© С.А. Пуневский, М.А. Лазарева, М.Н. Тавостин, 2006

УДК 624.131.438.002.56

С.А. Пуневский, М.А. Лазарева, М.Н. Тавостин

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ГИДРООТВАЛА «БЕРЕЗОВЫЙ ЛОГ» НА ПРИБОРЕ КОМПРЕССИОННОГО ТИПА СТАБИЛОМЕТРЕ УСВ-2

Семинар № 1

В учебно-исследовательском центре «Геомеханика» при МГГУ были проведены экспериментальные исследования прочностных свойств намывных отложений, глинисто-мелового состава, гидроотвала «Березовый Лог» с глубин от 12 до 20 м. Целью исследования было определение показателей паспорта прочности (с учетом влияния порового давления): угла внутреннего трения - φ и коэффициента сцепления – с.

Экспериментальные исследования проводились на приборе компрессионного типа УСВ-2 (универсальный стабилометр ВИОГЕМ конструкции Н.П.Верещагина), на образцах цилиндрической формы. Этот прибор предназначен для определения комплекса механических и филь-трационных характеристик связных и сыпучих пород в условиях трехосного напряженного состояния. При-бор позволяет варьировать значения главных напряжений P_z, P_x, P_y и порового давления P_u, а соответственно и моделировать условия напряженно-деформированного состояния породного массива в откосах карьеров и отвалов, при проведении горных работ.

Установка УСВ-2 представляет собой гидравлическую камеру, в которой вертикальное давление P_z создается верхним поршнем (диаметр 5 см) при помощи рычажного механизма. Боковое давление P_{xy} производится при помощи рабочей жидкости (глицерин, дистиллированная вода и т.д.). Поровое давление создается в торцах верхнего и нижнего поршня, при помощи гидравлических нагнетателей или под воздействием вертикальной деформации образца.

Рекомендуемое отношение диаметра образца к его высоте необходимо выдерживать 1:2, при этом диаметр образца должен соответствовать диаметру поршней. В данном эксперименте использовались образцы высотой 10 см и диаметром 5 см. Обязательным условием испытаний является наличие эластичной водонепроницаемой оболочки, изолирующей образец от рабочей жидкости, создающей боковое давление. Методика проведения опыта предусматривает сжатие образца без возможности бокового расширения, т.е. условие компрессии.

Испытуемые образцы были разделены на две категории. Первая категория это пробы, взятые с глубины от 12 до 15 м, вторая от 15 до 20 м. Образцы доводились до полной консолидации при ограничении бокового расширении под бытовыми нагрузками равными 1,4 и 1,7 кг/см^2 соответственно.

После предварительного уплотнения под бытовыми нагрузками образцы догружались в диапазоне ΔP_Z = 1-4 кг/см^2 (0.1-0.4 МПа), имитирующем приложение внешней нагрузки к намывному основанию. Приложение нагрузки осуществлялось ступенчато через равные промежутки времени, с одновременным увеличением бокового давления, соответствующее величине прикладываемой нагрузке P_Z. Затем производилось быстрое разрушение образца по закрытой схеме (без оттока воды из образца) уменьшением бокового давления P_{XY} при постоянной вертикальной нагрузке P_Z.

Испытания проводились по закрытой и открытой схеме. Закрытая схема моделирует работу массива при быстром росте нагрузки и затрудненной фильтрации, т.е. в наиболее тяжелых условиях. Поровое давление достигает максимального значения и остается постоянным. Определения по закрытой схеме дают самое низкое расположение предельной огибающей Мора, т.е. наименьшие значения характеристик прочности. При проектировании по этим характеристикам обеспечивается устойчивость сооружения в самых опасных условиях нагружения.

Открытая схема воспроизводит условия работы грунта при хорошем дренировании и медленном росте нагрузки. В этих условиях возникающее поровое давление в начале достигает максимума, а далее сравнительно быстро рассеивается и вся нагрузка воспринимается практически скелетом грунта (эффективный сдвиг). Испытания по открытой схеме дают наиболее высокие показатели прочности грунта. Открытая схема позволяет получать данные об изменениях объема грунта в процессе опыта. Проведение испытаний по открытой схеме вследствие длительности процесса консолидации требует значительно больших затрат времени, чем испытания по закрытой схеме. Скорость проведения таких испытаний определяется водопроницаемостью исследуемых грунтов. Испытания по закрытой и открытой схемам определяют соответственно нижнюю и верхнюю границы области возможных положений предельной огибающей.

В процессе экспериментов измерялись следующие величины:

1- боковое давление P_{xy} (по манометрам)

2- поровое давление P_u (по манометрам)

3- осевая деформация ε_1 (по индикаторам часового типа ИЧ-10).

Поскольку измерения этих величин необходимо осуществлять в длительном режиме, в т.ч. ночное время, для удобства и точности измерений нами был использован компьютерно-измерительный комплекс СИИТ-2, который автоматически производил снятие показаний в течение всего опыта, через заданный промежуток времени. Измерения производились специальными тензодатчиками, работающими параллельно с вышеперечисленными измерительными приборами. Компьютерно-измерительный комплекс СИИТ-2 способен производить снятие показаний датчиков через любой заданный промежуток времени, что позволило определять время полной консолидации испытуемого образца, а также фиксировать все изменения порового давления на протяжении всего эксперимента. Считывание показаний производилось: на начальном этапе эксперимента через 5-10 секунд, по истечению нескольких часов 600-1200 секунд, в процессе догружения 5-10 секунд и в момент разрушения 1-2 секунды. Измерение через 1-2 секунды при разрушении дало возмож-

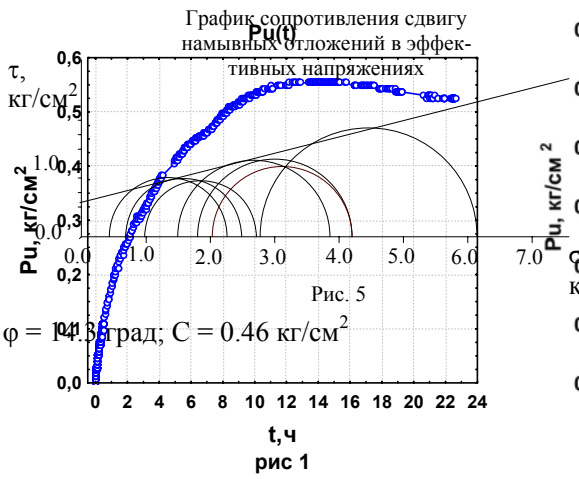


рис 1

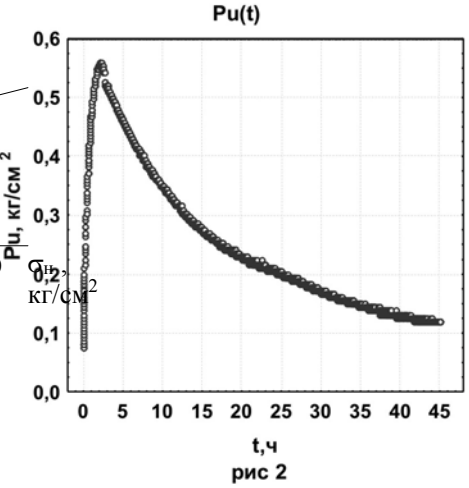


рис 2

ность точно определить точку разрушения образца.

Наличие большого количества точек позволило построить практически непрерывные графики зависимостей: порового давления от времени, вертикальной деформации от времени и график разрушения образца, с помощью которого определялась критическая точка, по которой производилось построение паспорта прочности. Достоинство использования комплекса СИИТ-2 заключается в непрерывном наблюдении эксперимента на всем протяжении, а так же точного определения точки разрушения за счет большой частоты измерения.

На рис. 1 и 2 представлены графики зависимости порового давления P_u от времени для разных экспериментов. Рис. 1 соответствует изменению порового давления P_u в закрытой системе, второй в открытой под бытовой нагрузкой $\sigma_z = 1{,}7$ кг/см^2.

На рис. 3 представлен график изменения вертикальной деформации образца на протяжении всего процесса уплотнения, под бытовыми нагрузками.

На рис. 4 представлена диаграмма

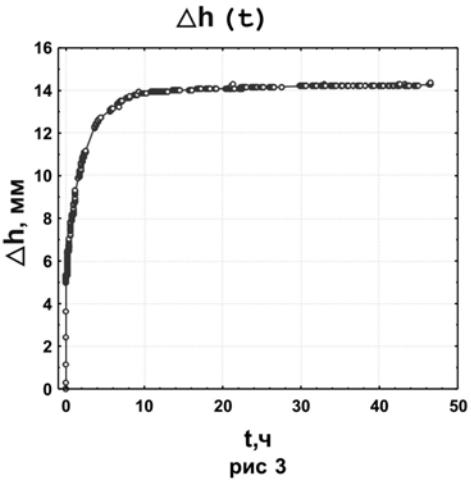


рис 3

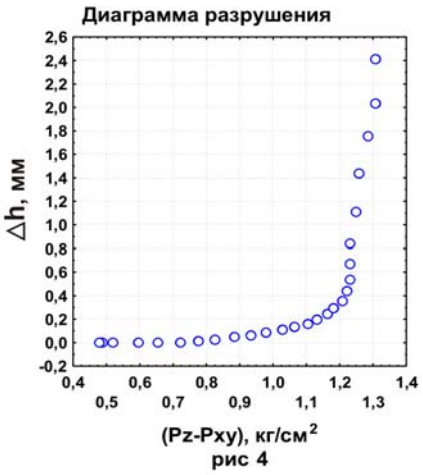


рис 4

разрушения образца, по которой определялась критическая точка, с помощью которой производилось построение паспорта прочности испытуемого материала.

По результатам испытаний построен график зависимости $\tau = f(\sigma)$, с помощью которого были определены показатели паспорта прочности (с и φ) (рис. 5).

Определение параметров паспорта прочности позволяет оценить несущую способность намывного массива, слагаемого испытуемым грунтом. Целью расчетов по несущей способности является обеспечение прочности и устойчивости основания горнотехнического сооружения. Основываясь на результатах трехосных испытаний глинисто-ме-ловых отложений третей секции гидроотвала «Березовый Лог» оценивалась не-сущая способность намывного массива.

Установлено, что для всей третьей секции площадью около 200 га, несущая способность глинисто-меловых отложений превышает 2 кг/см^2. Это позволяет рассмотреть возможности формирования сухого отвала скальной вскрыши высотой 20–25 м на намывном основании.

Основным преимуществом трехосных испытаний перед другими методами лабораторных испытаний сопротивления грунтов сдвигу является возможность более правильного воспроизведения природного напряженного состояния грунта и условий его работы в сооружениях. При трехосном сжатии на образец грунта действует не только вертикальная нагрузка, но и боковые нагрузки. Весьма существенным является возможность измерения порового давления, возникающего в процессе нагружения и изменяющегося во времени. Трехосное сжатие является единственным методом, позволяющим испытывать грунт по закрытой системе, т. е. без оттока воды из образца в процессе опыта, а также с определением объема отжимаемой из образца воды. Возможность измерения порового давления для каждого испытания позволяет построить предельную огибающую Мора в эффективных напряжениях.

Коротко об авторах

Пуневский С.А. – аспирант, кафедра геологии, Московский государственный горный университет,

Лазарева М.А. – студентка 5-го курса кафедры ФГП, Московский государственный горный университет,

Тавостин М.Н. – кандидат технических наук, заведующий лабораторией “Изучения механических свойств горных пород” ООО “Подземгазпром”.

© С.Х. Абсатаров, 2006

УДК 622.366.4

С.Х. Абсатаров

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЩЕБНЯ

Семинар № 1

Щебень из горных пород - неорганический зернистый сыпучий материал с зернами крупностью св. 5 мм, получаемый дроблением горных пород, гравия и валунов, попутно добываемых вскрышных и вмещающих пород или некондиционных отходов горных предприятий по переработке руд (черных, цветных и редких металлов металлургической промышленности) и неметаллических ископаемых других отраслей промышленности и последующим рассевом продуктов дробления. Гравий из горных пород - неорганический зернистый сыпучий материал с зернами крупностью св. 5 мм, получаемый рассевом природных гравийно-песчаных смесей.

