

УДК 622.271.45

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРООТВАЛА ВСКРЫШНЫХ ПОРОД  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ ОБВОДНЕННОГО БУРОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**В. И. Ческидов, А. В. Резник**

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,  
E-mail: cheskid@misd.nsc.ru, Красный проспект, 54, 630091, Новосибирск, Россия*

Рассмотрены вопросы складирования вскрышных пород в гидроотвале, размещаемом в выработанном карьерном пространстве. Выделены особенности отвалообразования в условиях разреза, отрабатывающего пологопадающее обводненное бурогольное месторождение без его осушения. Установлены зависимости параметров гидроотвала от способов намыва. Отмечена целесообразность формирования гидроотвала без устройства оградительной дамбы.

*Гидроотвал, технологический водоем, вскрышные породы, гидросмесь, намыв*

DOI: 10.15372/FTPRPI20190212

На примере разреза “Урюпский” Канско-Ачинского топливно-энергетического комплекса рассматриваются вопросы гидроотвалообразования вскрышных пород в выработанном карьерном пространстве в составе технологии разработки обводненного бурогольного месторождения без проведения мероприятий по его осушению [1]. Гидроотвал размещается в хвосте технологического водоема, организованного для сбора поступающей в разрез воды (подземных вод и атмосферных осадков), что, с одной стороны, исключает необходимость изъятия дополнительных земельных площадей, а с другой — создает дополнительные сложности (рис. 1).

Выбор места для размещения гидроотвалов влияет на себестоимость гидромеханизированных работ, определяет их эффективность и экологическую безопасность. По расположению различают следующие типы гидроотвалов (хвостохранилищ, шламоохранилищ): овражные и балочные, создаваемые путем перегораживания их дамбами; равнинные, расположенные на местности ровной или с небольшим уклоном, огражденные со всех сторон дамбами; косогорные, огражденные дамбами и частично рельефом местности; котловинные и котлованные, расположенные соответственно в местных понижениях и выемках отработанных карьеров [1]. Гидроотвал разреза “Урюпский” можно отнести к двум типам: овражным (долинным) по геометрическим параметрам и уклону основания, а также к котлованным по местоположению.

Особенностью гидроотвала в предлагаемой технологии является нестационарный характер его размещения, когда развитие отвального фронта ведется вслед за продвижением фронта добычных работ и перемещением технологического водоема по почве угольного пласта. Исходя из параметров выработанного пространства, формирование гидроотвала возможно по двум вариантам: с сооружением оградительных дамб вдоль верхней кромки технологического водоема (рис. 2) и без их сооружения (рис. 3).

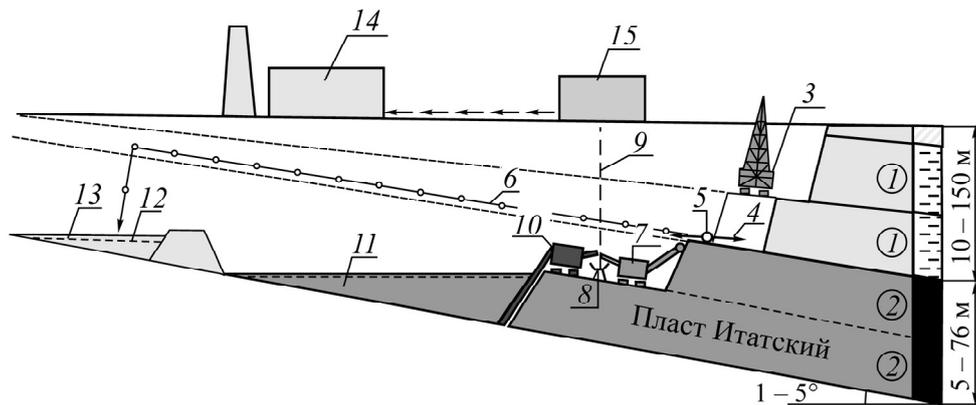


Рис. 1. Технологическая схема разработки Урюпского буроугольного месторождения: 1 — вскрышные уступы; 2 — добычные уступы; 3 — экскаватор-драглайн; 4 — гидромонитор; 5 — забойный пульпопровод; 6 — магистральный пульпопровод; 7 — роторный экскаватор; 8 — забойный конвейер; 9 — магистральный конвейер; 10 — многочерпаковый экскаватор; 11 — технологический водоем; 12 — гидроотвал; 13 — отвальный пульповод; 14 — ГРЭС; 15 — перегрузочный пункт

В первом варианте формирование гидроотвала происходит по одной из двух схем его заполнения [2]: от дамбы к пруду-отстойнику (рис. 2а) и с верховья котлована (выработанного пространства) к дамбе (рис. 2б), от чего зависит способ возведения ограждающей дамбы — насыпной или намывной.

