Диагностирование оползнеопасных зон прибортового массива разреза «Ангренский» по данным сейсмо- и электроразведки

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 имени Т. Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия

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

Реферат

Введение. Повышение точности прогноза устойчивости откосных сооружений (бортов карьеров, отвалов, насыпей, выемок, дамб и др.) требует детализации физико-механических свойств исследуемого массива горных пород. Поэтому традиционные методы скважинных инженерно-геологических изысканий и гидрогеологического мониторинга дополняются геофизическими измерениями. **Цель работы.** Диагностирование неустойчивых разуплотненных и обводненных зон в прибортовых массивах для дальнейшего прогноза устойчивости бортов разреза.

Методология. Обработаны, проанализированы и обобщены базы данных геофизических изысканий, полученных экспедициями служб Республики Узбекистан на разрезе «Ангренский».

Результаты. Для опытного участка, представленного 11 сейсмопунктами на южном борту разреза, экспериментально получен критерий отнесения состояния участка массива к потенциально оползнеопасному по результатам кругового сейсмического зондирования. С использованием этого критерия установлены границы в плане оползнеопасной зоны. Для опытного участка, представленного 16 геофизическими профилями на северном борту, по графикам электропрофилирования и геологическим разрезам для соответствующих профилей установлены следующие закономерности: на участках профилей, прилегающих к саям (ручьям), наблюдаются локальные отрицательные аномалии эффективного УЭС до 20–50 Ом · м, связанные с обводнением грунтов; между аномальными участками изменение эффективного УЭС качественно совпадает с изменением мощности слоя рыхлых отложений. По расположению границ отрицательных аномалий на графиках зависимости эффективного УЭС от протяженности профиля по всем профилям (ПР1–ПР16) установлены границы обводненных зон на плане опытного участка

Выводы. Для мониторинга геомеханических процессов в оползнеопасных зонах целесообразно использовать метод кругового сейсмического зондирования с определением величины и вектора коэффициента анизотропии по отношению экстремальных значений времени прихода продольной волны. Для условий разреза «Ангренский» критерием потенциальной опасности формирования оползня является значение коэффициента анизотропии больше 1,6. При детализации физических свойств оползнеопасных зон бортов карьеров, сложенных песчано-глинистыми четвертичными отложениями, методом электропрофилирования целесообразно использовать: линейную зависимость мощности четвертичных отложений от величины эффективного УЭС; гиперболическую зависимость относительной влажности грунтов в пределах зон насыщения водой от величины эффективного УЭС, отнесенной к опорному значению, определенному в месте отбора проб грунта, а границы зон увлажнения определять по отрицательным аномалиям на графиках электропрофилирования. Для построения объемных геолого-геофизических моделей оползнеопасных зон бортов карьеров дополнительно к данным геологическим разрезам следует использовать следующие результаты геофизического зондирования: границы оползнеопасных зон в плане; детализованную геометрию расположения контакта толщ рыхлых четвертичных отложений с коренными породами; измененные за счет увлажнения прочностные свойства грунтов этой толщи.

Ключевые слова: устойчивость бортов карьеров; объемные геолого-геофизические модели; круговое сейсмическое зондирование; коэффициент анизотропии; электропрофилирование; влажность; оползнеопасная зона.

Введение. Повышение точности прогноза устойчивости откосных сооружений (бортов карьеров, отвалов, насыпей, выемок, дамб и др.) требует детализации физико-механических свойств исследуемого массива горных пород. Поэтому традиционные методы скважинных инженерно-геологических изысканий и гидрогеологического мониторинга дополняются геофизическими измерениями. Методы скважинного геофизического каротажа (ультразвукового, сейсмического, ядерно-физического, электрического) обеспечивают получение дискретных баз данных, однако требуют больших объемов буровых работ [1, 2].

