

**В.В. Ческидов****ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ  
РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ  
ПРОЕКТИРУЕМОГО ЮГО-ЗАПАДНОГО ОТВАЛА  
ВСКРЫШНЫХ ПОРОД  
ОАО «СТОЙЛЕНСКИЙ ГОК»**

В связи с недостаточной вместимостью существующих отвальных массивов проектом развития горных работ до 2030 г. в пределах земельного отвода ОАО «Стойленский ГОК» предусмотрено формирование нового «Юго-Западного» отвала. На основе анализа природных и техногенных условий сделаны следующие основные выводы: инженерно-геологические условия формирования отвальной насыпи являются сложными, в связи с развитым овражно-балочным рельефом; процессы деформации основания при строительстве отвала наиболее вероятны в четвертичных глинистых отложениях, которые обладают наименьшими механическими характеристиками; комплекс проведенных полевых и лабораторных работ дает возможность определить физико-механические свойства отложений в достаточном объеме и с допустимой погрешностью, позволяющими осуществить качественное инженерно-геологическое районирование территории. С учетом данных натурных (методом комплексного зондирования устройством МГГУ) и лабораторных (на автоматизированном стабилометре УСВ-2) испытаний пород основания проектируемого отвала определены расчетные характеристики сопротивления сдвигу и проведена оценка несущей способности Рдоп различных участков отвальной территории. Рассмотрены основные принципы и критерии оконтуривания зон со схожими инженерно-геологическими условиями и порядком ведения отвальных работ.

*Ключевые слова:* открытые горные работы, отвальные работы, техногенный массив, основание отвалов, инженерно-геологические изыскания, зондирование, физико-механические свойства, несущая способность, районирование.

**В** связи с недостаточной вместимостью существующих отвальных массивов проектом развития горных работ до 2030 г. в пределах земельного отвода ОАО «Стойленский ГОК» предусмотрено формирование нового «Юго-Западного» отвала. На северном фланге он примыкает к хвостохранилищу ОАО «Лебединский ГОК», на южном – к газопроводу высокого давления «Острогожск – ЛГОК» и ЛЭП, на восточном – примыкает к трассе концентратопровода и дачному поселку, на западном – на расстоянии 1 км находится граница заповедника «Ямская степь». Общая площадь земель дополнительных земель, выделяемых под складирование вскрышных пород составляет 664,6 га, в том числе сельскохозяйственного назначения 638,9 га. В эксплуатацию новый отвал планируется ввести в 2015 г.

По совокупности природных факторов с учетом расчлененности территории отвала овражно-балочной сетью, инженерно-геологические условия формирования Юго-Западного отвала рыхлой вскрыши характеризуются как сложные. Основной объем работ по геологическому основанию проектируемого отвала выполнен ООО «Белгородстройизыскания». В общей сложности было пройдено 238 скважин глубиной от 9,5 м до 24,5 м на основе лабораторных

испытаний были определены физико-механические свойства пород основания, выделено 14 инженерно-геологических элементов (ИГЭ), 13 из которых попадают в зону влияния отвала [1].

Для уточнения границ и физико-механических свойств пород в рамках выделенных ИГЭ непосредственно в массиве в 2013 г. ООО «КапСтройТраст» и сотрудниками кафедры геологии МГУ (ныне МГИ НИТУ «МИСиС») были осуществлены зондировочные работы пород основания проектируемого отвала. Скважины позиционировались на наиболее характерных участках для данной местности в соответствии с современными принципами проектирования сетей инженерно-геологического опробования и применением методов определения характера и степени изменчивости свойств глинистых отложений. В результате были охвачены как участки с наибольшим увлажнением слагающих горных пород, расположенные в непосредственной близости от временных водотоков и образованных ими оврагов, так и относительно «сухие» – на возвышенностях (рис. 1) [2–6].

