



УДК 581.524 (571.63)

© *А. В. Назаркина, Л. П. Майорова, О. Д. Арефьева, Т. И. Матвеевко, А. М. Дербенцева, 2012*

## КАЧЕСТВО СТРУКТУРЫ СПЕЦИФИЧЕСКОГО НОВООБРАЗОВАННОГО СУБСТРАТА ЗОЛОТВАЛОВ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

*Назаркина А. В.* – канд. биол. наук, науч. сотр. лаборатории почвенных ресурсов, тел.: (423) 231-01-93, e-mail: anazarkina@mail.ru (БПИ ДВО РАН); *Майорова Л. П.* – канд. тех. наук, доцент, зав. кафедрой «Экология, ресурсопользование и безопасность жизнедеятельности», e-mail: mayorova@mail.khb.ru (ТОГУ); *Арефьева О. Д.* – канд. пед. наук, доцент кафедры «Химические и ресурсосберегающие технологии», тел.: (423) 245-76-09, e-mail: arod@marbio.dvgu.ru; *Матвеевко Т. И.* – канд. биол. наук, доцент кафедры «Экология, ресурсопользование и безопасность жизнедеятельности», e-mail: matveenkoti@mail.ru; *Дербенцева А. М.* – д-р с.-х. наук, профессор кафедры «Почвоведение», тел.: (423) 231-84-06, e-mail: derbentseva@marbio.dvgu.ru. (ДВФУ)

Дана оценка качества структуры техногенных поверхностных образований (артииндустратов) золоотвалов теплоэлектростанций. Результаты свидетельствуют о низкой степени агрегированности. Выявленные по визуальным наблюдениям свойства слоистости и сортированности артииндустратов не подтверждаются аналитическими методами и указывают на их моноструктуру. Полученные результаты дали основание утверждать о слабой устойчивости материала золоотвала к внешним механическим нагрузкам.

The structure quality of anthropogenic surface formations (arti-industrate) of thermal power plant ash dump is evaluated. The results showed the low degree of aggregation. Visually detected foliation and assortment of arti-industrate were not proved by analytical methods and this fact implies arti-industrate's monostucture. The results show the low resistance of ash dump to external mechanical load.

*Ключевые слова:* техногенные поверхностные образования, золоотвал, артииндустраты, гранулометрический состав, микроагрегатный состав, агрегированность, протозероэрозийная стойкость.

### Введение

Проблема взаимодействия энергетики и окружающей природной среды является одной из составляющих комплексной проблемы взаимодействия окружающей среды и человека. На ранних стадиях развития энергетики про-



явлением ее взаимодействия с окружающей средой был поиск топливных ресурсов. Сейчас же проблема взаимодействия энергетики приобрела новые, более глобальные черты. Тепловая электростанция, где для выработки электрической и тепловой энергии используется каменный уголь в связи с технологическими особенностями самого процесса, оказывает влияние на различные компоненты природной среды: атмосферу, педосферу, гидросферу, литосферу. Выделяются следующие основные виды негативных воздействий на экосферу: отчуждения земель под склад хранения топлива и площадей для сбора золы и шлака; повышенный уровень водопотребления; загрязнение педосферы твердыми отходами (шлаки, золоотвалы) и осаждение на их поверхности вредных выбросов; выброс в атмосферу продуктов сжигания органического топлива – золы частиц недогоревшей пыли, сажи, токсичных газов (оксидов углерода, серы, азота, ванадия), сложных полициклических ароматических углеводородов канцерогенного воздействия, токсичных металлов (As, Cd, Hg, Pb, Ti, Cr, Na, Ni, V, B, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, Zn, Sb, Co), а также миграция загрязняющих веществ вглубь литосферы; гигантское потребление кислорода, снижающее его концентрацию в атмосфере. Анализ работы тепловых электростанций показал, что одной из наиболее острых нерешенных проблем является переполнение золоотвалов, вследствие зарастания подводных трубопроводов и струенаправляющих форсунок в системе гидрозолоудаления, постоянный сброс в них стоков от цехов топливоподачи и цехов химводоочистки. Зола из котельных установок удаляется по системе гидрозолоудаления на золоотвал. Удаляемые из топки зола и шлак образуют золо-шлакоотвалы на поверхности земли. Согласно «Классификации...» [1], эти золы и шлаки отнесены к группе артификабрикатов, подгруппе артииндустратов – «представляющих собой нетоксичный материал отвалов промышленной переработки естественных материалов». Следующая группа – токсифабрикатов. В отличие от артификабрикатов эти ТПО «состоят из токсичных химически активных материалов, на которых без специальных дезактивационных мероприятий долгое время невозможно выращивание сельскохозяйственных и лесных культур, а также возобновление естественной растительности». Поскольку на золоотвалах изученных теплоэлектростанций происходит частичное естественное зарастание, а также в «Классификации...» [1] не приводятся ПДК, мы вправе отнести данные материалы золоотвалов к артииндустратам.