Щебень и гравий выпускают в виде следующих основных фракций: от 5 (3) до 10 мм; св. 10 до 20 мм; св. 20 до 40 мм; св. 40 до 80 (70) мм и смеси фракций от 5 (3) до 20 мм.

По согласованию изготовителя с потребителем выпускают щебень и гравий в виде фракций от 10 до 15 мм; св. 15 до 20 мм; св. 80 (70) до 120 мм и св. 120 до 150 мм, а также смеси фракций от 5 (3) до 15 мм; св. 5 (3) до 40 мм; св. 20 до 80 (70) мм. Щебень из гравия должен содержать дробленые зерна в количестве не менее 80 % по массе. Допускается по согласованию изготовителя с потребителем выпуск щебня из гравия с содержанием дробленых зерен не менее 60 %.

Форму зерен щебня и гравия характеризуют содержанием зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы. Щебень в зависимости от содержания зерен пластинчатой и игловатой формы подразделяют на четыре группы: I-я до 15 %, II-я – 15-25 %, III-я – 25-35 %, IV-я – 35-50 %. По согласованию изготовителя с потребителем допускается выпуск щебня из изверженных горных пород, содержащего св. 50 %, но не более 65 % зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы. Гравий не должен содержать зерен пластинчатой и игловатой формы более 35 % по массе.

Прочность щебня и гравия характеризуют маркой, определяемой по дробимости щебня (гравия) при сжатии (раздавливании) в цилиндре. Допускается определять марку щебня из осадочных и метаморфических пород как в сухом, так и в насыщенном водой состоянии. При несовпадении марок по дробимости прочность оценивают по результатам испытания в насыщенном водой состоянии. Щебень и гравий, предназначенные для строительства автомобильных дорог, характеризуют маркой по истираемости в полочном барабане.

Марки по дробимости щебня из осадочных, метаморфических и магматических горных пород должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 1.

Допускается определять марку щебня из осадочных и метаморфических пород как в сухом, так и в насыщенном водой состоянии.

Таблица 1

Марка по дробимости щебня из горных пород и потеря массы при испытаниях

Марка по дробимости щебня	Потеря массы при испытании щебня, %		
	из осадочных и метаморфических горных пород	из интрузивных горных пород	из эффузивных горных пород
200	28-35 * / 38-54		
300	24-28 / 28-38		
400	19-24 / 20-28		
600	15-19 / 15-20	25-34	15-20
800	13-15 / 13-15	20-25	13-15
1000	11-13 / 11-13	16-20	11-13
1200	до 11 / до 11	12-16	9-11
1400		до 12	до 9

* - в числителе - потеря массы в сухом состоянии, в знаменателе – в насыщенном водой состоянии

При несовпадении марок по дробимости прочность оценивают по результатам испытания в насыщенном водой состоянии.

Содержание зерен слабых пород в щебне и гравии в зависимости от вида горной породы и марки по дробимости не должно превышать: для марок 1400, 1200, 1000 – 5 %; для марок 800, 600, 400 – 10 %; для марки 300 – 15 %.

Морозостойкость щебня и гравия характеризуют числом циклов замораживания и оттаивания, при котором потери в процентах по массе щебня и гравия не превышают установленных значений. Допускается оценивать морозостойкость щебня и гравия по числу циклов насыщения в растворе сернокислого натрия и высушивания. При несовпадении марок морозостойкость оценивают по результатам испытания замораживанием и оттаиванием.

Щебень и гравий по морозостойкости подразделяют на следующие марки: F15; F25; F50; F100: F150; F200; F300; F400. Показатели морозостойкости щебня и гравия при испытании замораживанием и оттаиванием или насыщением в растворе сернокислого натрия и высушиванием должны соответствовать указанным в табл. 2.

Содержание пылевидных и глинистых частиц (размером менее 0.05 мм) в щебне и гравии в зависимости от вида горной породы и марки по дробимости не должно превышать 1 % для магматических и метаморфических пород, и 2 % из осадочных пород; для марок 200-400 – 3 %.

Щебень из попутно добываемых вскрышных и вмещающих пород и некондиционных отходов горных предприятий по переработке руд (черных, цветных и редких металлов металлургической промышленности) и неме-

Таблица 2

Показатели морозостойкости щебня и гравия

	F15	F25	F50	F100	F150	F200	F300	F400
Замораживание – оттаивание: число циклов	15	25	50	100	150	200	300	400
потеря массы после испытания, %, не более	10	10	5	5	5	5	5	5
Насыщение в растворе сернокислого натрия - высушивание число циклов	3	5	10	10	15	15	15	15
потеря массы после испытания, %, не более	10	10	10	5	5	3	2	1

таллических ископаемых других отраслей промышленности должен быть устойчивым против всех видов распадов. Для марки 1000 и выше потеря массы при распаде не должна превышать 3 %, 800, 600 – 5 %, 400 и ниже – 7 %.

Щебень и гравий должны быть стойкими к воздействию окружающей среды. Щебень и гравий, предназначенные для применения в качестве заполнителей для бетонов, должны обладать стойкостью к химическому воздействию щелочей цемента.

Стойкость щебня и гравия определяют по минералого-петрографичес-кому составу исходной горной породы и содержанию вредных компонентов и примесей, снижающих долговечность бетона и вызывающих коррозию арматуры железобетонных изделий и конструкций.

К основным компонентам, снижающим прочность и долговечность бетона относят включения:

- глинистых минералов (монтмориллонита, каолинита и др.);
- слюд и гидрослюд и других слоистых силикатов;
- асбеста;
- органических веществ (угля, лигнита, горючих сланцев, гумусовых кислот и др.);
- минералов, неустойчивых к процессам выветривания (хлорита, цеолита, апатита, нефелина, фосфорита).

К основным компонентам, вызывающим ухудшение качества поверхности и внутреннюю коррозию бетона, относят включения:

- пород и минералов, содержащих аморфные разновидности диоксида кремния (халцедон, опал и др.);
- серосодержащих пород и минералов (пирит, марказит, пирротин и другие сульфиды, а также гипс, ангидрит и другие сульфаты);
- пород и минералов, содержащих оксиды и гидрооксиды железа (магнетит, гетит и др.);
- слюд, гидрослюд и других слоистых силикатов.

К основным компонентам, вызывающим коррозию арматуры в бетоне, относят включения:

- галогеносодержащих минералов (пирит, марказит, пирротин и другие сульфиды, гипс, ангидрит и другие сульфаты).

Щебень и гравий применяют в бетоне без ограничений, если содержание пород

и минералов, относимых к вредным компонентам, не более:

- 50 ммоль/л аморфных разновидностей диоксида кремния, растворимых в щелочах;
- 1,5 % по массе сульфатов (гипс, ангидрит) и сульфидов, кроме пирита (марказит, пирротин, гипс, ангидрит и др.) в пересчете на SO;
- 4 % по массе пирита;
- 15 % по объему слоистых силикатов, если слюды, гидрослюды, хлориты и другие являются породообразующими минералами;
- 0,1 % по массе галоидных соединений (галит, сильвин и др., включая водорастворимые хлориды) пересчете на ион хлора;
- 0,25 % по массе свободных волокон асбеста;
- 1,0 % по массе угля и древесных остатков;
- 10 % по объему каждого из перечисленных породообразующих минералов (магнетита, гетита, гематич и др., апатита, нефелина, фосфорита) или их суммы в количестве не более 15 %.

При производстве щебня и гравия должна проводиться их радиационно-гигиеническая оценка, по результатам которой устанавливают область применения. Щебень и гравий в зависимости от значений суммарной удельной эффективной активности естественных радионуклидов применяют:

- до 370 Бк/кг - во вновь строящихся жилых и общественных зданиях;
- от 370 до 740 Бк/кг - для дорожного строительства в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки, а также при возведении производственных зданий и сооружений;
- от 740 до 2800 Бк/кг - в дорожном строительстве вне населенных пунктов.

Величину удельной эффективной активности естественных радионуклидов определяют, а класс щебня и гравия устанавливают в специализированных лабораториях на аттестованных в установленном порядке гамма-спектрометрических установках или в радиационнометрических лабораториях органов надзора.

При отсутствии данных геологической разведки по радиационно-гигиенической оценке месторождения и заключения о классе щебня и гравия предприятие-изготовитель проводит предварительную оценку разрабатываемых участков горных пород непосредственно в карьере или щебня (гравия) на складе готовой продукции в соответствии с ГОСТ 30108. Удельную эффективную активность естественных радионуклидов в щебне и гравии определяют гамма-спектрометри-ческим методом.

Коротко об авторах

Абсатаров С.Х. – ЛГОК «Дорстройщебень».

© В.В. Мосейкин, 2006

УДК 550.82

В.В. Мосейкин

МЕТОДОЛОГИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НАМЫВНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ МАССИВОВ

Семинар № 1

Намывные техногенные массивы (НТМ) - особая категория трансформированных горным производством ресурсов, имеющих большое значение для интенсификации промышленного производства и пополнения минерально-сырьевой базы предприятий [1].

В настоящее время приоритетными в геологическом изучении намывных техногенных массивов являются следующие направления:

Промышленная безопасность объектов как ответственных гидротехнических сооружений [1, 2, 3, 6, 7, 8] основными критериями которой являются устойчивость откосных сооружений и несущая способность внутренних зон;

Техногенные месторождения [4, 5, 9-11], вовлечение которых в разработку позволяет уменьшить загрязнение окружающей среды, сократить площади отчуждаемых для нужд горного производства земель, а также частично решить задачу ресурсосбережения;

Экологическая безопасность формирования и состояния массивов, т.к. в ряде случаев они сложены высокотоксичными отходами [3, 4, 5], состав и свойства которых необходимо изучать с целью санации их вредного воздействия;

Геологическое изучение НТМ базируется на комплексе методов: анализе и обобщении научно-технических данных формирования; геолого-структу-рном анализе строения и экологического состояния; математическом описании задач и компьютерном моделировании инженерно-геологических, технологических и геолого-экологических зон и процессов таблице.

Специфика геологического изучения НТМ заключается в том, что они рассматриваются нами как инженерные сооружения, техногенные месторождения, экологически опасные объекты, для которых характерны взаимосвязи инженерно-геологических, гидрогеологических, объемно-качественных и экологических показателей с технологией формирования массивов.

Разработанная кафедрой геологии МГГУ система геомеханического мониторинга НТМ [4, 12], включает в себя: лабораторные исследования отобранных в массиве образцов с целью определения водно-физичес-ких свойств, сжимаемости, прочностных свойств, гранулярного состава отложений; натурные исследования для установления уровня депрессионной кривой, получения характеристик прочностных свойств (угла внутреннего трения φ, сцепления с, сопротивлений сдвигу τ_c и задавливания $q_з$ и т.п.), деформационных свойств (модуля деформации Е, бокового распора P_q и т.п.), порового давления $P_и$ с применением различных модификаций комбинированных зондов МГГУ-ДИГЭС и путем закладки стационарных датчиков; визуальные и маркшейдерские наблюдения за деформациями откосов и намывных

Методологические основы геологического изучения НТМ

Направление исследований	Задачи
Информационное обеспечение	Анализ факторов, определяющих состояние НТМ; декомпозиция (состояния) системы НТМ; обоснование методов моделирования; модели состояния НТМ; создание концепции банка данных НТМ
Геолого-экологическое	Анализ геолого-геохимических условий формирования НТМ; обоснование номенклатуры показателей (параметров); моделирование пространственно-качественной структуры; эколого-технологическое районирование НТМ; определение ресурсной ценности НТМ
Инженерно-геологическое	Анализ условий формирования НТМ; обоснование параметров консолидации и сопротивления сдвигу; моделирование зональности по несущей способности, расчет устойчивости дамб и откосов; районирование; оценка устойчивости дамб и откосов НТМ
Геолого-экологический мониторинг	Анализ методов изучения загрязнения окружающей среды; геохимический и геомеханический мониторинги; обоснование показателей экологической опасности НТМ; выделение опасных зон и контроль их состояния
Геологическое обоснование технологических решений	Анализ соответствия геолого-экологического состояния технологическим требованиям; регламентирование порядка рекультивационных работ; разработка рекомендаций по отработке НТМ как техногенных месторождений; обеспечение технологических решений по освоению НТМ; разработка противоэрозионных мероприятий

массивов с применением наземной съемки и аэрофотограмметрии; оборудование в теле откосных сооружений контрольных профилей с закладкой датчиков - пьезодинамометров по расчетным кривым скольжения с целью оперативного определения коэффициента запаса устойчивости η.