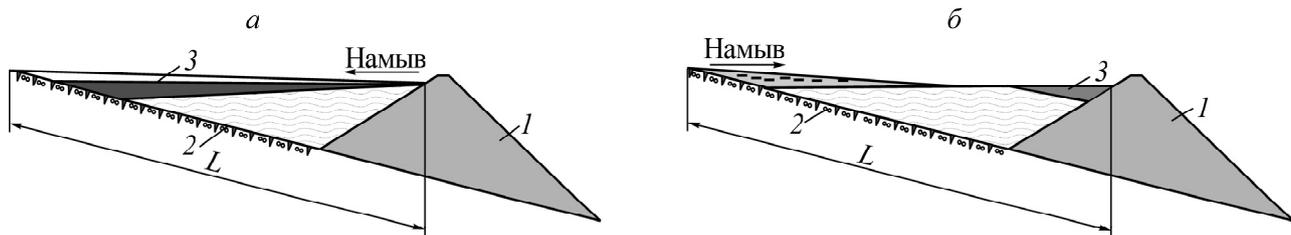


Рис. 2. Схема формирования гидроотвала от дамбы к пруду-отстойнику (а) и с верховья котлована к дамбе (б): 1 — дамба гидроотвала; 2 — тело гидроотвала; 3 — пруд отстойник; L — длина гидроотвала

При укладке пород с верховья долины наиболее целесообразно использовать долины с пологими уклонами и боковыми откосами, а также проектировать отвалы с максимальной для данного уклона местности высотой [2]. Как при укладке пород от плотины, так и при намыве с верховья долины предпочтительнее долины с основанием большей ширины. Этим выводам в значительной степени соответствуют параметры выработанного пространства разреза “Урюпский” для размещения гидроотвала вскрышных пород: пологий до 7° уклон основания гидроотвала (почвы пласта Итатский); большая ширина основания и наличие боковых откосов (нерабочих бортов разреза). Выбор варианта формирования гидроотвала должен определяться с учетом конкретных горнотехнических условий разреза и параметров выработанного пространства. Емкость гидроотвала зависит от объема укладываемой породы, ее гранулометрического состава, интенсивности водоотдачи и уплотнения. Распространенные в границах поля разреза гравийно-песчаные и супесчаные породы быстро отдают воду (осаждаются в воде), незначительно изменяя свой объем на отвале по сравнению с первоначальным в целом. Глинистые породы обладают малой водоотдачей и значительно увеличивают свой объем в отвале по сравнению с объемом в целом.

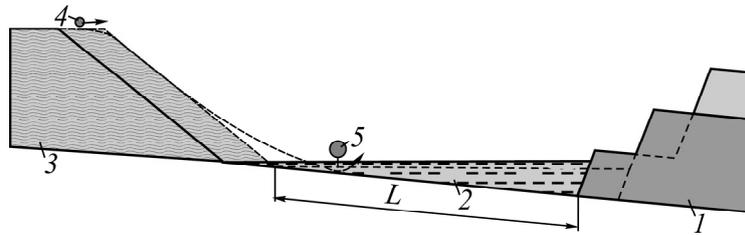


Рис. 3. Схема формирования гидротова в выработанном пространстве без сооружения ограждающих дамб: 1 — угольный пласт Итатский; 2 — технологический водоем; 3 — гидротова; 4 — трубопровод слива гидросмеси; 5 — боновое ограждение

С учетом выдержанности размеров поля разреза и незначительной изменчивости углов наклона почвы угольного пласта параметры гидротова могут быть приняты однозначными на весь период его эксплуатации: ширина (по простираанию фронта горных работ) — 6000 м, длина: в варианте с дамбами — 200–250 м, без дамб — 350–700 м (в зависимости от длины осаждения крупных фракций гидросмеси).

Требуемая емкость (геометрический объем  $W_r$ , м<sup>3</sup>) гидротова в варианте с ограждающими дамбами определяется из выражения [3]:  $W_r = W_k K_{гр} K_h + (W_n + W_d)$ , где  $W_k$  — объем грунта, разработанный в карьере, м<sup>3</sup>;  $K_{гр}$  — коэффициент разрыхления/набухания, учитывающий состав карьерного грунта (для легких суглинков 1.05; средних 1.1; тяжелых 1.15);  $K_h$  — коэффициент, учитывающий высоту гидротова;  $W_n$  — объем прудка гидротова, м<sup>3</sup>;  $W_d$  — дополнительная емкость для сбора стока воды, поступающей в разрез, м<sup>3</sup> (определяется проектом).

