exploitation  
of mineral resources, RAS.  
111020, Moscow, 4 Krukovsky blind alley  
e-mail: council-ras@bk.ru

**PRACTICE OF APPLICATION  
CLAY GEOSYNTHETIC SCREENS  
IN THE SITES OF HEAP LEACHING  
IN PERU***Abstract:*

Heap leaching is the cheapest of the alternative methods in processing of gold and other metals. Heap leaching operations face with serious up-to-date environmental problems in the developed and developing countries around the world, the best solution of which is still in the process of development works. One of the preferred methods to solve these environmental problems is the use of various types of coatings in order to prevent the penetration of technological solutions in the ground water, managing water flows during the rainy season, as well as to reduce their evaporation into the environment. Currently, many efforts are being made to improve construction, quality and efficiency of heap leaching projects. The possibilities to reduce activities of earthworks, which consume up to 70 % of the capital costs of such projects are considered. The important factor for heap leaching projects is to ensure the contact of the soil low-permeability with a geomembrane. In world practice it is established that when the slope is more than 63,4° the use of low-permeability soil is complicated and unsuitable. Instead low-permeability soil it is proposed to use membranes, the so-called geosynthetic clay coatings. This article discusses not only the advantages and disadvantages, but also the economic component of such membranes application in the sites of copper heap leaching in Peru and other countries.

*Key words:* heap leaching, low-permeable soil, geosynthetic clay screens, geo-membrane, heap leach pad, geocomposites, economics

### Введение

В зарубежной практике кучного выщелачивания золота и других металлов для обеспечения антифильтрационных свойств основания и покрытия штабеля КВ широко применяют различные геоматериалы [7 – 9, 10].

Уплотненный глинистый экран был исторически применен для защиты грунта от жидкостей, загрязненных отходами. Однако плотную глину трудно построить при высушивании и замораживании – оттаивании. Геосинтетические глинистые экраны (рис. 1) (глиноматы, бентонитовые маты) изготавливаются из глины (бентонита) и геосинтетиков. Они содержат тонкий слой набухшей глины, размещенный между 2 слоями геотекстиля, и прикрепляются к синтетической геомембране.



Рис. 1 – Геосинтетический глинистый экран с двумя слоями геотекстиля герметизирующего слоя бентонита натрия

В настоящее время в практике кучного выщелачивания металлов используют 3 типа бентонитовых матов [3]:

- Слой бентонита между двумя слоями геотекстиля, которые соединены швом или с помощью спиц. Такое крепление существенно повышает сопротивление сдвигу. Если необходимо соединить две секции материала, то они укладываются внахлест. Если крепление производится с помощью спиц, то бентонит укладывают по всей поверхности между уложенными внахлест секциями геотекстиля. После увлажнения бентонита фиксация происходит автоматически, и нет необходимости в дополнительном механическом креплении.

- Натриевый бентонит, смешанный с растворимым в воде клеем, размещенный между двумя слоями геотекстиля. Клей удерживает материал во время транспортировки и при укладке. При этом нижний тонкий слой геотекстиля изготавливается из неплотного материала, чтобы бентонит после увлажнения легко проходил через отверстия геотекстиля, автоматически скрепляя верхний слой.

- Бентонит, смешанный с клеем: клей обеспечивает прочность склейки бентонита и HDPE-геомембраны; крепление между секциями происходит так же, как и во втором типе.

Однако применение геосинтетических глинистых экранов (глиноматов) требует учета следующего ряда факторов при их проектировании и установке:

- определения географических областей, где геосинтетические глинистые экраны не будут наносить ущерба при их использовании в кучном выщелачивании (из-за довольно низкой прочности геосинтетических глинистых экранов);

- оценки необходимости и характеристик промежуточных берм, т. к. длина рулона геосинтетических глинистых экранов всегда намного короче, чем длина рулона геомембран;

- оценки перекрытия конструкции, предотвращающей разделение края геосинтетических глинистых экранов, и эффективного контроля качества в процессе их монтажа.

Оценка возможности использования геосинтетических глинистых экранов в качестве непроницаемого барьера в проектах кучного выщелачивания должна осуществляться на основе конкретных характеристик этих проектов. Так, расположение, расстояние до месторождения глины и реальные условия окружающей среды на территории размещения штабеля КВ являются весьма важными аспектами, которые определяют, является ли использование геосинтетических глинистых экранов лучшей альтернативой для таких проектов.

