

О НАПРАВЛЕНИИ ОСУШИТЕЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА БОКСИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ТИХВИНСКОГО РАЙОНА

В. Н. Новожилов, Э. В. Лехтимяки

Горные работы на многих месторождениях бокситов Тихвинского района осложнены неблагоприятными гидрогеологическими условиями.

В таких условиях целесообразно осушение вскрышных пород, значительно повышающих устойчивость бортов карьеров, сложенных песчано-глинистыми породами, и создающих нормальные условия для работы механизмов и транспорта.

1. Краткая геологическая и гидрогеологическая характеристика района. Изучаемый район расположен в пределах карбонового глинта, который в рельефе представляет собой уступ высотой до 20—30 м, протягивающийся с севера на юг.

Геоморфологически район разделяется на три части: 1) западную — заболоченную прильменскую (приволховскую) низменность с высотными отметками 80—120 м, сложенную девонскими отложениями и ограниченную уступом глинта; 2) центральную, вдоль которой протягивается карбоновый глинт (уступ) с различным характером покатости и шириной в среднем 3—7 км; максимальные отметки в верхней части глинта достигают 140—145 м; 3) восточную — окраинную часть карбонового плато с высотными отметками от 140 до 160—175 м.

В геологическом строении района принимают участие девонские и каменноугольные отложения, перекрытые четвертичными образованиями (см. рисунок). Отложения верхнего девона развиты на всей площади бокситоносного района. В западной его части они выходят непосредственно на дневную поверхность, залегая под маломощной толщей четвертичных пород. На востоке в пределах карбонового уступа и плато они перекрываются толщей пород нижнекаменноугольного возраста.

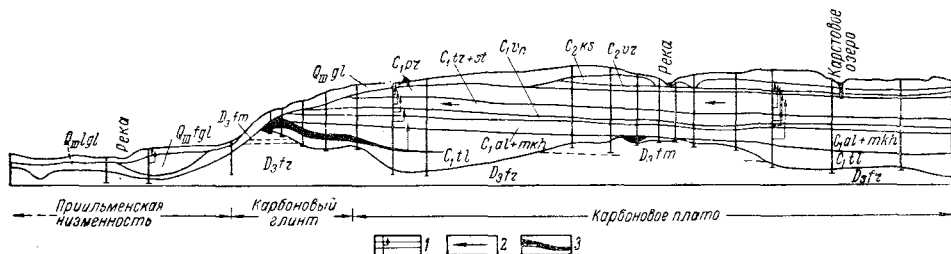
Девонские и карбоновые отложения на всей территории района покрываются толщей четвертичных ледниковых образований различной мощности, в среднем не превышающей 7—10 м. Наибольшую мощность (20—25 м) четвертичные отложения имеют в пределах полосы карбонового глинта.

Подавляющее большинство бокситовых месторождений расположено узкой прерывистой цепочкой меридионального направления в пределах полосы карбонового глинта или в непосредственной близости от его края на площади карбонового плато. Все месторождения приурочены

к девонским эрозионным депрессиям¹ третьего и четвертого порядков, именуемым девонскими долинами [1]. Длина этих понижений колеблется в среднем от 1 до 5—8 км, ширина от 50—100 до 500—800 м и глубина от 6—7 до 50 м и реже больше. Как правило, девонские долины имеют пологие склоны и крутой уклон дна (ложа) — от 5—7 до 20—40 м на 1 км протяжения. Преобладает простиранье долин восточных направлений.

Залегая в девонских долинах, бокситовые породы образуют весьма неширокие (до 0,5—0,7 км) и вытянутые (до 2—3 км) линзообразные залежи, ориентированные длинной осью в широтном направлении с падением ложа на восток в среднем до 10—15 м на 1 км протяжения.