Исходные значения для расчета:  $W_k = 21700$  м<sup>3</sup>;  $K_{гр} = 1.15$ ;  $K_h = 1.1$ . Значение  $W_n$  принимается равным 5-суточному объему гидросмеси, подаваемому в гидротова ( $W_k = 21700000 : 180 \cdot 5 = 602778$  м<sup>3</sup>; 180 — продолжительность сезона, дней). Значения  $W_n$  и  $W_d$  принимаются по [2]:  $W_r = 21700000 \cdot 1.15 \cdot 1.11 + (602778 + 350000) = 28652828$  м<sup>3</sup>.

Большое значение при формировании гидротова имеют параметры уклонов намываемой поверхности и длины осаждения частиц складированной гидросмеси. От уклона в значительной степени зависят емкость и глубина создаваемого отстойника осветленных вод. Выполяживание намываемой поверхности гидротова (пляжа) при необходимости создания отстойников большой емкости приводит к дополнительным затратам на возведение дамб. От уклона намываемой поверхности гидротова зависит последовательность и интенсивность передвижек отвалных трубопроводов и порядок проведения намывных работ. Профиль откоса намыва имеет форму вогнутой кривой.

Для ориентировочных расчетов среднего уклона откоса намыва использовалась формула  $I_{cp} = a \sqrt[3]{C_S} / \sqrt[4]{1.6Q/L}$ , где  $a$  — коэффициент, зависящий от состава грунта (для мелких и средних песков 3.0–3.5; для разнородных и крупных 4.5–5.0);  $Q$  — расход пульпы, подаваемой в гидротова, л/с;  $L$  — длина откоса намыва, м;  $C_S$  — весовая консистенция пульпы при выпуске (принималась переменной — 20, 22 и 30 %):  $C_S = (\gamma_n - \gamma_0) / (\gamma_r - \gamma_n) = \gamma_r / \gamma_0 \cdot 100\%$ , где  $\gamma_r$  и  $\gamma_n$  — удельный вес грунта и пульпы [2]. В расчете приняты исходные условия:  $Q = 3120$  л/с — исходя из условия годового объема вскрыши 21.7 млн м<sup>3</sup> и продолжительности намыва 180 сут;  $L = 50–500$  м принималась переменной.

На рис. 4 приведены зависимости изменения уклона намываемой поверхности для различных по крупности грунтов с различной весовой консистенцией пульпы при переменной длине откоса намыва, построенные с использованием расчетных данных.

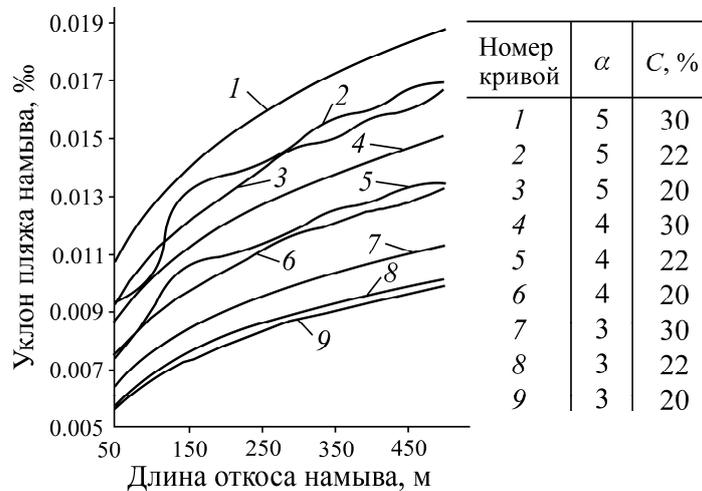


Рис. 4. Зависимость уклона намываемой поверхности для различных по крупности кусков породы ( $\alpha$ ) с различной весовой консистенцией пульпы ( $C$ ) от изменения длины откоса намыва

Очевидно, что чем больше крупность кусков породы и консистенция пульпы, тем больше уклон пляжа намыва гидроотвала. Определение пути осаждения частиц гидросмеси, а также количества и размера частиц, которые будут вынесены с отработанной водой, выполнено по формуле [4]:  $L = k / (k + 1) V / WH_0$ , где  $H_0$  — полная глубина отстойника, м;  $V$  — поверхностная скорость течения потока пульпы, м/с;  $k = 1 + 4.8 \sqrt[1.2]{H_0 / V}$ ;  $W$  — гидравлическая крупность фракций, см/с. Исследования проведены для традиционного варианта формирования гидроотвала с оградительной дамбой и без сооружения последней.