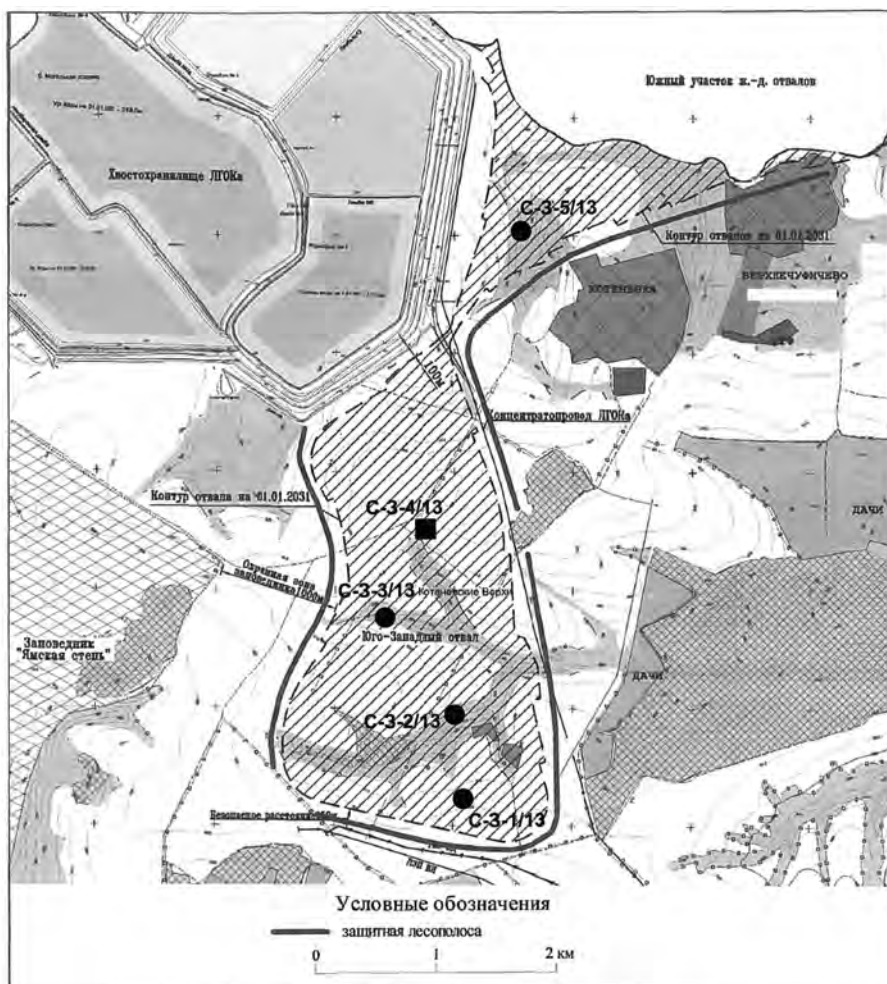


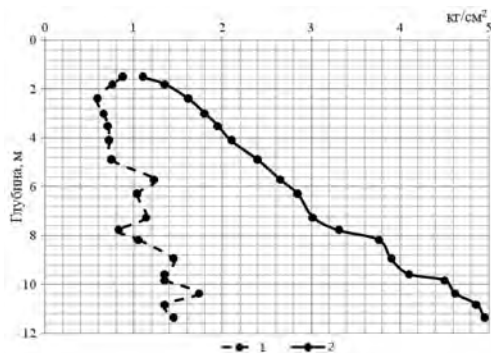
Рис. 1. Расположение зондировочных скважин: в районе проектируемого отвала

Комплексное зондирование предусматривало совместные определения общего порового давления  $P_w$ , сопротивлений задавливанию ( $q_3$ ) и вращательному срезу ( $\tau_k$ ). На основе последнего с применением метода наименьших квадратов были рассчитаны значения угла внутреннего трения и удельного сцепления (рис. 2, 3) [4, 5].

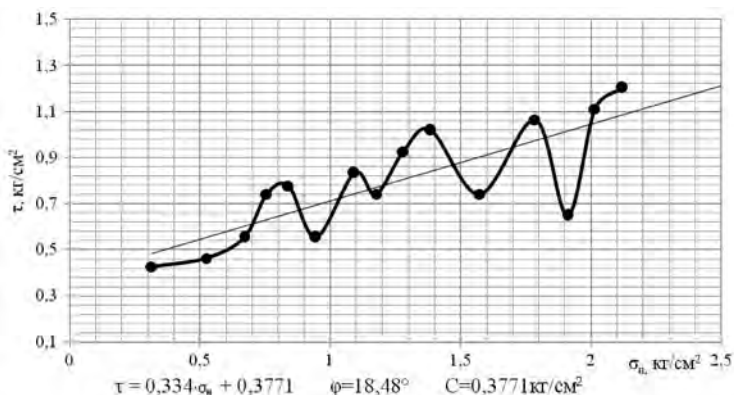
Для дополнительных лабораторных испытаний было отобрано 28 проб покровных суглинков ненарушенной структуры. Упаковка, транспортировка и хранение образцов были выполнены в соответствии с ГОСТ 12071-2000: Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов и ГОСТ 21153.0-75: Горные породы. Отбор проб и общие требования к методам физических испытаний.

