

УДК 622.271.47

**СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОГЕННЫХ МАССИВОВ
УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ КУЗБАССА**

С. А. Прокопенко^{1,2}, В. С. Лудзиш², Ю. В. Лесин³, М. А. Тюленев³, А. В. Сушко¹

¹Томский политехнический университет, E-mail: sibgp@mail.ru,
просп. Ленина, 30, 654059, г. Томск, Россия

²АО «НЦ ВостНИИ», ул. Институтская, 3, 650002, г. Кемерово, Россия

³Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева,
ул. Весенняя, 28, 650099, г. Кемерово, Россия

Описаны закономерности массопереноса при формировании насыпных и намывных техногенных массивов при разработке полезных ископаемых. Определены признаки и предложена иерархия классификации структур отвальных массивов. Выполнены классификация и схематическое представление многообразия однокомпонентных и композиционных структур отвалов, формируемых в Кузбассе. Показано влияние установленных закономерностей массопереноса на образование фракционированных структур техногенных массивов, их физические и технологические свойства.

Техногенный массив, отвал, закономерность, структура, массоперенос, фракционирование, кусковатость, классификация

Ведение горных разработок современными технологиями сопровождается вынужденным перемещением больших масс продуктов разрушения земной коры на значительные расстояния с формированием новых массивов — техногенных, различных по сроку хранения, составу складированного материала, размерам, форме. Так, плодородные и потенциально плодородные горные породы перемещают скреперами, бульдозерами, самосвалами, конвейерами и укладывают на срок до 3–5 лет в небольшие штабели, бурты, склады. В указанный срок эти породы следует использовать в целях рекультивации нарушаемых земель. Четвертичные отложения, смываемые водой, перемещают по трубопроводам в гидроотвалы — плоские и крупноплощадные сооружения. Формируемые намывные массивы имеют длительный (десяtkи лет) или постоянный срок размещения.

Основная доля (80 % и более) перемещаемых из карьеров (разрезов) и шахт породных масс относится к коренным литологическим полускальным и скальным разностям. Их вынужденное перемещение определяется несовершенством применяемых технологий разработки полезных ископаемых: например, уголь из разрушаемых пластов перемещают миллионами тонн сначала на склады шахт, разрезов, обогатительных фабрик, а затем — на склады котельных, ТЭЦ, коксовых заводов. Технологии извлечения энергетического потенциала угольных пластов в месте их залегания и без механического разрушения [1–4] отечественной промышленностью утрачены, а новые до сих пор не введены [5–7]. Возможности перевода добывающих предприятий на экологически чистые технологии с минимальными расстояниями транспортирования породных масс во внутренние отвалы [8, 9] промышленностью до сих пор не освоены [10].

Происходящее углубление горных работ ведет к вторжению во все более прочные слои продуктивной толщи, требующие перед экскавацией предварительного рыхления. Несовершенство нынешних горных технологий проявляется в излишнем дроблении земных недр в процессе отработки. Если современные транспортные средства и экскаваторы способны перемещать крупногабаритные (до 1–1.5 м) отдельности, то процесс технологичного и экономичного крупно- и среднеблочного отделения породы и угля от целика до сих пор не создан. Нынешнее буровзрывное разрушение массива на разрезах и комбайновое в шахтах сопровождается образованием угольных и породных смесей разнофракционного состава крупностью от пылевидных частиц до кусков размером 50–150 см. При этом доля мелких классов (менее 13 мм) достигает 60–75 %. На чрезмерное дробление углепородного массива расходуются дополнительная энергия и денежные средства. Образование в больших количествах мелкодисперсных частиц отрицательно сказывается на экологии промышленных территорий. Пыление отвалов, эшелонов с углем, угольных складов, взрывы угольной пыли в подземных выработках, силикозные заболевания шахтеров и подобные проблемы являются последствиями ненужного переизмельчения земных недр.

Укладка разнокусовой смеси разрушенных литологических разностей в склады или отвалы сопровождается рядом закономерностей. Закономерность гравитационного массопереноса проявляется после возведения пионерной насыпи на высоту 10–15 м при последующей отсыпке материала под откос. Так как поверхность откоса представляет собой совокупность кусков и межкусковых промежутков, то выгружаемая в верхней точке откоса порода или уголь (из самосвала, ковша экскаватора, течи отвалообразователя) перемещается под действием силы тяжести на расстояние, пропорциональное диаметру отдельности: чем крупнее кусок, тем больший путь по откосу он преодолевает. При укладке породы в гидроотвал сочетание гравитационного и гидродинамического массопереносов имеет обратную закономерность: чем меньше частица, тем больше длина ее пути на откосе намыва.

