

ЛИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ

Е.Н. Огородникова, С.К. Николаева

В своем фундаментальном труде “Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований”, вышедшем около 40 лет назад, Е.В. Шанцер обосновал очень важный тезис о том, что “общая картина континентального литогенеза успешнее всего может быть выяснена, если в основу положить изучение наиболее молодых, а потому лучше и полнее сохранившихся отложений, формирующихся в наиболее типичной для суши обстановке господства выветривания и денудации” [Шанцер, 1966, с. 10]. Эта картина не может быть полной без исследования процессов литогенеза современных техногенных образований различных генетических типов.

По Е.В. Шанцеру генетический тип является категорией, объединяющей комплексы осадков и осадочных образований, родственные друг другу по общим законам строения и истории формирования, и вещественным выражением одной из качественно своеобразных динамических форм осадочной аккумуляции. Изучение геологически наиболее молодых образований ценно тем, что можно непосредственно наблюдать весь ход процесса аккумуляции. Это важно для понимания самих генетических типов и служит средством достижения конечной цели – выяснения закономерностей изменения условий осадконакопления, состава и строения пород в пространстве и во времени [Шанцер, 1966].

Изучение этих закономерностей очень важно при инженерно-геологической и эколого-геологической оценке техногенных континентальных образований. В предлагаемой статье рассматриваются литогенетические особенности техногенных отложений золошлакоотвалов, формирующихся повсеместно на территории страны, на многочисленных теплоэлектростанциях, где сжигается твердое топливо.

Развитие теплоэнергетики, основанное на использовании твердого топлива, предопределяет накопление техногенных грунтов, к которым относятся золы и шлаки теплоэлектростанций. Золы и шлаки – продукты сжигания каменного и бурого углей, горючих сланцев или торфа – накапливаются в специальных шлакосборниках, размельчаются и удаляются гидротранспортом по

пульпопроводам на золошлакоотвал. Золошлакоотвал включает территорию, огороженную дамбами обвалования, на которой производится намыв материала. В зависимости от рельефа местности и гидрографических условий выделяются равнинные или балочные типы золошлакоотвалов. Для образования первичной дамбы используются слабопроницаемые супеси и суглинки, при наращивании дамб применяются золы и шлаки, складированные в процессе эксплуатации теплоэлектростанции, что определяет необходимость их инженерно-геологической оценки. Решение экологических вопросов, связанных с накоплением техногенных грунтов этого типа – техногенно образованных разностей – связано с пылимостью и возможностью загрязнения грунтовых вод. Последние обстоятельства определяют необходимость удаления золошлакоприемников на расстояние 1,5–2,0 км от охранной зоны источников водоснабжения, расположения с подветренной стороны к преобладающему направлению ветра от населенных пунктов и охранной зоны источников водоснабжения во избежание последствий пыления [Мелентьев и др., 1973]. Принципиальная схема организации золошлакоотвала представлена на рис. 1. В процессе надводного намыва в пределах пульпоприемника формируются русловые и пойменные фации, приуроченные к временным водотокам, конусы выноса, на которых материал суспензии оплывает по пологому склону аккумуляции под водой к центру пульпохранилища, где оседают самые тонкие фракции.

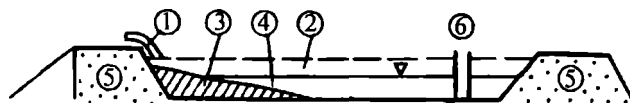


Рис. 1. Схема седиментации золошлаков при гидродоудалении на золоотвале

1 – намыв материала; 2 – изменяющийся уровень воды в пульпохранилище; 3 – зона намыва-надводный или временно затопленный конус; 4 – дельтовая зона; 5 – дамба обвалования; 6 – осушительные колодцы

Химический состав золошлаков

Химический состав зол и золошлаков от сжигания наиболее распространенных энергетических топлив определяется химическим и минеральным составом сжигаемых пород и технологией сжигания (табл. 1). Так, например, в золах и шлаках донецких углей преобладают оксиды кремния и алюминия, содержание которых может соответственно находиться в пределах 35–65% и 12–30%. Зола этих углей содержит значительное количество несгоревшего топлива. Для золошлаков от сжигания каменных углей Кузнецкого бассейна характерно высокое содержание кремнезема (до 60%) и низкое содержание оксидов железа (менее 10%). Эти золошлаки имеют повышенную тугоплавкость. Один из крупнейших бурогольных бассейнов – Канско-Ачинский, является источником получения золошлаков, характеризующихся специфическими свойствами, характерными для карбонатосодержащих пород: высокими значениями в валовом составе оксида кальция и в связи с этим низкой температурой плавления. Сопоставление химических составов зол и золошлаков показывает их незначительное различие. В зависимости от вида сжигаемого топлива золошлаки подразделяются на кислые с содержанием оксида кальция менее 10% (образуются от сжигания каменного и бурого угля, антрацита и торфа) и основные с содержанием оксида кальция более 10% (образуются от сжигания сланцев и молодых углей). Результаты валового химического анализа позволяют разделить золы и шлаки на активные, скрытоактивные и инертные разности.