Задаваясь переменными величинами поверхностной скорости течения пульпы  $V$  и глубиной отстойника  $H_0$ , получены зависимости изменения длины осаждения частиц разной крупности при сбросе их в гидроотвал по первому варианту (рис. 5). Для установления кривых приняты наиболее повторяющиеся значения расчетных показателей.

Приведенные зависимости показывают, что длина осаждения породных частиц зависит в первую очередь от их крупности, глубины отстойника, а также течения пульпы. Для варианта с оградительной дамбой дальность осаждения породных частиц не будет иметь особого значения, так как наличие дамбы будет препятствовать их проникновению в технологический водоем. В варианте без сооружения дамб этот показатель имеет существенное значение как определяющий возможность риска проникновения мелкодисперсных породных частиц в зону добычных работ цепного экскаватора.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в рассматриваемом варианте размещение ежегодного (сезонного) объема гидровскрышных пород в размере 21.7 млн м<sup>3</sup> потребует сооружения оградительной дамбы высотой не менее 35 м. Для размещения объемов последующего сезона необходимо ежегодное наращивание текущей дамбы или каскадное строительство подобных дамб, что представляется достаточно сложным и затратным, особенно в условиях повышенной увлажненности основания отвала.

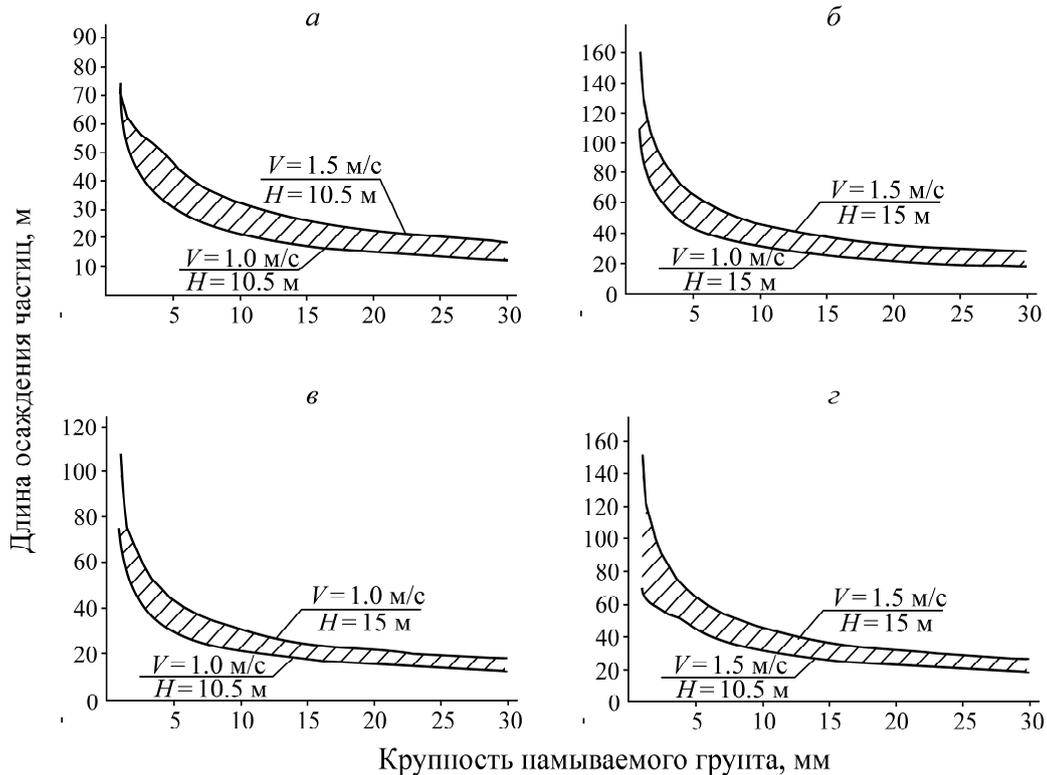


Рис. 5. Зависимость изменения длины осаждения частиц разной крупности при постоянных глубине отстойника  $H=10.5$  (а), 15 м (б) и поверхностной скорости течения пульпы  $V = 1.0$  (в), 1.5 м/с (г)

Второй вариант формирования отвала без сооружения оградительных дамб (рис. 3) предпочтительней как менее трудоемкий, но требует дополнительных исследований в части его воздействия на технологический водоем.