Указанные закономерности исследованы на складах полезных ископаемых, породных отвалах разрезов, шахт, карьеров и рудников Кузбасса, а также на золоотвалах ряда ТЭЦ региона. Кузнецкий каменноугольный бассейн характеризуется разнообразием горно-геологических и горнотехнических условий разработки. В настоящее время в Кемеровской области насчитывается 60 действующих и 5 строящихся разрезов суммарной производственной мощностью более 150 млн т угля в год. В 2015 г. открытым способом добыто почти 140 млн т угля и подземным — 76 млн т, перемещено и складировано в отвалы более 400 млн м³ вскрышных и вмещающих пород. В последние годы пустые породы перемещаются автомобильным транспортом (более 50 %), железнодорожным (20 %), экскаваторной перевалкой (20 %) и гидравлическим транспортом (5 %).

Разрезы и шахты Кузбасса ведут разработку литосферы на глубине до 500 м, выдавая и складывая на поверхности планеты все характерные литологические разновидности: рыхлые покровные отложения (глина, суглинок, супесь), полускальные (алевролит, аргиллит, уголь, горельник) и скальные (песчаник, колчедан) коренные породы. За время разработки угольных месторождений в регионе сформированы сотни породных отвалов. Наиболее крупные из них образованы на открытых разработках. Высота отвалов меняется в широких пределах: одноярусные отвалы, отсыпаемые под углами естественного откоса, имеют высоту от 15 до 90 м, многоярусные — от 40 до 160 м с результирующими углами откосов 16–36° [11]. В регионе насчитывается 50 гидроотвалов с суммарным объемом глинистых грунтов около 1 млрд м³. Высота гидроотвалов изменяется от 4 до 73 м, площадь — от 6 до 736 га, емкость — от 0.6 до 100 млн м³.

Закономерности массопереноса при отвалообразовании, различия в составе пород и технологии их складирования определяют многообразие структур образуемых отвальных массивов. Это сказывается на физических (пористость, проницаемость, прочность) свойствах и технологических (угол устойчивого откоса, предельная высота, количество ярусов, размеры брем безопасности) параметрах отвалов. Недостаточное внимание к структуре и свойствам формируемых массивов нередко ведет в их непредвиденным деформациям с тяжелыми последствиями. Так, 01.04.2015 г. произошел неожиданный оползень автоотвала на разрезе “Заречный” АО “СУЭК-Кузбасс” у с. Большая Талда Прокопьевского района. Обвалившаяся порода засыпала технологическую автодорогу, железнодорожные пути на участке протяженностью 1 км, опрокинула грузовые вагоны, повредила линии электропередачи, что привело к обесточиванию ряда производственных объектов на территории соседнего разреза “Талдинский”, засыпала русло р. Кыргай. Общий объем переместившихся на 150–300 м пород оценен в 10 млн м³ [12]. Устранение последствий аварии нанесло значительный экономический ущерб угольным компаниям АО “СУЭК-Кузбасс” и АО “Кузбассразрезуголь”.

Таким образом, создаваемые вокруг добывающих предприятий техногенные массивы выступают объектами повышенной промышленной и экологической опасности. Необходимость недопущения опасных и аварийных ситуаций требует развития и систематизации представлений об их структурах и свойствах.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В поле натурных наблюдений и исследований вовлечены более 60 отвалов разрезов южного, центрального и северного Кузбасса. Обследовались площадные, хребтовидные, конусные, намывные техногенные массивы. Изучались составы пород, их крупность, изменение гранулометрического состава по высоте и протяженности [13]. Применялись методы ситового анализа, фотопланиметрии, математической обработки. Использованы обширные результаты научных исследований по технологии возведения, строению и свойствам отвалов, полученные для условий Кузбасса, Донбасса, Казахстана, Якутии [14–26]. При разработке классификации структур применялись методы анализа, обобщения и систематизации знаний.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