Активность зол и шлаков характеризуется модулем основности M_o , отвечающем отношению суммы оксидов кальция и магния к сумме оксидов кремния и алюминия (активные – M_o 0,5–2,8; скрытоактивные – M_o 0,1–0,5; инертные – $M_o < 0,1$); силикатным модулем M_c – отношением оксида кремния к оксиду алюминия (активные – M_c 1,5–7,8; скрытоактивные – M_c 1,4–4,4; инертные – M_c 1,3–6,8); и коэффициентом качества K , выражающим отношение содержания оксидов кальция, магния и алюминия к сумме оксидов кремния и марганца (активные – K 1,0–3,6; скрытоактивные – K 0,4–1,9; инертные – K 0,2–0,9). Оценка золошлакового материала по предложенным показателям позволяет косвенно судить о минеральном составе и дать предварительную оценку возможности их утилизации, так как активные или скрытоактивные золошлаки могут использоваться в индустрии строительных материалов для приготовления низкомарочных

цементов и цементных растворов, обустройстве полотна дорожной одежды и т. д.

Анализ химического состава зол и шлаков по вышеприведенным коэффициентам показал, что пробы золошлакового материала одного золоотвала характеризуются разной активностью. Золошлаковый материал русловых потоков активнее, чем в пойменной фации. При надводном намыве золошлаки активнее, чем в прудковой зоне под водой. Активность намытого материала изменяется на разном расстоянии от выпуска пульпы. Эти явления объясняются фракционированием материала на золоотвале, а так как «активные» компоненты приурочены к определенным фракциям, то и активность материала на разных участках отличается. Более активный материал сосредоточен в крупных фракциях шлака, который оседает в зоне сброса пульпы. Зольная составляющая, характерная для зоны прудотстойника, включает менее активные компоненты. Расчет показателей M_o , M_c и K для золошлаков различных станций позволил составить классификацию их активности (табл. 2).

Минеральный состав золошлаков

Минеральный (фазовый) состав зол и золошлаков разнообразен и отличен от природных образований. В золошлаках обнаружены мета- и ортосиликаты кальция, алюминаты, ферриты, алюмоферриты, частично или полностью дегидратированные формы глинистых минералов, обычно представленные муллитом. В значительных количествах содержатся оксиды кремния, гидроксиды кальция (портландит), магния. В состав золошлаков в небольших количествах входят сульфаты и хлориды. Обязательной составляющей зол и золошлаков является несгоревший уголь (недожог), содержание которого косвенно фиксируется величиной потери при прокаливании в результатах валового химического состава. Основной особенностью золошлаков и зол является присутствие в их составе рентгеноаморфной стекловидной фазы. Образование стекла связано с высокой температурой сжигания твердого топлива, в результате которой природный кварц, входящий в состав топлива, может плавиться, и последующим быстрым охлаждением. Стекловидная фаза может быть подразделена на четыре вида на основании цвета стекол и величины светопреломления: бесцветные частицы шарообразной, реже остроугольной формы с показателем светопреломления 1,525–1,635, количество такого стекла в золах составляет 3–50%; стекло желтоватого цвета, показатель

Таблица 1. Химический состав золы уноса от сжигания твердого органического топлива на ТЭС России

Химический состав	Содержание оксидов (%)				
	угольные золы из:			сланцевые золы	торфяные золы
	антрацита	каменного угля	бурого угля		
SiO ₂	35–58	50–65	21–55	19,0–34	10–40
Al ₂ O ₃	12–32	18–30	4–11	3,0–9,3	10–16
Fe ₂ O ₃	7–18	2–15	6–16	3,5–5,3	15–17
CaO	1–6	0,3–10	20–46	32–59	15–40
MgO	0,2–3,0	0,1–2,5	3–6	2–6,4	4–8
K ₂ O	1,5–5,0	0,3–2,4	0,2–1,5	1–6	0,5–1,0
Na ₂ O	0,6–2,0	0,1–1,3	0,2–0,6	0,3–4,0	0,5–1,0
SO ₃	0,2–2,0	0,1–2,2	0,9–9,0	более 10	1–8
Органика (“недожог”)	8–22	3–22	2–3	менее 3	3–10

Таблица 2. Классификация золошлаков гидроудаления по активности

Золошлаковый материал	Станция, вид сжигаемого топлива	Расстояние от выпуска пульпы, м	Место отбора проб
Активные	Смолевичская ГРЭС, торф	200, 250	Золоотвал
Скрытоактивные	Интинская ТЭЦ, интинский уголь	35	Русло
	Сахалинская ГРЭС, лермонтовский уголь	5	Русло
	Назаровская ГРЭС, назаровский уголь	В пределах всего золоотвала	
	Интинская ТЭЦ, печорский уголь	В пределах всего золоотвала	
	Читинская ГРЭС, харанорский уголь	15, 230	Русло
	Южно-Уральская ГРЭС, челябинский уголь	20, 150, 300, 450	Пойма
	Иркутская ТЭЦ-10, черемховский уголь	В пределах надводного намыва	
Инертные	Интинская ТЭЦ, интинский уголь	В пределах всего золоотвала	Борт потока, прудковая зона
	Новосибирская ТЭЦ-3, кузнецкий уголь	В пределах всего золоотвала	
	Сахалинская ГРЭС, лермонтовский уголь	185	Пойма, прудковая зона
	Чульманская ГРЭС, нерюнгринский уголь	В пределах всего золоотвала	
	Щекинская ГРЭС, подмосковный уголь	В пределах всего золоотвала	
	Южно-Уральская ГРЭС, челябинский уголь	600, 800	Прудковая зона
	Иркутская ТЭЦ-10, черемховский уголь	Прудковая зона	
	Средне-Уральская ГРЭС, экибастузский уголь	В пределах всего золоотвала	

светопреломления 1,635–1,700, содержание в золе составляет 1–30%; стекло бурое, до темно-бурого, показатель преломления 1,700–1,734, содержится в золе в незначительных количествах; стекло черного цвета с характерным металлическим блеском магнетита, характеризуется магнитными свойствами и высоким показателем светопреломления более 1,730, содержание такой формы стекла в золе составляет 0,5–8%.