Учитывая непосредственный контакт гидроотвала с технологическим водоемом, следует ожидать миграции в него элементов гидросмеси с возможным проникновением в подтопленные угольные забои, что может привести к повышению зольности угля, добываемого цепными экскаваторами. Управление этим процессом предполагается путем регулирования его параметров: скорости налива и гранулометрического состава гидросмеси. Оптимизация последнего возможна за счет смешения пульпы из забоев с различными физико-механическими свойствами вскрышных пород. При соответствующем технико-экономическом обосновании целесообразно применение бонового заграждения для задержания взвешенных частиц гидросмеси. (рис. 3).

Как показали исследования, формирование гидроотвала возможно по любому из рассмотренных вариантов. Для разреза “Урюпский” за основу принят вариант формирования гидроотвала без сооружения оградительных дамб как наименее затратный и обеспечивающий размещение наибольшего объема вскрышных пород. Согласно принятой концепции подвижного гидроотвала без оградительной дамбы, его емкость следует определять из расчета складирования годового (сезонного) объема вскрышных пород, составляющих 21.7 млн м<sup>3</sup> на стабильный период эксплуатации разреза. В структурном отношении гидроотвал может быть представлен как клин (рис. 6). При постоянной ширине отвального фронта (6000 м) приращение емкости гидроотвала возможно за счет высоты и длины его основания. Объем гидроотвала определяется из выражения  $V_{\Gamma} = \Pi_{\Gamma} H_{\Gamma} L_{\Gamma}$ , где  $\Pi_{\Gamma}$ ,  $H_{\Gamma}$  — ширина и высота гидроотвала, м;  $L_{\Gamma}$  — длина его основания, м.

Исходя из результатов исследований [5, 6] и опыта сооружения намывных сооружений, высота гидроотвала разреза “Урюпский” принята равной 35 м, ширина основания отвальной заходки — 120 м, соответствующей годовому подвиганию фронта добычных работ и перемещению технологического водоема. Объем отвальной заходки составит  $V_r = 6000 \cdot 35 \cdot 120 = 25\,200\,000 \text{ м}^3$ . Полученное значение удовлетворяет условию размещения годового объема складировемых пород 21 700 000 м<sup>3</sup>.

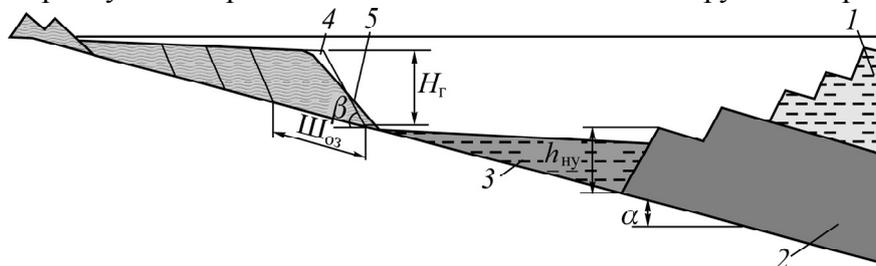


Рис. 6. Схема к расчету вместимости гидроотвала: 1 — вскрышные уступы; 2 — угольный пласт Итатский; 3 — технический водоем; 4 — расчетный контур отвальной заходки; 5 — предполагаемый контур отвальной заходки;  $h_{ny}$  — высота нижнего угольного уступа;  $\text{Ш}_{оз}$  — ширина отвальной заходки;  $\alpha$  — угол падения пласта;  $\beta$  — угол откоса гидроотвала;

Намыв гидроотвала предусматривается по схеме “от берега – к откосу” безэстакадным способом с расположением пульпопровода на намытом грунте (рис. 3). Управление раскладкой исходного материала на карте намыва предполагается за счет изменения интенсивности намыва, размеров выпускных сооружений и гранулометрического состава гидросмеси.

