

УДК 624.131

**Ю.И. Кутепов, Н.А. Кутепова, А.В. Ковязин,
М.А. Ивочкина, А.В. Филатов**

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ОТВАЛОВ ФОСФОГИПСА

Приведена характеристика отвалов, сформированных из отходов производства фосфорной кислоты, на примере объектов городов Воскресенск и Балаково. Рассмотрены инженерно-геологические и гидрогеологические условия отвалов фосфогипса. Изложены методические вопросы организации систем мониторинга безопасности. Даны некоторые результаты наблюдений за режимом подземных вод и деформациями поверхности отвала и его основания.

Ключевые слова: отвалы фосфогипса, специфическое строение массива, мониторинг безопасности, наблюдательные станции, вертикальные деформации, поровое давление.

При производстве фосфорных минеральных удобрений образуется побочный продукт – сульфат кальция, который из-за содержащихся в нем примесей P_2O_5 , получил название «фосфогипс». В принципе он пригоден для использования в народном хозяйстве, но лишь 9 % этого ценного гипсосодержащего сырья находит практическое применение, а большая его часть складывается в отвалы. К настоящему времени в отвалах химической промышленности РФ уложено более 200 млн т фосфогипса.

Предприятия по производству фосфорных удобрений расположены в пределах густонаселенных городских территорий промышленных регионов Московской, Ленинградской, Саратовской, Вологодской и других областей РФ. Здесь под отвалы фосфогипсов изымаются значительные площади земель различного назначения, а сооружения находятся в непосредственной близости от транспортных магистралей, природных объектов, зданий и всевозмож-

ных сооружений. Важной проблемой при этом является обеспечение их устойчивости, решение которой требует оптимизации параметров горно-технических сооружений, организации и выполнении мониторинга безопасности.

Наиболее остро проблема размещения отходов производства фосфорной кислоты стоит в г. Воскресенск Московской области, где уже около 80 лет работает Воскресенский химкомбинат. За это время было полностью заполнено 3 отвальных сооружения: два гидроотвала и один сухой отвал. В настоящее время отходы отсыплются в сухой отвал №2, высота которого достигла 80 м и будет в дальнейшем увеличиваться до 120 м.

Отвал расположен в старой горной выработке карьера, отработывающего фосфориты Егорьевского месторождения. Его площадь составляет 60 га при углах наклона 30-32°. В основании сооружения залегают юрские глины. Отвал представляет собой неоднородный по состоянию и

свойствам техногенный массив, сложенный тремя слоями фосфогипса. В пределах нижнего слоя сформировался безнапорный водоносный горизонт, питание которого осуществляется за счет атмосферных осадков и технологической воды, поступающей вместе с фосфогипсами.

На предприятие ООО «Балаковские минеральные удобрения» отвалы занимают площадь более 100 га, высота их местами достигает 60 м при углах откосов 28-32 град. В основании отвалов залегают «слабые» глинистые породы делювиального, лиманно-морского и аллювиального генезиса. В сооружение на различных этапах его существования в произвольном порядке складировались два вида гипсовых отходов: дигидрат сульфата кальция и полугидрат сульфата кальция. В инженерно-геологическом отношении техногенный массив отвала представляет собой четырехслойную систему из фосфогипса различного состояния и свойств. Поскольку сооружение формируется из водонасыщенных отходов в определенных по осадкам метеорологических условиях, то в нем формируется техногенный водоносный горизонт, действие воды в котором в значительной степени определяет условия устойчивости откосов, как за счет гидростатического взвешивания и гидродинамического давления, так и увеличения влажности и снижения прочности фосфогипсовых пород. Кроме того, необходимо отметить, что фосфогипсы характеризуются сильной сжимаемостью (коэффициент сжимаемости $0,14 \text{ см}^2/\text{кг}$) и реологическим поведением (длительным процессом уплотнения). Данные обстоятельства будут весьма важными при интерпретации результатов геодезических наблюдений при выполнении мониторинга безопасности.

Мониторинг безопасности при формировании отвалов фосфогипса включает три составляющих: гидрогеомеханическую, геодезическую и технологическую.

Гидрогеомеханический мониторинг – система натуральных измерений и наблюдений за изменением инженерно-геологических условий сооружения и управления гидрогеомеханическими процессами, необходимая для оценки и прогноза состояния устойчивости отвалов, условий работы горнотранспортного оборудования, а также выдачи рекомендаций по предупреждению опасных деформаций. Гидрогеомеханический мониторинг выполняет следующие функции:

- регистрация изменений строения, состава, напряженно-деформированного состояния и физико-механических свойств пород техногенных массивов, оснований сооружений, а также гидродинамического режима подземных вод техногенных и естественных водоносных горизонтов;

- оценка состояния устойчивости сооружения и прогноз возникновения опасных деформаций в связи с зарегистрированными изменениями инженерно-геологических и гидрогеологических условий.

