

**Прогноз устойчивости техногенного грунтового массива,
прилегающего к ликвидированному гидроотвалу**

Караблин М. М.^{1*}, Простов С. М.²

¹ Кузбасский головной институт по проектированию угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий «Кузбассгипрошахт», г. Кемерово, Россия

² Кузбасский государственный технический университет, г. Кемерово, Россия

**e-mail: karablin.mm@gmail.com*

Реферат

Введение. Участки бортов карьеров, непосредственно прилегающие к гидроотвалам, характеризуются повышенной опасностью оползнеобразования, особенно при складировании сухих пород вскрыши поверх намывных. Этому способствует сочетание следующих факторов: увеличение суммарной высоты борта; формирование в борту влагонасыщенной ослабленной зоны, имеющей сложную конфигурацию в плане и по глубине; наличие в пределах этой зоны избыточного порового давления, возрастающего за счет пригрузки намывных пород сухим отвалом. Для снижения рисков, связанных с нарушением устойчивости откосов техногенных массивов, выполняют прогноз устойчивости на основе результатов геологического изучения, гидрогеологических наблюдений и геофизических зондирований.

Цель работы. Прогноз устойчивости техногенного массива Краснобродского угольного разреза, прилегающего к гидроотвалу «Бахтыхтинский», на основе объемной геолого-геофизической модели.

Методология. Авторами статьи предложен и реализован алгоритм прогноза устойчивости откосных сооружений на основе объемных геолого-геофизических моделей, формируемых путем комплексирования геологической, гидрогеологической и геофизической информации.

Результаты. В результате анализа баз данных геологического изучения, гидрогеологических наблюдений и электрических зондирований построена объемная геолого-геофизическая модель техногенного массива, прилегающего к гидроотвалу «Бахтыхтинский». Выполнен прогноз устойчивости фактического положения техногенного массива.

Выводы. Для формирования объемной геолого-геофизической модели кроме геометрии борта обязательно следует устанавливать в плане и по глубине границы зон влагонасыщенных пород методом электрических зондирований, а также проводить мониторинг порового давления в пределах этой зоны. Для установления сечения борта с наиболее низким значением коэффициента устойчивости необходимо проводить циклические расчеты, включающие постепенное уменьшение шагов перемещения и поворота расчетного сечения.

Ключевые слова: намывной массив гидроотвала; электрическое зондирование; поровое давление; объемная геолого-геофизическая модель; коэффициент устойчивости.

Введение. В настоящее время развитие угольной промышленности Кузбасса связано с ростом объемов полезного ископаемого, добываемого открытым способом. При этом все актуальней становится проблема складирования больших объемов вскрышных пород. С целью рационального использования земельных ресурсов нередко отвалы скальных и полускальных пород формируют на ликвидированных гидроотвалах [1, 2]. Эксплуатация таких техногенных масси-

вов осложнена наличием в основании водонасыщенных глинистых грунтов, обладающих низкой несущей способностью. В случаях, когда консолидация намывных пород не завершена, при отвалообразовании в техногенном массиве развиваются геомеханические процессы. Для снижения рисков, связанных с нарушением устойчивости откосов техногенных массивов, выполняют прогноз устойчивости на основе результатов геологического изучения, гидрогеологических наблюдений и геофизических зондирований [3–11]. Авторами статьи предложен и реализован алгоритм прогноза устойчивости откосных сооружений на основе объемных геолого-геофизических моделей, формируемых путем комплексирования геологической, гидрогеологической и геофизической информации.

Таблица 1. Физико-механические свойства пород техногенного массива

Table 1. Physico-mechanical properties of man-made soils

Слой	Описание	Δh , м	ρ , т/м ³	W , %	φ , град	C , МПа
<i>Инженерно-геологические изыскания 1979 года</i>						
I	Породы «сухой» вскрыши	0,0–10,5	1,80	–	30	0,01
II, III	Суглинок мягкопластичный с прослоями супеси	10,5–26,3	1,90	27,8	18–20	0,01–0,025
<i>Инженерно-геологические изыскания 1989 года</i>						
I	Породы «сухой» вскрыши	0,0–18,0	1,80	–	30	–
II, III	Намывной суглинок тугопластичный с прослоями супеси	18,0–26,0	1,95–1,96	25,0–26,5	20–25	0,01–0,04
<i>Инженерно-геологические изыскания 2006 года</i>						
I	Породы «сухой» вскрыши	0,0–18,0	1,80	–	30	0,01
II	Намывная супесь с прослоями суглинка	18,0–26,0	1,95–2,13	7,5–10,6	17–24	0,02–0,05
III	Намывной суглинок с прослоями супеси	26,0–30,5	2,06–2,16	12,6–21,2	6–10	0,03–0,05
IV	Суглинок основания аллювиальный	30,0–38,0	2,05–2,12	18,7–24,0	6–8	0,07–0,12

Δh – интервал глубины; ρ – плотность; W – влажность; φ – угол внутреннего трения; C – сцепление.