По результатам зондирования намывного массива определяются значения степени уплотнения U как отношение площадей эпюр эффективных напряжений на моменты зондирования (t)и стабилизации осадки (t_∞).

Важнейший показатель, характеризующий состояние НТМ и тенденции его изменения во времени, коэффициент консолидации C_V (м^2/сут). На основании обратных расчетов устанавливаются зависимости коэффициента консолидации от уплотняющей нагрузки q (кг/см^2).

Полученные данные используются при прогнозировании продолжительности «отдыха» (t_0) намывных тонкодисперсных грунтов и определения их несущей способности ($P_{доп}$) на заданный момент времени, под которой понимается способность массива выдерживать дополнительные нагрузки без проявления пластических деформаций выпирания:

$$P_{доп}=P_{кр}^{пр} / \eta, \qquad (1)$$

где $P_{кр}^{пр} = f(\alpha,\varphi,c)$ - предельно-критическая нагрузка, при которой происходит разрушение структурных связей в массиве грунта (максимальная несущая способность), получена по известной зависимости Прандтля-Рейс-нера; $\alpha = q_{вн}/c$ - коэффициент пригрузки основания (намывного массива); $q_{вн}$ - нагрузка на основание; η=1,2 - коэффициент запаса.

По определенным величинам степени уплотнения U намывного массива, прогнозируются осадки S на заданный момент времени t:

$$S(t) = a_0 Ph[U(t)] \quad (2)$$

где $a = a_0 / 1+\varepsilon_{ср}$ - приведенный коэффициент сжимаемости; а и ε - коэффициенты сжимаемости и пористости, полученные в результате компрессионных испытаний и уточненные в результате зондирования намывного массива; $P = 0{,}5\gamma' h$ - нагрузка от собственного веса слоя.

Расчетные значения $S(t)$ уточняются геодезическими наблюдениями. Через замеренные фактические осадки $S(t)$ и степень уплотнения $U(t)$, полученную в результате зондирования намывного массива, путем обратных расчетов определяются натурные значения параметров сжимаемости техногенных отложений.

На основании полученных данных производится специальное районирование территории гидроотвала с выделением в пределах зон инженерно-геологических участков, исходя из направления дальнейшего использования намывного массива. В качестве критериев районирования можно выбрать: определенную несущую способность $P_{доп.}$, обеспечивающую проходимость техники или воспринимаемую нагрузку от «сухих» отвалов, рекультивационного слоя или сооружений; время «отдыха» t_0, за которое участки гидроотвала достигнут заданных степени уплотнения U или несущей способности $P_{доп}$; осадки $S(t)$ с целью выбора направления дальнейшего использования территории намывного массива; величину (мощность слоя) необходимой внешней нагрузки $q_{вн}$ от дренажных элементов для достижения заданной несущей способности в определенное время и т.п.

Контроль состояния откосных сооружений осуществляется путем комплексного зондирования приоткосных зон и использованием стационарных датчиков-пьезодинамометров, заложенных по расчетным профилям в теле и основании дамбы на различных этапах формирования намывного массива.

Система геомеханического контроля апробирована на намывных объектах КМА, Кривбасса, Кузбасса, ряде предприятий по добыче стройматериалов и позволяет на основе получаемых данных управлять процессами формирования гидроотвалов и хвостохранилищ.

Методы геохимического и геомеханического мониторинга позволяют оперативно получать информацию о составе, строении и состоянии массива и откосных сооружений, на основании которой появляется возможность с высокой степенью вероятности прогнозировать состояние гидроотвалов и хвостохранилищ, оценивать степень их воздействия на окружающую среду и принимать своевременные решения по дальнейшему использованию НТМ и снижению их вредного воздействия на экологическую обстановку в регионе.

Большинство НТМ следует рассматривать как особую категорию общественно полезных ресурсов, которые имеют территориальное значение для решения задач интенсификации промышленного производства. В связи с этим, сформированные НТМ как техногенные образования, целесообразно оценивать по сырьевым критериям, учитывающим ресурсную ценность отходов [5, 10].

Сложный химический, минералогический и гранулометрический состав НТМ, широкий спектр содержащихся в них полезных и вредных компонентов, возможность многоцелевого использования отходов рудообогащения, отсутствие обоснованных кондиций на отвальные хвосты и продукцию из них с учетом затрат на пе-

реработку создают значительные трудности в выявлении технологически значимых параметров хвостохранилищ. В связи с этим НТМ (сформированные и формирующиеся) оценивают, прежде всего, по сырьевым критериям, учитывающим их ресурсную ценность.

Наиболее целесообразной формой информационного обеспечения при решении вопросов, связанных с складированием и использованием горнопромышленных отходов, а также защитой окружающей среды от их вредного воздействия, являются базовые и целевые кадастры.

Состав показателей, определяющий содержание кадастра, включает две группы параметров: учетные и оценочно-расчетные. Первую группу показателей составляют производственные характеристики, вторую - геолого-промышленные, технологические и экономические параметры. Целесообразно использование следующих групп показателей:

- общие географо-производствен-ные параметры (источник отходов, его местонахождение, вид отходов, условия их образования и накопления, степень изученности);
- ресурсная характеристика (текущий и перспективный выход, емкость отвалов, землеемкость, запасы и др.);
- параметры качества (вещественный состав, химико-технологические и физико-механические свойства отходов и продукции из них);
- технико-экономические параметры переработки и использования по различным направлениям (объемы использования, себестоимость, эксплуатационные и капитальные затраты на получение готовой продукции, прибыль, ценность отходов и др.);
- экологические параметры (токсичные элементы и минералы, радиоактивные элементы, силикозоопасные минералы, величина дефляции, потери воды на фильтрацию в ложе и испарения и др.).

Состояние НТМ как геотехнической системы связано с представлением системы в виде множеств:

$$S = < S1, S2, S3, S4, S5, S6, U, T>, \quad (3)$$

где S1, S2, S3, S4, S5, S6 - множество физико-географических, минералого-геохимических, технологических, инженерно-геологических, гидрогеологических и экологических подсистем; U - множество допустимых связей между указанными элементами системы (структура модели); T - множество рассматриваемых моментов времени.

Особенность математико-графической модели техногенного массива – ее представление в виде совокупности согласованных многоуровневых математических моделей:

$$M = \{M_o, M_г, M_{ог}\}, \quad (4)$$

где Mo - математическая модель пространственного размещения системы разноименных показателей в техногенном образовании; $M_г$ - математическая модель системы геологических и маркшейдерских документов; $M_{ог}$- алгоритмическая модель процесса трансформации модели M_O в модель $M_Г$.

Согласование математических моделей достигается поэлементной структуризацией и представлением любой из подмоделей в виде алгебраической системы:

$$M_\alpha = \{F_\alpha, X_\alpha, Y_\alpha, D_\alpha\}, \quad (5)$$

где F_α - оператор, описывающий совокупность отношений (связей) между аргументами (входами) X_α, и значениями (выходами) Y_α, модели; D_α, - область определения аргументов и значений, задающих область применения модели.

Математическое моделирование НТМ на основе показателей назначения, технологичности, экологичности и сохраняемости сырья позволяет оценить их изменчивость и выделить геолого-эколого-технологические зоны различного использования техно-генного материала.

Вовлечение техногенных ресурсов, сосредоточенных в хранилищах горнопромышленных отходов, в переработку позволяет уменьшить загрязнение окружающей среды, площади отчуждаемых для нужд горного производства земель, а также частично решает задачу ресурсосбере-жения.

Вопросы обеспечения безопасности возведения НТМ и последующих эксплуатации либо консервации невозможны без комплексной оценки геоморфологических, геолого-экологических, инженерно-геологических и технологических параметров, которые в свою очередь являются основой информационного обеспечения природоохранной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Трубецкой К.Н., Уманец В.Н. , Никитин М.Б.* Классификация техногенных месторождений, основные категории и понятия - Горный журнал. -1989.- №12.
2. *Антоненко Л.К., Зотеев В.Г. Морозов М.Г.* Наземные хвостохранилища каскадного типа как реальные источники техногенных катастроф. Причины и следствия Качканарской аварии - Горный журнал. - 2000. - №10.
3. *Гальперин А.М., Дьячков Ю.Н.* Гидромеханизированные природоохранные технологии. - М.: Недра, 1993.
4. *Гальперин А.М., Ферстер В., Шеф Х.-Ю.* Техногенные массивы и охрана окружающей среды. - М.: МГГУ, 2004.
5. *Ермолов В.А., Зервандова В.П., Мосейкин В.В.* Эколого-технологическая оценка и моделирование техногенных месторождений рудноминерального сырья. – Геоэкология. - 2001. № 1.
6. *Зотеев В.Г., Костерова Т.К., Черкащенко Н.А.* Перспективные конструкции окружающих дамб и противофильтрационных экранов экологически чистых хвостохранилищ / Материалы IY Международного симпозиума.– Белгород/ ВИОГЕМ,1997.
7. *Мелентьев В.А., Калпашников Н.П., Волнин Б.А.* Намывные гидротехнические сооружения. - М.: Энергия, 1973.
8. *Федоров И.С., Захаров М.Н.* Складирование отходов рудообогащения. - М., 1985.
9. *Гальперин А.М., Васин В.В., Дмитриенко Н.И., Магаршак И.А.* Гидромеханизированная разработка техногенного месторождения. – Горный журнал - 2000. - № 8.
10. *Мосейкин В.В., Ермолов В.А., Липский И.В., Горбатов Ю.П.* Гидромеханизи-рованная разработка намывных техногенных массивов: геологическое обеспечение. – Горный журнал – 2003. №1.
11. *Мосейкин В.В., Щербакова Е.П.* Вопросы геологического обеспечения разработки хвостохранилищ. – Горная промышленность – 2004. №1.
12. *Гальперин А.М.* Геомеханика открытых горных работ. – М.: МГГУ. 2003.

Коротко об авторах

Мосейкин В.В. – Московский государственный горный университет.

© Мазхар Ибрахим Сальман, А.В. Яшина, 2006

УДК 658.511:622.364

Мазхар Ибрахим Сальман, А.В. Яшина

ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЕГОРЬЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖЕЛВАКОВЫХ ФОСФОРИТОВ

Семинар № 1

Егорьевское месторождение желваковых фосфоритов занимает обширную площадь около 950 км^2 на территории Воскресенского, Егорьевского и Коломенского районов Московской области. Условно границами месторождения принято считать долины рек Москвы (на западе), Оки (на юге), Цны (на востоке) и древнечетвертичную погребенную долину (на севере), проходящую через Цаплино, Егорьевск, Василево.