В общих чертах залежи бокситовых пород носят концентрически зональный характер. Кондиционные бокситы слагают центральные части



Схематический гидрогеологический разрез района Тихвинских бокситовых месторождений

Порово-пластовые воды в песках: $Q_{III} \text{ gl}$; $Q_{III} \text{ gl}$; $Q_{III} \text{ gl}$; $C_1 \text{ al} + mkh$; $C_1 \text{ tl}$; трещинно-пластовые воды в известняках, доломитах и мергелях: $C_2 \text{ ks}$; $C_1 \text{ pr}$; $C_1 \text{ tr} + st$; $C_1 \text{ vn}$; $C_1 \text{ al} + mkh$; трещинно-порово-пластовые воды в бокситовых породах: $C_1 \text{ tl}$; водоупорные горизонты: $Q_{III} \text{ gl}$ (частично); $C_2 \text{ vz}$; $D_3 \text{ fm} + fr$.

1 — пьезометрический напор горизонтов подземных вод, принимающих участие в обводнении бокситовых месторождений; 2 — направление движения подземных вод; 3 — месторождения бокситов.

и окружены переходными с различной степенью резкости зонами аллитов и сиаллитов. Большинство месторождений ориентировано длинной осью бокситовой залежи в широтном направлении с падением ложа на восток до 10—15 м на 1 км.

На некоторых месторождениях отложения алексинского, тульского и вышележащих горизонтов частично или полностью снесены ледниковой эрозией. Бокситовые залежи в этом случае довольно часто залегают непосредственно под четвертичными образованиями. Часть месторождений расположена к востоку от карбонового глинта, где полностью сохранился разрез карбоновых отложений, включая каширский горизонт московского яруса.

Основное участие в обводнении бокситовых месторождений принимают водоносные горизонты михайловских, веневских, тарусских, стешевских, протвинских и каширских известняков, получивших развитие в верхней части разреза надбокситовых пород. Эти горизонты характеризуются значительными напорами, водообильностью и выдержаны по простиранью. Коэффициент фильтрации, по данным опытных откачек, изменяется от 0,3 до 502 м/сутки, не превышая средних значений 50—60 м/сутки. Воды горизонтов известняков являются основными источниками питания нижележащих алексинских, михайловских и тульских песков и бокситовых пород.

¹ В пределах района проходит глубокая магистральная депрессия, именуемая долиной первого порядка. Менее значимые долины впадают в эту депрессию с запада и востока и называются долинами второго порядка. Промышленные месторождения приурочены к более мелким долинам третьего и четвертого порядков — притокам долин второго порядка.

В свою очередь, водоносные горизонты известняков получают постоянное и обильное питание за счет поверхностных вод, поступающих через поноры карстовых воронок в восточной части района и частично за счет инфильтрации атмосферных осадков на участках водопроницаемых разностей моренных образований. Областью дренажа водоносных горизонтов известняков являются отдельные участки карбонового глинта. Здесь встречаются весьма редкие, но мощные источники с дебитом до нескольких десятков кубических метров в секунду. На остальной территории карбоновый глинт перекрывается сплошной выдержанной по мощности толщей практически водоупорных валунных суглинков, которые исключают дренаж известняков вдоль уступа глинта. Таким образом, водоносные горизонты известняков представляют собой подпертые подземные потоки с почти неподвижными водами, которые характеризуются примерно одинаковыми абсолютными отметками пьезометрических уровней на протяжении значительных расстояний (см. рисунок). Общее движение подземных вод наблюдается в западном направлении в сторону карбонового глинта.

Водоносные горизонты в песках алексинского и михайловского возрастов приурочены главным образом к нижней половине разреза надбокситовых пород и имеют локальное развитие, образуя резко выклинивающиеся линзообразные залежи среди глин. Мощность песков иногда достигает 20—25 м. Пески в основном тонкозернистые, часто глинистые и характеризуются в целом низкими фильтрационными свойствами (коэффициент фильтрации в основном не превышает 2—3 м/сутки). Водоносные горизонты в песках обычно напорные, реже — безнапорные. Абсолютные отметки уровня вод всегда несколько ниже отметок уровня напорных вод известняков.