Целью работы является прогноз устойчивости техногенного массива Краснобродского угольного разреза, прилегающего к гидроотвалу «Бахтытинский», на основе объемной геолого-геофизической модели.

Методика проведения исследований. С целью прогноза устойчивости техногенного массива, объединяющего краевую часть гидроотвала с породами сухой вскрыши и прилегающий к ней борт разреза, были проведены комплексные исследования, включающие инженерно-геологические изыскания, гидрогеологический и электрофизический мониторинг. Для изучения геологического строения и характеристик техногенного массива пробурено 3 геологических скважины. Для детализации изменений свойств исследуемого массива по глубине и в плане проведен электрофизический мониторинг, включающий зондирование (ВЭЗ) в двух точках O_1 и O_2 , максимально приближенных к устьям геологических скважин № 1 и № 2, а также электропрофилирование (ЭП) по двум профилям O_1x_1 и O_2x_2 . Разносы АВ установки при ЭП были выбраны на основании результатов ВЭЗ и соответствовали расположению верхней границы влагонасыщенной зоны. Поскольку исследуемая среда может рассматриваться как двухслойная, для прогноза

изменения мощности h_1 первого слоя (насыпные породы) по данным ЭП использовалась линейная зависимость

$$h_1(x) = h_1 \frac{\rho_k(x)}{\rho_{k0}}, \quad (1)$$

где x – координата оси профиля; h_1, ρ_{k0} – значения h_1 и ρ_k , соответствующие $x = 0$ координате устья контрольной скважины.