При изучении ТПО особую роль играют исследования их физико-механических свойств и всей их механической системы. Поэтому актуальность изучения этой проблемы не вызывает сомнений. В связи с этим целью исследования явилась оценка качества структуры техногенных поверхностных образований (артииндустратов) теплоэлектростанций южной части Дальнего Востока по результатам гранулометрического и микроагрегатного состава. Решались следующие задачи: 1) изучить состав и свойства артииндустратов золоотвалов теплоэлектростанций; 2) провести сравнительную характеристику гранулометрического и микроагрегатного состава артииндустратов различных теплоэлектростанций юга Дальнего Востока; 3) оценить качество



структуры артииндустратов, микроагрегатную устойчивости и их противозерозионные свойства.

### Объекты и методы исследования

Объектом исследования послужили ТПО (артииндустраты), расположенные вблизи теплоэлектростанций на территории Приморского и Хабаровского краёв. Золотвал Партизанской ТЭЦ, расположенный на IV террасе р. Партизанской у ж/д станции Лазовая, представляет собой искусственно насыпной материал промышленного происхождения, залегающий на аллювиальной серогумусовой почве. Золотвал Владивостокской ТЭЦ-2, расположенный в районе бух. Тихой территории г. Владивостока, представлен артииндустратами в виде сырой, легкой, серой, однородной по текстуре дисперсной массы, которая поставляется в виде пульпы и после высыхания перемещается бульдозерами в золотвал. Золотвал Хабаровской ТЭЦ-3, размещенный на пойменной террасе между рекой Амур (Хохлатская протока) и левым берегом р. Березовой, представлен артииндустратами в виде темной дисперсной массы с обломками шлака.

**Полевые работы.** Отбор проб артииндустратов золотвалов проводился с глубин 0-19, 19-37, 37-60 и 60-70 см в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 [2]. На Партизанской ГРЭС отобраны пробы из золотвала, расположенного справа от автотрассы Партизанск-Находка, в следующих точках: 1П-2008, 1П-2009, 1П-2010, 3П-2011, 4П-2011, 12П-2011. На золотвалах Владивостокской ТЭЦ-2 отобраны пробы артииндустратов в точках 1В-2011, 2В-2011, 3В-2011. Для аналитических работ по определению физико-механических свойств артииндустратов золотвалов Хабаровской ТЭЦ-3 отобраны образцы по профилю золотвала из точек: 6Х-2010, 7Х-2010, 10Х-2010.

**Лабораторные работы.** Физико-механические свойства артииндустратов определены по А.Ф. Вадюниной и З.А. Корчагиной [3].

Гранулометрический и микроагрегатный анализы ТПО проведены ситопипеточным методом Качинского [4]. Подготовка образцов проведена по рекомендации Почвенного института им. В.В. Докучаева с применением 4 %-ного раствора пирофосфата натрия [3].

Плотность твердой фазы ТПО вычислена пикнометрическим методом [5]. Полученные материалы обработаны математическими методами [6], STATISTICA 8.0.

Оценка качества структуры артииндустратов, микроагрегатной устойчивости и их противозерозионных свойств по результатам гранулометрического и микроагрегатного состава произведена по разным методикам:

- *фактор дисперсности* ( $K_D$ ) по Н.А. Качинскому [4];
- *фактор структурности* ( $K_C$ ) по А.Ф.Вадюниной и З.А. Корчагиной [3] по результатам гранулометрического состава;



- степень агрегированности ( $K_a$ ) по Бэверу и Родесу;
- противоэрозионная стойкость ( $K$ ) определена по А.Д. Воронину и М.С. Кузнецову [7].