Рис. 1. Характерные круговые диаграммы $t_i(\varphi)$ времени прихода продольной волны:

$a - K_a = V_{pmax}/V_{pmin} = 1,01$; $б - K_a = 1,58$; $в - K_a = 2,94$

Fig. 1. Pie charts $t_i(\varphi)$ of the arrival time of the longitudinal wave

$a - K_a = V_{pmax}/V_{pmin} = 1,01$; $б - K_a = 1,58$; $в - K_a = 2,94$

Бесскважинные геофизические методы менее трудоемки, поэтому получили развитие. Наибольшее распространение нашли методы акустического и электромагнитного зондирования с земной поверхности (из подземных выработок).

Методы сейсмомониторинга с использованием различных схем измерений, методик и программных комплексов для интерпретации их результатов применяются для оценки устойчивости прибортовых массивов карьеров, физико-механических свойств пород (грунтов), определения степени разрушения породных массивов, наблюдений за карстовыми процессами оценки прочности горных пород, определения аномальных тектонических зон, уточнения условий залегания пластов и их газонасности, контроля напряженно-деформированного состояния песчано-глинистых грунтов и твердых горных пород [3–14].

Значительное развитие получили электромагнитные методы горнопромышленного геомониторинга. Так, для прогнозирования обводненности углевещающих пород обосновано применение подземно-полевого электрометрического метода [15, 16]. Классические методики электрических зондирований и профилирований используются для контроля пространственно-временных изменений свойств прибортового массива, диагностирования формирования локальных аномальных зон, прогнозирования свойств глинистых грунтов в этих зонах, причем для повышения точности интерпретации данных применяются методики, позволяющие оценить влияние поверхности откоса, а также специальные информационные критерии [17–20].

Рис. 2. Схема опытного участка в южном борту разреза
 Fig. 2. Scheme of the experimental plot in the southern side of the open-pit

Весьма перспективно развитие современной электромагнитной аппаратуры с автоматической компьютеризированной обработкой массива данных. В частности, это относится к методу электротомографии (многоэлектродного зондирования), обеспечивающему построение двумерных геоэлектрических разрезов [21]. Интенсивно развиваются методы построения и обработки радарограмм, полученных методом георадиолокации, в частности, с использованием интегральных критериев и интерферометрической обработки радарных данных [22–25].

На разрезе «Ангренский» проведены комплексные геофизические исследования, целью которых являлось диагностирование неустойчивых разуплотненных и обводненных зон в прибортовых массивах для дальнейшего прогноза устойчивости бортов разреза.

Методика проведения исследований. Сейсмические исследования проведены геологоразведочной экспедицией АО «Уголь» Республики Узбекистан. Использовалась методика кругового сейсмического зондирования (КСЗ), сущность которой состояла в следующем.

Сеймопункт включал точку возбуждения колебаний, расположенную в центре окружности радиусом 10 м, и 12 сеймоприемников, закрепленных в специально подготовленных пунктах по окружности с угловым шагом $\varphi = 30^\circ$. Возбуж-

дение колебаний производилось 10–20 ударами по поверхности массива кувалдой (темпером) массой 20 кг, регистрация выполнялась в режиме накопления сеймостанцией Лакколит 24-М с использованием сейсмоприемников 9С-20dx.

В качестве основного результата обработки сейсмического зондирования использовали величину и направление вектора коэффициента анизотропии $\vec{K}_a$. Величину K_a определяли из соотношения

$$K_a = \frac{V_{p\parallel}}{V_{p\perp}}, \quad (1)$$

где $V_{p\parallel}$, $V_{p\perp}$ – скорости распространения продольной волны в направлении, параллельном плоскости разуплотнения массива и перпендикулярном к ней соответственно.