Водоносные горизонты песков не имеют самостоятельных областей питания. Как указывалось выше, пески получают питание путем перелива воды из водоносных горизонтов вышележащих известняков. Гидравлическая связь между отдельными горизонтами относительно затруднена и осуществляется на отдельных разрозненных участках, где пески непосредственно контактируют с известняками. В основном же пески отделены от известняков прослоями глин.

Водоносный горизонт в бокситовых залежах развит на всех месторождениях. В западных направлениях залежи бокситовых пород выклиниваются, в восточных — постепенно замещаются глинистыми водоупорными породами. Следовательно, линзообразные залежи промышленных бокситов представляют собой лишь часть общего водоносного горизонта бокситовых пород, получившего некоторое развитие также и за пределами месторождений к западу и востоку.

Характер движения подземных вод и фильтрационные свойства бокситовых пород находятся в тесной зависимости от их текстурно-структурных особенностей. На действующих карьерах в разрезе бокситовых залежей отчетливо прослеживаются закономерные изменения текстурных разновидностей пород. Промышленные бокситы, слагающие центральные части залежей, как правило, представлены каменистыми плотными разностями и реже — трещинно-глыбовыми. К краевым частям залежей промышленные бокситы постепенно замещаются трещиновато-глыбовыми и землисто-рыхлыми аллитами с различной степенью пористости. Окаймляются залежи бокситовых пород чаще рыхлыми и глиноподобными разновидностями сиаллитов. Такая закономерность в распределении текстурных особенностей бокситовых пород обуславливает распространение трещинно-пластовых вод в центральной части залежи с последующим переходом их к порово-трещинным и поровым

на периферийных участках. За редким исключением, на месторождениях доминирующее пространственное развитие получили трещинно-пластовые воды, характерные для бокситового горизонта.

Величина коэффициента фильтрации бокситовых пород, по данным многочисленных опытных откачек, изменяется от 0,17 до 122,9 м/сутки при среднем значении 10—50 м/сутки. Столь большие изменения коэффициента фильтрации обусловлены неравномерной трещиноватостью и различными размерами пор бокситовых пород, а также частичной кальматацией трещин рыхлым материалом.

Подземные воды бокситовых пород, за небольшим исключением, напорные. Образование ненапорных вод связано с интенсивным дренажом бокситовых пород на некоторых участках обнажения и карбонового глинта. Абсолютные отметки пьезометрического уровня вод бокситов изменяются в значительных пределах, но всегда ниже отметки уровней подземных вод вышележащих горизонтов. Различие отметок уровней находится в зависимости от местоположения месторождений по отношению к уступу карбонового глинта, являющегося областью дренажа бокситового горизонта. Дренаж горизонта происходит весьма слабо, так как бокситовые залежи почти всюду перекрыты толщей водоупорных моренных суглинков четвертичного возраста. Питание бокситового горизонта осуществляется за счет подземных вод из вышележащих (стратиграфически и гипсометрически) горизонтов. Инфильтрация воды чаще всего затруднена, так как бокситовый горизонт в значительной мере изолирован от вышележащих горизонтов толщей водоупорных глин карбона. Таким образом, бокситовые залежи представляют собой как бы своеобразные проточные линзы с относительно замедленным водообменом.

Залегающие в основании бокситовых пород глинистые отложения подбокситовой подтолщи тульского горизонта нижнего карбона, а также франского и фаменского ярусов верхнего девона общей мощностью в несколько десятков метров служат надежной защитой от возможности проникновения снизу в бокситовые залежи подземных вод более глубоко залегающих горизонтов. В толще девонских водоупорных глин спорадически встречаются маломощные линзы обводненных тонкозернистых песков и песчаников. Пьезометрический уровень их горизонтов в основном ниже уровня вод бокситового горизонта. Водоносные горизонты девонских отложений практического значения в обводнении бокситовых месторождений не имеют. Следовательно, питание бокситовых залежей происходит исключительно за счет вертикальной инфильтрации и перелива подземных вод вышележащих горизонтов.