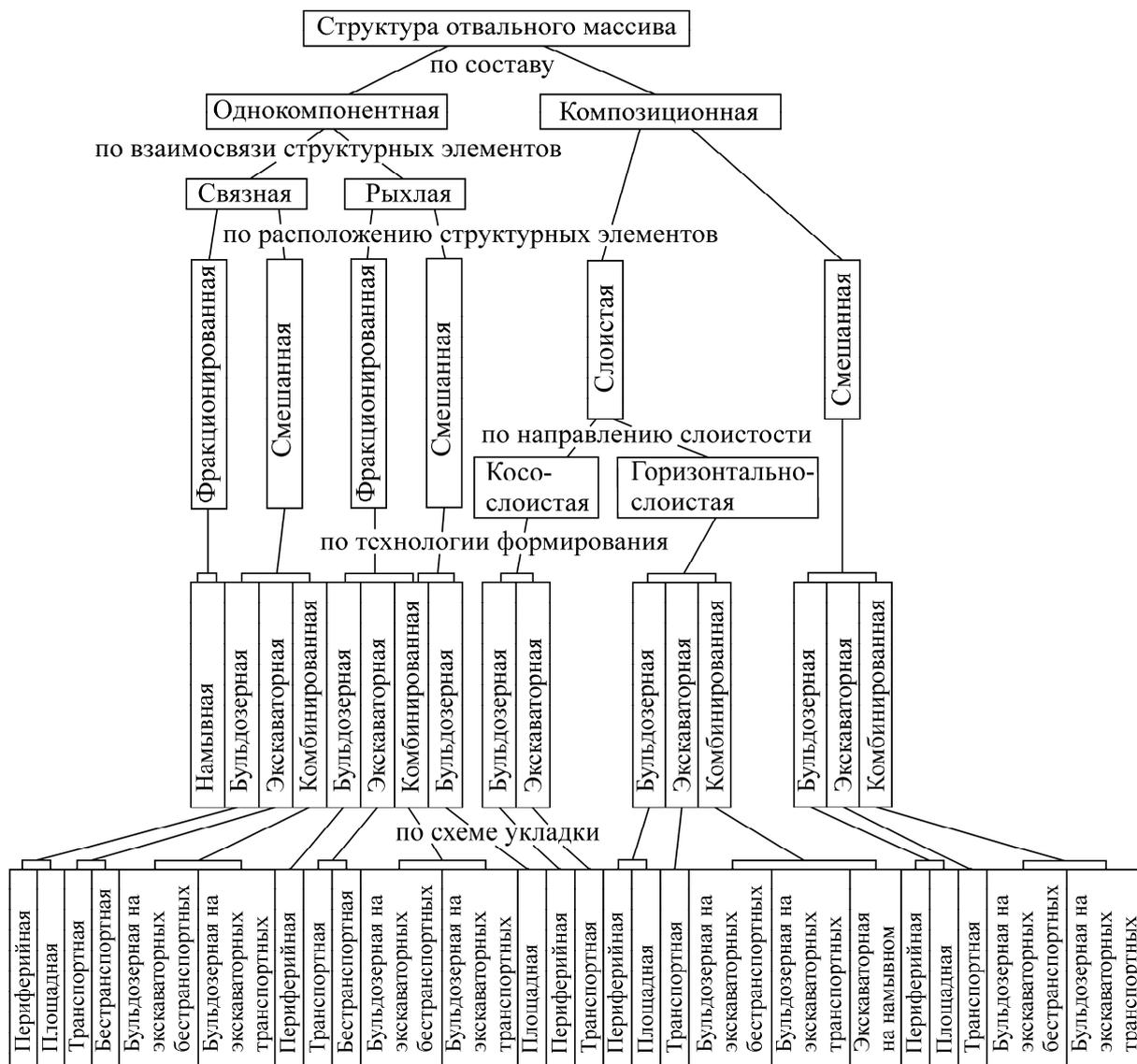
Выявленное в ходе исследований многообразие структур техногенных массивов определило потребность в выработке критериев их систематизации. В качестве главного классификационного признака выбран состав складированных в отвал пород. По этому признаку все отвалы разделены на два класса. Первый класс образовали отвалы с однокомпонентной структурой, образуемой при укладке или только коренных пород, или только покровных четвертичных отложений. Массивы из смеси коренных и четвертичных пород выделены в класс композиционных.