Исследования для определения прочностных характеристик глинистых пород основания осуществлялись на приборе ВИОГЕМ УСВ-2 в режиме трехосного сжатия. Испытания цилиндрических образцов грунта проводились в условиях осесимметричной деформации в рабочей камере по различным схемам с разными траекториями нагружения. В соответствии с действующими стандартами (ГОСТ 12248-2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости) были заготовлены образцы, имеющие отношение высоты к диаметру не менее 2/1.

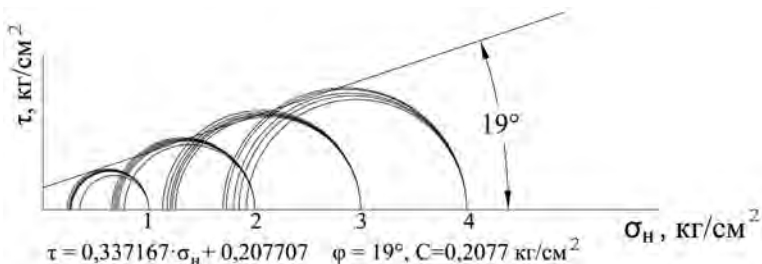
Основным преимуществом трехосных испытаний перед другими методами лабораторного определения сопротивления грунтов сдвигу является возможность более точного воспроизведения природного напряженного состояния породы и условий его работы в основании сооружений и массивах. При трехосном сжатии на образец грунта действует не только вертикальная нагрузка, но и боковые нагрузки, величина которых создается независимо. Весьма суще-



**Рис. 2.** Изменение с глубиной значений сопротивления сдвигу ( $\tau$ ) – 1 и пенетрации ( $q$ ) – 2 в породах основания проектируемого отвала в скважине С-3-ОВ-3/13



**Рис. 3.** Зависимости  $\tau(\sigma_n, \text{кг/см}^2)$ , построенные по результатам вращательных срезов в скважине С-3-ОВ-5/13



**Рис. 4. Результаты трехосных испытаний покровных суглинков в основании проектируемого «Юго-Западного» отвала ОАО «Стойленский ГОК»**

ственным является возможность измерения порового давления, возникающего в процессе нагружения и изменяющегося во времени [5].

На рис. 4 представлен паспорт прочности глинистых отложений, отобранных в инженерно-геологической скважине С-3-ОВ-5/13. Комплексные лабораторные исследования глинистых грунтов основания также включали определение основных водно-физических свойств пород, усредненные значения которых приведены в таблице.

Осуществленный комплекс работ показал незначительные различия в механических свойствах глинистых отложений, полученных при лабораторных испытаниях образцов ООО «Белгородстройизыскания», и определенных в результате комплексного зондирования непосредственно в массиве комбинированным зондом МГГУ.

На основе анализа инженерно-геологических условий сделаны следующие основные выводы:

- инженерно-геологические условия формирования отвальной насыпи являются сложными, в связи с развитым овражно-балочным рельефом;
- процессы деформации основания при строительстве отвала наиболее вероятны в четвертичных глинистых отложениях, которые обладают наименьшими механическими характеристиками;
- комплекс проведенных полевых и лабораторных работ, выполненный различными организациями, позволил определить физико-механические свойства отложений в достаточном объеме и с допустимой погрешностью, позволяющими осуществить качественное инженерно-геологическое районирование территории.

При формировании проектируемого отвала под действием местной постепенно возрастающей нагрузки в суглинках будут возникать механические

#### **Водно-физические свойства глинистых пород основания**

Название породы	Гранулометрический состав, %			Число пластичности	Естественная влажность, %	Плотность, т/м <sup>3</sup>	Удельный вес (плотность минерального скелета), т/м <sup>3</sup>	Пористость, %	Коэффициент водонасыщения
	песок d > 0,05 мм	пылеватые частицы 0,05 > d > 0,005 мм	глинистые частицы d < 0,005 мм						
Суглинок лессовидный	32	57	11	16,4	15,4	1,89	2,68	39,1	0,70

процессы, протекающие в виде затухающих деформаций уплотнения и незатухающих деформаций сдвига, переходящих при соответствующих условиях в пластическое течение, выпирание, просадку [4, 5].