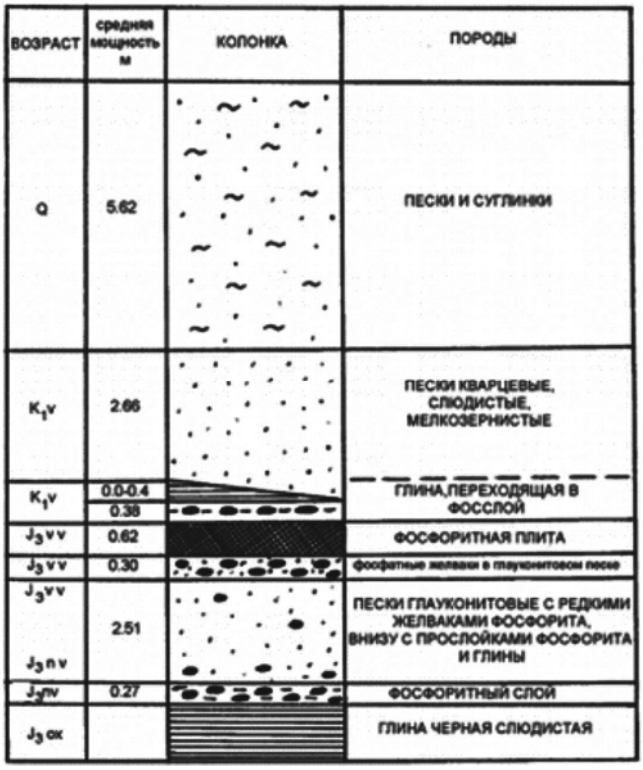
Обилие населенных пунктов, различных магистралей, а также современные и древние эрозионные формы рельефа обусловили расчленение фосфатной залежи в плане на многочисленные, изолированные друг от друга участки (площади) сложной конфигурации.

В тектоническом отношении месторождение приурочено к депрессии на Восточно-Европейской платформе, заключенной между Окско-Цнинс-ким валом и Воронежской антеклизой. Район сложен осадочными породами средней и верхней юры и нижнего мела, залегающими на размытой поверхности каменноугольных известняков со слабым моноклинальным падением слоев на северо-восток.

В состав продуктивной фосфоритной серии входят породы волжского яруса верхней юры и рязанского горизонта нижнего мела. Она включает нижний и верхний фосфоритные слои (горизонты), разделенные пачкой кварцево-глауконитовых песков (рис. 1).

Подстилающими фоссерию образованиями являются темно-серые и черные глины оксфордского яруса, содержащие в своей верхней части крепкие округлые желваки глинистых фосфоритов, а также марказитовые конкреции, остатки аммонитов, белемнитов и фосфатизированной древесины.

Нижний фосслой представлен желваковыми фосфоритами и фосфатизированными аммонитами, сгруженными в темной глине, переходящей вверх в кварцево-глауконитовый песок. Мощность слоя не превышает 0,8 м, составляя в среднем 0,27 м. Желваки темно-серые, темно-корич-невые и черные, глинистые, в кровле иногда песчанистые, округлые, реже неправильной формы, хорошо окатанные, размером от мм до 8 см в поперечнике. Глинистые желваки сложены преобладающим фосфатом с алевритовой вкрапленностью кварца, глауконита, полевого шпата, реже гидрослюд и пирита. Фосфатное вещество в них имеет скрытокристаллическое либо мелкозернистое радиально-лучистое строение. Содержание P_2O_5 в таких желваках достигает 25-29 %.



Стратиграфо-литологический разрез пород Егорьевского месторождения желваковых фосфоритов (по материалам геологов Егорьевской ГРП)

Перекрывающие нижний фосслой кварцево-глауконитовые пески мелкозернистые, темно-серые и темно-зеленые, глинистые, иногда слюдистые, содержат прослои и линзы глауконитовых глин с редкими желваками фосфоритов песчанистого типа. Такие желваки состоят из крупных зерен кварца и глауконита, сцементированных фосфатным веществом. Мощность этой пачки кварцево-глауконитовых песков составляет в среднем 2,51 м.

Верхний фосслой также сложен желваковыми фосфоритами, сгружен-ными в глинистом кварцево-глаукони-товом песке с фауной пелеципод и аммонитов. Желваки темно-коричне-вые, темно-бурые, плохо окатанные, неправильной формы, средней крепости, размером 1-3 см, состоящие из зерен кварца и глауконита алевритовой размерности, сцементированных раскристаллизованным фосфатным веществом, составляющим 40-60 %. Содержание P_2O_5 в этих желваках колеблется от 13 до 25 %. В верхней части слоя желваки нередко сцементированы песчано-фосфатным о же-лезненным материалом с образованием плиты. Эта плита по простиранию и мощности невыдержанна, часто децементирована и переходит в песчано-гли-нистую породу с обломками плиты и желваками фосфоритов. Мощность верхнего фосслоя колеблется от первых десятков см до 1,5 м и более, составляя в среднем 0,9 м.

Непосредственно выше верхнего фосслоя со стратиграфическим несогласием залегают глины рязанского горизонта нижнего мела. Это темно-серые и темно-коричневые образования средней плотности, песчанистые, оолитовые, с включением желваков. Желваки серые и темно-серые, слабо окатанные, средней крепости, песчанистые, размером 1-5 см. Они сложены фосфатным материалом (65-70 %), слабо раскристаллизованным, с многочисленными включениями мелких оолитов. Содержание в них P_2O_5 колеблется от 7 до 27,5 %. Степень сгруженности желваков увеличивается вверх по разрезу. Имеются глины,

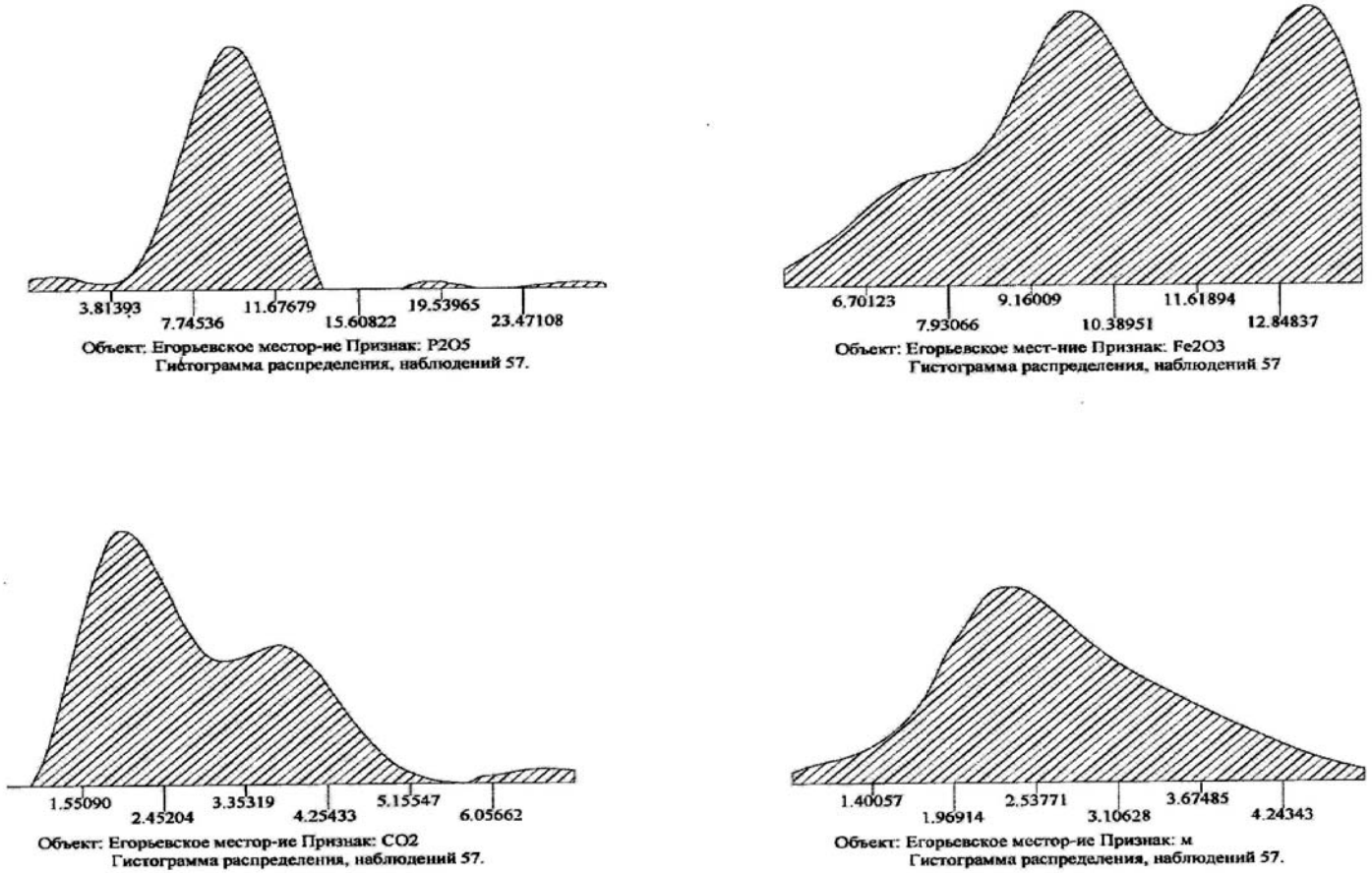
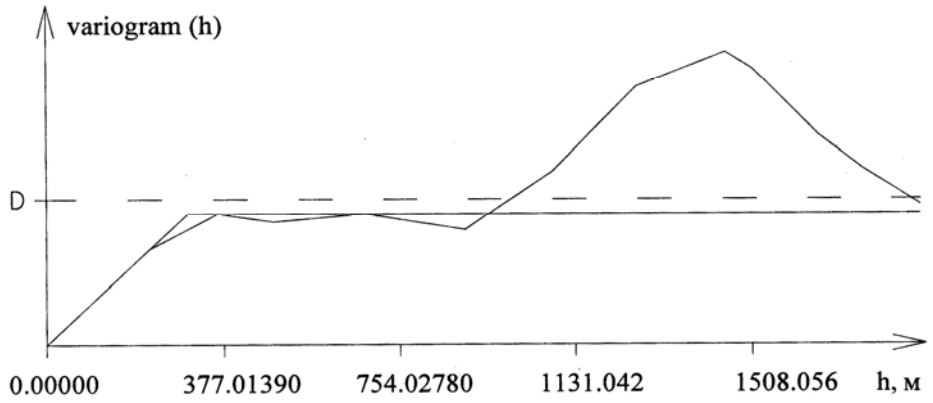


Рис. 2. Гистограмма распределения признаков

Вариограмма признака "P_20_5" объекта " Егорьевское мест.".
Осредненная. Совмещено с аппроксимацией.
Шаг построения/сглаживания: 200.00000; Угол сглаживания 90.00000.
Общая дисперсия признака: 12.75528



Вариограмма признака "Fe_20_3" объекта " Егорьевское мест.".
Осредненная. Совмещено с аппроксимацией.
Шаг построения/сглаживания: 200.00000; Угол сглаживания 90.00000.
Общая дисперсия признака: 5.50532

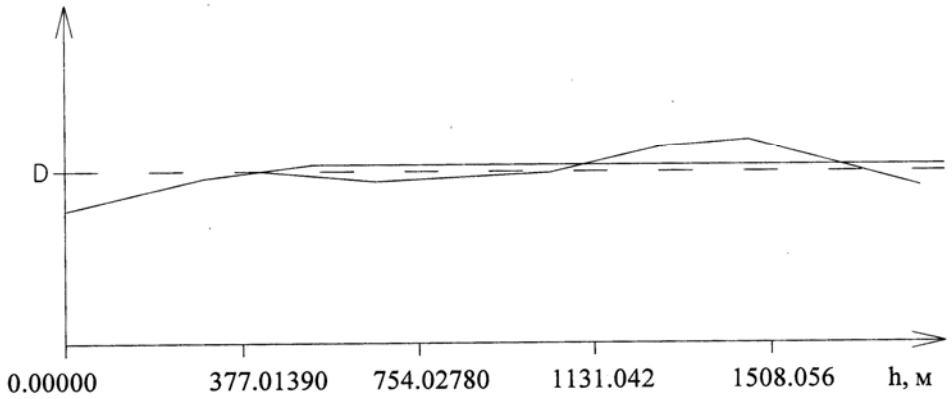
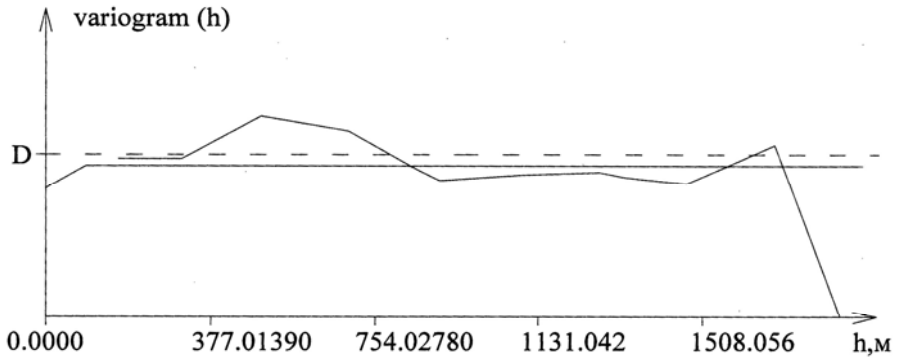


Рис. 3. Осредненные вариограммы признаков P_2O_2 и Fe_2O_3

не содержащие желваков. Средняя мощность рязанского горизонта сос-тавляет 0,4 м.