Следующим признаком классификации послужило расположение структурных элементов в отвале. Были обобщены группы структур: фракционированная, смешанная и слоистая. В последней рассмотрены подгруппы косо- и горизонтально-слоистых структур.

По технологии формирования отвальных массивов их структуры классифицированы на виды: бульдозерная, экскаваторная, намывная, комбинированная.

Дальнейшая систематизация имеющегося разнообразия структур выполнена по схеме возведения отвала различными технологиями. Сформированы типы структур: периферийная, площадная, транспортная, бестранспортная, бульдозерная на экскаваторных бестранспортных, бульдозерная на экскаваторных транспортных, экскаваторная на намывных.

Схема разработанной иерархии классификации структур отвальных массивов показана на рисунке. Она охватывает и упорядочивает сложившееся многообразие особенностей строения формируемых техногенных массивов горных разработок в таком представительном добывающем регионе, как Кемеровская область. Двадцать пять разновидностей структур упорядочены по шестнадцати видам, шести группам и двум классам.

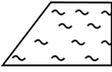
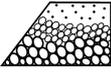
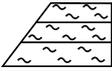
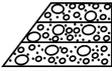
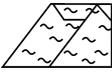
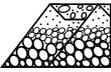
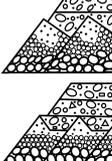
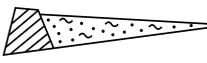


Иерархия классификации структур отвальных массивов

Систематизация структур первого класса — однокомпонентных — со схематичным их представлением приведена в табл. 1. Поскольку четвертичные отложения, покрывающие продуктивную толщу, выполнены главным образом лессовидными суглинками и глинами, образуемые ими отвальные массивы имеют связную структуру. Взаимодействие частиц в них основывается на силах сцепления, обусловленных водно-коллоидными связями. При намыве рыхлых отложений в гидроотвалы происходит фракционирование грунта. Крупные и средние частицы накапливаются вблизи выпусков пульпы, а мелкодисперсные грунты уносятся потоком на сотни метров. В результате намытая толща подразделяется по грансоставу на зоны: песчано-

супесчаную, суглинистую и глинистую [27]. При остальных технологиях складирования связанных пород образуются массивы со смешанной структурой. Рассмотренные массивы со связной структурой характеризуются высокой плотностью и незначительной водопроницаемостью.

ТАБЛИЦА 1. Однокомпонентные структуры отвальных массивов

Технология формирования массива	Структура массива			
	Связная		Рыхлая	
	фракционированная	смешанная	фракционированная	смешанная
Бульдозерная (периферийная)	—			—
Бульдозерная (площадная)	—		—	
Экскаваторная (транспортная)	—			—
Экскаваторная (бестранспортная)	—			—
Комбинированная	—	 бульд. экс. бестр. бульд. экс. транс.		—
Намывная		—	—	—

Примечание.  — слой глинистых пород;  — крупнокусовый слой скальных пород;  — среднекусовый слой скальных пород;  — мелкокусовый слой скальных пород;  — смешанный слой скальных пород

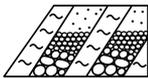
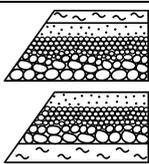
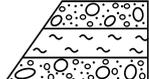
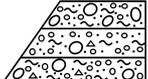
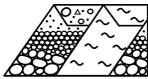
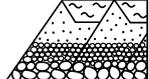
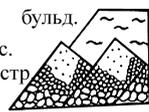
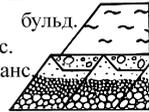
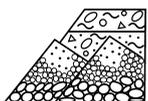
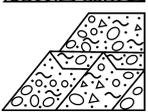
Массивам из разрушенных скальных и полускальных пород присуща рыхлая структура с контактной связью между отдельностями, вызванной силой трения. Отсыпка кусковатых пород под откос и их сегрегация по крупности приводит к образованию в нижней части массива крупнокусового слоя, в средней части — среднекусового, а в верхней — мелкокусового с обилием дисперсных и пылевидных частиц. Крупнокусовые отдельности контактируют гранями, площадками и вершинами, образуя каркас со значительным (до 30–35 %) межкусовым пространством. Эта часть массива характеризуется низкой объемной плотностью, высокой пористостью и проницаемостью. По мере подъема над основанием отвала количество средних и мелких по размеру и массе частиц увеличивается, пространство между крупными кусками насыщается заполнителем, пористость и проницаемость снижаются. В верхнем слое большие куски выглядят как вкрапления в мелкодисперсную и достаточно плотную массу с низкими показателями фильтрации.