При этом необходимо отметить, что на территориях с уклонами круче, чем  $63,4^\circ$ , размещение слоя антифильтрационного грунта становится весьма сложным и занимает довольно много времени. Причем в некоторых проектах КВ имеющиеся ограничения по безопасности исключают возможность разматывания рулона на крутых откосах с помощью привода для уплотнения слоя глины, поэтому здесь в качестве замены слоя глины может быть применен только геосинтетический глинистый экран.

Расстояние от установки КВ до месторождения глин и наличие их в достаточном количестве, а также стоимость их перевозки на площадку КВ, должны быть оценены и сравнены со стоимостью использования геосинтетических глинистых экранов. Кроме того, содержание влаги в глинах является также весьма важным аспектом, особенно если формирование штабеля КВ будет осуществляться в период дождей или дождевого сезона.

Во многих случаях сроки строительства штабеля КВ осуществляются гораздо быстрее при применении геосинтетических глинистых экранов, потому что подготовка поверхности под площадку КВ и размещение на ней геосинтетических глинистых экранов осуществляется несколько легче и быстрее, чем подготовка поверхности, сортировка, размещение и уплотнение слоя низкопроницаемого грунта.

Однако важно отметить, что в некоторых случаях скальные обнаженные породы, градуированные взрывом, своими чрезмерными неровностями могут повредить геосинтетические глинистые экраны. В таких случаях их поверхность должна быть выровнена с помощью раствора торкрет-бетона или известкового раствора (рис. 2) либо путем размещения мешков с песком, а в некоторых случаях – с помощью электросварной провололочной сетки.



Рис. 2 – Подготовка поверхности перед установкой геосинтетических глинистых экранов и геомембран

В табл. 1 приведены результаты сравнения установки геосинтетических глинистых экранов и установки слоя глинистого грунта.

Таблица 1

**Сравнение между слоем глинистого грунта  
и геосинтетическими глинистыми экранами [1]**

Закрепленный глинистый грунт	Геосинтетический глинистый экран
Как правило, наиболее экономичный вариант для уклонов менее $68,2^\circ$ или даже $63,4^\circ$ , когда источники непроницаемого грунта доступны на участке кучного выщелачивания	Более экономичный на неровных откосах после проведения взрывных работ или когда материал барьерного грунтового слоя доступен вблизи участка кучного выщелачивания
Может быть использован при откосах до $56,3^\circ$ . Ограничен в некоторых местах с уклоном $64,3$ или $68,2^\circ$	Может быть использован при любом откосе площадки выщелачивания с предварительной проверкой общей геотехнической стабильности
Может быть размещен непосредственно на земляном полотне и структурном наполнении, согласно планировке разработки	Эффективен на крутых скальных откосах неправильной формы, где должен быть размещен в сочетании с геокompозитами и геотекстилями, во избежание возможных проколов
Может быть размещен на грунтовых основаниях весьма неправильной формы.	Из-за длины рулона промежуточные бермы должны быть спроектированы и построены для обеспечения эффективного крепления
Не требует промежуточных берм, если система сбора технологических растворов в них не нуждается	Уязвимые к гидратации уровнем грунтовых вод в фундаменте, снижающие его эффективность в качестве защиты

Для крепления геосинтетических глинистых экранов используют анкерную траншею, в которой экраны прикрепляются к земляному полотну. Устойчивость экрана повышается, если устраняются швы между панелями геосинтетических глинистых экранов на крутых откосах и бермах.

Расположение и конфигурация при использовании берм определяются для максимальной длины рулонов геосинтетических глинистых экранов, которая, как правило, равна 45 м (хотя некоторые производители обеспечивают рулоны длиной до 75 м). На рис. 3 показаны типичные бермы, где геосинтетические глинистые экраны закреплены в траншее, заполненной закрепленным низкопроницаемым грунтом.

Подобные бермы могут быть использованы в качестве фазовой границы раздела или фазового барьера в конструкции штабеля КВ, позволяют осуществлять независимую систему сбора технологических растворов и целенаправленно управлять дождевой водой выше берм путем сбора и эвакуации этих потоков вдоль берм.

При формировании подобных слоев необходимо учесть возможные расходы на материалы, предназначенные для предотвращения повреждения геосинтетических глинистых экранов из-за неравномерных и агрессивных поверхностей (таких, как скальные обнаженные породы, образуемые в результате взрывных работ) и сравнить с эффективностью традиционного антифильтрационного грунтового слоя.