При подсчете запасов глины рязанского горизонта, содержащие желваки, включаются в состав верхнего продуктивного горизонта фосфоритной серии. Исходя из этого, средняя мощность последнего увеличивается до 1,3 м.

Вариограмма признака "CO_2" объекта " Егорьевское мест.".
Осредненная. Совмещено с аппроксимацией.
Шаг построения/сглаживания: 200.00000; Угол сглаживания 90.00000.
Общая дисперсия признака: 1.05989



Вариограмма признака "м" объекта " Егорьевское мест.".
Осредненная. Совмещено с аппроксимацией.
Шаг построения/сглаживания: 200.00000; Угол сглаживания 90.00000.
Общая дисперсия признака: 0.62786

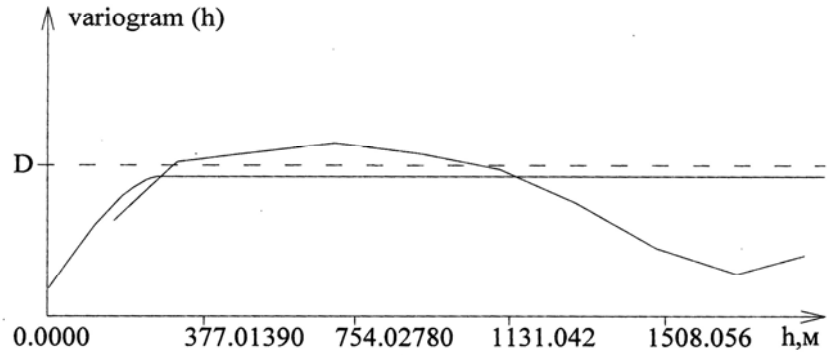


Рис. 4. Осредненные вариограммы признаков CO_2 и «м»

Перекрывающие рязанский горизонт серые и зеленовато-серые кварцевые пески валанжинского яруса нижнего мела мелко- и среднезернистые, слюдистые, нередко глинистые, иногда с маломощными прослоями серых пластичных глин. Они отличаются средней окатанностью зерен и их хорошей сортировкой. Средняя мощность 2,66 м.

Венчающие разрез неогеновые пески с редкими прослоями глин и суглинков имеют среднюю мощность 5,62 м.

Систематическое изучение месторождения производится с 1925 года. За это время разведано более 24 участков с

общими запасами фосфоритовой руды более 360 млн т. При подсчете запасов руководствовались следующими кондициями:

- минимальное содержание P_2O_5 в руде по подсчетному блоку – 10 %, по пересечению разведочной выработкой для каждого пласта – 7 %;
- минимальная промышленная мощность нижнего пласта - 0,15 м, верхнего - 0,3 м, причем подсчет запасов фосфоритов нижнего пласта производился только в контурах распространения верхнего пласта;
- мощность вскрыши не более 30 м.

Статистический анализ геолого-промышленных параметров, характеризующих геологическое строение Егорьевского мевсторождения показал:

- для содержаний P_2O_5 характерно распределение при коэффициенте вариации 38,3 %;

- для содержаний Fe_2O_3 отмечается отраженное логнормальное распределение при коэффициенте вариации 21,6 %;

- для концентраций CO_2 наблюдается логнормальное распределение при коэффициенте вариации 35 %;

Для мощности пласта установлено нормальное распределение при коэффициенте вариации 29.5 %.

Гистограммы распределений признаков приведены на рис. 2.

Вычисление совместных статистик характеризующих взаимосвязь показателей, позволило сделать следующие выводы:

- между мощностью полезного ископаемого и содержанием P_2O_5, Fe_2O_3 и CO_2 корреляционная связь между признаками отсутствует аналогичное отсутствие связи выявлено для P_2O_5 и Fe_2O_3 и CO_2.

Для оценки пространственной изменчивости показателей были использованы методы геостатистики. На первом этапе оценки пространствен-ной изменчивости геолого-промыш-ленных параметров Егорьевского месторождения был проведен тренд-анализ показателей, характеризующих морфологию пласта и качество сырья. В результате исследований выявлен тренд 2-го порядка только для мощности пласта, который объясняет 38.2 % общей дисперсии признака.

На втором этапе исследований установлены модели вариограмм, которые показаны на рис. 3. Анализ вариограмм и их характеристик показывает, что пространственная изменчивость показателей оценивается сферическими моделями изменчивости с эффектом самородков при этом радиус зон влияния проб составляет для $P_2O_5 - 407м$, $Fe_2O_3 - 634м$, $CO_2 - 110м$ и мощностью пласта $280м$.

Результаты проведенных исследований являются объективной основой для обоснования плотности, как разведочной сети, так и сети малообъемного геолого-технологического картирования фосфоритовых месторождений аналогичного генезиса.

Коротко об авторах

Мазхар Ибрахим Сальман – аспирант,
Яшина А.В. – соискатель,
кафедра геологии Московский государственный горный университет.

© Ю.В. Кириченко, М.П.Зайцев,
А.Н. Кравченко, 2006

УДК 622.002.68

Ю.В. Кириченко, М.П. Зайцев, А.Н. Кравченко

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ХВОСТОХРАНИЛИЩ

Семинар № 1

Образование, накопление и использование отходов связано с решением экономических, экологических, технологических, организационных и социально-эстетических задач, решение которых базируется на учете инженерно-геологических особенностей объекта. Отходами гор-ного производства в горнодобывающей промышленности необходимо признать остатки сырья, исходного материала или полуфабрикатов, образовавшиеся при их переработке с целью получения готовой продукции. Вскрышные породы (также являющиеся отходами производства) в данном случае не рассматриваются. Причем сырье может подвергаться механическому, физико-химическому и т.п. воздействию, в результате которого отходы могут получать свойства, отличные от свойств исходного материала.

Применительно к черной и цветной металлургии отходы производс-тва образуются после физико-хими-ческой переработке руды (исходного материала) на обогатительных фабриках. Анализ схем обогащения показывают, что за рубежом (кроме СНГ) повышение содержания железа в концентратах достигается с помощью специальных способов их доводки (тонкое грохочение, флотация, дешламация и комбинирование этих процессов), а в РФ – путем более тонкого их измельчения и обогащения мокрой магнитной сепарации в комплексе с дешламацией (табл. 1).

Отсюда видно, что отходов (хвостов) обогащения на горных предприятиях РФ значительно больше и проблема их утилизации носит глобальный характер.

В общей сложности в техногенные намывные массивы вторичных материальных ресурсов – непосредственно хвостохранилища и их разновидности – золоотвалы и шламохранилища на территории РФ складировано более 6 млрд $м^3$ отложений и более 4 млрд $м^3$ воды. При этом используются как естественные емкости – природные понижения рельефа (котловины, озера, болота), для которых характерно отсутствие ограждающих дамб, так и искусственные, складирование хвостов в которые обусловлено созданием ограждающих сооружений или упорных призм (плотин). Техногенные массивы отходов обогащения также делятся по количеству ярусов дамб на одноярусные и многоярусные. По способу намыва хвостохранилища делятся на намывные и наливные. Причем на намывных хвостохранилищах ограждающие сооружения обычно возводят посредством намыва хвостов с естественным отмывом мелких фракций. Ограждающие дамбы на-

Таблица 1

Химический состав концентратов горнодобывающих предприятий

Наименование ГОКа	Содержание, %		Наименование предприятия	Содержание, %	
	Fe	SiO_2		Fe	SiO_2
АО «ОЛКОН» (Оленегорский ГОК)	65,6	7,24	«Сэвидж-Ривер» (Австралия)	68,0	1,5
АО «Карельский окатыш»	68,5	4,5	«Адамс» (Канада)	67,5	3,0
АООТ «Лебединский ГОК»	69,5	3,15	«Гриффит-майн» (Канада)	69,1	
АО «Михайловский ГОК»	66,7	6,22	«Шерман» (Канада)	67,8	5,0
АО «Стойленский ГОК»	67,7	5.54	«РизервМайнинг» (США)	68,0	4,7
АО «Качканарский ГОК»	60,6	4,9	«Эмпайр» (США)	66,8	6,35
АО «Комбинат КМАРуда»	66,09	7,3	«Батлертаконит (США)	68,0	4,13

ливных хранилищ возводятся из пород вскрыши или

грунтов из местных специально образованных карьеров. Более подробно конструкции дамб и дренажных сооружений освещается в работах [1, 2, 3].

В зависимости от инженерно-геологических условий и рельефа района расположения намывных сооружений необходимо различать следующие типы хвостохранилищ (рис. 1):

- овражно-балочные – располагаются в оврагах и балках, в низовьях перегороженных плотиной (головной дамбой – упорной призмой);

- равнинные – намываются на равнинных участках со всесторонним отвалованием. Достоинство равнинных намывных техногенных массивов в отсутствии ответственных водосбросных сооружений для отвода и сброса естественного стока;

- овражно-равнинные – устраиваются на равнинах, пересеченных овра-гами, которые перекрываются плотинами, а равнинная часть обваловывается;

- пойменные – располагаются в поймах рек с обвалованием с двух-трех сторон в зависимости от формы рельефа;

- косогорные – намываются на склонах (косогорах), ограждаемые с трех сторон дамбами обвалования, с четвертой – склоном;

- котлованные – устраиваются в выработанных пространствах карьеров и разрезов. При складировании токсичных пульп требуют создания противофильтрационного экрана, исключающего загрязнение подземных вод;

- котловинные – в природных понижениях местности (котловинах). Потребность в дамбах определяется объемом и формой котловины.

Разделение последних двух типов намывных сооружений вызвано их неодинаковым воздействием на режимы поверхностных и подземных вод. Если хвостохранилища формируются в выработанных пространствах карьеров, то они способствуют восстановлению естественного режима. Намывные массивы в естественных понижениях рельефа в основном нарушают природный водооборот в этой местности.