Площадная отсыпка коренных пород ярусами небольшой мощности исключает возможность проявления закономерности гравитационного массопереноса. Образующий при этом массив характеризуется неупорядоченным строением вследствие смешанного расположения частиц разной крупности.

При комбинированном отвалообразовании (транспортный отвал на бестранспортном, бульдозерный на экскаваторном) образуется массив, сочетающий элементы различных структур с их зональным расположением.

Совместное складирование мягких глинистых и коренных пород приводит к формированию техногенных массивов со структурой второго класса — композиционной (табл. 2). Результатом циклической селективной укладки указанных литологических компонентов является образование слоистых структур. Слои могут быть как горизонтальными, так и наклонными, что обусловлено схемой складирования пород. Такие отвалы сочетают в себе свойства связных и рыхлых массивов. Однако в отличие от них слоистым массивам присуща резкая анизотропия физических свойств.

ТАБЛИЦА 2. Композиционные структуры отвальных массивов

Технология формирования массива	Структура массива		
	Слоистая		Смешанная
	косослоистая	горизонтально-слоистая	
Бульдозерная (периферийная)			
Бульдозерная (площадная)	—		
Экскаваторная			
Комбинированная	—	  	 

Примечание.  — слой глинистых пород;  — фракционированный слой скальных пород;  — смешанный слой скальных пород;  — смешанный слой скальных и глинистых пород

В случае валовой отсыпки пород с верхних и нижних горизонтов разреза образуются массивы со смешанной структурой. Распределение компонентов в массиве зависит от их количественного соотношения и принятой технологии формирования отвала. Свойства массива определяются главным образом свойствами глинистых пород.

ВЫВОДЫ

Складирование удаляемых из карьеров и шахт литологических разностей (уголь, рыхлые отложения, скальные и полускальные породы) сопровождается проявлением закономерностей массопереноса. При формировании высоких насыпных массивов закономерность состоит в

том, что дальность перемещения материала по откосу пропорциональна его крупности. Для намывных массивов характерна обратная закономерность — дальность переноса частиц обратно пропорциональна их размеру и массе. Следствием проявления отмеченных закономерностей выступает эффект фракционирования формируемых структур массивов.

Фракционирование материала в совокупности с различным его составом и спектром применяемых технологий укладки выступают факторами многообразия структур техногенных массивов, их физических и технологических свойств. Обеспечение промышленной и экологической безопасности формируемых при разработке месторождений массивов (складов, отвалов, штабелей) определяет необходимость углубления и систематизации представлений об их строении.

Знание структуры массива позволяет оценить фильтрационные способности различных участков, вероятность возникновения эндогенных пожаров, разрабатывать профилактические меры для опасных зон.