Бокситовые месторождения по степени обводнения можно разделить на три основных типа:

1. Месторождения малой степени обводнения, расположенные непосредственно у основания карбонового глинта, где залежи бокситов находятся на небольшой глубине. Основное участие в обводнении этих месторождений принимают локальный четвертичный и бокситовый водоносные горизонты. Водоприток в карьер 20—40 м³/ч.

2. Месторождения средней степени обводнения, расположенные в пределах полосы карбонового глинта или непосредственно рядом с ним. Залежи бокситов лежат на глубине 20—35 м. Эти месторождения, кроме упомянутых горизонтов, обводняются водами окских песков и известняков. Водоприток в карьер не превышает 60—100 м³/ч.

3. Месторождения сильной степени обводнения, расположенные к востоку от глинта, в пределах карбонового плато. Залежи бокситов находятся на глубине 40—60 м. В обводнении месторождений этой группы

участвуют все рассмотренные выше горизонты подземных вод. Водоприток в карьер достигают 300—500 м³/ч и более. Различное положение бокситовых залежей по отношению к карбонатному глинтуну и обуславливает различную степень их обводнения.

Месторождения первого и частично второго типов обводнения по гидрогеологическим и горнотехническим условиям разработки объединяются в группу первой очереди эксплуатации и в настоящее время разрабатываются или уже отработаны. Остальные месторождения относятся к группам второй и третьей очередей эксплуатации и в недалеком будущем подлежат разработке.

2. Современное состояние осушительных мероприятий на рудниках первой очереди эксплуатации. Осушение бокситовых месторождений необходимо проводить, во-первых, для предотвращения возможных концентрированных прорывов воды в карьеры; во-вторых, с целью отвода воды с рабочих площадок; в-третьих, для повышения устойчивости толщи песчано-глинистых пород, слагающих борта карьеров.

На действующих рудниках первой очереди эксплуатации концентрированных прорывов подземных вод в карьеры, как правило, не было. Исключение представляет лишь один карьер, где летом 1959 г. при вскрытии михайловских известняков слоя a_6 имел место усиленный приток подземных вод в карьер в течение нескольких суток. После сработки основных статических запасов подземных вод приток вод из этого горизонта резко снизился. При этом величина общего притока подземных вод в карьер стабилизировалась на уровне, лишь несколько превышающем значение водопритока в карьер до вскрытия известняков слоя a_6 . Этот случай заставляет обратить внимание на вероятность концентрированных притоков подземных вод в карьеры при ведении вскрышных работ на месторождениях второй и третьей очередей эксплуатации, которые характеризуются наличием водообильных горизонтов подземных вод, приуроченных к различным слоям карбонатных пород.

На некоторых рудниках иногда отмечается скопление воды на рабочих площадках летом в виде луж, небольших озер и зимой в виде наледей подземных вод, которые изливаются в бортах и забое карьеров. Для сброса и отвода этих вод с площадок обычно проводятся самотечные дренажные канавы и водосборники, на которых устанавливают насосы для откачки за пределы карьерного поля скопившихся вод. Насосные установки работают со средней производительностью 600—1000 м³/сутки и обеспечивают нормальные условия ведения горных работ на рабочих площадках карьеров.

Устойчивость дна карьеров во всех случаях обеспечивается наличием в основании залежи бокситовых пород сравнительно мощной толщи глинистых водоупорных пород.

Результаты наблюдений за поведением горных пород в бортах карьеров показали, что одной из главных причин снижения устойчивости и деформации откосов является избыточное увлажнение подземными водами толщи вскрышных пород. Значительная обводненность песчано-глинистых пород резко понижает показатели сопротивления их сдвигу и тем самым обуславливает возникновение опасных оползневых явлений [4].