Изучение химико-минерального состава золошлаков проводилось для осадков, формирую-

щихся в отвалах Кураховской (КГРЭС) и Березовской ГРЭС (БГРЭС). На Кураховской ГРЭС сжигается донецкий уголь. В химическом составе преобладают оксиды кремния (около 50 %) и алюминия (около 20 %) при незначительном содержании соединений кальция (2–4 %). В соответствии с вышеприведенной классификацией золошлаки Кураховской ГРЭС относятся к инертным, низкокальциевым. Золоунос Березовской ГРЭС – продукт сжигания бурых углей Канско-Ачинского бассейна – содержат 20 % оксида

кремнезема, 6–9 % оксида алюминия, до 30 % оксида кальция. В их составе отмечены сульфаты и соединения железа. Эти золошлаки относятся к скрытоактивным, высококальциевым разностям.

Минеральный состав зол был исследован с помощью фазового рентгеноструктурного анализа. Для анализа были отобраны образцы зол гидроудаления Березовской ГРЭС из зоны сброса и зоны пруда-отстойника, образцы зол Кураховской ГРЭС гидроудаления и зола сухого удаления непосредственно из бункера золоприемника. Результаты приведены в табл. 3. Минеральный состав исследованных зол разнообразен и включает минералы, образующиеся на разных стадиях технологического процесса.

Первая группа – минералы угля – исходного топлива. К ней относятся кварц, присутствующий во всех золах, и магнетит, обнаруженный в грубодисперсной золе БГРЭС в количестве 1 %. Содержание кварца в золе донецких углей составляет 11 %, основная масса соединений кремния представлена стекловидной аморфной фазой. Зола бурых углей содержит незначительное количество кварца при высоком содержании рентгеноаморфной фазы. Последняя особенность объясняется низкими температурами плавления минеральной части угля в процессе сжигания. Вторая группа – минералы сухой золы – обладает специфическим составом, так как входящие в нее минералы формируются при высоких температурах в топочном пространстве котлоагрегатов. К этой группе относятся следующие минералы:

Муллит – $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ – силикат алюминия, в золе Кураховской ГРЭС содержание составляет 33%, образуется при высокотемпературном обжиге силикатов, поэтому в более низкотемпературных золах Березовской ГРЭС не обнаружен.

Мелилит – $2[(\text{Ca}, \text{Na}, \text{K})_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_7]$ – минерал непостоянного состава, входит в изоморфный ряд окерманит – геленит, малоустойчив, легко разрушается, в природе образуется при высоких температурах и малых давлениях в щелочных породах, богатых кальцием, обнаружен в золе зоны сброса пульпы Березовской ГРЭС. В золе пруда-отстойника мелилита практически нет, возможно потому, что в водной среде в присутствии портландита, он гидратируется с образованием гидросиликатов тоберморитового типа.

Маггемит (оксимагнетит) – Fe_2O_3 – неустойчивый конечный продукт окисления магнетита, плотность $4,88 \text{ г/см}^3$, легко переходящий в гематит, содержится в золах КГРЭС, распространение в пределах золоотвала приурочено в основном к зоне сброса пульпы.

Килхоанит – $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ – силикат кальция, образуется в процессе спекания соединений кальция и кремния, способен к гидратации, содержится в золе Березовской ГРЭС в количестве 1%.

Анализ (октаэдрит) – TiO_2 – в природе встречается редко, в количестве 1% обнаружен в золе гидроудаления Кураховской ГРЭС.

Третья группа – минералы, образующиеся в процессе водной транспортировки и хранения, представлена в основном гидроокисями, образовавшимися достаточно быстро. У химически инертных зол донецких углей на этой стадии технологического цикла новообразований не обнаружено. В скрытоактивных бурогольных золах появились следующие минералы:

Портландит – $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – гидроксид кальция присутствует в количестве 4–7%, содержание закономерно снижется от зоны сброса пульпы к прудковой зоне. Формирование портландита связано с гидратацией избытка извести и силикатов кальция.

Гиббсит (гидраргиллит) – $\text{Al}(\text{OH})_3$ – в природе вторичный минерал, продукт изменения соединений глинозема, отмечен в грубодисперсной разности золы Березовских углей.

Ангидрит – CaSO_4 – безводный сульфат кальция, образуется в условиях перенасыщенности растворов сульфатами и кальцием, обнаружен в бурогольных золах БГРЭС.

Бассанит – $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – полуводный гипс, промежуточный продукт гидратации ангидрита, содержится в количестве менее 1% в скрытоактивной золе березовских углей.

Четвертая группа представлена минералами, образовавшимися в процессе длительного хранения непосредственно на золоотвале. Новообразования этой группы отмечены для всех исследованных образцов. Это объясняется изменением щелочности среды под действием углекислоты воздуха, гидратацией, карбонатизацией и формированием более термодинамически устойчивых соединений.