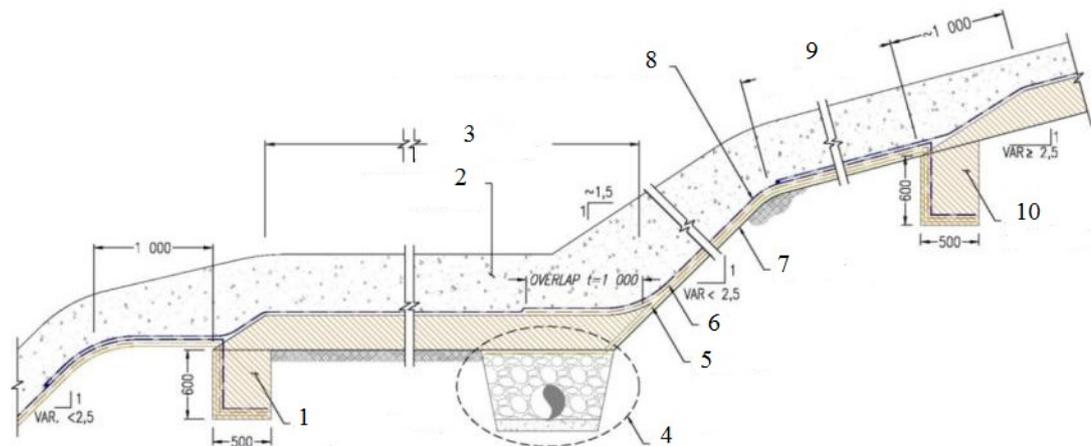


Рис. 3 – Типичные промежуточные бермы для защиты площадки КВ:

1 – анкерная траншея (грунт низкой проницаемости); 2 – материал разной мощности, укладываемый сверху; 3 – промежуточная траншея; 4 – нижняя дренажная система; 5 – геокompозит; 6 – геосинтетический глинистый экран; 7 – уровень грунтового основания; 8 –полиэтиленовая геомембранная пленка низкой плотности (толщиной 2,0 мм); 9 – перекрытие на крутых откосах (3 м); 10 – анкерная траншея (грунт низкой проницаемости)

Иногда тонкий слой известкового раствора (песок + цемент) нужен для того, чтобы обеспечить равномерность подготавливаемой поверхности (рис. 4).



Рис. 4 – Подготовленная скальная поверхность до установки геосинтетических глинистых экранов или геомембран

Тяжелый геотекстиль (весом до  $500 \text{ г/м}^2$ ) может быть использован для защиты, чтобы предотвращать возможные проколы и разрывы геосинтетических глинистых экранов.

Использование геокompозитов (или даже геомембран) необходимо в неоднородных склонах, где острые изломы скал могут повредить геосинтетические глинистые экраны.

Геокompозиты в проектах кучного выщелачивания преимущественно используются на рудниках в Перу. В качестве дополнительного преимущества геокompозит через систему дренажных труб может накапливать любые несобранные подземные воды, тем самым предотвращая излишнее увлажнение геосинтетических глинистых экранов (рис. 5).



Рис. 5 – Установка геокомпозитов, геосинтетических глинистых экранов и геомембран

В более агрессивных склонах или каменистой местности с острыми поверхностями скальных выступов (рис. 6), которые обычно образуются на стадии ведения взрывных работ, в контакте с такой породой укладывают электросварную проволочную сетку, затем укладывают геокомпозит, комплексируя впоследствии с геосинтетическими глинистыми экранами.



Рис. 6 – Вид склонов со скальными обнажениями, которые способны повредить геосинтетические глинистые экраны

На рис. 7 показана поверхность, где будет размещена сетка для получения более гладкой поверхности перед размещением геокомпозита, впоследствии скомплексированная с геосинтетическими глинистыми экранами.

Когда геосинтетические глинистые экраны используются вместо слоя низкопроницаемого грунта, то прочность на сдвиг такого геомембранного интерфейса значительно ниже, чем грунтового слоя геомембраны. В этом случае необходимо учитывать стабильность всей площадки кучного выщелачивания.

Крупномасштабное прямое испытание на сдвиг, как правило, производится, чтобы определить прочность на сдвиг этого интерфейса, который из-за утечки технологических растворов через системный слой или из подземных вод включает в себя некоторое увлажнение.

Геосинтетические глинистые экраны не должны использоваться ниже зоны установки кучного выщелачивания для того, чтобы избежать проблем стабильности [1].