Для устранения вредного влияния воды на устойчивость откосов необходимо возможно полное осушение вскрышных пород в границах образования поверхностей скольжения. Следовательно, борьба с притоками подземных и поверхностных вод в действующие карьеры приобретает первостепенное значение. Это требует всестороннего и систематического изучения условий обводнения бокситовых месторождений

с целью обеспечения эффективных мероприятий по осушению месторождений. Сейчас с увеличением глубины карьеров, очевидно, без решения этих задач рациональное проектирование и эксплуатация открытых разработок бокситовых месторождений невозможны.

Осушение карьеров первой очереди эксплуатации, объединяющих по степени обводненности месторождения первого и частично второго типов, осуществляется опережающими дренажными траншеями [5]. Суть этих работ состоит в проведении опережающей горной выработки со средней части месторождения на глубину 12—14 м. Проведение траншей не требует каких-либо дополнительных затрат, так как эти работы осуществляются в пределах контура карьера и входят в объем вскрышных пород. Практически установлено, что удаление выработки на 200—300 м от добычного забоя (по бокситу) соответствует опережению фронта горных работ на год. После проходки опережающая выработка расширяется параллельными экскаваторными заходками до контура рудного тела. По окончании удаления пустых пород по первому слою вводится в строй второй уступ. По аналогии с первым, на втором уступе проводится также разрезная опережающая траншея. Проведение траншей по первому и второму слоям рассчитано на дренаж участка, необходимого для выполнения годового плана горноподготовительных работ.

Дренажные траншеи обеспечивают осушение призабойной части карьеров и понижение пьезометрических уровней напорных вод в пределах значительной площади месторождений. Таким образом, траншеи приобретают роль открытых водосборников подземных вод, так как являются передовыми выработками и, следовательно, основными очагами разгрузки вскрываемых водоносных горизонтов.

Несмотря на опережающие выработки, значительные горные массы все же оползают с бортов карьеров. Некоторые оползневые тела в плане достигают длины по основанию до 150—200 м при ширине 30—40 м и более. С образованием таких оползней частично нарушаются технология и режим работы различных механизмов (экскаваторов, бульдозеров, железнодорожного и автомобильного транспорта), что приводит к дополнительным затратам труда и времени. Проведение опережающих дренажных выработок не обеспечивает в надлежащей степени устойчивости бортов карьеров. Дренажные траншеи хотя и перехватывают основные статические и динамические запасы подземных вод до подхода к забою карьеров, однако не решают основной задачи — осушения толщи вскрышных пород. Эти траншеи в ряде случаев не обеспечивают кратковременной устойчивости рабочих бортов карьеров на период, достаточный для проведения определенного цикла горных работ и долговременной устойчивости нерабочих бортов при максимально допустимой крутизне их откосов на весь период эксплуатации месторождений. Поэтому и возникает необходимость дальнейших работ по осушению месторождений.

3. О дальнейшем направлении осушения месторождений второй и третьей очередей эксплуатации. Месторождения второй и третьей очередей, находящиеся в более сложных гидрогеологических условиях, естественно, потребуют осушения. Однако правильный выбор метода и способов осушения отдельных водоносных горизонтов и месторождений в целом требует дифференцированного подхода.

Размеры бокситовых залежей весьма невелики, в связи с чем продолжительность разработки карьерами таких месторождений (при современной мощной технике) будет не более 5—8 лет. Такие малые сроки существования карьеров не могут оправдать больших капитальных зат-

рат на осушение. Следовательно, выявление достаточно эффективных и экономически выгодных мероприятий в условиях разработки месторождений тихвинских бокситов глубокого залегания (второй и третьей очередей эксплуатации) является задачей, требующей скорейшего решения.