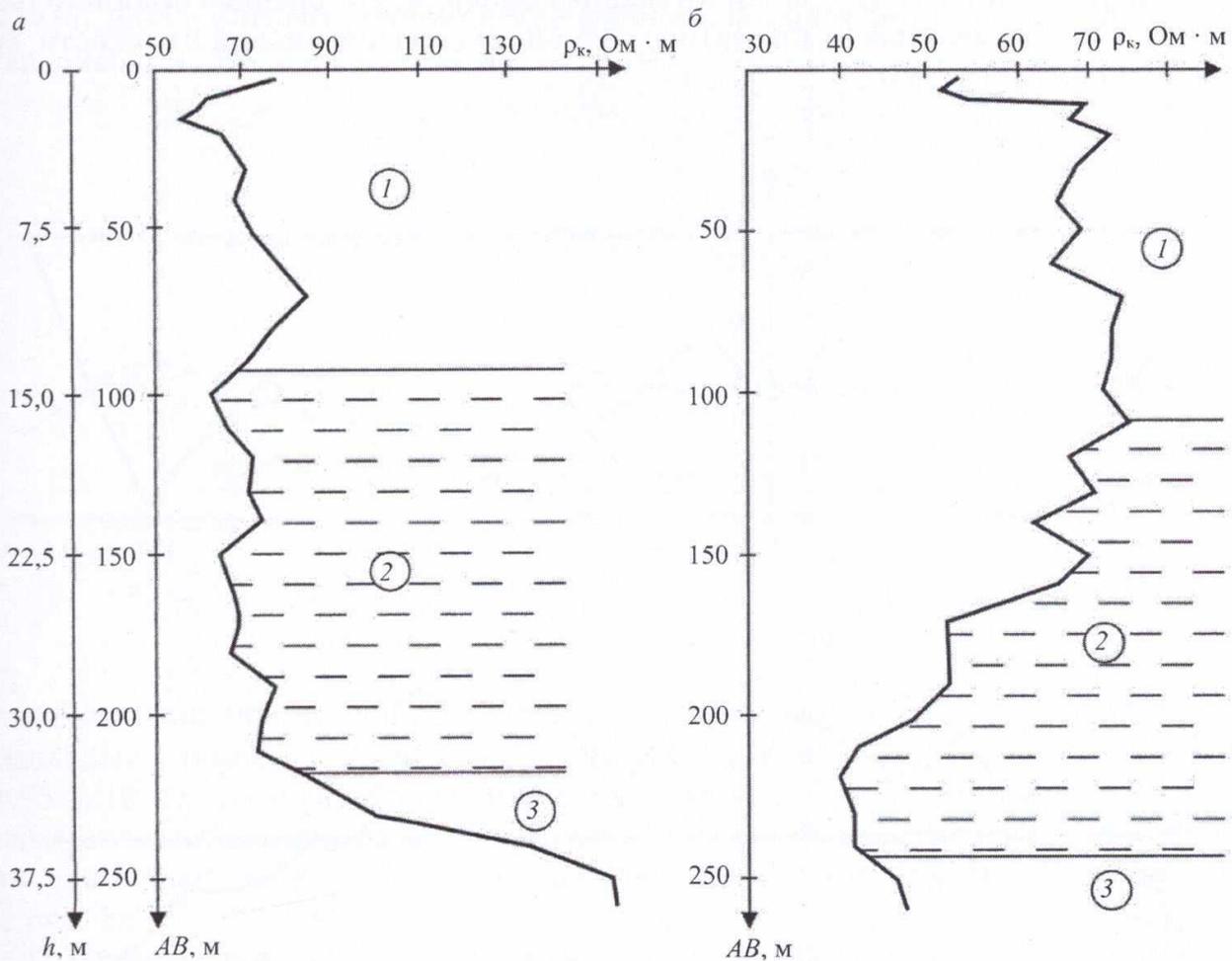


Рис. 1. Результаты ВЭЗ № 1 – а, № 2 – б и их качественной интерпретации: 1 – насыпной грунт (породы сухой вскрыши); 2 – намывные грунты гидротвала; 3 – аллювиальный суглинок основания отвала
Fig. 1. The results of vertical electrical sounding no. 1 – a, no. 2 – б and their qualitative interpretation: 1 – man-made soil; 2 – fill ground soil of the hydraulic-mine dump; 3 – alluvial clayish soil

Гидрогеологические процессы в техногенном массиве изучены на основании анализа результатов наблюдений за поровым давлением по пьезометрическим датчикам струнного типа ПДС, установленным в скважинах № 1–3. Прогноз устойчивости гидротвала выполнен для фактического положения методом алгебраического сложения моментов удерживающих и сдвигающих сил. Согласно данному методу, величина критерия безопасности – коэффициента устойчивости n – вычисляется по формуле:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^k [(P_i \cos \alpha_i - D_i) \operatorname{tg} \varphi_i + C_i]}{\sum_{i=1}^k (P_i \sin \alpha_i)}, \quad (2)$$

где P_i – вес блока пород, отнесенный к 1 м ширины призмы возможного обрушения, Н/м; C – сцепление пород, МПа; φ – угол внутреннего трения пород, град;

α – угол наклона поверхности скольжения в середине блока, град; l_i – длина поверхности скольжения в пределах блока, м; D_i – равнодействующая, включающая совокупное влияние гидростатических и гидродинамических сил в пределах каждого блока, Н/м;

$$D_i = \frac{\rho_B g (H_i - y_i) b_i}{\cos \alpha_i}, \quad (3)$$

где b_i – ширина блока, м; H_i – средний напор в блоке, м; y_i – средняя ордината поверхности, отсчитываемая от принятой (условной) горизонтальной плоскости, м; ρ_B – плотность воды, кг/м³.