Таблица 1. Результаты определения коэффициента анизотропии K_a
Table 1. Anisotropy coefficient K_a results

Стадия наблюдения	Номера пунктов КСЗ										
	135	134	133	132	131	130	129	128	127	126	125
Начало	1,29	1,38	1,89	1,76	2,00	1,94	1,63	1,44	1,22	1,37	1,53
2 мес	–	1,38	2,28	1,71	2,68	2,13	1,30	2,13	1,53	1,48	1,56
12 мес	1,73	1,00	2,25	1,71	2,80	2,13	1,45	1,66	1,55	1,48	1,66
15 мес	1,73	1,00	1,50	1,76	2,36	2,25	1,67	1,45	1,48	1,32	1,15
25 мес	–	1,39	2,26	1,71	2,53	2,13	1,48	1,95	1,35	1,32	1,35
33 мес	1,58	–	1,55	1,29	1,95	1,71	1,77	1,53	1,22	1,04	1,06
36 мес	1,38	1,26	1,05	1,29	1,60	1,27	1,47	1,53	1,15	1,04	1,06

Величина K_a комплексно характеризует потенциальную опасность оползнеобразования на исследуемом участке, степень которой определяется снижением прочностных и деформационных свойств массива и развитием деформаций.

Линию действия вектора $\vec{K}_a$ определяли по круговым диаграммам интервалов времени прихода продольной волны t_i от угловой координаты φ (рис. 1). Сопоставление баз данных сейсмического зондирования с результатами визуальных и маркшейдерских наблюдений оползневых процессов позволило предварительно установить следующие характерные диапазоны величины K_a :

- при $K_a = 1$ –1,2 анизотропия выражена слабо в пределах фоновых значений, участок не представляет опасности по вероятности оползня (рис. 1, а);
- при $K_a = 1,2$ –1,6 деформационные процессы находятся в начальной стадии, участок потенциально оползнеопасен (рис. 1, б);
- при $K_a > 1,6$ участок представляет непосредственную опасность по вероятности развития оползня (рис. 1, в).

Электрофизические исследования в прибортовом массиве, прилегающем к оползню «Центральный», были проведены геофизической группой государственной службы Республики Узбекистан по слежению за опасными геологическими процессами. Исследования выполнены методом зондирования по схеме симметричного электропрофилирования установкой АМNB при разносе питающей линии АВ = 100 м и MN = 25 м. Измерения осуществлялись аппаратурой АНЧ-3.

Для построения геологических разрезов по профилям использовались данные испытаний отобранных проб грунтов, результаты гамма- и каротажа электросопротивлений по геологическим скважинам.

Результаты. Схема опытного участка в районе формирующегося оползня на южном борту углеразреза представлена на рис. 2. Опытный участок включал 11 сеймопунктов, расположенных на территории между верхней бровкой борта и р. Ахангаран. Общая протяженность геофизического профиля составила 1,0 км, расстояние между соседними сеймопунктами составило 50–100 м.

Проведена обработка и анализ банка данных полевых измерений методом сейсмических зондирований, полученных исполнителем (табл. 1).

Рис. 3. График изменения величины K_a по номерам СП – а и в зависимости от времени наблюдения – б:

1 – $t = 0$; 2 – $t = 15$ мес; 3 – $t = 25$ мес; 4 – $t = 36$ мес; 5 – СП 134; 6 – СП 132; 7 – СП 131

Fig. 3. Graph of change K_a by seismic station number (SN) – а and by time of observation – б:

1 – $t = 0$; 2 – $t = 15$ months; 3 – $t = 25$ months; 4 – $t = 36$ months; 5 – SN 134; 6 – SN 132; 7 – SN 131

На рис. 3 представлены графики изменения величины K_a по сеймопунктам (СП), расположенным примерно параллельно бровке борта, на различных стадиях наблюдения и в зависимости от времени на СП, расположенных вблизи борта (СП 131), в средней (СП 132) и тыловой (СП 134) частях потенциально оползнеопасной зоны.

Из приведенных результатов следует, что на границах геофизического профиля (СП 134–СП 135 и СП 127–СП 125) величина K_a находится в диапазоне $K_a = 1,04–1,73$, в то время как в центральной части профиля (СП 133–СП 130) она достигает максимальных значений $K_a = 2,00–2,80$ на интервале $t = 12–24$ мес. В дальнейшем (при $t > 24$ мес) с образованием на земной поверхности борта трещин отрыва (см. рис. 2) происходит разгрузка массива, приведшая к снижению

анизотропии механических, акустических свойств массива и соответствующему уменьшению уровня $K_a < 1,6$.