Названия техногенных поверхностных образований даны по «Классификации и диагностики почв России» [1].

### Результаты и обсуждения

Исследуемые ТПО Владивостокской ТЭЦ-2, согласно табл. 1, в слое 0-19 см содержат песка среднего и мелкого – 73 %, пыли крупной, средней и мелкой – 24 %. Физическая глина составляет 14 %, а это значит, что исследуемые артииндустраты представляют собой супесь с доминированием мелкого песка. В слое 19-37 см наблюдается та же картина. Песка среднего и мелкого содержится 68 %, пыли крупной, средней и мелкой – 29 %. Физическая глина составляет 16 %. Следовательно, исследуемые артииндустраты представляют собой супесь с доминированием мелкого песка.

Таблица 1

Гранулометрический и микроагрегатный состав артииндустратов  
(в % к абсолютно сухой навеске)

№ образца, глубина (см)	Фракции, мм	Содержание, %		Название по гранулометрическому составу
		грансостав	микроагрегатный	
Владивостокская ТЭЦ-2 (золоотвал)				
1В-2010 (0-19)	1-0,25	18	28	Супесь мелкопесчаненная
	0,25-0,01	68	65	
	0,01-0,001	11	6	
	< 0,001	3	1	
	<0,01	14	7	
1В-201 (19-37)	1-0,25	13	22	Супесь мелкопесчаненная
	0,25-0,01	71	71	
	0,01-0,001	11	6	
	< 0,001	5	1	
	<0,01	16	7	
3В-2011 (0-19)	1-0,25	17	27	Супесь мелкопесчаненная
	0,25-0,01	67	64	
	0,01-0,001	13	8	
	< 0,001	3	1	
	<0,01	16	9	
3В-2011 (19-37)	1-0,25	12	25	Супесь мелкопесчаненная
	0,25-0,01	70	68	
	0,01-0,001	14	6	
	< 0,001	4	1	
	<0,01	18	7	



Продолжение таблицы 1

Партизанская ГРЭС (золоотвал)				
1П-2008 (0-19)	1-0,25	2	1	Суглинок лёгкий песчано- крупнопылеватый
	0,25-0,01	77	66	
	0,01-0,001	19	32	
	< 0,001	2	1	
	<0,01	21	33	
1П-2008 (19-37)	1-0,25	2	2	Супесь песчано- крупно-пылеватая
	0,25-0,01	80	67	
	0,01-0,001	17	30	
	< 0,001	1	1	
	<0,01	18	31	
12П-2011 (0-19)	1-0,25	1	1	Суглинок средний круп- нопылеватый
	0,25-0,01	63	68	
	0,01-0,001	34	31	
	< 0,001	2	1	
	<0,01	36	31	
12П-2011 (19-37)	1-0,25	1	1	Суглинок средний крупнопылеватый
	0,25-0,01	68	67	
	0,01-0,001	29	32	
	< 0,001	2	1	
	<0,01	31	32	
12П-2011 (37-60)	1-0,25	1	2	Суглинок средний крупнопылеватый
	0,25-0,01	64	68	
	0,01-0,001	34	30	
	< 0,001	1	1	
	<0,01	35	30	
12П-2011 (60-70)	1-0,25	1	1	Суглинок тяжё- лый крупнопыле- ватый
	0,25-0,01	56	63	
	0,01-0,001	42	36	
	< 0,001	1	1	
	<0,01	43	36	
Хабаровская ТЭЦ-3 (золоотвал)				
6Х-2010 (0-19)	1-0,25	1	1	Суглинок средний мелкопесчаный
	0,25-0,01	63	90	
	0,01-0,001	35	9	
	< 0,001	1	1	
	<0,01	36	9	
6Х-2010 (19-37)	1-0,25	1	1	Суглинок средний мелкопесчаный
	0,25-0,01	65	92	
	0,01-0,001	32	7	
	< 0,001	2	1	
	<0,01	34	7	
6Х-2010 (37-60)	1-0,25	1	3	Суглинок лёгкий мелкопесчаный
	0,25-0,01	72	92	
	0,01-0,001	26	6	
	< 0,001	1	1	
	<0,01	27	6	