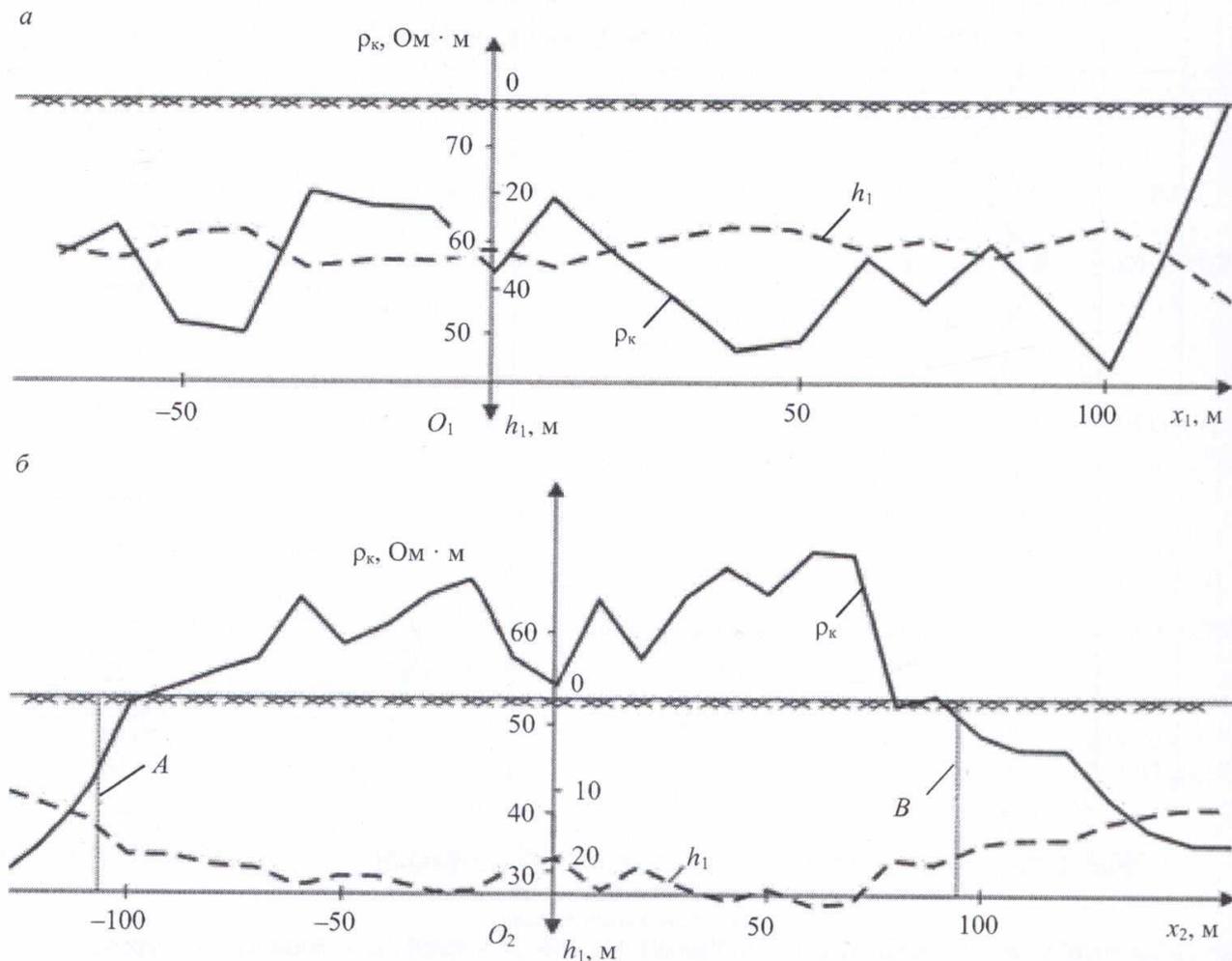


Рис. 2. Результаты ЭП по профилям O_1x_1 – а и O_2x_2 – б, прогнозируемое изменение глубины h_1 залегания верхней границы влагонасыщенного слоя:

AB – границы влагонасыщенной зоны

Fig. 2. The results of electric profiling in sections O_1x_1 – а – а and O_2x_2 – б, the predicted change in the depth h_1 of the upper boundary of the moisture-saturated layer:

AB – boundaries of the waterlogged zone

Влияние гидростатических и гидродинамических сил учитывается для обводненной части призмы возможного обрушения, ограниченной наиболее напряженной поверхностью скольжения и депрессионной кривой.

Результаты. Алгоритм прогноза устойчивости включает формирование объемной геолого-геофизической модели в виде баз данных о геометрии борта, расположении и физико-механических свойствах основных геологических слоев, циклический расчет коэффициентов устойчивости для множества вертикальных сечений, выявление сечения с минимальным значением n [12]. Гидроотвал «Бахтытинский» является сооружением овражно-балочного типа с односторонним

обвалованием, высотой в тальвеге лога до 38 м и площадью 98 га. Намыв гидроотвала осуществлялся в период с 1958 по 1962 г. со стороны дамб обвалования. С 1973 г. гидроотвал служит основанием отвала сухой вскрыши, формирование которого ведется с применением технологической схемы автомобильно-бульдозерного отвалообразования. В 2005 г. при интенсивном развитии отвала в районе профильных линий 18–22 произошло деформирование техногенного массива в сторону горных выработок. После завершения оползневых процессов максимальные отметки отвала превышали значение +380 м. Инженерно-геологические изыскания выполнены межотраслевым научным центром ВНИМИ в 3 этапа – с 1979 по 2006 г. Физико-механические свойства пород техногенного массива представлены в табл. 1.