Таким образом, экспериментально установлен критерий отнесения состояния участка массива к потенциально оползнеопасному по результатам кругового сейсмического зондирования: $K_a > 1,6$. С использованием этого критерия установлены границы в плане оползнеопасной зоны (см. рис. 2).

На рис. 4 представлен план опытного участка электрофизических исследований с нанесенными на него геофизическими профилями, графиками электропрофилирования – зависимостями эффективного удельного электросопротивления (УЭС) ρ_k от продольной координаты x , древними руслами саев (по местной терминологии «сай» – это овраг с постоянным или временным водотоком).

Проведены обработка и анализ результатов полевых геофизических исследований по 16 профилям с длиной профиля от 3 до 4 км. Среднее расстояние между точками зондирования составило 50 м.

Основные результаты обработки сводятся к следующему:

- статистическая зависимость мощности слоя рыхлых отложений h от величины эффективного УЭС в точке электрозондирования;
- расположение границ обводненных зон на плане участка.

При составлении графиков электропрофилирования $\rho_k(x)$ и геологических разрезов по соответствующим профилям установлены следующие закономерности (на рис. 5 приведены результаты по профилю ПР3):

- на участках профилей, прилегающих к саям, наблюдаются локальные отрицательные аномалии ρ_k до 20–50 Ом · м, связанные с обводнением грунтов;
- между аномальными участками изменение ρ_k качественно совпадает с изменением мощности слоя m рыхлых отложений.

Для получения количественных зависимостей между физическими величинами проведен корреляционный анализ данных для 42 сечений приведенного профиля вне зон обводнения грунтов.

В ходе корреляционного анализа составлены уравнения видов регрессии: линейной, степенной, экспоненциальной, логарифмической. Для каждого вида вычислялась мера зависимости мощности слоя m рыхлых четвертичных отложений от УЭС ρ_k в точке зондирования: для линейной зависимости – коэффициент корреляции, для остальных – корреляционное отношение. В качестве критериев надежности полученных уравнений использован критерий Фишера F .

Если расчетное значение $F_{\text{расч}}$ больше критического $F_{\text{крит}}$, то уравнение модели признается значимым. Чем больше $F_{\text{расч}}$, тем лучше качество модели. Результаты анализа представлены в табл. 2.

Таким образом, для детализации изменений величины h на межскважинных интервалах вне обводненных зон целесообразно использовать одну из полученных зависимостей.

Основываясь на результатах ранее проведенных исследований в условиях Кузбасса [17–20] для практической приближенной оценки влажности грунтов W в пределах обводненных зон по профилям целесообразно использовать гиперболическую зависимость

$$W(x) = W_0 \frac{\rho_k(x)}{\rho_{k0}}, \quad (1)$$

где W_0 , ρ_{k0} – опорные значения W и ρ_k , определенные на участках бурения геологических скважин.

Рис. 4. План участка геофизических исследований в прибортовом массиве, прилегающем к оползню «Центральный»

Fig. 4. Plan of the geophysical survey in the near-sea massif adjacent to the "Centralny" Landslide

По расположению границ отрицательных аномалий на графиках $\rho_k(x)$ по всем профилям (ПР1–ПР16) установлены границы обводненных зон на плане опытного участка (см. рис. 4).

Рис. 5. График электропрофилирования и геологический разрез левой – а и правой – б частей профиля ПР3

Fig. 5. Graph of electrical profiling and geological section of the left – а and right – б parts of the section PR3

Выводы. Для мониторинга геомеханических процессов в оползнеопасных зонах целесообразно использовать метод кругового сейсмического зондирования с определением величины и вектора коэффициента анизотропии K_a по отношению экстремальных значений времени прихода продольной волны. Для условий разреза «Ангренский» критерием потенциальной опасности формирования оползня является $K_a > 1,6$.