Продолжение таблицы 1

6X-2010 (60–70)	1-0,25	2	2	Супесь средне-песчаная
	0,25-0,01	87	83	
	0,01-0,001	10	15	
	< 0,001	1	1	
	<0,01	11	15	
10X-2010 (0–19)	1-0,25	4	1	Суглинок лёгкий песчано-крупнопылеватый
	0,25-0,01	77	90	
	0,01-0,001	16	7	
	< 0,001	3	2	
	<0,01	19	9	
10X-2010 (19-37)	1-0,25	3	2	Супесь песчано-крупно-пылеватая
	0,25-0,01	79	89	
	0,01-0,001	17	8	
	< 0,001	1	1	
	<0,01	18	9	
10X-2010 (37-60)	1-0,25	2	2	Суглинок средний мелкопесчаный
	0,25-0,01	63	83	
	0,01-0,001	32	12	
	< 0,001	3	1	
	<0,01	35	13	
10X-2010 (60-70)	1-0,25	1	1	Суглинок средний крупнопылеватый
	0,25-0,01	65	89	
	0,01-0,001	33	8	
	< 0,001	1	2	
	<0,01	34	10	

Артииндустраты Партизанской ГРЭС несколько тяжелее по гранулометрическому составу, чем ТПО Владивостокской ТЭЦ-2 и представлены в основном средними суглинками. По профилю до глубин 70 см преобладает фракция пыли (83-89 %), а средний и мелкий песок находится в интервале от 9 до 16 %. Содержание среднего песка варьирует по всему профилю. В слое 0–19 см его содержание составляет 22 %, в слое 19-37 см его содержание резко уменьшается до 15 %, в слое 60-70 см вновь возрастает до 32 %, что позволяет отнести этот слой к суглинкам тяжёлым крупнопылеватым. Соотношение физической глины и физического песка в других слоях даёт основание отнести данные артииндустраты к суглинкам средним крупнопылеватым.

Артииндустраты Хабаровской ТЭЦ-3 до глубины 60 см представлены суглинками средними и суглинками лёгкими. Преобладающая фракция – пыль крупная (37-49 %), за ней следует фракция мелкого песка (16-27 %). Илистая фракция весьма незначительна, всего 1-2 %. Слой 60-70 см представлен супесью с преобладанием в составе до 75 % мелкой пыли и очень малой долей (до 1 %) илистой фракции. Результаты гранулометрического анализа показали, что содержание физической глины постепенно уменьшается вниз по профилю: от 35 % в слое 0-19 см до 26 % в слое 37-60 см и ниже в слое 60-70 см оно составляют всего 10 %.



В отличие от гранулометрического состава, при котором учитываются первичные частицы, в микроагрегатном анализе определяются вторичные частицы, то есть естественная (вторичная) дисперсность артиндустратов. Микроагрегатный состав, отражающий степень агрегированности грунта при данных условиях, используется для характеристики структурных связей в нём. Таким образом, целью агрегатного анализа является установление относительного содержания в массе артиндустратов не частиц, а их агрегатов. Свойства фракций микроагрегатного состава обусловлены соотношением в них агрегированной и неагрегированной частей. Результаты анализа показали (табл. 1), что в двух слоях артиндустратов Владивостокской ТЭЦ-2 преобладает фракция размером 0,25-0,05 мм, а минимум приходится на илистую фракцию, которая едва достигает 1 %. Физический песок и физическая глина составляют соответственно 94 % и 6 %.