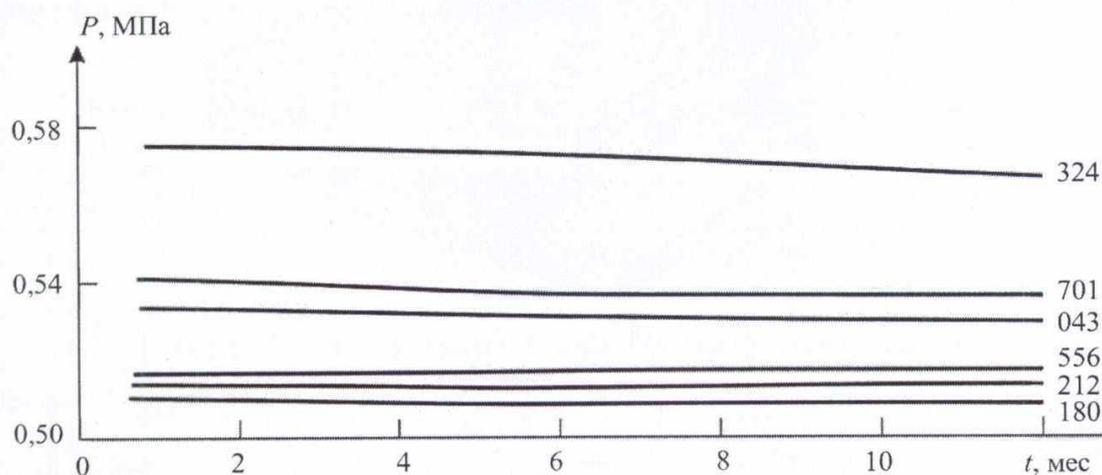


Рис. 3. График изменения порового давления P с течением времени t
Fig. 3. Plot of pore pressure P over time t

Анализ полученных данных показывает, что на момент актуальных изысканий намывные породы уплотнены, имеют высокие показатели плотности ($1,95\text{--}2,16 \text{ т/м}^3$) и низкие значения влажности ($7,5\text{--}21,2 \%$), консистенция пород мягкопластичная и тугопластичная. Отмечается тенденция увеличения сцепления намывных пород за период наблюдений. Результаты ВЭЗ представлены на рис. 1.

Результаты комплексного анализа и качественной интерпретации геолого-геофизической информации следующие:

- глубина зондирований составила $h \approx 0,15AB$ (где AB – разнос питающих электродов установки);

- геоэлектрическая структура массива в районе основной части соответствует двухслойному разрезу; слой влагонасыщенных намывных грунтов расположен на интервале $AB = 90\text{--}240 \text{ м}$ ($h = 13\text{--}36 \text{ м}$), что характеризуется снижением уровня эффективного УЭС ρ_k с $75\text{--}80$ до $60\text{--}65 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ (ВЭЗ № 1), до $40\text{--}50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ (ВЭЗ № 2); слой намывных влагонасыщенных грунтов неоднороден, возможно чередование прослоев с различной степенью влажности;

- ниже намывного слоя ($AB > 220 \text{ м}$, $h > 33 \text{ м}$) расположен подстилающий слой плотных коренных пород (песчаник), что характеризуется повышением уровня эффективного УЭС ρ_k до $140\text{--}150 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Результаты интерпретации электропрофилирования представлены на рис. 2.

Анализ полученных данных показал следующее:

- по O_1x_1 величина h_1 изменяется в диапазоне от 24 до 37 м при среднем значении $h_1 = 31 \text{ м}$, закономерных изменений h_1 в пределах профиля не установлено;

- по O_2x_2 величина h_1 изменяется в диапазоне от 12 до 24 м, причем при приближении к границам исследуемого участка h_1 имеет минимальные значения,

т. е. намывной слой вдавлен в средней части массива насыпными породами, а его верхняя граница изогнута в соответствии с рельефом подстилающих коренных пород естественного лога.