Основные контролируемые параметры оказывают определяющее и непосредственное влияние на состояние устойчивости сооружения в целом или отдельных его элементов (ярусов). К ним относятся:

- уровень воды в откосе сооружения (депресссионная поверхность);

- поровое давление (напор) в породах призмы возможного оползания откоса сооружения (в породах техногенного массива и естественно-го основания);

- физико-механические свойства пород (плотность, влажность, характеристики сопротивления сдвигу).

Целью геодезического мониторинга является установление границ распространения и вида деформаций горных пород, определение скорости и величин деформаций, определение критической величины смещений, предшествующих началу активной стадии, для различных инженерно-геологических комплексов, предрасчет развития деформаций во времени при увеличении высоты отвала.

Для проведения наблюдений за деформациями откосов отвалов закладываются специальные наблюдательные станции, на которых периодически проводятся инструментальные наблюдения. Наблюдательная станция состоит, как правило, из нескольких профильных линий, по которым расположены опорные и рабочие реперы.

Третьим составляющим мониторинга безопасности является технологический, который включает контроль технологических процессов формирования отвального сооружения.

Рассмотрим примеры организации мониторинга на двух объектах.

На отвале в г. Воскресенске для выполнения гидрогеомеханического мониторинга были пробурены скважины с отбором монолитов на полный комплекс инженерно-геологических исследований, в которые затем на различных интервалах, приуроченных к определенным инженерно-геологическим элементам (ИГЭ) техногенного массива и основания отвала, установлены датчики давления воды для наблюдения за гидрогеологическим режимом. На верхней площадке отвала, межъярусных бермах и в основании горнотехнического сооружения заложена геодезическая станция (рисунок), состоящая из четырех профильных линий. Выполненные мониторинговые наблюдения позволили отметить следующее:

- уровень водоносного горизонта в центральной части отвала высотой 80 м находится на глубине 60 м, из чего следует, что взвешивающему влиянию воды подвержена его незначительная часть;

- горизонтальные деформации по реперам наблюдательных линий, установленным на отвале и его основании, а также вертикальные деформации реперов в основании сооружения, незначительны и находятся в пределах точности измерений;

- вертикальные деформации реперов наблюдательных линий, установленных на верхней площадке отвала, достигли за период годового наблюдения значений 1-3 м.

Оценивая данную гидрогеомеханическую ситуацию, можно отметить, что на отвалах фосфогипса развиваются только процессы уплотнения и устойчивость откосов обеспечена.

На отвалах ООО «Балаковские минеральные удобрения» мониторинг безопасности включал бурение и оборудование трех скважин гирляндами из датчиков порового давления и закладку маркшейдерской станции с 8-ю профильными линиями из реперов (рисунок). Измерения по датчикам позволили сделать вывод о наличии в теле отвала водоносного горизонта, на две трети обводняющего массив. Кроме того, особые условия формирования отвала, связанные с достаточно быстрым твердением фосфогипсового отхода, привели к образованию на поверхности слоя, предотвращающего фильтрацию воды через откос. Это привело к явлению разгрузки техногенного водоносного горизонта через верхний слой — делювиальные суглинки, о чем свидетельствуют многочисленные высачивания воды у нижней бровки откоса.