В артиндустратах Партизанской ГРЭС преобладающей является фракция крупной пыли. По данным микроагрегатного анализа эта фракция в слоях 0-19 и 19-37 см составила 54-58 %, а ниже в слоях 37-60 и 60-70 см она уменьшилась соответственно до 35 % и 44 %. Следующей по значению и количеству идёт пыль средняя, которая стабильна по слоям и не превышает 28 % (24-28 %). Содержание илистой фракции практически не изменяется по слоям и не превышает 1 %. Отметим, что при определении микроагрегатного состава артиндустратов глинистая фракция содержит около 7 % частиц, а при определении гранулометрического состава количество глинистых частиц увеличивается вдвое. Такая разница объясняется тем, что при определении микроагрегатного состава не проводилась специальная обработка, разрушающая вторичные частицы, которые в основном находятся в пылевой фракции. После специальной обработки, разрушившей вторичные частицы, количество глинистых частиц удвоилось за счёт уменьшения пылевой фракции.

В артиндустратах Хабаровской ТЭЦ-3 преимущество имеют две фракции – среднего песка и крупной пыли. В слоях 0-19 и 19-37 см средний песок составляет 54-56 % с заметным увеличением к слою 37-60 см (60 %), и в слое 60-70 см его содержание возрастает до 80 %. При этом неординарно ведёт себя фракция размером 0,05-0,01 мм. Она стабильна до глубины 37 см, постепенно уменьшается к глубине 60 см (до 31 %) и резко уменьшается к слою 70 см (до 3 %). Данный анализ и полученные результаты по слою 60-70 см подтвердил результаты гранулометрического анализа, когда все слои артиндустратов Хабаровской ТЭЦ-3 были представлены суглинками, а нижний слой 60-70 см – супесью. В целом, микроагрегатный состав, отражающий степень агрегированности породы при данных условиях, позволяет дать характеристику структурных связей в грунтах.

Таким образом, анализ результатов гранулометрического и микроагрегатного составов артиндустратов различных ТЭЦ позволяет сделать выводы:

– данные микроагрегатного состава свидетельствуют о низкой степени агрегированности – содержание фракции 1-0,25 мм очень низкое;



- наименьшее количество фракции мелкого песка находится в артииндустратах Партизанской ГРЭС;
- наибольшее количество фракции мелкой пыли – в артииндустратах Партизанской ГРЭС;
- илистая фракция не превышает 1-3% в ТПО всех ТЭЦ, что указывает на высокую фильтрационную способность артииндустртов;
- соотношение физического песка и физической глины позволяет отнести данные артииндустраты к лёгким по гранулометрическому составу;
- сумма фракций крупной и средней пыли артииндустратов всех ТЭЦ позволяет отнести ТПО Владивостокской ТЭЦ-2 к наиболее пылящим и больше загрязняющим окружающую среду, в том числе почвенный покров;
- результаты анализов, выполненные по визуально выделенным слоям артииндустратов, не подтверждают слоистости и сортированности золоотвалов, а указывает на их моноструктуру;
- полученные результаты гранулометрического и микроагрегатного анализов дают основание утверждать, что артииндустраты не устойчивы к внешним механическим нагрузкам и подвержены воздействию эрозионных процессов.

Гранулометрический и микроагрегатный состав ТПО оказывает влияние на противозэрозийную стойкость. Оценка структурного состояния изученных ТПО по этим показателям приведены в табл. 2.

Таблица 2

Оценка качества структуры артииндустратов по результатам гранулометрического и микроагрегатного состава

Выработка, разрез, глубина, см	Фактор дисперсности по Н.А. Качинскому (К <sub>д</sub> )	Степень агрегированности по Бэверу и Роадесу (К <sub>а</sub> )	Фактор структурности по А.Ф. Вадюхиной (К <sub>с</sub> )	Противозэрозийная стойкость по А.Д. Воронину и М.С. Кузнецову
Владивостокская ТЭЦ-2				
1В-2010 0-19	43 – способность к оструктуриванию неудовлетворительная	10 – микроагрегированность низкая	13 – способность к оструктуриванию незначительная	3,0 – противозэрозийная стойкость средняя
1В-2010 19-37	40 – то же	19 – микроагрегированность низкая	17 – способность к оструктуриванию незначительная	2,4 – противозэрозийная стойкость низкая
Партизанская ГРЭС				
1П-2008 (0-19)	50 – способность к оструктуриванию неудовлетворительная	40 – микроагрегированность слабая	2 – способность к оструктуриванию незначительная	2,5 – противозэрозийная стойкость средняя