Карбонаты: кальцит CaCO_3 , магнезит $2[(\text{MgCO}_3)]$, витерит $4[(\text{BaCO}_3)]$, анкерит $\text{Ca}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})(\text{CO}_3)_2$, сидерит $\text{Fe}(\text{CO}_3)$ формируются в присутствии CO_2 воздуха при снижении pH и нейтрализации портландита. Содержание этих минералов характерно для высококальциевой золы Березовской ГРЭС.

Фосфаты: следы вивианита $2[\text{Fe}_3^{2+}(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$ определены в золах гидроудаления Кураховской ГРЭС.

Сульфаты: гипс CaSO_4 , барит $4[(\text{BaSO}_4)]$, этрингит $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$ содержатся только в составе зол Березовской ГРЭС, так как в

Таблица 3. Минеральный состав зол Кураховской и Березовской ГРЭС

Тип золы	Рентгеноморфная фаза, %	Минералы угля, %	Минералы сухой золы, %	Минералы – продукты водной транспортировки, %	Минералы золоотвала, %
КГРЭС, зола гидроудаления	40	Кварц, 11	Муллит, 33 Маггемит, 11 Анатаз, 1	–	Гетит, 2 Вивианит, следы Анкерит, следы
БГРЭС, зола гидроудаления, грубодисперсная	65–68	Кварц, 2 Магнетит, 1	Мелилит, 18 Килхоанит, 1	Портландит, 7 Бассанит, <1 Гиббсит, <1	Витерит, <1 Магнезит, 1–2 Сидерит, 1
БГРЭС, зола гидроудаления, тонкодисперсная	68–70	Кварц, 5	Мелилит, <1	Портландит, 6 Ангидрит, следы Бассанит, <5	Кальцит, 9 Гипс, 2 Этtringит, 4 Барит, <2

исходном продукте – угле присутствует сера. Минерал этtringит формируется в пределах прудковой зоны при взаимодействии гидроалюминатов с гипсом.

Гидрооксиды: гетит FeO(OH) гидрооксид железа – продукт выветривания при нормальной температуре и давлении из железосодержащих минералов (маггемита).

Полученные результаты показывают, что длительное пребывание золошлаков на золоотвале приводит к процессам минералообразования, в первую очередь карбонатов и сульфатов. Эти процессы характерны для скрытоактивных зол, содержащих в составе соединения кальция. Для инертных зол, примером которых является зола Кураховской ГРЭС, минералообразование развито слабо или просто отсутствует.

Изменение минерального состава золошлаков определяет состав вод техногенного водоносного горизонта, формирующегося в пределах золошлакотвала. На золоотвале Назаровской ГРЭС состав вод техногенного водоносного горизонта определяется как гидрокарбонатно-гидроксильно-сульфатный кальциево-магниевый. Они являются химически загрязненными, из макрокомпонентов ПДК превышают щелочность, общая жесткость, минерализация. Несмотря на очистные и дренажные сооружения, в контрольных скважинах, пробуренных в толще аллювиальных отложений и расположенных вне золошлакоотвала, наблюдается изменение химического состава, адекватное изменению режима работы станции. Анализ изменения значений pH в грунтовых водах во времени

показывает чередование повышения и снижения этого показателя. Причины этого процесса объясняются уменьшением содержания портландита в золах в процессе хранения за счет прерывистого характера работы БГРЭС и, соответственно, системы гидрозолоудаления. После прекращения намыва новых порций золошлаков (работа станции на мазуте) в составе грунтовых вод наблюдается снижение значений pH при одновременном возрастании содержания сульфат-иона. С возобновлением намыва золошлаков (работа станции на угле) в грунтовых водах возрастает щелочность при снижении содержания сульфатов, что определяется уменьшением их растворимости и соответствует химико-минеральному составу.

Дисперсность золошлаков

Гранулометрический состав техногенных грунтов золоотвалов формируется еще до поступления золошлакового материала в пульпопровод, в процессе сжигания и золошлакоудаления. При гидротранспортировании измельчение частиц золошлакового материала происходит за счет высокой до 1–2 м/с скорости движения пульпы по металлическим трубам и турбулентного перемешивания. В связи с этим частицы золы и шлака подвергаются механической обработке при соприкосновении со стенкой трубы и соударений.

В зависимости от условий, при которых происходит осаждение частиц из потока пульпы, на золоотвалах различают надводный и подводный намывы. При надводном намыве формирование

Таблица 4. Гранулометрический состав зол гидроудаления при подводном и надводном намыве

Тип золы	Характер намыва	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)				
		> 0,25	0,25–0,1	0,1–0,05	0,05–0,01	< 0,01
Торфяная	Надводный	13	25	19	40	3
	Подводный	3	5	10	68	14
Каменноугольная	Надводный	6	12	17	57	8
	Подводный	2	4	9	59	26

отложений осуществляется в результате гидродинамического воздействия потока пульпы на частицы золы, накапливающиеся на дне. При подводном намыве зольные частицы осаждаются в пруде, как в обычном отстойном бассейне с весьма малыми скоростями течения. Отложения, намываемые подводным способом, отличаются большей дисперсностью (табл. 4).

Кроме того, дисперсность намывных отложений зависит от особенностей удаления золы и шлака – раздельного или совместного, способа подачи пульпы на отвал – сосредоточенного из одного выпуска, рассредоточенного из нескольких выпусков, специфики формирования отложений на надводном откосе намыва золоотвалов (русловые или пойменные отложения).