Вопросы устойчивости бортов карьеров в соответствующих гидрогеологических условиях отдельных месторождений необходимо рассматривать в тесной связи с характером проведения горных работ (высоты и числа уступов, положения экскаваторов с учетом динамической нагрузки на породы основания, темпов продвижения очистных и вскрышных забоев и т. д.). В связи с этим в условиях Тихвинских карьеров большое значение приобретает выбор наиболее эффективных в технико-экономическом отношении мер по обеспечению кратковременной устойчивости пород. Иными словами, при выборе той или иной схемы дренирования следует исходить из конкретных гидрогеологических условий и принимаемой системы вскрытия и отработки месторождений.

Как известно, к способу осушения и дренажным устройствам предъявляются следующие основные требования: 1) надежность выбранного способа осушения и эффективность работы дренажных устройств; 2) увязка сроков осушения с календарными сроками вскрышных и добычных работ; 3) малая стоимость осушительных мероприятий.

Успешность проведения горных работ будет во многом зависеть от эффективности выбранного способа осушения, так как осуществление в приемлемые сроки осушения толщи вскрышных пород обеспечит устойчивость откосов карьеров и безаварийную работу горных и транспортных механизмов.

Подземный и комбинированный способы осушения хотя и являются наиболее эффективными, сложны в исполнении и требуют больших капитальных затрат, если принять во внимание конфигурацию бокситовых залежей, приуроченных к погребенным узким и часто неправильным по форме девонским долинам. Следовательно, по технико-экономическим показателям эти способы осушения, по-видимому, неприемлемы для условий Тихвинских месторождений. Здесь целесообразны поверхностные способы. Они наиболее экономичны и хорошо увязываются с принятой на рудниках системой ведения горных работ.

Как указано ранее, песчано-глинистая толща карбона обводнена и имеет низкую водоотдачу. Для обеспечения устойчивости бортов карьеров толщу вскрышных пород необходимо осушать, причем дренажные мероприятия должны опережать вскрышные работы, проводимые на первоочередных участках отработки карьерного поля.

Опытными работами по ряду месторождений нами установлено, что при осушении обводненных мелко- и тонкозернистых песков водопонижающими и водопоглощающими скважинами уровень подземных вод снижается со средней скоростью до 0,5—1 м в месяц, или 6—12 м в год [2]. В рассматриваемом районе пески надпродуктивной толщи, как правило, залегают линзами, реже — линзовидными прослоями мощностью не более 5—10 м и в исключительных случаях до 15—20 м. Следовательно, предварительное осушение за 1—2 года до начала вскрышных работ должно обеспечить снижение уровня подземных вод в песках до почвы.

В зависимости от конкретных гидрогеологических условий на том или ином месторождении предварительное осушение может быть осуществлено различными дренажными устройствами: водопонижающими скважинами и колодцами, водопоглощающими скважинами, иглофильтро-

выми установками и др. [2 и 3]. Наличие предварительного дренажа на Тихвинских бокситовых месторождениях, конечно, не исключает и эксплуатационного текущего осушения, которое должно быть предусмотрено в качестве профилактического. Проводится текущее осушение одновременно со вскрышными и добычными работами на весь период разработки месторождения. Текущее осушение может быть осуществлено опережающими дренажными траншеями, откосными самотечными канавами и указанными выше техническими средствами дренажа, которые применяют при предварительном методе осушения месторождений.

Основная цель предлагаемых мероприятий по осушению бокситовых месторождений — недопущение подземных вод к откосам разрабатываемых карьеров. При этом успешность выбора наиболее эффективной системы осушения основывается на принадлежности месторождения к соответствующей степени обводненности.

Все предусмотренные мероприятия по обеспечению устойчивости бортов карьеров будут эффективными, если проводятся совместно с тщательным осушением поверхности разрабатываемых участков и если правильно организованы подземный и поверхностный водоотливы.

Исходя из опыта осушения отработываемых месторождений и данных опытных работ по использованию водопоглощающих скважин по ряду карьеров, наиболее рациональным и дешевым способом осушения месторождений второй и третьей очередей эксплуатации, по-видимому, следует считать опережающие дренажные траншеи, подсекающие водоносные горизонты, участвующие в обводнении месторождений в сочетании с водопоглощающими скважинами [2, 5]. В этом случае предполагается обязательный отвод вод из бокситового горизонта или самотечными канавами, или путем откачки их насосной установкой (открытый водоотлив).