Рис. 7 – Скальная поверхность для размещения сетки

Образцы по обеспечению качества берутся с частотой один тест на 10 000 м<sup>2</sup> [1]. Все испытания на совместимость экранов должны быть сделаны с помощью соответствующих методов и рекомендуемых стандартов и проверены во внешних квалифицированных лабораториях для определения следующих технологических свойств:

- массы на единицу площади, чтобы убедиться, что рулон геосинтетических глинистых экранов сохраняет не менее 95 % от исходного бентонита, который был использован на фабрике (с 0% содержания влаги);

- гидравлической проводимости, которая в Перу должна быть протестирована в соответствии с ASTM D-5048;

- прочности и относительного удлинения, которые в Перу должны быть протестированы в соответствии с ASTM D-4632.

Геосинтетические глинистые экраны должны быть установлены в зонах, показанных на чертежах проекта. Причем перед установкой геосинтетических глинистых экранов поверхность площадки должна быть как можно более гладкой, без препятствий, депрессий и острых предметов [2]. Геосинтетические глинистые экраны с целью получения ровной поверхности, свободной от напряженности, складок или морщин, должны быть развернуты длинной стороной на склон и расширены.

В верхней части склонов геосинтетические глинистые экраны будут крепиться к анкерной траншее, а затем будут развернуты вниз по склону.

Кроме того, при размещении нижележащего защитного слоя (геотекстиль, геокомпозит или проволочная сетка) установщик несет полную ответственность за проверку качества защитного слоя.

Все отверстия или разрывы геосинтетических глинистых экранов должны быть устранены с помощью специальных накладок (используя тот же класс геосинтетических глинистых экранов), которые должны распространяться на 300 мм за края отверстия или разрыва. Все это должно иметь фаску гранулированного бентонита или другого уплотнителя (свободного от инородных материалов, таких как иглы). Никакие гвозди или скобы не должны быть использованы для закрепления подобной накладки.

Одной из главных проблем, возникающих после установки геосинтетических глинистых экранов, является усадка их панелей, вызывающая появление разделения между панелями геосинтетических глинистых экранов. Поэтому перекрытие должно всегда быть не менее 150 – 400 мм (в зависимости от склона, погодных условий и рекомендаций производителя). Однако отмеченное сжатие (усадка) геосинтетических глинистых экранов зависит прежде всего от изменения климата, но не от поверхности склона.

На рис. 8 показано сжатие (усадка) геосинтетических глинистых экранов, возникшее после их размещения, что привело к разделению панелей из-за недостаточного перекрытия.



Рис. 8 – Сжатие геосинтетических глинистых экранов и разделение панели из-за недостаточного перекрытия

Контрастные изменения температур между днем и ночью были, вероятно, причинами такого сжатия и последующего разделения. Поэтому в районах, где ожидаются большие перепады температуры, при откосах менее  $45^\circ$  минимальное перекрытие должно составлять 300 мм, между тем оно должно составлять 500 мм как минимум на склонах более  $45^\circ$  из-за тонкости прокладки, образующейся на полосе в соответствии с их массами.

#### *Примеры использования геосинтетических глинистых экранов*

##### Случай 1. Оптимизация земляных работ

Этот проект кучного выщелачивания с 89,9 га площадки, расположенной в южной части Перу, будет построен в узкой долине, где средний склон составляет  $56,3^\circ$ . Проектируемые земляные работы (в основном разрезы) необходимы для того, чтобы достичь поверхности земляного полотна, и составляют около  $830\,000\text{ м}^3$ , из которых 30 % были сформированы на поверхности выходов скальных пород. При этом из 89,9 га площадки выщелачивания 35,7 га находятся в местах, где склоны круче, чем  $68,2^\circ$ , что составляет 39 % площади.

Для обычного размещения низкопроницаемых грунтовых слоев дополнительный отрезок потребуется для профилирования поверхности ниже, чем  $68,2^\circ$ . Для этого потребуется объем  $1\,840\,000\text{ м}^3$ , который представляет 221 % оригинального кроя. Зоны, где требуются дополнительные разрезы, показаны на рис. 9 зеленым цветом, с типичной секцией, показанной на рис. 10.