Как в любом намывном массиве, в пределах золошлакоотвала наблюдается явление фракционирования, т.е. уменьшение крупности намывного материала по мере удаления от выпуска пульпы. В пределах золошлакотвала в общем случае выделяются следующие зоны фракционирования: шлаковая – с преобладанием шлаковых фракций (> 2мм), золошлаковая – с преобладанием зольных фракций (< 2мм), зольная – в пределах которой почти отсутствуют шлаковые фракции. С учетом наличия русловых потоков золошлаковая и зольная зоны пронизаны отдельными «жилками» относительно крупных русловых отложений. Анализ гранулометрического состава материала, выполненный по данным В.Г. Пантелеева [1986], намывного на золошлакоотвалах Приморской (работает на бикинском угле), Воркутинской ТЭЦ-2 (воркутинский уголь), Новочеркасской (донецкий уголь) и Назаровской ГРЭС (бурые угли КАТЭК) показывает, что для каждой станции можно выделить зоны фракционирования. Реально ни на одной из станций не наблюдается четкое разделение зон, что определяется присутствием во всех зонах русловых отложений. В качестве примера на рис. 2 приведены гистограммы распределения шлаковых и зольных частиц вдоль профиля намыва от зоны сброса пульпы до прудковой зоны на золоотвале Новочеркасской ГРЭС, сжигающей донецкий уголь.

При движении пульпы по трубопроводу происходит истирание частиц и увеличение дисперсности материала (рис. 3). Процентное содержание шлаковых фракций (> 2мм) падает. Изменение количества зольных фракций (< 2мм) происходит как за счет истирания шлаковых частиц, так и за счет истирания самих зольных фракций до более мелкого размера. Среднее содержание зольных фракций возрастает по сравнению с их содержанием в шлакоборниках на ТЭС. Изменение дисперсности возможно также за счет частичного растворения или гидратации активных компонентов золы при транспортировке.

Для зол гидроудаления, отобранных на золоотвалах нескольких ГРЭС, было проведено сравнение гранулометрического и микроагрегатного составов. Анализ полученных данных показал, что для инертных зол разница между гранулометрическим и микроагрегатным составами находится в пределах точности проведения анализа. Для активных зол разница существует в пределах шлаковой фракции, что, возможно, определяется содержанием активных компонентов в ее составе.

При фракционировании материала на золошлакоотвале можно отметить взаимосвязь гранулометрического и минерального составов. В зоне сброса пульпы (шлаковой зоне) преобладают минералы тяжелых фракций, содержащие железистые разности, спекшиеся обломки кварца и угля, для зольных отложений надводного и подводного намывов характерно присутствие портландита, гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, сульфатов, карбонатов, тонких легко-весных с газовыми включениями стеклянных шариков.

Структурно-текстурные особенности золошлаков

Структурно-текстурные характеристики золошлаков определяются условиями их образования и были изучены в различных золошлакоотвалах. По характеру формы частиц можно выделить в золошлаках остроугольные обломки не-

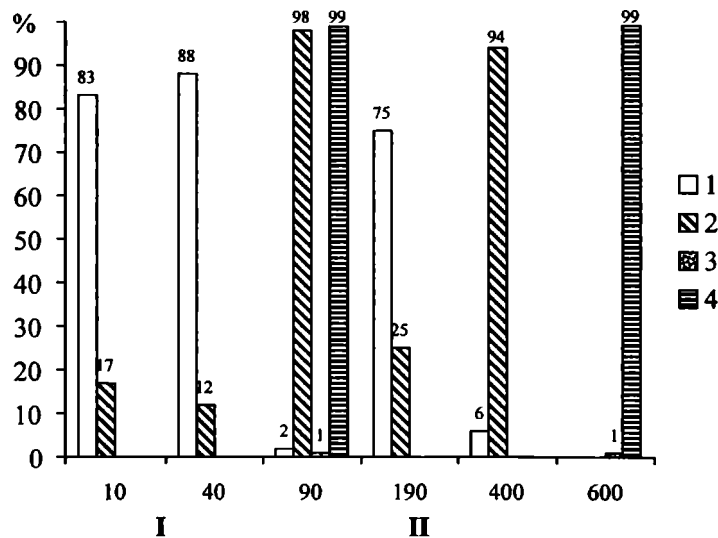


Рис. 2. Гистограммы распределения шлаковых (1, 3) и зольных частиц (2, 4) в пределах золоотвала Новочеркасской ГРЭС в зависимости от места выпуска пульпы

I (10-40 м) – шлаковая зона; II (90-600 м) – зольная зона; 1, 2 – русловая фация; 3, 4 – пойменная фация