При детализации физических свойств оползнеопасных зон бортов карьеров, сложенных песчано-глинистыми четвертичными отложениями, методом электро-

профилирования целесообразно использовать: линейную зависимость мощности четвертичных отложений от величины эффективного удельного электросопротивления ρ_k ; гиперболическую зависимость относительной влажности грунтов в пределах зон насыщения водой от величины ρ_k , отнесенной к опорному значению, определенному в месте отбора проб грунта, а границы зон увлажнения определять по отрицательным аномалиям на графиках электропрофилирования.

Таблица 2. Корреляционные зависимости между параметрами геоэлектрического и геологического разрезов (h , м; ρ_k , Ом · м)

Table 2. Correlation dependencies between the geoelectric and geological sections (h , m; ρ_k , Ohm · m)

Уравнение	Коэффициент корреляции r (корреляционное отношение R)	Критерий надежности оценки Фишера	
		$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{крит}}$
$h = 0,39\rho_k + 40,95$	$r = 0,76$	54,22	4,08
$h = 10,78\rho_k^{0,44}$	$R = 0,77$	59,03	4,08
$h = 44,90e^{0,01\rho_k}$	$R = 0,74$	48,47	4,08

Для построения объемных геолого-геофизических моделей оползнеопасных зон бортов карьеров дополнительно к данным геологических разрезов следует использовать следующие результаты геофизического зондирования: границы оползнеопасных зон в плане; детализированную геометрию расположения контакта толщи рыхлых четвертичных отложений с коренными породами; измененные за счет увлажнения прочностные свойства грунтов этой толщи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шкурятник В. Л., Николенко П. В., Кормнов А. А. Обоснование метода ультразвукового корреляционного каротажа для структурной диагностики кровли горных выработок // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2015. № 3. С. 41–47.
2. Попов В. В., Ершов Н. А. Каротаж сопротивлений в условиях тонкослоистых коллекторов на нефтегазовых месторождениях // Геофизика. 2011. № 2. С. 57–63.
3. Бесимбаева О. Г., Хмырова Е. Н., Олейникова Е. А., Бесимбаев Б. А. Использование сейсмомониторинга для оценки состояния устойчивости прибортового массива // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. С. 146–150.
4. Денисова Е. В., Конуринов А. И. Исследование влияния свойств грунтового массива на параметры распространяющегося в нем импульсного сигнала // ГИАБ. 2014. № 8. С. 176–181.
5. Байбакова Т. В. Определение степени разрушения породного массива по сейсморазведочным данным // ГИАБ. 2009. № 12. С. 236–240.
6. Маловичко Д. А., Кадебская О. И., Шулаков Д. Ю., Бутырин П. Г. Локальные сейсмологические наблюдения за карстовыми процессами // Физика Земли. 2010. № 1. С. 62–79.
7. Сафиров И. А., Мухамедшин А. М., Чугаев А. В. Оценка прочностных параметров габбрового массива «In situ» по результатам сейсмических исследований отраженными волнами // ГИАБ. 2010. № 12. С. 307–310.
8. Tailakov O., Sokolov S., Makeev M., Kormin A. Seismological survey of the coal fields based on the applying of the low-power sources of oscillation // E3S Web of Conferences Electronic Edition. 2018.
9. Тайлаков О. В., Соколов С. В., Герасимов А. В., Колмакова А. А. Определение аномальных тектонических зон, характеристик устойчивости и управляемости кровли методом сейсмического просвечивания на проходящих волнах // ГИАБ. 2018. № 49. С. 275–282.
10. Тайлаков О. В., Овчинников В. И., Соколов С. В. Применение малоглубинной сейсморазведки для уточнения условий залегания угольных пластов и локализации изменений их газоносности // Геотехнічна механіка. 2010. № 88. С. 22–26.
11. Novikov E. A., Shkuratnik V. L., Oshkin R. O., Zaitsev M. G. Effect of the stress-strain state of sandy-clay soils on their thermally stimulated acoustic emission // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2017. Vol. 54. No. 2. P. 81–86.
12. Nikolenko P. V., Shkuratnik V. L. Acoustic emission in composites and applications for stress monitoring in rock masses // Journal of Mining Science. 2014. Vol. 50. No. 6. P. 1088–1093.
13. Zagorskii L. S., Shkuratnik V. L. Application of almost-periodic functions for seismic profiling // Acoustical Physics. 2014. Vol. 60. No. 3. P. 297–303.
14. Zagorskii L. S., Shkuratnik V. L. Method of determining the vertical seismic profile of a rock massif using rayleigh-type waves // Acoustical Physics. 2013. Vol. 59. No. 2. P. 197–206.