Инженерно-геологическое районирование позволяет сравнивать участки отвальных территорий и определять вид и сроки их дальнейшего использования. Оно предусматривает выделение в пределах исследуемых территорий однородных таксономических единиц определенного уровня.

Материалы инженерно-геологического районирования основания отвала должны обеспечивать решение следующих основных задач:

- увеличение вместимости действующих сооружений на основе форсирования консолидации тонкодисперсных грунтов;
- подготовка отвальных территорий для их дальнейшего народнохозяйственного использования (рекультивации или наращивания).

Как свидетельствуют натурные наблюдения и экспериментальные исследования, под действием внешнего давления в горной породе возникают два вида напряженного состояния: фаза уплотнения и фаза сдвига. По исследованиям В.Г. Березанцева и В.А. Ярошенко, жесткое ядро ограниченных смещений частиц, которое в дальнейшем разжимает породу в стороны, обуславливая значительные осадки в месте приложения нагрузки, полностью формируется в песчаных и глинистых породах при достижении максимальной несущей способности. После этого ядро остается постоянным при одновременном появлении добавочных пластических областей. В возникающем предельном напряженном состоянии преобладают боковые смещения частиц и формируются непрерывные поверхности скольжения, в результате чего слой горной породы теряет устойчивость. В первой фазе уплотнения деформации пород носят затухающий характер, во второй – незатухающий и представляют собой ряд последовательных смещений, формирующих сплошные области предельного равновесия, когда порода переходит в неустойчивое состояние и ее несущая способность полностью исчерпывается.

Величину первой нагрузки (начальной критической нагрузкой  $P_n^{кр}$ ) определяют, решая задачу о действии равномерно распределенной нагрузки  $P$  на полосе фиксированной ширины при наличии боковой пригрузки. Вторая критическая нагрузка  $P_{кр}^{пр}$  соответствует полному исчерпанию несущей способности породы. Она определяется при решении дифференциальных уравнений равновесия совместно с условиями предельного равновесия, в результате чего получают математически точные очертания поверхностей скольжения, которые используют для определения величины предельной нагрузки. Впервые эта задача для невесомого слоя породы, нагруженного сплошной и полосообразной нагрузкой была решена Л. Прандтлем и Г. Рейснером.

При оценке устойчивости сухих отвалов, размещаемых на слабых естественных или намывных основаниях, а также рекультивации территорий заполненных гидроотвалов необходимо рассчитывать несущую способность грунтов с использованием методов предельного напряженного состояния. Внешняя нагрузка рассматривается как полосовая (при отсыпке заходок «сухих» отвалов) или как прямоугольная при учете действия веса оборудования, используемого для рекультивации [4, 5].

Приближенная оценка устойчивости откосов на слабых основаниях или проходимости оборудования выполняется путем сравнения действующих нагрузок с предельной критической:



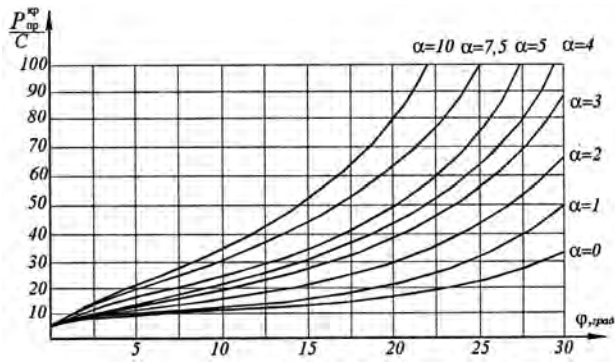


Рис. 5. Оценка несущей способности оснований

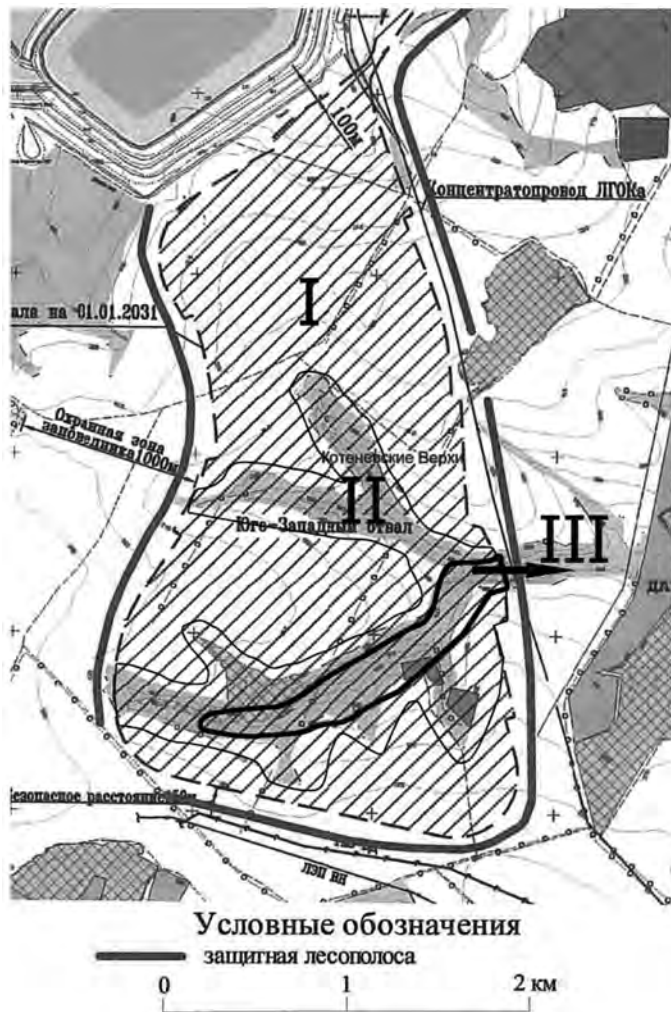


Рис. 6. Схема инженерно-геологического районирования территории проектируемого «Юго-западного» отвала

$$P_{\text{пр}}^{\text{кр}} = 5,14C + q,$$

где  $q$  – внешняя нагрузка от подушки из дренирующего материала, предварительно укладываемой для подготовки слабых оснований (при отсутствии подушки  $q = 0$ ).

Для осесимметричной пространственной задачи (площадь загрузки ограничена кругом или квадратом)

$$P_{\text{пр}}^{\text{кр}} = 5,7C + q.$$

Расчет максимальной несущей способности основания выполняют по формуле Прандтля-Рейснера:

$$\frac{P_{\text{пр}}^{\text{кр}}}{C} = \frac{(\alpha + ctg\varphi)(1 + \sin\varphi)e^{\pi ctg\varphi} - ctg\varphi(1 - \sin\varphi)}{1 - \sin\varphi},$$

где  $q = \alpha C$  – предварительно приложенная к основанию уплотняющая нагрузка (от предотвала или намывной подушки). Несущая способность основания по отношению к заданной нагрузке  $P_{\text{доп}}$  обеспечивается при  $P_{\text{доп}} = P_{\text{пр}}^{\text{кр}}/\eta$ , где  $\eta$  – коэффициент запаса (рис. 5) [4, 5].

На основе проведенного анализа инженерно-геологической информации и проведенных расчетов на основе вышеописанной методики было выполнено инженерно-геологическое районирование территории проектируемого «Юго-Западного» отвала с выделением трех участков (рис. 6). Установлено, что  $P_{\text{доп}}$  изменяется в диапазоне 85–170 т/м<sup>2</sup> при наличии предотвала высотой не менее 10 м.

При выделении инженерно-геологических участков основания принимаются во внимание следующие основные показатели:

- 1) рельеф отвальной территории;
- 2) геологическое строение (литологический состав и условия залегания породных слоев);
- 3) физико-механические свойства пород для отдельных инженерно-геологических элементов;
- 4) гидрогеологические условия (наличие и характеристика водоносных горизонтов).

Участок 1 охватывает склоновые участки территории проектируемого отвала, отличающиеся наиболее высокими механическими свойствами пород (угол внутреннего трения – 20°, удельное сцепление 32 кПа,  $P_{\text{доп}} = 110–170$  т/м<sup>2</sup>).

Участок 2 – площади, занятые овражно-балочным рельефом (угол внутреннего трения – 18°, удельное сцепление 20 кПа,  $P_{\text{доп}} = 95–110$  т/м<sup>2</sup>).