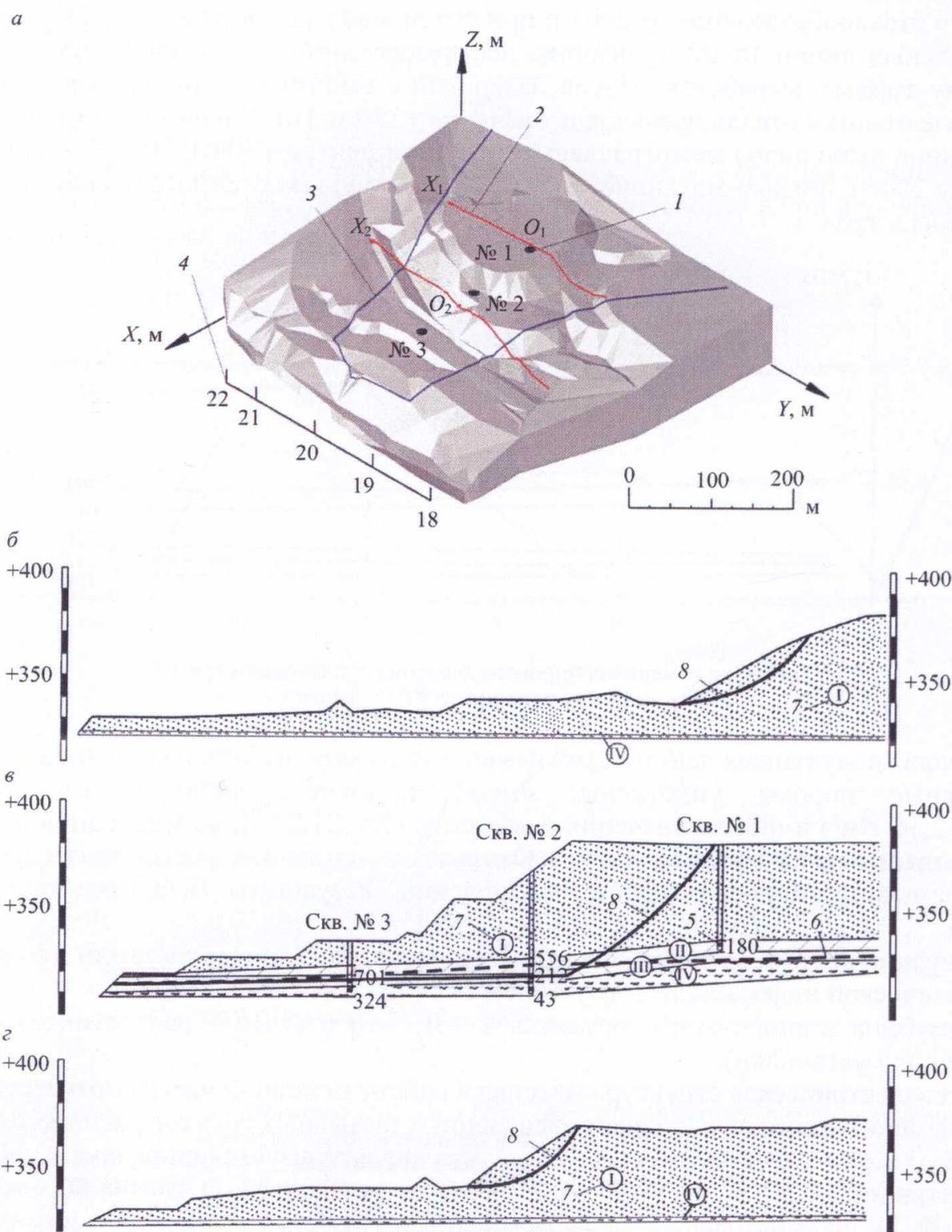


Рис. 4. Объемная геолого-геофизическая модель техногенного массива – а и профильные линии 18 – б, 20 – в, 22 – з:

1 – геологическая скважина; 2 – профиль ВЭЗ и ЭП; 3 – границы влагонасыщенной зоны; 4 – профильные линии; 5 – номер датчика порового давления; 6 – депрессионная кривая; 7 – геологический слой; 8 – наиболее напряженная поверхность скольжения

Fig. 4. Three-dimensional geological-geophysical model – а and sections 18 – б, 20 – в, 22 – з:
1 – earth bore; 2 – geophysical line; 3 – waterlogged zone boundary; 4 – sections; 5 – pore pressure sensor number; 6 – piezometric line; 7 – geologic horizon; 8 – failure surface

Результаты гидрогеомеханического мониторинга получены на основе данных наблюдательной сети, состоящей из 6 датчиков порового давления, установленных в 3 скважинах: 180 (скв. № 1); 556, 212, 43 (скв. № 2); 701, 324 (скв. № 3).

Проведенные измерения свидетельствуют о наличии избыточного порового давления в намывных породах района скважины № 2 и его отсутствии в верхней части скважины № 1 и всей толще скважины № 3. В глинистых грунтах естественного основания избыточное поровое давление отмечалось по всем точкам измерений, при этом максимальные его значения зарегистрированы по датчику, установленному в скважине № 3, а минимальные – по датчику скважины № 2. Для построения депрессионной кривой в теле гидроотвала выполнен пересчет значений порового давления в метры водяного столба. График изменения порового давления P с течением времени t представлен на рис. 3.

На основании построенной объемной геолого-геофизической модели выполнен прогноз устойчивости техногенного массива по профильным линиям 18–22. Результаты представлены на рис. 4 и в табл. 2.

Таблица 2. Результаты прогноза устойчивости техногенного массива
Table 2. The results of slope stability analysis of the man-made spoil dump

Профиль	z_v , м	z_n , м	h , м	α , град	h_1 , м	P , МПа	n
18	373,5	339,2	34,3	28	0		1,32
19	357,2	335,1	22,1	21	7–11	0,508	1,19
20	382,1	305,2	76,9	19	8–12	0,513–0,529	1,10
21	378,0	338,0	40,0	27	2–9	0,536–0,566	1,26
22	370,5	342,0	28,5	30	0		1,46

z_v , z_n – отметки верхней и нижней бровок; h – высота отвала; α – результирующий угол откоса отвала; h_1 – диапазон мощностей влагонасыщенной зоны; P – диапазоны значений порового давления по скважинам № 1, 2, 3; n – коэффициент устойчивости.