15. Логачева В. М. Эвристическая оценка обводненности надугольной толщи по данным электрометрии // ГИАБ. 2006. № 12. С. 146–148.
16. Шкуратник В. Л., Логачева В. М. Математическое моделирование условий прогнозирования обводненности углевмещающих пород подземно-полевым электрометрическим методом // ГИАБ. 2011. № 8. С. 224–230.
17. Смирнов Н. А., Простов С. М. Детализация изменений свойств прибортового массива угольного разреза электрофизическим методом // ГИАБ. 2010. № 12. С. 138–143.
18. Смирнов Н. А., Простов С. М. Оценка информативности диагностирования локальных аномальных зон методом электропрофилирования // Известия вузов. Горный журнал. 2011. № 2. С. 106–112.
19. Простов С. М., Смирнов Н. А., Бахаева С. П. Прогнозирование устойчивости откосов глинистых уступов по данным электрофизического мониторинга // Безопасность труда в промышленности. 2012. № 3. С. 43–48.
20. Prostov S. M., Smirnov N. A., Bakhaeva S. P. Prediction of Physico-Mechanical Properties of Hydraulic Fill Based on Electrical Saunding // Journal of Mining Science. 2015. Vol. 51. No. 1. P. 55–62.
21. Тайлаков О. В., Макеев М. П., Салтымаков Е. А., Смыслов А. И. Построение рельефа донной поверхности гидроотвала на основе применения электротомографии // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2017. № 6(124). С. 5–13.
22. Простов С. М., Герасимов О. В., Никулин Н. Ю., Зубов Д. А. Геолого-электромагнитный мониторинг грунтового основания сооружения // ГИАБ. 2009. № 5. С. 266–269.
23. Барышников В. Д., Хмелинин А. П., Денисова Е. В. Диагностика состояния бетонной обделки горных выработок на наличие в ней неоднородностей с помощью георадиолокационного метода // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2014. № 1. С. 30–38.
24. Кашников Ю. А., Лысков И. А., Мусихин В. В., Гилев М. В. Определение зон смещений на подработанной территории Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС) по результатам интерферометрической обработки радарных данных // Маркшейдерский вестник. 2011. № 3. С. 34–39.
25. Лысков И. А., Кашников Ю. А., Мусихин В. В. Определение оседаний земной поверхности подработанных территорий при разработке полезных ископаемых по результатам интерферометрической обработки радарных данных // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. № 4. С. 68–77.

Поступила в редакцию 17 сентября 2019 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: 10.21440/0536-1028-2020-1-48-59

Diagnosing the landslide areas of Angren open pit marginal mass according to the data of seismo- and electrical prospecting

Mikhail M. Karablin¹, Sergey 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. Sloping structures (quarry sides, dumps, banks, cuts, dams, etc) stability forecasting accuracy improvement requires detailed elaboration of physical-mechanical properties of the rock mass under consideration. Traditional methods of well engineering-geological exploration and hydrogeological monitoring are therefore supplemented by geophysical study.

Research aim is to diagnose unstable deconsolidated and wetted zones in marginal masses for the purpose of further forecast of quarry sides stability.

Methodology. Databases of geophysical studies obtained by the expeditions of the services of the Republic of Uzbekistan at Angren open pit.