Участок 3 – это относительно небольшие площади, которые находятся в тальвиге оврага (угол внутреннего трения отложений – 16°, удельное сцепление 18 кПа,  $P_{\text{доп}} = 85–95$  т/м<sup>2</sup>).

Осуществленные работы позволяют вести планирование отсыпки отвала с учетом безопасности ведения работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Предварительные инженерно-геологические изыскания для выполнения «Геомеханического обоснования Юго-Западного отвала»: Технический отчет. – Белгород: ООО «Белгородстройизыскания», 2012.

2. Ческидов В.В. Комплексное зондирование намывных отложений гидроотвала № 3 разреза «Кедровский» // Горная промышленность. – 2011. – № 6(100). – С. 70–76.

3. Ческидов В.В. Проектирование сетей инженерно-геологического опробования на техногенных массивах горнодобывающей промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 12. – С. 367–371.

4. Гальперин А.М., Ческидов В.В., Бородин Ю.В., Демидов А.В. Прогноз и контроль нестационарных геомеханических процессов в горнотехнической и строительной практике // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2014. – № 6. – С. 553–559.

5. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ. – М.: Изд. МГТУ, 2003.

6. Ческидов В.В. Инженерно-геологическое обеспечение управления состоянием массивов горных пород на оползнеопасных территориях // Горная промышленность, 2015. – № 1(119) – С. 84. **ИДБ**

## **КОРОТКО ОБ АВТОРЕ**

---

Ческидов Василий Владимирович – кандидат технических наук, доцент, член-корреспондент МАНЭБ, e-mail: vcheskidob@yandex.ru, МГИ НИТУ «МИСиС».

---

UDC 624.131.3; 622:51-7

## **ENGINEERING-GEOLOGICAL ZONING OF THE PROJECTED SOUTH-WESTERN OVERBURDEN DUMP OF «STOILENSKY GOK»**

Cheskidov V.V., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Corresponding Member of International Academy of Ecology, Man and Nature protection Sciences (IAEMNPS), e-mail: vcheskidob@yandex.ru, Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

*Due to insufficient capacity of the existing dump arrays by the project of development of mining operations till 2030 year within the land allotment LLC «Stoylenskiy GOK» envisages the formation of a new «South-west» dump. Based on the analysis of natural and man-made environment are made the following conclusions: Engineering-geological conditions of formation of dump mound are complex, because of the developed of gullies relief; Deformation processes in the construction of dump are most likely in quaternary clay sediments, which have the lowest mechanical properties; Complex of conducted field and laboratory work makes it possible to determine the physical and mechanical properties of the sediments in sufficient volume and a permissible error, allowing to make high-quality engineering and geological zoning.*

*In view of the data field (using the integrated sensing device MGGU) and laboratory (on an automated triaxial SPM-2) tests of mining rock foundation of the projected dump there are identified characteristics of resistance of shift and made valuation of bearing ability of Rdop of different parts of the territory of the mold-board. Also reviewed basic principles and criteria for delineating areas with similar geotechnical conditions and the sequences of dump operations.*

*Key words: open pit mining, dumping operation, man-made massif, geological engineering searching, probing, physical and mechanical properties, bearing capacity, zoning.*

## **REFERENCES**

1. *Predvaritel'nye inzhenerno-geologicheskie izyskaniya dlya vypolneniya «Geomekhanicheskogo obosnovaniya Yugo-Zapadnogo otvala»*. Tekhnicheskii otchet (Preliminary geotechnical studies to perform «Geomechanical substantiation of the South-West of the blade»: a Technical report), Belgorod, ООО «Belgorodstroyizyskaniya», 2012.

2. Cheskidov V.V. *Gornaya promyshlennost'*. 2011, no 6(100), pp. 70–76.

3. Cheskidov V.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 12, pp. 367–371.

4. Gal'perin A.M., Cheskidov V.V., Borodina Yu.V., Demidov A.V. *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2014, no 6, pp. 553–559.

5. Gal'perin A.M. *Geomekhanika otkrytykh gornyx rabot* (Geomechanics open pit mining), Moscow, Izd. MGGU, 2003.

6. Cheskidov V.V. *Gornaya promyshlennost'*, 2015, no 1(119), pp. 84.