Эта система имеет несомненные преимущества по сравнению с другими системами. Водопоглощающие скважины достаточно эффективны в работе, просты в исполнении, эксплуатация их несравненно дешевле, чем, например, водопонижительных скважин. Организация же открытого централизованного водоотлива также более экономична, чем откачка из рассредоточенных водопонижительных скважин.

Когда водопроводимость бокситового горизонта меньше суммы водопроводимостей осушаемых горизонтов, т. е.

$$k_1 m_1 < \sum_{i=2}^n k_i m_i,$$

где k_1 и k_i — коэффициенты фильтрации соответственно бокситового и осушаемого горизонтов, m_1 и m_i — их мощности, осушение следует проводить с применением водопонижающих скважин. В этом случае наиболее экономичным способом осушения для месторождений района будет сочетание водопонижающих скважин с водопоглощающими при условии постоянного забора вод из бокситового водоносного горизонта.

В процессе ведения горных работ происходит скопление вод в виде луж и небольших озер за счет атмосферных осадков и высачивания подземных вод. Отвод этих вод на ряде рудников осуществлен посредством водопоглощающих скважин, местоположение которых определяется конкретными условиями ведения горных работ.

Общая схема направления осушительных мероприятий на Тихвинских месторождениях приведена в таблице.

Общее направление осушительных мероприятий

Для месторождений малой степени обводнения, расположенных непосредственно у основания карбонового глинта	Для месторождений средней степени обводнения, расположенных в пределах полосы карбонового глинта	Для месторождений сильной степени обводнения, расположенных в пределах карбонового плато
--	--	--

Предварительное осушение

Регулирование поверхностного стока

Проведение передовой дренажной траншеи в сочетании с системой водопоглощающих скважин при условии отвода воды из бокситового водоносного горизонта

Устройство сети ограждающих водопоглощающих скважин

В ряде случаев устройство сети водопонижающих и водопоглощающих скважин при условии отвода воды из бокситового водоносного горизонта (открытый водоотлив из карьера или централизованный забор из группы скважин)

Текущее осушение

Развитие мероприятий предварительного осушения в соответствии с планами горных работ

Открытый водоотлив из карьера

Устройство канав для отвода воды из пределов рабочих площадок и забойной части дренажной траншеи или карьера в зависимости от развития горных работ

Отвод воды из пределов рабочих площадок посредством водопоглощающих скважин

По мере необходимости отвод воды из пределов рабочих площадок посредством водопоглощающих скважин

По мере надобности осушение отдельных участков карьера (карьерного поля) посредством водопоглощающих скважин (в местах прорыва воды через заградительную сеть водопонижающих скважин)

Местное применение иглофильтровых установок, где водопонижение нецелесообразно

ЛИТЕРАТУРА

1. Вишняков С. Г. Литологический очерк Тихвинского района. Тр. Ленингр. геол. упр., 1940, ч. I, вып. 21.
2. Лехтимяки Э. В. Использование водопоглощающих скважин в целях осушения Тихвинских бокситовых месторождений. Изв. высш. учеб. заведений. «Геология и разведка», 1959, № 12.
3. Лехтимяки Э. В. Гидрогеологические условия разработки Тихвинских месторождений. Изв. высш. учеб. заведений. «Геология и разведка», 1960, № 8.
4. Новожилов В. Н. Оползни на рудниках Тихвинского глиноземного завода. Сб. «Вопросы инженерной геологии Ленинградского экономического района». ЦБТИ, 1960.
5. Сердюк К. Ф., Снегирев А. Е. Опытная разработка Губского месторождения бокситов в обводненных породах. «Горный журнал», 1958, № 10.