Results. For the test area represented by 11 seismic stations at the southern side of the quarry, the criterion assessing the state of the site as potentially landslide hazardous according to the results of circular seismic sounding has been experimentally obtained. With the use of this criterion, in the plan of the landslide zone the borders have been established. For the test area represented by 16 geophysical profiles at the norther side, by electrical profiling graphs and geological sections for the corresponding profiles,

the following regularities have been found: at profile areas adjacent to the runs (rivers), local negative anomalies of effective resistivity up to 20–50 Ohm · m are observed connected with soils wetting; between the anomalous areas the alternation of effective resistivity qualitatively coincides with the alternation of the thickness of a layer of loose deposits. By the arrangement of the negative anomalies borders at the graphs of effective resistivity dependence on the spread of the profile along all profiles (PR1–PR16), the borders of the wetted zones were established in the plan of the test area.

Summary. For geomechanical processes monitoring in the landslide zones it is advisable to apply the method of circular seismic sounding determining the value and the anisotropy coefficient according to the extreme values of compressional arrival time. For the conditions of the Angren open pit, the criterion of potential hazard of landslide development is the value of the anisotropy coefficient higher than 1.6. When elaborating the details of the physical properties of landslide zones in quarry sides which are weakened by sand-clay Quaternary sediments, by the method of electrical profiling it is advisable to use: the linear dependence on the thickness of Quaternary sediments on the value of the effective resistivity; hyperbolic dependence of soils relative wetness within the water saturation zones on the value of the effective resistivity ascribed to the reference value defined in the site of soil samples collection, and the borders of wetting zones are to be established by the negative anomalies at electrical profiling graphs. In order to construct the solid geological-geophysical models of the landslide zones of the sides, in addition to the geological sections data, the following results of geophysical sounding should be used: the boundaries of landslide zones in the plan, detailed contact geometry of loose Quaternary sediments with bedrock; soil properties modified by wetting.

Key words: stability of quarry sides; volumetric geological and geophysical models; circular seismic sounding; anisotropy coefficient; electrical profiling; humidity; landslide zone.

REFERENCES

1. Shkuratnik V. L., Nikolenko P. V., Kormnov A. A. Ultrasonic correlation logging for roof rock structure diagnostics. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science*. 2015; 3: 41–47. (In Russ.)
2. Popov V. V., Ershov N. A. Resistivity logging in thin-bedded settings in oil and gas fields. *Geofizika = Geophysics*. 2011; 2: 57–63. (In Russ.)
3. Besimbaeva O. G., Khmyrova E. N., Oleinikova E. A., Besimbaev B. A. Seismomonitoring use for assessment of stability massif. *Interexpo Geo-Siberia*. 2016: 146–150. (In Russ.)
4. Denisova E. V., Konurin A. I. The investigation of the effect of soil massif properties on spreading parameters of pulsed signal. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2014; 8: 176–181. (In Russ.)
5. Baibakova T. V. Determination of the degree of destruction of the rock mass according to seismic data. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2009; 12: 236–240. (In Russ.)
6. Malovichko D. A., Kadebskaia O. I., Shulakov D. Iu., Butyrin P. G. Local seismological observations of karst processes. *Fizika Zemli = Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2010; 1: 62–79. (In Russ.)
7. Sapfirov I. A., Mukhamedshin A. M., Chugaev A. B. Evaluation of the strength parameters of the gabbro massif "In situ" from the results of seismic studies reflected by the waves. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2010; 12: 307–310. (In Russ.)
8. Tailakov O., Sokolov S., Makeev M., Kormin A. Seismological survey of the coal fields based on the applying of the low-power sources of oscillation. *E3S Web of Conferences Electronic edition*. 2018.
9. Tailakov O. V., Sokolov S. V., Gerasimov A. V., Kolmakova A. A. Determination of anomalous tectonic zones, characteristics of roof stability and controllability by the method of seismic scanning on passing waves. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2018; 49: 275–282. (In Russ.)
10. Tailakov O. V., Ovchinnikov V. I., Sokolov S. V. Application of shallow seismic exploration to clarify the conditions of occurrence of coal seams and localize changes in their gas content. *Geotechnical Mechanics*. 2010; 88: 22–26. (In Russ.)
11. Novikov E. A. et al. Effect of the stress-strain state of sandy-clay soils on their thermally stimulated acoustic emission. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2017; 54 (2): 81–86.
12. Nikolenko P. V. et al. Acoustic emission in composites and applications for stress monitoring in rock masses. *Journal of Mining Science*. 2014; 50 (6): 1088–1093.
13. Zagorskii L. S. et al. Application of almost-periodic functions for seismic profiling. *Acoustical Physics*. 2014; 60 (3): 297–303.
14. Zagorskii L. S. et al. Method of determining the vertical seismic profile of a rock massif using rayleigh-type waves. *Acoustical Physics*. 2013; 59 (2): 197–206.
15. Logacheva V. M. Heuristic estimation of watering of a rectangular stratum according to electrometry. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2006; 12: 146–148. (In Russ.)
16. Shkuratnik V. L., Logacheva V. M. Mathematical modeling of forecasting conditions for the water-bearing of carbon-bearing rocks by the underground-field electrometric method. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2011; 8: 224–230. (In Russ.)