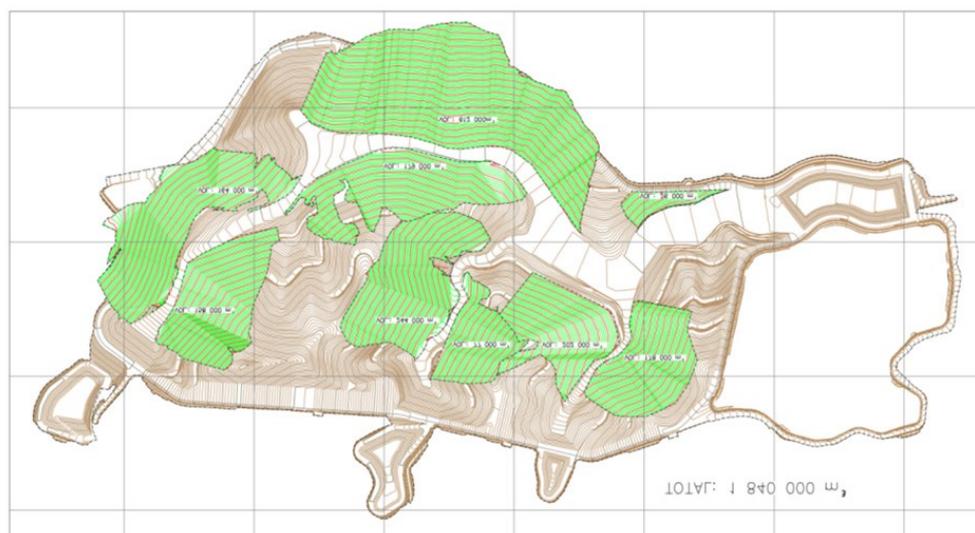


Рис. 9 – Зоны, где необходим дополнительный разрез для сокращения площадей крутых склонов

Однако на откосах круче, чем  $68,2^\circ$ , всех этих дополнительных земляных работ удалось избежать благодаря использованию геосинтетических глинистых экранов.

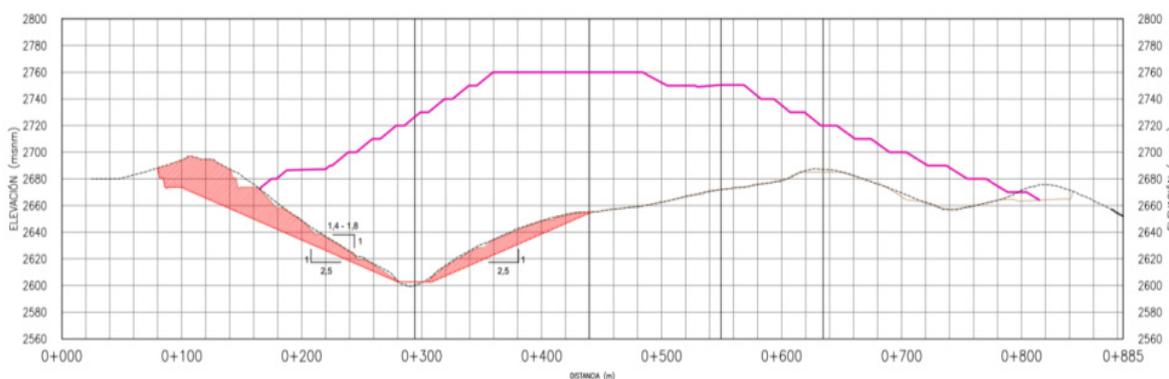


Рис. 10 – Дополнительный разрез, где удалось избежать применения геосинтетических глинистых экранов

### Случай 2. Наличие малопроницаемых грунтов

Данный конкретный случай является ситуацией, когда существует ограниченность антифильтрационного материала, который может быть использован в качестве низкопроницаемого грунтового покрытия в отсутствие источников выемки грунта. В этом случае необходимо разместить как можно больше геосинтетических глинистых экранов, настолько это возможно без ущерба для стабильности установки кучного выщелачивания.

Одна из основных проблем, возникающих в данном случае, заключается в том, что это может генерировать большой объем земляных работ [5]. Кроме того, в условиях дождей и особенно на равнинных участках, необходимо соблюдать определенную осторожность, чтобы избежать гидратации геосинтетических глинистых экранов: даже умеренное количество осадков может привести к ухудшению их состояния [6].

На рис. 11 показан типичный чертеж проекта для региона Северного Перу (довольно дождливая область), где доступность антифильтрационных грунтов довольно ограниченная (в основном из-за проблем содержания влаги). Критерии конструкции для установки геосинтетических глинистых экранов включают в себя участки установки кучного выщелачивания, где склоны более  $68,2^\circ$ .