В намывных массивах золоотвалов ГРЭС и ТЭЦ принято выделять еще

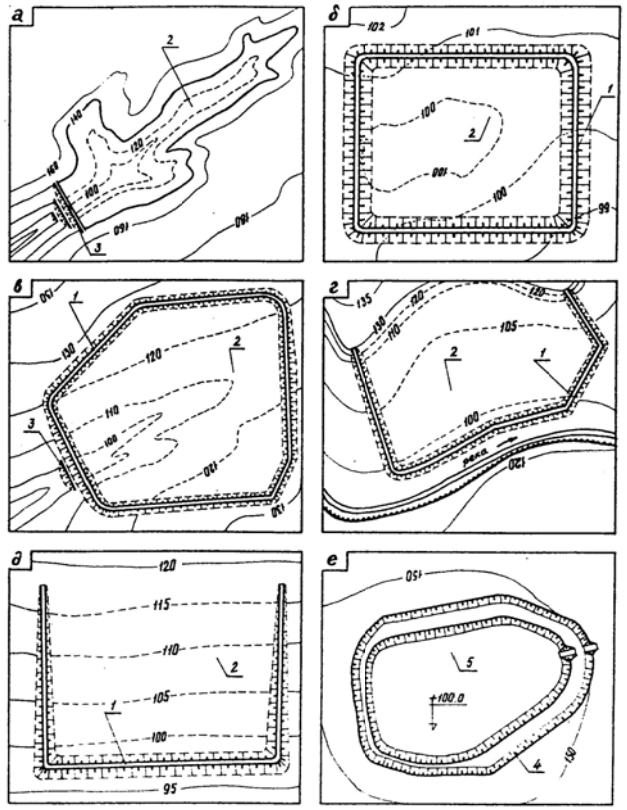


Рис. 1. Типы намывных массивов (гидроотвалов и хвостохранилищ): а) овражно-балочные; б) равнинные; в) овражно-равнинные; г) пойменные; д) косогорные; е) котлованные: 1 - дамба; 2 - ложе намывного массива; 3 - упорная призма (плотина); 4 - уступы карьера; 5 - выработанное пространство

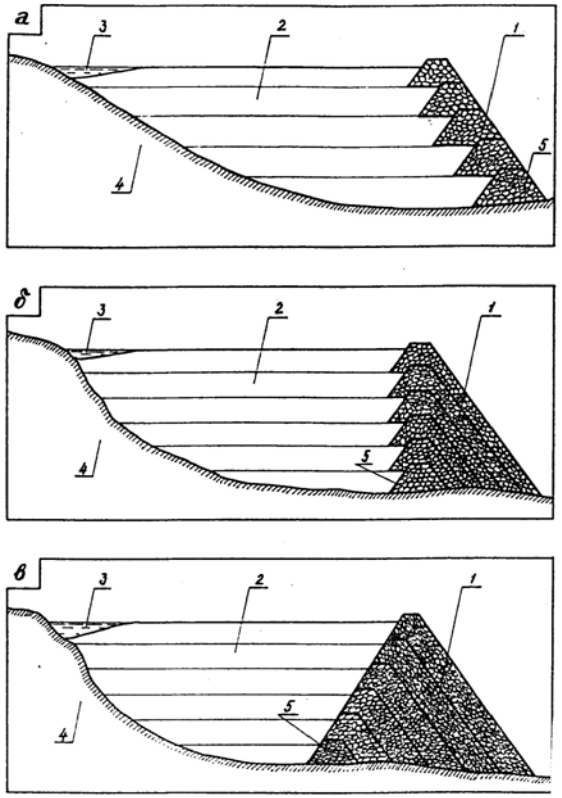


Рис. 2. Классификация по способу возведения ограждающих дамб: а) наращивание в сторону верхового откоса (upstream); б) центральная отсыпка (central line); в) наращивание в сторону низового откоса (downstream): 1 - дамбы; 2 - намывные отложения; 3 - прудок-отстойник; 4 - основание намывного массива; 5 - дамба первоначального обвалования

Таблица 2

Показатели	Класс ответственности			
	I	II	III	IV
Высота дамбы (м) при наличии в основании:				
- скальных пород	100	50 - 100	20 - 50	20
- песчаных, крупноблочных, глинистых в твердом и полутвердом состоянии грунтов	75	35 - 75	15 - 35	15
- глинистых, водонасыщенных в пластичном состоянии грунтов	50	25 - 50	15 - 25	15
Вместимость хвостохранилища, млн. $м^3$	500	100 - 500	10 - 100	10

Таблица 3

Класс ответственности	I	II	III	IV
Коэффициент запаса устойчивости при сочетании:				
- основных нагрузок	1,3	1,2	1,15	1,1
- особых воздействий	1,1	1,1	1,05	1,05

один тип техногенного массива – каскадный (расположенный в овраге, балке или ущелье и разделенный на секции серией дамб). Многие крупные хвостохранилища в горной промышленности (Лебединский ГОК, Михайловский ГОК, Качканарский ГОК и др.) также разделены на секции серией отсечных и промежуточных дамб и имеют отчасти каскадный характер.

В зависимости от типа хвостохранилища выбирается система гидравлического транспорта отходов и схема их укладки.

По количеству секций различают односекционные (как правило небольшой вместимости) и многосекционные (две, три и более секций) хвостохранилища. Наиболее часто односекционные хвостохранилища эксплуатируются в начальный период существования при намыве их в овражно-балочной сети. С увеличением емкости массива, мощности хвостов и наростке следующих ярусов упорной призмы в намывном массиве создается система отсечных и дополнительных ограждающих дамб, позволяющих более эффективно использовать емкость сооружения.

Классификация ICOLD хвостохранилищ овражно-балочного, косогорного и пойменного типов по способу возведения упорной призмы (плотины) особого интереса не представляет и достаточно давно отображена в отечественной литературе (рис. 2)

С учетом необходимости экологической безопасности сооружения наибольшее значение получает классификация хвостохранилищ по классу ответственности, который определяется максимальной высотой ограждающих дамб и типом грунта в их основании, с учетом последствий аварий и вместимостью сооружения (табл. 2). На основании класса ответственности техногенного массива устанавливается минимальный коэффициент запаса устойчивости откосных сооружений (дамб и плотин) хвостохранилищ (табл. 3).

При эксплуатации хвостохранилищ возможен перевод массива из одного класса в другой. Например, хвостохранилище Михайловского ГОКа было пе-

реведено из I класса ответственности во II вследствие переноса деревни, которая находилась в тальвеге балки на расстоянии около 1 км от низового откоса упорной призмы, и организации сети оперативного контроля запаса устойчивости откосных сооружений [4].

Одним из условий нормальной эксплуатации хвостохранилищ является организация системы оборотного водоснабжения, позволяющая обеспечить минимальные объемы используемой воды. С этой целью на территории намывного массива организуются прудки-отстойники (посредством создания отсечных дамб), в которых устанавливаются насосные станции оборотного водоснабжения.

Основной особенностью хвостохранилищ является постоянное уменьшение полезной (свободной) емкости в процессе эксплуатации. На хвостохранилищах овражно-балочного, косогорного и пойменного типов увеличение емкости влечет за собой увеличение площади намывного сооружения. Высокая землеемкость и водонасыщенность массива являются основными недостатками хвостохранилищ.

Себестоимость гидротранспортирования и укладки хвостов как и стоимость строительства полностью зависят от инженерно-геологических, топографических, климатических, гидрологических, гидрогеологических, технологических и др. условий. Особое внимание необходимо уделять требованиям по охране окружающей среды.

Повышение вместимости хвостохранилища, как правило, влечет за собой значительное ухудшение устойчивости откосных сооружений и увеличивает время «отдыха» намывного массива. В настоящее время можно выделить две группы методов увеличения вместимости хвостохранилищ:

1) повышение устойчивости за счет создания мощных ограждающих дамб, увеличения их высоты с одновременной пригрузкой низового откоса, выполаживания и террасирования откосов, их укрепления и т.п.);

2) увеличение высоты и емкости хвостохранилища на основе управления процессами уплотнения тонкодисперсных масс.

Первая группа имеет ряд существенных недостатков, основными из которых являются: значительные объемы работ по доставке и возведению дополнительных дамб или контрбанкетов; привлечение видов оборудования, не используемых в основном технологическом процессе формирования хвостохранилища; дополнительные затраты трудовых и материальных ресурсов; невозможность быстрого использования территорий заполненных высоких хвостохранилищ.

Поэтому при несомненной надежности методов первой группы их использование не находит широкого применения. Вторая группа представ-ляется более интересной с практической точки зрения. Возможна комбина-ция методов с преобладанием элементов управления состоянием массива.

Главными технологическими функциями хвостохранилищ являются складирование твердой фазы отходов обогащения; необходимое осветление воды и снижение содержания флотореагентов до значений, при которых допустимо использование всего слива хвостохранилища в технологическом процессе; создание накопительной емкости для водоснабжения при зам-кнутом водообороте.

Отличительной особенностью формирования хвостохранилищ (по сравнению с гидроотвалами) является преимущественное круглогодичное наращивание намывного массива. Высота хво-

стохранилищ достигает 150 м и более при интенсивности намыва до 20 м/год (при укладке отходов обогащения в узких каньонах). При перемещении фронта намыва «от дамбы к пруду» намывной массив создается по принципу обратного фильтра из хвостов. Намыв по схеме «от берега – к дамбе» допустим лишь при заблаговременном возведении ограждающей дамбы на полную высоту из насыпного грунта или вскрышных пород и систематическом контроле состояния откосных сооружений [5].

Кроме того, особенностями формирования хвостохранилищ по срав-нению с гидроотвалами являются повышенные требования к замкнутой системе водоснабжения в связи с наличием в отстойном пруду участвующих в обогатительном процессе реагентов, что определяет необходимость создания противофильтрационных экранов. Первостепенное значение имеют пылеподавление на всех этапах существования сооружения и обеспечение эффективного вторичного использования хвостов.

Наличие реагентов, остаточных металлов и минералов, попадающихся при разработке и обогащении в другую среду, провоцирует химические процессы в массивах хвостохранилищ. Эта проблема становится наиболее значимой на этапе рекультивации техногенного массива. Как показывают исследования Андерша Видерлюнда (Швеция) окисления пирита и пирротина в хвостохранилищах приводит к кислотному дренажу и высвобождению металлов из сульфидов (халькопирит, галенит и сфалерит). С целью повышения pH и адсорбции металлов часто производится известкование (рудник Кристенбари, Северная Швеция), что приводит к покрытию хвостов слоем кальцит-гипсо-вой пульпы. На заключительном этапе проектом предусматривается проведение через тело хвостохранилища ручья с водой, имеющей pH6, чем сохраняется долговременный природный водный баланс.

Государственной научно-производственной программой мониторинга геологической среды района Михайловского месторождения КМА было отмечено, что в результате хозяйственной деятельности в районе созданы хвостохранилища, шламохранилища, прудки-отстойники, которые привели к коренным изменениям состояния природной среды.

В намывные хвостохранилища должны складироваться хвосты с содержанием фракций менее 0,074 мм не более 6 %, однако на практике этот регламент часто нарушается и в намывных массивах хвостохранилищ формируются толщи отложений, содержащих до 90 % фракций диаметром менее 0,074 мм (на предприятиях цветной металлургии) [1].

Гранулярный состав отвальных хвостов обогащения определяется обычным ситовым и седиментационным способами, а классификация по классам крупности и принадлежность аналогичны классификации грунтов (табл. 4).