С позиций рекультивации гидроотвала большое значение имеют состав и характеристика слагающих его пород. Обычно после завершения эксплуатации гидроотвалов слагающие их намывные породы представлены слабоуплотненными осадками от текучей до мягкопластичной консистенции, лишь нижние горизонты техногенных массивов сложены тугопластичными и полутвердыми отложениями. Опыт изучения гидроотвалов с большим сроком “отдыха” показал, что состояние намывных пород с течением времени меняется незначительно [7]. Особенностью гидроотвала разреза “Урюпский” является его подвижный характер с постоянным (сезонным) наращиванием отвального фронта вскрышными породами со всех уступов, разрабатываемых в данный период гидромониторно-землесосными комплексами. Это обуславливает различный породный состав и неоднозначное состояние отвальных заходок — от слабоуплотненных в активной зоне отвала до более плотных в его начале, что будет определять способ и время проведения рекультивационных работ [8]. Как показывают исследования и практика отвалообразования вскрышных пород, в сравнении с “сухими” отвалами гидроотвалы, сложенные различными литологическими разностями, обладают более высокой восстановительной способностью и лучшими условиями для проведения рекультивационных работ.

С технологических и экологических позиций предлагаемые решения по гидромеханизированной отработке и гидроотвалообразованию вскрышных пород имеют следующие преимущества [9]:

- отсутствует необходимость изъятия земельных площадей вне поля разреза для размещения вскрышных пород. С учетом равнинного характера поверхности территории вблизи поля разреза, при размещении гидроотвала за его пределами для складирования вскрышных пород потребуется изъятие более 2500 га земельных угодий [10];

- сокращается расстояние транспортирования гидросмеси от забоев до гидроотвала;

- исключаются кризисные ситуации, связанные с возможным прорывом гидросоружений, и загрязнением окружающей среды;

- снижаются вредные выбросы в атмосферу (благодаря замене пылящих процессов на “мокрые”).

Следует отметить, что в составе технологии разработки Урюпского месторождения без его изменения вариант складирования вскрышных пород в гидроотвале, формируемом в выработанном карьерном пространстве, является наиболее технологичным и наименее опасным для окружающей среды.

#### **ВЫВОДЫ**

В условиях обводненного пологопадающего Урюпского месторождения Канско-Ачинского буроугольного бассейна, разработка которого предлагается без осушения продуктивной толщи с использованием карьерных вод в технологическом цикле добычи угля, складирование вскрышных пород целесообразно проводить в гидроотвале, размещаемом в выработанном пространстве разреза.

Установлено, что формирование гидроотвала следует проводить по варианту без сооружения оградительных дамб как наименее трудоемкому и более технологичному в эксплуатации. В числе основных параметров гидроотвала выделены угол уклона намываемой поверхности и длина осаждения элементов гидросмеси, влияющих на степень загрязнения призабойной зоны технологического водоема. Снижение влияния этих факторов предусматривается путем регулирования скорости выпуска и гранулометрического состава смеси. Исследования показали, что реализация предлагаемого варианта отвалообразования позволит снизить затраты на сооружение и эксплуатацию гидроотвала, а также повысить экологическую безопасность горных работ.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Резник А. В., Ческидов В. И. Технология открытой разработки обводненных буроугольных месторождений Канско-Ачинского бассейна // ФТПРПИ. — 2019. — № 1. — С. 106–115.
2. Нурук Г. А., Лутовников А. Г., Шерстюк А. Д. Гидроотвалы на карьерах. — М.: Недра, 1977. — 311 с.
3. Горная энциклопедия. Т. 2. — М.: Сов. энцикл., 1986. — 575 с.
4. Соколов Д. Я. Использование водной энергии. — М.: Колос, 1965. — 447 с.
5. Семенова К. М. Влияние рельефа местности и технологии намыва на эффективность гидроотвалообразования // Маркшейдерский вестн. — 2013. — № 4 (95). — С. 37–40.
6. Черемхина А. П. Оценка закономерностей изменения инженерно-геологических условий устойчивости гидроотвалов вскрышных пород в зависимости от этапа эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук. — СПб., 2014. — 201 с.
7. Щетинина А. П., Дудлер В. И. Проблемы инженерно-геологического и геоэкологического обоснования проектов намывных хвостохранилищ: тез. докл. X конф. изыскателей “Гидропроекта”. — М., 1991.
8. Ялтанец И. М. Справочник по гидромеханизации. — М.: Горная книга, 2011. — 737 с.
9. Ческидов В. И., Бобыльский А. С., Резник А. В. К вопросу экологической безопасности добычи угля на месторождениях Сибири // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. — М.: ИПКОН РАН, 2016. — С. 257–260.
10. Технично-экономическое обоснование строительства разреза “Урюпский” П.О. “Красноярскуголь”. — Новосибирск: Сибгипрошахт, 1985.

*Поступила в редакцию 25/III 2019*

*После доработки 25/III 2019*

*Принята к публикации 26/III 2019*