По результатам прогноза устойчивости техногенного массива установлено следующее:

- величина коэффициента устойчивости n изменяется в диапазоне от 1,10 до 1,46 при нормативном значении 1,20;
- наиболее опасным сечением является профиль 20, приуроченный к центральной части влагонасыщенной зоны.

Выводы. Участки бортов карьеров, непосредственно прилегающие к гидроотвалам, характеризуются повышенной опасностью оползнеобразования, особенно при складировании сухих пород вскрыши поверх намывных. Этому способствует сочетание следующих факторов: увеличение суммарной высоты борта; формирование в борту влагонасыщенной ослабленной зоны, имеющей сложную конфигурацию в плане и по глубине; наличие в пределах этой зоны избыточного порового давления, возрастающего за счет пригрузки намывных пород сухим отвалом.

Для формирования объемной геолого-геофизической модели кроме геометрии борта обязательно следует устанавливать в плане и по глубине границы зон влагонасыщенных пород методом электрических зондирований, а также проводить мониторинг порового давления в пределах этой зоны.

Для установления сечения борта с наиболее низким значением коэффициента устойчивости необходимо проводить циклические расчеты, включающие постепенное уменьшение шагов перемещения и поворота расчетного сечения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кутепов Ю. И., Васильева А. Д. Инженерно-геологические условия внешнего отвалообразования на разрезах Кузбасса // ГИАБ. 2017. № 10. С. 122–131.

2. Гальперин А. М., Кутепов Ю. И., Круподеров В. С. Инженерно-геологическое обеспечение формирования и последующего использования отвальных массивов на горных предприятиях // ГИАБ. 2015. № 51. С. 20–35.
3. Ческидов В. В. Гидрогеомеханический мониторинг состояния откосных сооружений // Горная промышленность. 2017. № 4(134). С. 78–80.
4. Гальперин А. М., Ческидов В. В., Бородин Ю. В., Демидова А. В. Изучение нестационарных гидрогеомеханических процессов в глинистых породах // ГИАБ. 2016. № 5. С. 195–205.
5. Буй К. З. Перспективы развития комплексного зондирования на горных предприятиях // ГИАБ. 2016. № 11. С. 365–372.
6. Intrieri E., Gigli G., Mugnai F., Fanti R. Design and implementation of a landslide early warning system // Engineering Geology. 2012. No. 147. P. 124–136.
7. Ческидов В. В. Разработка комплексной системы инженерно-геологического и гидрогеологического контроля безопасности эксплуатации горнотехнических сооружений // ГИАБ. 2016. № 9. С. 358–368.
8. Епов М. И., Yurkevich N. V., Bortnikova S. B., Karin Yu. G., Saeva O. P. Analysis of mine waste by geochemical and geophysical methods (a case study of the mine tailing dump of the Salair ore-processing plant) // Russian Geology and Geophysics. 2017. No. 58. P. 1543–1552.
9. Храмов Б. А., Бакарас М. В., Кравченко А. С., Корнейчук М. А. Управление устойчивостью отвалов рыхлой вскрыши железорудных карьеров КМА // ГИАБ. 2018. № 2. С. 66–72.
10. Tabassum B., Bajaj, Priya, Azeem, Ishrat. Electric and electronic waste dump sides causing cadmium contamination in drinking water // International Journal of Plant Research. 2016. No. 29. P. 196.
11. Mesbah, Hany, Ismail, Ahmed, Taha, Ayman, Massoud, Usama, Soliman, Mamdouh. Electrical and electromagnetic surveys to locate possible causes of water seepage to ground surface at a quarry open pit near Helwan city, Egypt // Arabian Journal of Geosciences. 2017. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-017-2997-x>
12. Караблин М. М., Простов С. М. Прогноз устойчивости прибортового массива оползня «Центральный» угольного разреза «Ангренский» на основе объемной геолого-геофизической модели // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 3. С. 39–49.

Поступила в редакцию 7 апреля 2020 года

Сведения об авторах:

Караблин Михаил Михайлович – ведущий инженер технического отдела Кузбасского головного института по проектированию угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий «Кузбассгипрошахт». E-mail: karablin.mm@gmail.com

Простов Сергей Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры теоретической и геотехнической механики Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева. E-mail: psm.kem@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-5-47-55

Slope stability analysis of man-made soil body surrounding the abandoned hydraulic dump

Mikhail M. Karablin¹, Sergei M. Prostov²

¹ Kuzbass Head Institute on Designing of Coal Mining and Coal Processing Enterprises "Kuzbassghiproshakht", Kemerovo, Russia.

² T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia.