Хвосты повышенной крупности делятся на следующие виды: гравелистые - более 25 % класса +2 мм; крупнозернистые – более 50 % класса

Таблица 4

Хвосты	Глинистые	Суглинистые	Супесчаные	Песчаные
Содержание глинистых частиц крупностью – 0,005 мм, %	> 30	10 □ 30	3 □ 10	< 3

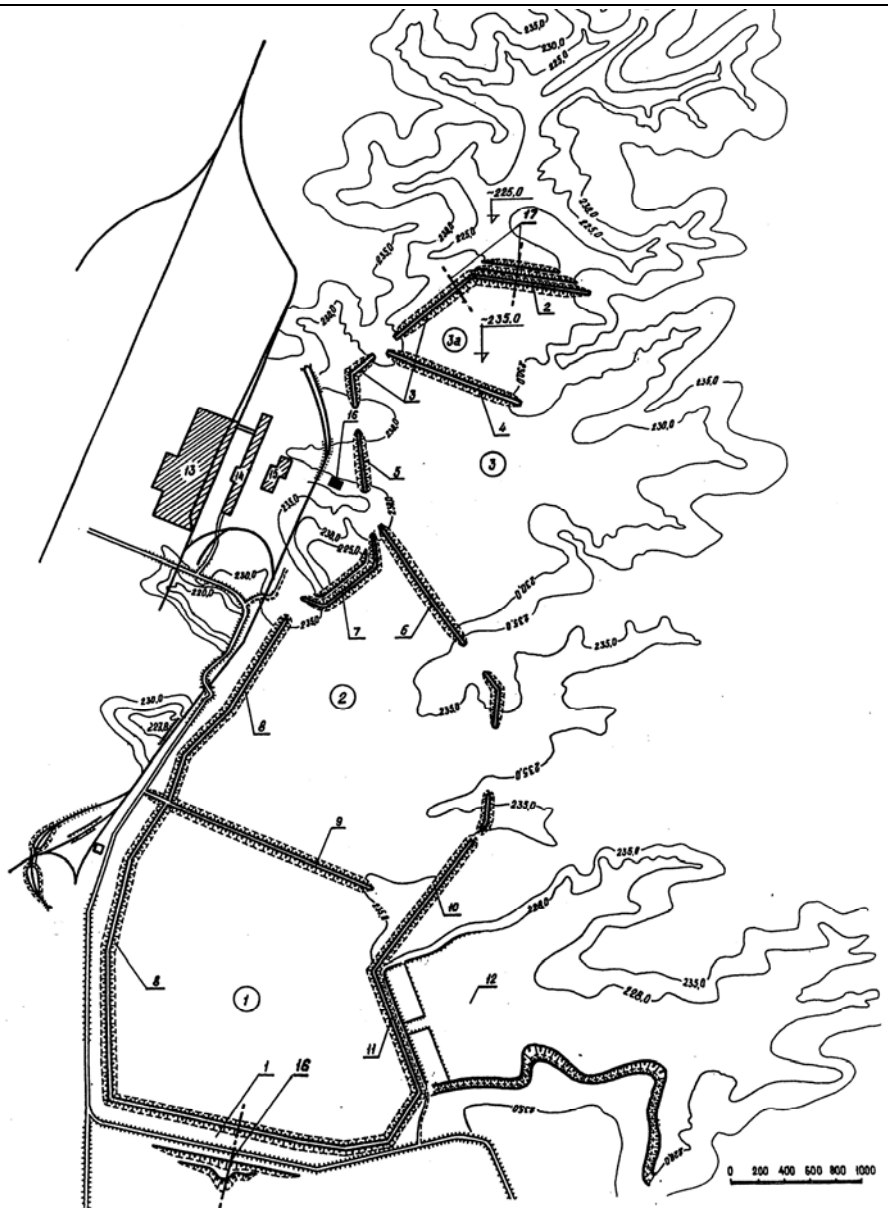


Рис. 3. Схема хвостового хозяйства Михайловского ГОКа (на 01.2006 г.): О – номера отсеков хвостохранилища; *1* – плотина (упорная дамба) «песочная»; *2* – отсечная дамба №2; *3* – ограждающая дамба №2; *4* – перемычка №2; *5* – ограждающая дамба №3; *6* – отсечная дамба №1; *7* – дамба аварийной емкости; *8* – ограждающая дамба №1; *9* – перемычка №1; *10* – левобережная дамба; *11* – плотина (ограждающая дамба) №4; *12* – гидроотвал «Лог Шамаровский»; *13* – фабрика обогащенного концентрата; *14* – фабрика обогащения; *15* – дробильная фабрика; *16* – существующий контрольный профиль; *17* – рекомендуемый профиль

+0,5 мм; средней крупности – более 50 % класса +0,25 мм; мелкие – более 75 % класса +0,1 мм; пылеватые – менее 75 % класса +0,1 мм.

Несмотря не то, что отходы обогащения в хвостохранилищах намывного типа достаточно хорошо «отдают» воду и, следовательно, консолидируются, обеспечение устойчивости этих техногенных массивов является приоритетной при решении вопросов безопасности этих объектов.

Требования к устойчивости намывных горнотехнических сооружений регламентированы в ряде нормативных документов Госгортехнадзора, Постановлениях Правительства РФ и Строительных нормах и правилах. Контроль за обеспечением устойчивости возлагается на геолого-маркшейдерские службы или специально создаваемые группы Геотехконтроля. Анализ показывает, что аварии на намывных сооружениях вызваны в 40 % случаев недостаточностью и некорректностью инженерно-геологических изысканий, в 30 % - неправильным выбором технологии при проектировании сооружений, в 25 % - нарушениями технологии эксплуатации объектов [4, 5].

Кафедрой геологии МГГУ накоплен 40-летний опыт геомеханического обеспечения безопасности эксплуатации намывных горнотехнических массивов. В качестве основного критерия изменения устойчивости откосных сооружений в исследованиях и разработках МГГУ является динамика роста избыточного порового давления в теле массива, его основании и дамбах. Заслуживает внимания разработанная система организации автоматизированных рабочих мест (АРМ) контроля за устойчивостью намывных массивов. Такие АРМ внедрены на Лебединском и Михайловском ГОКах в последнее десятилетие. Наиболее действенными необходимо признать АРМ на головной дамбе хвостохранилища МГОКа и плотины на балке р. Суры ЛГОКа. Оборудованные датчиками-пьезодинамометра-ми расчетные контрольные профили на этих ответственных горнотехнических сооружений дают оперативную информацию об их устойчивости.

В настоящее время проектом предусматривается дальнейшая эксплуа-тация хвостохранилища на р. Песочная МГОКа до отметки заполнения +245,0 м (рис. 3). Расчеты устойчивости ограждающих и разделительных дамб этого сооружения произведены без учета сезонных и технологических колебаний уровня воды в прудке и нижнем бьефе, не учитывают наличие плоскостей ослаблений в теле массива и основании сооружения. В то же время исследованиями ВИОГЕМ установлено, что скважина №27 в районе отсечной дамбы №2 на глубине 14,7–15,0 м (абсолютная отметка отбора пробы 219,0 м) вскрыт слой водонасыщенных пород с весьма низкими прочностными свойствами: сцепление С = 0,01 кг/см^2 (1 КПа), угол внутреннего трения φ = 27°. Такие данные свидетельствуют о наличии порового давления $P_и$, которое значительно снижает удерживающие силы в соответствие с выражением $\tau = tg\varphi\left(\sigma_n - P_u\right) + C$, где σ_n - нормальное напряжение; $tg\varphi$ - коэффициент трения.

Наростка ограждающих дамб и повышение уровня заполнения хвостохранилища будут провоцировать дальнейший рост избыточного порового давления. Исходя из этого организация системы геомеханического контроля по методике МГГУ по расчетным профилям дамбы №2 с применением датчиков-пьезодинамомет-ров с программным обеспечением представляется целесообразной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гидравлическое* складирование хвостов обогащения. Справочник / В.И. Кибирев, Г.А. Райлян, Г.Т. Сазонов и др. – М.:, 1991, 207 с.

2. *Гальперин А.М., Дьячков Ю.Н.* Гидромеханизированные природоохранные технологии. – М.: Недра, 1993, 256 с.

3. *Ritcey G.M.* Tailings management. Problems and solutions in the mining Indastry. Elsevier Science Publishers B.V. 1989, p.970.

4. *Кириченко Ю.В., Лаушкина В.А., Спиридонов Ю.С.* Мониторинг устойчивости откосных сооружений намывных массивов Михайловского ГОКа. – М.: Маркшейдерский вестник, №1, 2005, с. 25-29.

5. *Гальперин А.М., Зайцев В.С., Кириченко Ю.В.* Инженерно-геологическое и геотехническое обеспечение возведения, консервации и рекультивации гидроотвалов и хвостохранилищ (анализ 30-летнего опыта). – М.: Геоэкология. №4, 2000, с. 307-315.

Коротко об авторах

Кириченко Ю.В., Зайцев М.П., Кравченко А.Н. – Московский государственный горный университет.

© **М.В. Прохоренко, 2006**

УДК 550.8

М.В. Прохоренко

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ВОССТАНАВЛИВАЕМОЙ ГИДРОСЕТИ

Семинар № 1

Состояние значительной части земель России, находящихся в сфере хозяйственной деятельности, является неудовлетворительным. В настоящее время наблюдаются такие негативные процессы и явления, как подтопление земель, их загрязнение токсикантами промышленного происхождения (тяжелые металлы, нефть, нефтепродукты и др.), захламление и т.д. Не на должном уровне решается проблема рекультивации земель, нарушенных в результате хозяйственной деятельности предприятий различных отраслей промышленности. При освоении месторождений полезных ископаемых изменяются режимы подземных и поверхностных вод, а ареолы влияния загрязнения на порядок и более превышают площади земельных отводов. Дренаж карьерных полей производится в пределах областей питания речной сети, в результате чего малые реки и ручьи пересыхают. Открытые горные разработки и отвалообразование часто сопровождается переносом рек и переформированием по-

верхностной гидросети. Намыв гидроотвалов и хвостохранилищ вызывает подтопление прилегающих земель и общий подъем уровня грунтовых вод в районе расположения сооружения. Создание водохранилищ вызывает затопление обширных территорий, (помимо создания полезного объема вод, необходимого для работы ГЭС), приводит к переформированию берегов, заилению, подтоплению, заболачиванию и множеству других геологических процессов.

Можно сделать вывод, что основное негативное воздействие на природную гидросеть оказывают горные работы, строительство плотин и развитие мегаполисов, для уменьшения которого необходима реализация комплекса мероприятий по прогнозу, контролю и анализу изменения состояния этой системы на всех стадиях ее существования.

Для разработки и осуществления действенных мероприятий по защите и восстановлению нарушенных территорий необходимо выполнение следующих условий:

- выбор способа и технологии реабилитации гидросетей и рекультивации прибрежных территорий необходимо осуществлять на основе инженерно-геологического районирования, учитывающего особенности рельефа местности, гидрологические режимы, состав и свойства техногенных и природных отложений, а также возможность комплексного использования восстанавливаемых территорий и обеспечения экологической безопасности и устойчивости геоэкологических систем на всех этапах ведения работ;

- устойчивость восстановленных геосистем следует обеспечивать применением методов объектного инженерно-геологического мониторинга, включающего контроль гидрологических режимов, уровней загрязнения поверхностных вод и прибрежных территорий.

Решение вышеизложенных задач должно обуславливаться:

- изучением гидрогеологических и инженерно-геологических условий районов расположения объектов;

- изучением гидрологических режимов, самоочищающей способности элементов гидросети, а также возможности и прогноза их изменения;

- анализом и оценкой климатических, метеорологических и гидрологических условий предполагаемых районов ведения работ;

- оценкой свойств техногенных и природных отложений района исследований с целью комплексного их использования.

При инженерно-геологическом районировании, целесообразно учитывать критерии оценки восстанавливаемых территорий, основными из которых являются:

1. Климатические условия района ведения работ.

2. Гидрологические характеристики водного объекта:

- протяженность водного объекта;
- ширина водного объекта;
- глубина водного объекта;
- гидродинамические условия;
- скорость течения воды в водоеме, реке;
- расход потока.

3. Геологические условия района расположения водного объекта:

- состав почв и грунтов, слагающих ложе и берега водоема;
- выявление оползневых и эрозионных процессов в прибрежной зоне;
- перепады высот на всей протяженности водного объекта;
- превышения берегов над зеркалом воды, их топографические особенности;
- вид водопользования объекта;

- административная принадлежность к той или иной территории (местонахождение объекта (город, пригород));

- окружающий ландшафт.

4. Степень нарушенности (трансформации) водоема, которая может быть оценена по следующей классификации:

Классификация водотоков по техногенной трансформации естественной гидросети [1]:

I класс - сохранившиеся полностью, открытые на 90 %;

II класс - умеренно трансформированные, на 90-50 % открыты;

III класс - сильно трансформированные, на 49-10 % открыты;

IV класс - полностью утраченные, >90 % закрыты.