17. Smirnov N. A., Prostov S. M. Detailing of changes in the properties of the near-sided array of a coal mine by an electro physical method. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tehnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2010; 12: 138–143. (In Russ.)

18. Smirnov N. A., Prostov S. M. Estimation of self-description of forecasting of local abnormal zones using the method of electric profiling. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2011; 2: 106–112. (In Russ.)

19. Prostov S. M., Smirnov N. A., Bakhaeva S. P. Prediction of the stability of slopes of clay benches according to the data of electro physical monitoring. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2012; 3: 43–48. (In Russ.)

20. Prostov S. M., Smirnov N. A., Bakhaeva S. P. Prediction of Physico-Mechanical Properties of Hydraulic Fill Based on Electrical Saunding. *Journal of Mining Science*. 2015; 51 (1): 55–62.

21. Tailakov O. V., Makeev M. P., Saltymakov E. A., Smyslov A. I. Reconstruction of the floor landscape of the hydraulic waste disposal on the basis of the electrotomography application. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2017; 6 (124): 5–13. (In Russ.)

22. Prostov S. M., Gerasimov O. V., Nikulin N. Iu., Zubov D. A. The geo-electromagnetic monitoring of the ground base of the construction. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tehnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2009; 5: 266–269. (In Russ.)

23. Baryshnikov V. D., Khmelin A. P., Denisova E. V. GPR detection of inhomogeneities in concrete lining of underground tunnels. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science*. 2014; 1: 30–38. (In Russ.)

24. Kashnikov Iu. A., Lyskov I. A., Musikhin V. V., Gilev M. V. Determination of displacement zones in the underworked territory of the Verkhnekamskoye potassium salt deposit (VKMKS) based on the results of interferometric processing of radar data. *Marksheiderskii vestnik = Mine Surveying Bulletin*. 2011; 3: 34–39. (In Russ.)

25. Lyskov I. A., Kashnikov Iu. A., Musikhin V. V. Determination of the subsidence of the earth's surface of underworked territories in the development of mineral resources based on the results of interferometric processing of radar data. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science*. 2012; 4: 68–77. (In Russ.)

Received 17 September 2019

Information about authors:

Mikhail M. Karablin – leading engineer of the engineering office, 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. Диагностирование оползнеопасных зон прибортового массива разреза «Ангренский» по данным сейсмо- и электроразведки // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 1. С. 48–59. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-1-48-59

For citation: Karablin M. M., Prostov S. M. Diagnosing the landslide areas of Angren open pit marginal mass according to the data of seismo- and electrical prospecting. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 1: 48–59 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-1-48-59