Abstract

Introduction. Pit slope sections directly adjoining hydraulic dumps are characterized by the higher risk of landslide, especially in case of storing dry overburden rock over the hydraulically filled overburden. It is contributed to by the combination of the following factors: increase of the total height of the slope, development within the slope of a waterlogged zone of weakness with complex footprint map and depth configuration; excessive pore pressure within this zone which grows by means of adding dry dump to hydraulically filled rock. To reduce risks connected with man-made soil body slope stability violation, slope stability analysis is carried out based on the results of geological survey, hydrogeological observations and geophysical sounding.

Research aims to analyze the stability of the Krasnobrodsky coal pit man-made mass adjoining the Bakhtykhtinsky hydraulic dump based on the 3D geological-geophysical model.

Methodology. The authors of the article offered and realized the algorithm of analyzing the stability of slopes based on 3D geological and geophysical models formed by integrating geological, hydrogeological and geophysical data.

Results. Based on geological survey data analysis, hydrogeological survey and electric sounding, 3D geological-geophysical model of a man-made soil body adjoining Bakhtykhtinsky hydraulic dump has been built. Slope stability analysis of an actual state of the man-made soil body has been carried out.

Summary. In order to develop a 3D geological-geophysical model, in addition to slope geometry, it is necessary to set the boundaries of waterlogged rock in a footprint map and in depth, and monitor pore pressure within this zone. To determine slope section with minimum safety factor it is necessary to carry out cyclic calculation with gradual reduction of approach and design section rotation increment.

Key words: hydraulically filled rock of a hydraulic dump; electric sounding; pore pressure; 3D geological-geophysical model; safety factor.

REFERENCES

1. Kutepov Iu. I., Vasilieva A. D. Geotechnical conditions of external dumping at open pit mines in Kuzbass. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2017; 10: 122–131. (In Russ.)
2. Galperin A. M., Kutepov Iu. I., Krupoderov V. S. Engineering-geological provision of formation and the following use of dump massives at mining enterprises. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2015; S1: 20–35. (In Russ.)
3. Cheskidov V. V. Hydrogeomechanical monitoring of the state of slope structures. *Gornaya promyshlennost = Mining Industry Journal*. 2017; 4(134): 78–80. (In Russ.)
4. Galperin A. M., Cheskidov V. V., Borodina Iu. V., Demidova A. V. Study nonstationary hydrogeomechanical processes in clay rocks. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2016; 5: 195–205. (In Russ.)
5. Bui K. Z. The prospects of complex sounding in mining enterprises. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2016; 11: 365–372 (In Russ.).
6. Intrieri E., Gigli G., Mugnai F., Fanti R. Design and implementation of a landslide early warning system. *Engineering Geology*. 2012; 147: 124–136.
7. Cheskidov V. V. Development of an integrated system of engineering-geological and hydrogeological monitoring of safety of operation of mining and technical facilities. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2016; 9: 358–368. (In Russ.)
8. Epov M. I., Yurkevich N. V., Bortnikova S. B., Karin Yu. G., Saeva O. P. Analysis of mine waste by geochemical and geophysical methods (a case study of the mine tailing dump of the Salair ore-processing plant). *Russian Geology and Geophysics*. 2017; 58: 1543–1552.
9. Khramtsov B. A., Bakaras M. V., Kravchenko A. S., Korneichuk M. A. Loose dump stability control at open pit iron ore mines of the Kursk magnetic anomaly. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2018; 2: 66–72. (In Russ.)
10. Tabassum B., Bajaj, Priya, Azeem, Ishrat. Electric and electronic waste dump sides causing cadmium contamination in drinking water. *International Journal of Plant Research*. 2016; 29: 196.
11. Mesbah, Hany, Ismail, Ahmed, Taha, Ayman, Massoud, Usama, Soliman, Mamdouh. Electrical and electromagnetic surveys to locate possible causes of water seepage to ground surface at a quarry open pit near Helwan city, Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*. 2017. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-017-2997-x>.
12. Karablin M. M., Prostov S. M. Slope stability analysis of the Centralny landslide of the Angren open pit mine with using three-dimensional geological-geophysical model of a rock mass. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 3 39–49. (In Russ.)

Received 7 April 2020

Information about authors:

Mikhail M. Karablin – Lead engineer of the Technical Division, Kuzbass Head Institute on Designing of Coal Mining and Coal Processing Enterprises “Kuzbassghiproshakht”. E-mail: karablin.mm@gmail.com
Sergei M. Prostov – DSc (Engineering), professor of the Department of Theoretical and Geotechnical Mechanics, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. E-mail: psm.kem@mail.ru

Для цитирования: Караблин М. М., Простов С. М. Прогноз устойчивости техногенного грунтового массива, прилегающего к ликвидированному гидроотвалу // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 5. С. 47–55. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-5-47-55

For citation: Karablin M. M., Prostov S. M. Slope stability analysis of man-made soil body surrounding the abandoned hydraulic dump. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 5: 47–55 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-5-47-55