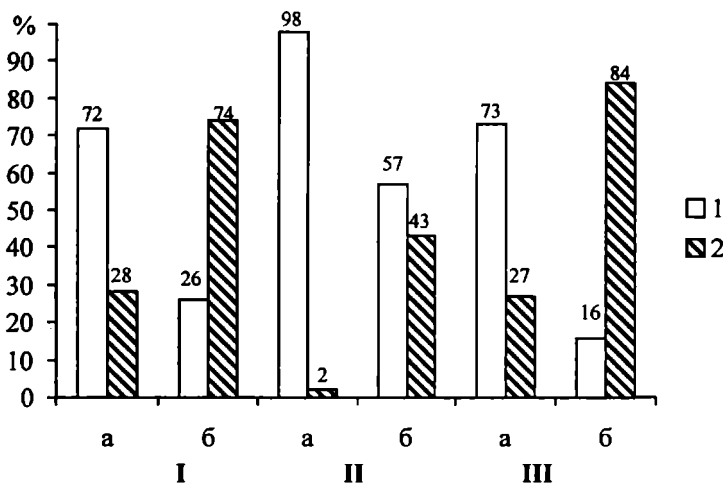


Рис. 3. Гистограммы распределения шлаковых (1) и зольных (2) частиц в шлакосборнике (а) и на участке сброса пульпы (б)

I – Воркутинская ТЭЦ-2; II – Назаровская ГРЭС; III – Новочеркасская ГРЭС

сгоревшего угля; сросшиеся обломки шлака с большой закрытой пористостью; сферические частицы стекла; агрегаты муллита; тонкие частицы гидратированных минералов группы гидросиликатов и гидроалюминатов кальция; кварц; обломки первичных пород. Отдельные частицы золы характеризуются губчатым или пемзовидным строением. В спекаемом при высоких температурах материале в процессе быстрого охлаждения возникают пустоты, часто выполненные газами.

В качестве примера приведем морфологическое описание частиц зол Кураховской ГРЭС. Под бинокулярной лупой фракция >0,5 мм представ-

лена угольными частицами и агрегатами. Частицы угля черного или темно-серого цвета, с металлическим блеском, неровной поверхностью, неокатанные со сглаженными ребрами. Агрегаты представлены разностями нескольких видов. Встречаются разности, представленные зернами кварца и стекла, сцементированные железистым веществом; непрозрачные частицы кварца с вкрапленниками угля и колониями стеклянных шариков, размеры которых в несколько десятков раз меньше размера самого агрегата. Агрегаты имеют вытянутую или округлую форму. Фракция 0,5–0,25 мм также представлена частицами угля и микроагре-

гатами. Выделяются микроагрегаты двух видов: спекшиеся зерна кварца и угля с неровной поверхностью – угловатые частицы с неровной поверхностью и острыми ребрами; мелкие стеклянные шарики и частицы кварца, сцементированные железистым цементом. Форма частиц изометричная, со сглаженными ребрами. В состав фракции 0,25–0,1 мм входит около 50% стеклянных шариков, 25% угля, 25% агрегатов. Стеклянные шарики имеют идеальную шаровидную форму с гладкой поверхностью, по цвету неоднородны.

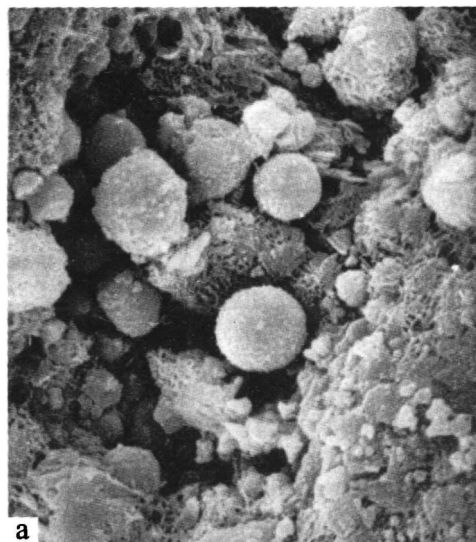
Для оценки микростроения зол гидроудаления использовались результаты РЭМ-анализа. В золах, образованных от сжигания донецких углей на КГРЭС можно выделить:

- стеклянные микросферы с гладкой поверхностью. На сферах встречаются капле- и чешуеобразные наросты. Часть сфер заполнена мелкими шариками. Полностью полых сфер обычно мало. Описанные стеклянные микросферы имеют тонкую оболочку с единичными микропорами (рис. 4а);
- пористые частицы сферической формы, частично разрушенные;
- частицы глинистого вещества, угловатые, высокопористые, с неровной поверхностью.

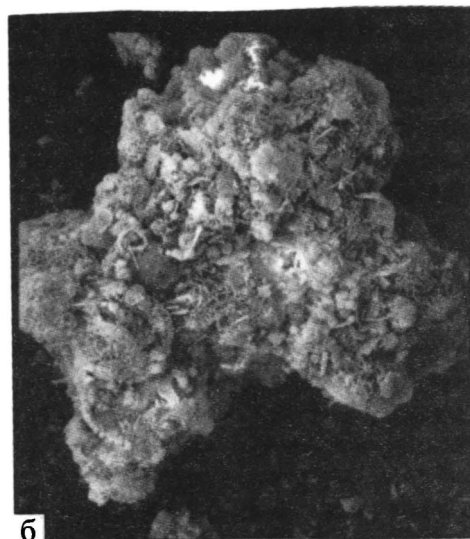
Характер контактов между частицами раздельнозернистый, что позволяет отнести инертные золы к сыпучим системам.

Активные высококальциевые золы Березовской ГРЭС отличаются по микростроению от описанных выше. Для них не является характерной идеальная форма частиц стекла. Абсолютно преобладают слоистостроенные микроагрегаты, неправильной формы, состоящие из стеклянных шариков, сцементированных игольчатыми кристаллами (рис. 4б, в). Контакты в агрегатах между частицами фазовые, характер связей – цементационный. Характерна внутриагрегатная пористость, поры щелевидные, часто изометричные. Размер пор изменяется от сотых и десятых долей микрона до 2–3 мкм.