5. Подтопление восстанавливаемых территорий, которые можно разделить на:

- подтопленные территории;

- периодически подтопляемые территории;

- неподтопляемые территории.

Подтопленными считаются участки территории, где первый от поверхности водоносный горизонт поднимается к поверхности земли до глубины менее 3 м.) В целом подтопленные территории г. Москвы составляют около 40 % территории города (в пределах МКАД). Области повышения уровня грунтовых вод приурочены в основном к водораздельным участкам территории города в районах моренного плато и флювиогляциальной равнины.

6. Степень загрязненности водного объекта:

- захламленность (мусор, поваленные деревья и мелкий кустарник, плавающий сор и т.д);

- соотношение мощности иловых наносов и глубины водоема;

- качественный и количественный состав донных отложений;

- наличие растительности (качественный и количественный состав), в прибрежной и береговой зоне;

- пункты водосброса и водозабора;

- характер отличия очагов водосброса и водозабора от остальной части водного объекта.

6.1. Степень техногенной нагрузки может быть оценена по величине индекса загрязненности вод (ИЗВ), на основе методики, разработанной Гидрохимическим институтом (ГХИ) и принятой Московским центром гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды (МосЦГМС), Министерством экологии России:

0,02-0,05 - III класс (умеренно-загрязненные);

0,05-0,25 - IV класс (загрязненные);

0,25-0,45 - V класс (грязные);

0,45-1,0 - VI класс(очень грязные);

>1,0 - VII класс (чрезвычайно грязные).

6.2. Зонирование по уровню загрязненности донных отложений (по уровню суммарного показателя загрязненности).

<10 - низкий уровень загрязненности;

10-30 - средний уровень загрязненности;

30-100 - высокий уровень загрязненности;

>100 - очень высокий уровень загрязненности;

>500 - экстремально высокий уровень загрязненности.

Массив консолидированных донных отложений московского мегаполиса (мощностью до 3,5-4 м) сильно загрязнен. Современный слой наносов загрязнен в основном выбросами автотранспорта (нефтепродукты, свинец) [2].

7. Возможность очистки донных отложений при ведении восстановительных работ и последующего использования грунта:

- возможно использование без предварительной очистки;

- частичное использование (селективная выемка);

- использование после предварительной очистки;

- использование после очистки для горнотехнической рекультивации на других объектах;

- утилизация, вывоз на полигоны.

Разработка направлений и технологических схем восстановления нарушенных гидросетей как комплекса инженерно-технических, ландшафтопланировочных мероприятий для реконструкции и реорганизации системы, основной составляющей которых являются работы по расчистке заиленных русел, заболоченной береговой зоны с намывом территорий до незатопляемых отметок и восстановление речного стока, создание или облагораживание почв в прибрежной зоне, обустройство и окультуривание берегов, организация рекреационных зон с озеленением и разбивкой парков должна по возможности учитывать весь комплекс вышеизложенных факторов или части их с учетом наиболее существенных. Районирование позволит оценить степень нарушенности элементов гидросети и определить очередность работ и наиболее оптимальную технологическую схему их выполнения. Учет самовосстанавливающих свойств водных объектов позволит значительно сократить объемы рекультивационных работ.

При оценке опыта человеческой деятельности становится очевидно, что ничто не проходит бесследно и необходима инженерная проработка любого проекта, поэтому является актуальным проведение инженерно-геологического районирования на начальной стадии реализации проекта восстановительных работ для обоснования особенностей восстановления поверхностных вод и рекультивации прибрежных территорий и создания устойчивых геоэкологических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Постановление* Правительства Москвы от 17 июня 2003 г. N 450-ПП «О Концепции по восстановлению малых рек и русловых водоемов города Москвы и первоочередных мероприятиях по реализации Концепции на период 2003-2005 гг.»

2. *Экологический* атлас Москвы /Рук. проекта И.Н. Ильина/.-М.: Изд-во «АБФ/ ABF». - 2000. - 9 6 с.

Коротко об авторах

Прохоренко М.В. – аспирант, кафедра геологии, Московский государственный горный университет.

© В.Н. Зуй, Д.В. Лакотош, С.Н. Жилин, 2006

УДК 622:531.78

В.Н. Зуй, Д.В. Лакотош, С.Н. Жилин

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПОРОВОГО ДАВЛЕНИЯ В НАМЫВНЫХ МАССИВАХ

Семинар № 1

В связи с развитием сотовой связи и удешевлением оборудования в настоящее время получили большое распространение устройства контроля и управления удаленных объектов через сотовую связь стандарта GSM в нескольких режимах (GPRS, SMS и т.д.). Предлагается устройство для удаленного контроля состояния намывных плотин, в которых установлены струнные датчики давления воды системы ДИГЭС. Устройство разрабатывается на кафедре геологии МГГУ.

Устройство предназначено для измерения порового давления воды в месте расположения струнных датчиков и передачи по сети сотовой связи стандарта GSM результатов измере-ний потребителю.

Устройство должно удовлетворять следующим требованиям:

- располагаться в устье скважины на небольшой глубине;
- работать в необслуживаемом режиме длительное время(более полугода);
- работать в полевых условиях в любое время года;
- должны быть предусмотрены меры защиты от вандалов(скрытая антенна);
- обслуживать до 3-х датчиков в скважине;
- информация должна передаваться с заданной периодичностью, а также в случае превышения измеренных значений предварительно заданных величин (аварийный сигнал);
- возможность получения информации по команде извне (в этом режиме модем GSM должен быть постоянно включен, что требует мощного источника питания).

Конструкция устройства.

Устройство состоит из следующих блоков (см. рисунок):

- управляющий микроконтроллер, который осуществляет контроль времени, подает напряжение на блоки производящие измерения и передачу данных *1*;
- основной микроконтроллер, производящий управление процессами возбуждения датчиков, прием сигналов с датчиков, определение частот колебаний струн датчиков, расчет давлений воды по градуировочным характеристикам, передачу этих величин на модем GSM *2*;
- блок формирования импульсов тока для возбуждения колебаний струн датчиков *3*;
- усилитель сигналов с датчиков *5*;
- модем GSM *4*;
- антенна *8*;
- батарея питания *7*.

Принцип действия.

Управляющий микроконтроллер производит отсчет времени и через заданный промежуток времени дает команду на включение питания на основной микроконтроллер и модем GSM. Программа основного микропроцессора дает команду на формирование запускающего импульса тока для возбуждения колебаний струн датчиков, затухающие собственные колебания с дат-

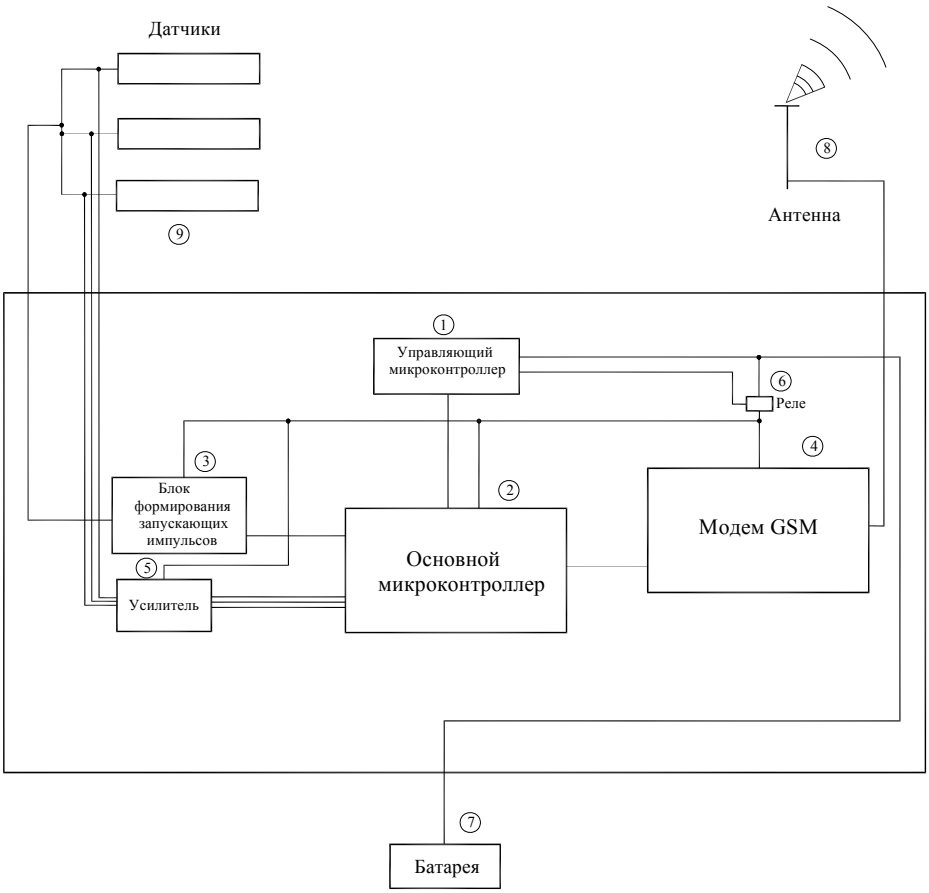


Схема устройства дистанционного контроля давления воды

чиков через усилитель подаются на входы аналого-цифро-вых преобразователей (АЦП) микроконтроллера. На выходе АЦП получаем массивы амплитуд сигналов, полученные через равные промежутки времени. Цифровые значения амплитуд сигналов подвергаются дискретному преобразованию Фурье по формуле:

$$H(f_n) = \sum_{k=0}^{N-1} h_k \Delta_k \exp(\frac{kn}{N} 2\pi i)$$

где h_k – массив амплитуд сигнала , k – индекс суммирования; N – количество измерений; $\Delta_к$ – временной шаг между измерениями; n – порядковый номер элементов массива получаемого в результате преобразования; i – мнимая единица; $|H(f_n)|$ – массив амплитуд частотного спектра сигнала с датчиков.

В результате получается частотный спектр сигнала с максимальной амплитудой на частоте основного сигнала, на графике он представляется в виде функции, похожей на функцию плотности вероятности нормального распределения. Частота основного сигнала определяется по середине хорды, отсекаемой

кривой от прямой, проведенной на половинной высоте от максимальной амплитуды частотного спектра. Значение давления определяется по градуировочной формуле каждого датчика, переводится в символьный вид и запоминается в памяти. Затем производятся аналогичные действия с другими датчиками. Затем номера датчиков и соответствующие им давления передаются на модем GSM, который передает эти данные на сотовый телефон потребителя. После передачи снимается питание с основного микроконтроллера и модема.

В устройстве используются микроконтроллеры фирмы Microchip. Программирование и отладка программ производится с помощью отладочного комплекса MPLAB-ICD2 фирмы Microchip. Язык программирования – ассемблер. Модем GSM – WISMO QUIK Q2406B фирмы WAVECOM. Программируется с помощью отладочного комплекта фирмы WAVECOM.

Работа выполняется по заданию ОАО “Лебединский ГОК” для обеспечения оперативного контроля как гидростатического давления в теле ограждающих дамб намывных сооружений, так и избыточного(сверх гидростатического) давления в поровой воде тонкодисперсных отложений намывных массивов. При достижении критических значений давления в воде предусматривается передача аварийного сигнала на приемное устройство.

Коротко об авторах

Зуй В.Н., Лакотош Д.В. – Московский государственный горный университет,
Жилин С.Н. – ОАО “Лебединский ГОК”.

ИНФОРМАЦИЯ

В Горном информационно-аналитическом бюллетене № 3, 2006 г. на с. 252 по вине редакции произошла техническая ошибка в названии статьи. Название статьи авторов А.А. Козырева, С.П. Решетняка, О.Е. Чуркина, С.В. Жабина – «Оценка экономической эффективности освоения перспективных месторождений Кольского полуострова».