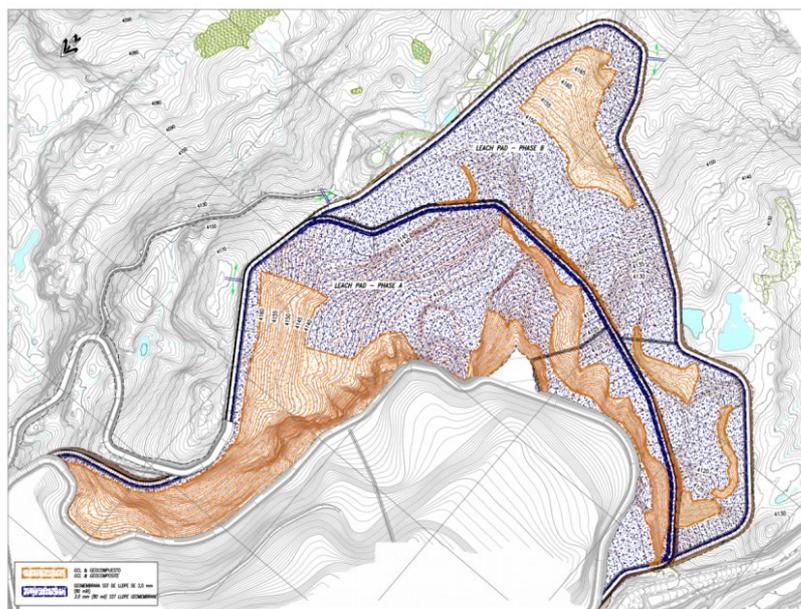


Рис. 11 – Зоны для установки геосинтетических глинистых экранов (коричневые участки)

### Выводы

При кучном выщелачивании, когда месторождения глины не расположены в непосредственной близости от площадки КВ, следует вместо грунтового покрытия использовать геосинтетический глинистый экран. Также необходимо принимать во внимание следующие обстоятельства:

- Важно проанализировать элементы управления размещением антифильтрационного материала и качеством его установки, для того чтобы обеспечить слой, который бы отвечал требованиям к проектированию и обеспечивал требуемую производительность работ на площадке кучного выщелачивания.
- Расчеты устойчивости объемов земляных работ [4], сроки строительства, расположение месторождения глины и процесс строительства являются основными вопросами, которые необходимо учитывать при принятии решения, следует ли использовать геосинтетические глинистые экраны вместо малопроницаемых грунтов.
- Анализ технологичности и знаний строительного процесса и деталей на стадии проектирования является важным фактором для определения оптимальной конструкции площадки кучного выщелачивания при использовании геосинтетических глинистых экранов.
- Четкое описание должно быть представлено в технической спецификации и руководстве по обеспечению качества для технических данных, таких как механические свойства материала, частота испытаний и требования к установке.

### Литература

1. Cesar, C., Mendoza, J., and Parra, D. 2013. Heap leach pad design in very aggressive terrain, Proceedings of the First International Heap Leach Solutions Conference, Vancouver, Canada: InfoMine, Inc.
2. Standard Guide for "Design Considerations for Geosynthetic Clay Liners (GCLs) in Various applications" by Geosynthetic Institute (Revision 1 (Editorial): January 9, 2013)
3. Классификация геосинтетических материалов IGS [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.polyline.ru/publications/klassifikaciya-geosinteticheskikh-materialov>

4. NI 43-101 Technical Report Golden Summit Project Preliminary Economic Assessment Fairbanks North Star Borough, Alaska USA, 2016
5. Prevents/reduces oxidation of potentially ARD generating Proceedings of Heap Leach Solutions, 2014
6. Chappel, M.J., Rowe, R.K., Brachman, R.W.I, Take, W.A. (2012). A comparison of geomembrane wrinkles for nine field cases, Geosynthetics International, 19. - No. 6. - 453 – 469.
7. Воробьев А.Е. Классификация штабелей кучного выщелачивания металлов / А.Е. Воробьев, Т.В. Чекушина // Горный журнал. - № 3. - 1997. – С. 36 - 42.
8. Воробьев А.Е. Группировка рудных штабелей для кучного выщелачивания золота / А.Е. Воробьев, Т.В. Чекушина // Руды и металлы. - 2000. - № 5. – С. 65 - 76.
9. Воробьев А.Е. Проблемы кучного выщелачивания золота из техногенного минерального сырья / А.Е. Воробьев // Проблемы извлечения благородных металлов из руд отходов обогащения и металлургии. – Екатеринбург, 1998. – С. 9 - 10.
10. Извлечение золота из хвостов золотоизвлекательной фабрики от переработки упорных руд смешанного типа / К.К. Гурин и др. // Цветные металлы. - 2013. - № 5 (845). - С. 39 - 44.