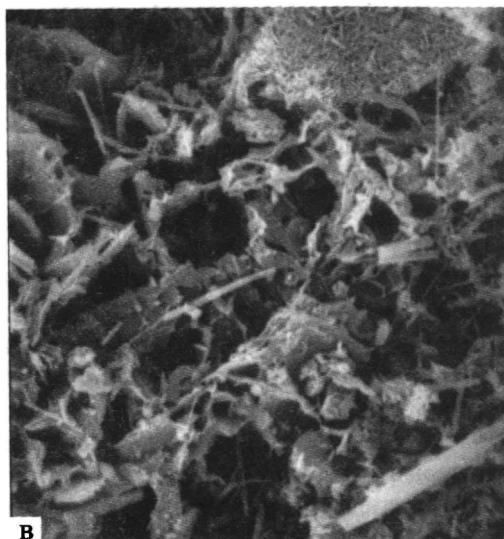
Ввиду того, что золошлаки, осаждающиеся в золоотвалах, представляют собой современные осадки, для них характерны те же законы седиментации, что и для природных грунтов. В соответствии с принятой технологией, материал осаждается в водной среде и по условиям осадконакопления сопоставим с флювиогляциальными отложениями. В связи с условиями аккумуляции золошлаков в пульпоприемнике можно выделить отдельные осадочные формы: аккумулятивные, эрозионные и деформационные, что определяет анизотропию свойств отложений в массиве [Использование..., 1984].



а



б



в

Рис. 4. Морфология зольных частиц. (а) микростроение золы Кураховской ГРЭС, общий вид микроагрегатов (б) и характер поверхности (в) зол гидроудаления Березовской ГРЭС

Осадки, образующиеся в золоотвалах, представляют собой молодые образования, поэтому все структуры представлены в основном первичным типом, так как на начальной стадии накопления процесс диагенеза в них развит слабо. Одной из наиболее характерных особенностей золошлаков является их слоистость, похожая на слоистость природных осадочных пород. Пласты золошлаков имеют преимущественно горизонтальное залегание и мощность от нескольких см до 0,5 м. Граница между пластами подчеркивается хорошо выраженными пластовыми швами за счет изменения дисперсности, минерального состава и микрослоистости. В разрезах можно наблюдать повторение седиментационных ритмов от более грубых разностей к более тонким.

Пласты делятся на более тонкие слои, в которых чередуются темные и светлые прослои мощностью от нескольких сантиметров до 10 см и более. Светлые слои представлены тонкодисперсным пелитовым материалом, состоящим преимущественно из кварца и муллита, чередующихся с частицами угля, подчеркивающими слоистость. Темные слои состоят из более грубодисперсного материала и характеризуются в разрезе изменением мощности как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Для них свойственно линзовидное залегание и косая слоистость (рис. 5). Эту слоистость можно наблюдать на всей протяженности золоотвала, что связано с миграцией форм дна пульпоприемника, когда частицы золы перекачиваются вдоль валообразного выступа дна и оседают на его крутом склоне. Таким образом формируется косая слоистость, имеющая наклон к центру приемника и характеризующая направление движения частиц и течение.

Косая слоистость в золах может быть связана с заполнением эрозионных форм. Эрозионные формы часто развиваются в легком тонкодисперсном материале, к которому относятся сферические частицы стеклофазы, хорошо размываемые водой. Размер эрозионных форм изменяется от нескольких сантиметров до нескольких метров. Чаще они возникают на поверхности конусов выноса в связи с сужением потока и изменением его динамики, либо из-за влияния другого потока, вытекающего с противоположной стороны пульпоприемника. Затем в процессе последующего намыва они быстро заполняются вновь золошлаковым материалом. Если при складировании существует несколько генераций эрозионно-аккумулятивного процесса, то образуется сложная косая слоистость.

На поверхности аккумулятивных конусов образуется сеть различных потоков, направленных к

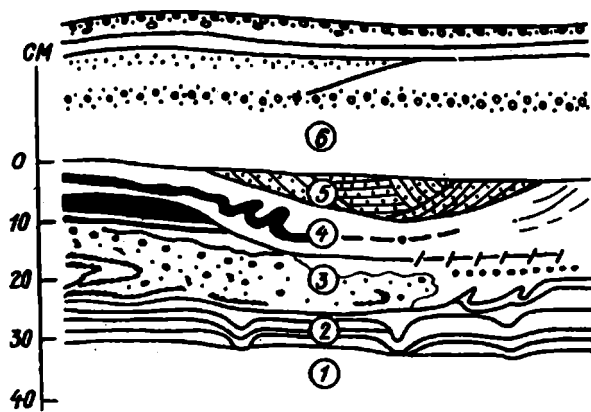


Рис. 5. Формы слоистости в золоотвалах

1-тонкий материал из зоны втекания кровли пласта (2); 3-разнозернистый материал с обломками угля из эрозионной поверхности в кровле пласта; 4-заполнение эрозионных форм; 5-текстура оползания на склоне канала; 6-пласты с обратной сортировкой материала

центру пульпохранилища. Эти потоки в области дельты осаждают очень тонкий материал, мощность прослоев которого достигает 0,5 м. При колебаниях уровня воды дельтовые отложения прорезаются каналами корытообразного сечения, в стенках которых хорошо виден профиль осадконакопления. На поверхности конусов и на дне корытообразных потоков можно видеть образование следов ряби. Причем на дне пульпоприемника образуется крутоволнистая рябь, иногда несовпадающая по фазе, чешуйчатой формы или формы полумесяца. Размеры этих форм доходят до 10 см. Они хорошо видны на свежих поверхностях в плане, но в вертикальном разрезе плохо сохраняются. В некоторых местах по ним развиваются завихрения, выполненные более крупным материалом с большим содержанием угля, размер частиц которого достигает 1,5 см.