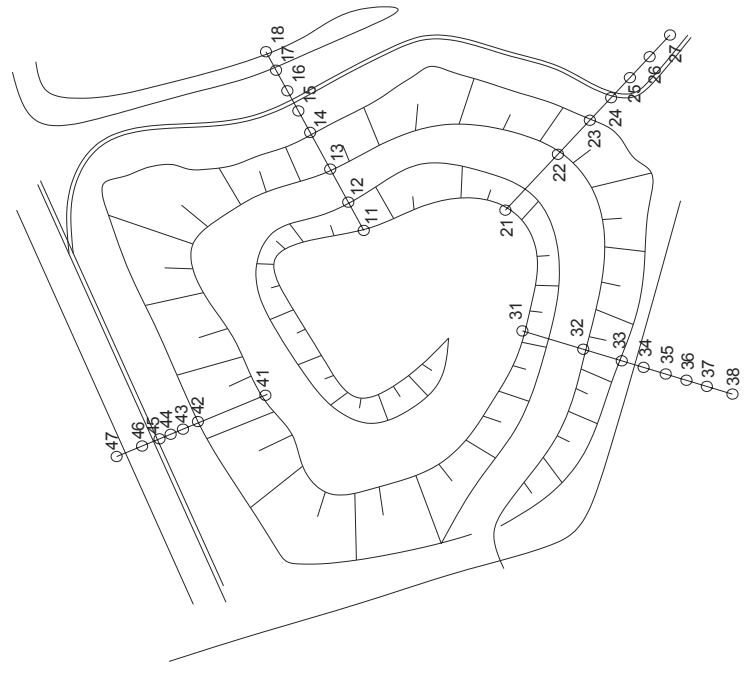
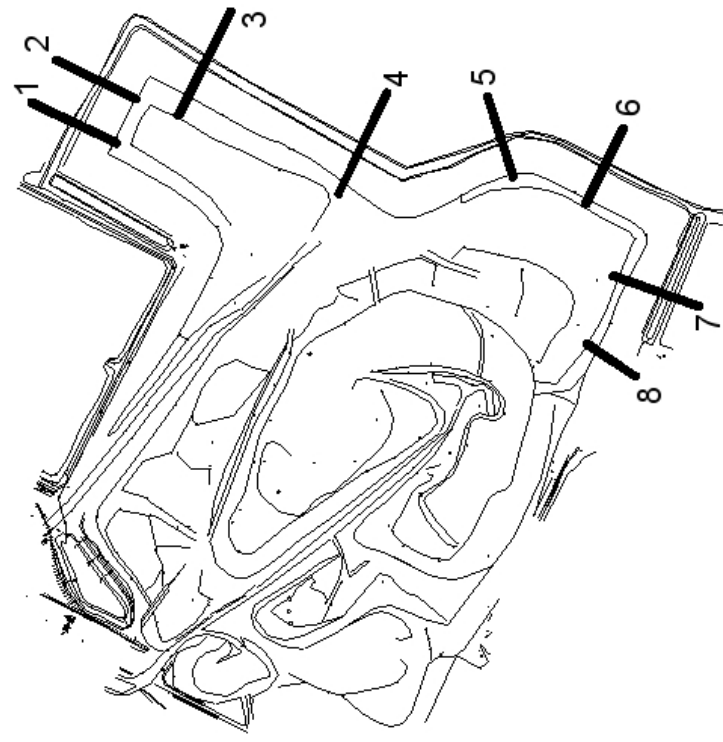


Схема расположения профильных линий на отгалах городов Воскресенск и Балаково

Анализ результатов геодезических наблюдений позволяет отметить следующие деформационные обстоятельства: - по всем профильным линиям наблюдаются осадки на 3,5 - 5,3 м. поверхности отвала и выпор пород основания у нижней бровки откоса отвала 0,08-1,6 м; - максимальные значения осадок верхней площадки выявлены в створе профильной линии 3, а максимальные поднятия поверхности земли основания отвала – в створе профильной линии 4; - минимальный осадки поверхности отвала и выпор пород основания отмечаются в наблюдательном створе 8; - максимальные горизонтальные смещения верхней бровки отвала и пород его основания приурочены к северо-восточной части отвала (створ 4).

По характеру распределения величин общих деформаций и направленности результирующих векторов смещений можно говорить о начальной стадии развития оползней подподошвенного типа с захватом пород естественного основания. Судя по локализации вала выпирания непосредственно у нижней бровки откоса, глубина захвата пород основания не превышает 1-2 м, поэтому можно также предположить, что формирование поверхности скольжения подподошвенного оползня происходит по линии тока разгрузки водоносного горизонта, свидетельствуя о возмож-

ной гидрогеологической природе деформаций отвалов на слабом фильтрующем основании. Также, по нашему мнению, не следует всю зарегистрированную осадку отвала отнести на счет оползневого смещения, т.к. выпор основания у нижней бровки отвала не сопоставим по величине с вертикальным смещением верхней его площадки. Поэтому часть осадки отвала вызвана уплотнением фосфогипсовых пород вследствие их гравитационного и физико-химического уплотнения.

Таким образом, рассмотрена методика организации мониторинга безопасности на отвалах фосфогипса, обладающих определенной инженерно-геологической и гидрогеологической спецификой. Организованы системы мониторинга безопасности на двух объектах химической промышленности РФ. Выполненные наблюдения и исследования позволили разработать рекомендации по наращиванию горнотехнических сооружений и обосновать мероприятия по предотвращению негативных последствий. В частности, обосновано увеличить высоты Воскресенского и Балаковского отвалов соответственно до 120 м и 100 м. Предложено для предотвращения развития оползневых процессов на отвалах г. Балаково применить дренирование массива с помощью горизонтальных скважин. **ПИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Кутепов Юрий Иванович – доктор технических наук, профессор, koutepov@mail.ru,

Кутепова Надежда Андреевна – доктор технических наук, главный научный сотрудник, koutepov@mail.ru,

Ковязин Артем Викторович – младший научный сотрудник, artemkovyazin@yandex.ru,

Филатов Антон Вадимович – аспирант, ведущий инженер, filatofanton@gmail.com,

Ивочкина Мария Александровна – аспирант, инженер, ivochkinamary@gmail.com,

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