Разработаны схемы формирования однокомпонентных и композиционных структур техногенных массивов и выполнена их классификация для ведущего горнодобывающего региона — Кузбасса. Предлагаемая классификация облегчает изучение строения сформированных отвалов и угольных складов горных предприятий, дает возможность прогнозировать структуру проектируемых техногенных массивов, а также повысить точность расчетов по устойчивости откосов и предотвращению оползней.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Васючков Ю. Ф., Селиванов Г. И., Янко С. В.** Технология использования энергии подземного сжигания угольных пластов // Уголь Украины. — 1989. — № 12. — С. 5–8.
2. **Ржевский В. В.** Подземное сжигание углей. — М.: МГИ, 1990. — 84 с.
3. **Лазаренко С. Н., Крейнин Е. В.** Подземная газификация углей в Кузбассе: настоящее и будущее. — Новосибирск: Наука, 1994. — 118 с.
4. **Ворогов А. И.** Опыт работы Южно-Абинской станции “Подземгаз” за четыре десятилетия эксплуатации // Материалы конф. “Проблемы развития технологии подземной газификации угля в Кузбассе”. — Кемерово, 2004. — С. 10–15.
5. **Крейнин Е. В.** Нетрадиционные термические технологии добычи трудноизвлекаемых топлив: уголь, углеводородное сырье. — М.: ИРЦ Газпром, 2004. — 302 с.
6. **Прокопенко С. А.** Угольной энергетике — передовые технологии // Уголь. — 2005. — № 7. — С. 55–57.
7. **Прокопенко С. А.** От подземной добычи угля к углеэнергетическим комплексам // Горн. журн. — 2005. — № 11. — С. 8–10.
8. **Михальченко В. В., Прокопенко С. А., Орлов В. Г., Коксин А. В.** Землесберегающая технология отработки мощных наклонных и крутых залежей // Уголь. — 1991. — № 5. — С. 44–46.
9. **Михальченко В. В., Прокопенко С. А.** Экологически чистые технологии — будущее открытой угледобычи в Кузбассе // Уголь. — 1992. — № 1. — С. 11–14.
10. **Прокопенко С. А., Лудзиш В. С.** Проблемы инновационного курса развития горнодобывающих предприятий России // Горн. журн. — 2014. — № 1. — С. 47–49.
11. **Жариков В. П., Ермошкин В. В., Клейменов Р. Г.** Рациональное землепользование при формировании отвалов и гидроотвалов на разрезах Кузбасса // ГИАБ. — 2012. — № 2. — С. 28–31.
12. <http://stormnews.ru/archives/16771> (дата обращения 01.04.2015 г.).
13. **Прокопенко С. А.** Формирование композиционных отвальных массивов с повышенной плотностью при открытой разработке угольных месторождений Кузбасса: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Кемерово, 1988. — 24 с.

14. **Демин А. М., Шушкина О. И.** Напряженное состояние и устойчивость отвалов в карьерах. — М.: Недра, 1978. — 159 с.
15. **Меркулов В. А.** Охрана природы на угольных шахтах. — М.: Недра, 1981. — 184 с.
16. **Попов И. И., Окатов Р. П.** Борьба с оползнями на карьерах. — М.: Недра, 1980. — 239 с.
17. **Крячко О. Ю.** Управление отвалами открытых горных работ. — М.: Недра, 1980. — 255 с.
18. **Малеев Н. Г., Котровский М. Н.** Схемы строительства и формирования многоярусных отвалов // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: сб. науч. тр. Вып. 1. — Красноярск: КГУЦМиЗ, 2003. — С. 140–144.
19. **Кутепов Ю. И., Кутепова Н. А.** Закономерности формирования порового давления при гидроотвалообразовании и отсыпке “сухих” отвалов // ГИАБ. — 2008. — № 11.
20. **Инструкция** по предупреждению самовозгорания, тушению и разборке породных отвалов / Утв. приказом Ростехнадзора № 738 от 23.12.2011 г. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902324483> (дата обращения 04.06.2016 г.).
21. **Бахаева С. П., Простов С. М.** Комплексный мониторинг техногенных грунтовых массивов угольных разрезов // Безопасность труда в пром-сти. — 2011. — № 4. — С. 20–24.
22. **Ческидов В. В.** Комплексное зондирование намывных отложений гидроотвала № 3 разреза “Кедровский” // Горн. пром-сть. — 2011. — № 6. — С. 70–76.
23. **Калашник А. И., Запорожец Д. В., Дьяков А. Ю., Демахин А. Ю.** Георадиолокационное зондирование снежно-породных отвалов пород ОАО “Апатит” // Вестн. КНЦ РАН. — 2014. — № 3 (18). — С. 16–20.
24. **Гапонов Ю. С.** Геомеханическое обоснование устойчивости породных отвалов с учетом влияния характеристик разрушенной горной массы: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — СПб., 2015. — 22 с.
25. **Макаришина Ю. И.** Повышение экологической безопасности породных отвалов угольных шахт Донбасса с помощью физических и фитомелиоративных методов: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. — Луганск, 2016. — 23 с.
26. **Lesin Yu. V., Luk'yanova S. Y., Tyulenev M. A.** Formation of the composition and properties of dumps on the open-pit mines of Kuzbass, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2015, Vol. 6, 012093. — P. 1–7.
27. **Сергина Е. В.** Комплексный мониторинг состояния природно-технических систем открытой разработки угольных месторождений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — СПб., 2015. — 21 с.

Поступила в редакцию 3/VI 2016