Золошлаки, осажденные в приемнике, характеризуются вертикальной и горизонтальной сортировкой материала. На практике в золоприемниках режим намыва очень сложный в результате влияния эрозионных процессов, прерывов в осадконакоплении и развивающихся деформаций, поэтому четкой сортировки материала не наблюдается. На небольших участках золоотвала можно видеть сортировку материала в нескольких ритмах, однако, часто она обратная и нерегулярная. На свежих поверхностях осадков зол видны следы огибания, волочения, удара, а также соскальзывания. Они образуются в результате передвижения в пульпе обломков шлаков большого размера при снижении скорости потока.

В золоотвалах наряду с аккумулятивными и эрозионными формами существуют структуры

деформационного характера. Они образуются обычно при одновременном намыве из разных направлений и перемешивании потоков пульпы в результате завихрения и взмучивания. Деформационные формы напоминают изогнутую слоистость, размеры слоев в которой составляют от нескольких см до нескольких метров. Они возникают при медленном скольжении водонасыщенных зольных частиц преимущественно пылеватого и глинистого состава. В плане деформационные структуры имеют разветвленную, иногда линзообразную форму, подчеркнутую тонкими прослоями, толщиной несколько см, светлого или темного материала. Различный цвет прослоев обусловлен содержанием угольной составляющей. Наряду с частицами угля встречаются более светлые прослои, к которым приурочено повышенное содержание карбонатов. В вертикальном разрезе формы взмучивания вкладываются друг в друга, и во время осушения на границе контактов появляются трещины. Кроме форм взмучивания в золах наблюдаются деформации, образующие текстуры оползания и оплывания и структуры втекания. Как видно из рис. 5 в слое 4 показано несколько небольших складок, связанных с оползнями, развитыми по склонам эрозионных форм. В этом случае в результате сползания контакт дна канала с нижележащей водонасыщенной толщей имеет «сбросовый» характер, что связано с увеличением нагрузки. В нижней части видны деформации втекания более светлых прослоев в темные нижележащие прослои. Материал светлых прослоев, содержание угольной пыли в которых составляет около 10%, имеет плотность большую, чем темные прослои, включающие до 30% угля. Соответственно наблюдается втекание более тяжелого материала в более легкий, причем легкий всплывает, образуя причудливые формы. В результате этих процессов наступает нарушение слоистости в пачках, слоях, прослоях. Если тонкодисперсный водонасыщенный осадок аккумулируется в дельтовых зонах и над ним быстро оседает слой более плотного материала, то наблюдаются «интрузив-

ные» инъекционные формы. Они образуются под нагрузкой в результате увеличения порового давления в тонкодисперсном материале. Так как времени для консолидации осадка недостаточно, то распределение порового давления имеет резкий характер.

В соответствии с технологией золоскладирования приемник золоотвала заполняется до краев, а затем осушается. В связи с этим на поверхности образуются трещины усыхания до 50 см глубиной и шириной 5–10 см. Они имеют регулярную сеть, особенно в слоистых пылеватых и глинистых разностях. В случае деформационных структур характер их менее равномерный.

Технология намыва золоотвалов, задачей которой является увеличение высоты отвала, приводит к быстрому намыву и захоронению образовавшихся структур. В связи с малой степенью диагенеза и небольшой плотностью осадка образовавшиеся структуры разрушаются, к чему приводит также основной закон технологии складирования - интенсивное перемешивание материала.

В процессе складирования пульпы золы и золошлака, ее накопления на золоотвале и последующих процессов взаимодействия активных компонентов между собой, а также с газами атмосферы и природными водами этот тип техногенных отложений претерпевает литогенетические преобразования. Для всех типов зол характерно уплотнение и обезвоживание во времени, что приводит к изменению их физико-механических свойств.

Для высококальциевых зол возможны процессы, формирующие кристаллические новообразования, цементирующие зольные и шлаковые частицы, в результате чего раздельнозернистая структура трансформируется в кристаллизационную. Примером могут служить золошлаки Березовской ГРЭС.

Изучение литогенетических особенностей отложений золошлакоотвалов позволяет дать прогнозную оценку их поведения при решении инженерно-геологических и геоэкологических задач.

Литература

Использование зол ТЭС для закрепления грунтов / Под ред. Е.Н.Огородниковой. М.: МГУ, 1984. 152с.

Мелентьев В.А., Колпашников Н.П., Волин Б.А. Намывные гидротехнические сооружения. М.: Энергия, 1973. С. 193–222.

Пантелеев В.Г. Состав и свойства золы и шлака ТЭС / Под. Ред. В.А.Мелентьева. Л.: Энергоатомиздат, 1986. 288с.

Шанцер Е.В. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований // Геол. ин-т. Труды. Вып. 161. М.: Наука, 1966. 239 с.