Продолжение таблицы 2

1П-2008 (19-37)	50 – способность к ост-руктуриванию неудовлетвори-тельная	20 – микроагрегирован-ность весьма слабая	2 – способность к оструктурива-нию незначи-тельная	< 2,5 – проти-воэрозионная стойкость низ-кая
12П-2011 (0-19)	100 – способность к ост-руктуриванию весьма низкая	40 – микроагрегирован-ность слабая	1 – способность к оструктурива-нию незначи-тельная	< 2,5 – проти-воэрозионная стойкость низ-кая
12П-2011 (19-37)	100 – способность к ост-руктуриванию весьма низкая	6 – микроагрегированность низкая	1 – способность к оструктурива-нию незначи-тельная	< 2,5 – проти-воэрозионная стойкость низ-кая
12П-2011 (37-60)	100 – способность к ост-руктуриванию весьма низкая	6 – микроагрегированность низкая	1 – способность к оструктурива-нию незначи-тельная	< 2,5 – проти-воэрозионная стойкость низ-кая
12П-2011 (60-70)	100 – способность к ост-руктуриванию весьма низкая	6 – микроагрегированность низкая	1 – способность к оструктурива-нию незначи-тельная	< 2,5 – проти-воэрозионная стойкость низ-кая
Хабаровская ТЭЦ-3				
10Х-2010 (0-19)	100 – способность к оструктуриванию весьма низкая	49 – микроагрегированность слабая	1 – способность к оструктурива-нию неудовле-творительная	< 2,5 – проти-воэрозионная стойкость низ-кая
10Х-2010 (19-37)	50 – способность к ост-руктуриванию неудовлетво рительная	30 – микроагрегирован-ность весьма слабая	2 – способность к оструктурива-нию незначи-тельная	< 2,5 – проти-воэрозионная стойкость низ-кая
10Х-2010 (37-60)	100 - способ-ность к ост-руктуриванию весьма низкая	37 - микроагрегирован-ность слабая	1 – способность к оструктурива-нию неудовле-творительная	< 2,5 – проти-воэрозионная стойкость низ-кая
10Х-2010 (60-70)	100 - способ-ность к ост-руктуриванию весьма низкая	6 - микроагрегирован-ность низкая	1 – способность к оструктурива-нию неудовле-творительная	< 2,5 – проти-воэрозионная стойкость низ-кая

Сравнительный анализ оценки противоэрозионной стойкости артинду-стратов, как результата деятельности различных ТЭЦ, позволяет сделать вы-вод о том, что самой низкой микроагрегированностью характеризуются арти-индустраты Владивостокской ТЭЦ-2. Противоэрозионная стойкость артиин-дустратов всех изученных объектов неудовлетворительная. Способность к агрегированию у артииндустратов невысокая. Сравнивая показатель потен-



циальной способности артииндустратов к оструктуриванию с показателем структурности, очевидно, что образование структурных отдельностей почти полностью зависит от содержания тонкодисперсных фаз гранулометрического состава.

Таким образом, сложная экологическая обстановка на прилегающих к теплоэлектростанциям пространствах, обусловленная негативным их воздействием, диктует необходимость организации мониторинга таких территорий и разработки конкретных мероприятий по предотвращению возможного неблагоприятного влияния артииндустратов как на почвенный покров так и в целом на окружающую среду.

### Библиографические ссылки

1. *Классификация и диагностика почв России* / Авторы и составители: Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск : Ойкумена, 2004.
2. *ГОСТ 17.4.4.02–84*. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: ИПК Изво стандартов, 2000.
3. *Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А.* Методы исследования физических свойств почв и грунтов : учеб. пособие для студентов вузов : изд. 2-е. М. : Высшая школа, 1973.
4. *Качинский Н. А.* Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М. : Изд-во Академии наук СССР. 1958.
5. *Шейн Е. В.* Курс физики почв: учебник. М. : Изд-во МГУ, 2005.
6. *Дмитриев Е. А.* Математическая статистика в почвоведении. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1995.
7. *Воронин А. Д., Кузнецов М. С.* Опыт оценки противоэрозионной стойкости почв // Эрозия почв и русловые процессы : Вып. 1. М., 1970.