



**А.Г. Корнилов**  
д-р геогр. наук  
Национальный исследовательский  
университет БелГУ  
профессор, заведующий кафедрой  
kornilov@bsu.edu.ru



**Л.Л. Новых**  
канд. биол. наук  
Национальный исследовательский  
университет БелГУ  
доцент  
novykh@bsu.edu.ru



**С.Н. Колмыков**  
канд. геогр. наук  
Национальный исследовательский  
университет БелГУ  
старший преподаватель  
snkolmykov@mail.ru



**Е.В. Кичигин**  
канд. геол.-мин. наук  
БГТУ им. В.Г. Шухова  
ведущий научный сотрудник



**М.В. Листопад**  
Национальный исследовательский  
университет БелГУ  
студентка



**И.А. Корнилов**  
РГУ нефти и газа  
им. И.М. Губкина  
аспирант

# Влияние флотационных технологий на состояние земельных ресурсов<sup>1</sup>

*На основе модельного расчета авторы показывают, что расчетное поступление флотореагента в почву с пылевыми уносами хвостохранилищ не оказывает негативного влияния на актуальную кислотность почвы и содержание в ней гумуса*

*Made a model calculation of the intensity deposition of dust carryover tailing dumps on soil and express modeling of the impact fallout containing flotation reagents on gray forest soils. Shown that the computed flow flotation reagent into the soil to dust emissions do not have a negative influence on the actual acidity and content of humus in soils*

**Ключевые слова:** пыление хвостохранилищ горнодобывающих предприятий, воздействие флотореагентов на почвы

**Keywords:** dusting of tailing dumps mining enterprises, the impact of flotation reagents on the ground

<sup>1</sup> Исследования выполнены в рамках реализации государственного задания Министерства образования и науки РФ Белгородским государственным национальным исследовательским университетом на 2012 год (№ приказа 5.1739.2011)

**Ф**лотационные технологии, широко применяемые в мировой практике на горнодобывающих предприятиях, оказывают на окружающую природную среду комплексное воздействие. В результате гидрохимического переноса загрязняются водные ресурсы, последствия атмосферического переноса связаны с уносом летучих компонентов с водной поверхности хвостохранилища, а также пылением сухих хвостов.

Разнос твердого уноса с хвостохранилищ и других объектов горно-обогатительных комбинатов оценивается расстоянием до 40 км от границ предприятия [1–4]. Наиболее массовые выпадения отмечены в непосредственной близости от промплощадок: вблизи границы предприятия они достигают 4000 кг/га, на расстоянии 40 км – 50 кг/га. Эти значения задают пропорции интенсивности выпадения пыли на разных расстояниях от хвостохранилища, что позволяет смоделировать ситуацию с уносом и выпадением хвостов.

Модельные расчеты выполнялись в несколько этапов: 1) моделирование схемы «унос – выпадение»; 2) расчет удельного выноса хвостов по моделируемому профилю; 3) расчет удельных выпадений хвостов на границе хвостохранилища; 4) расчет массы выпадения учитываемых компонентов на почву; 5) расчет накопления учитываемых компонентов в почве за год.

**1.** Унос и выпадение хвостов соответствуют розе ветров.

Чтобы оценить максимально возможные объемы уноса, для расчетов был выбран профиль шириной 1 м, пролегающий по максимально возможному протяжению сухих участков хвостохранилища, в том числе по направлению максимальной повторяемости ветров (**рис. 2**).

**2.** Было принято (согласно [1–4]), что общая масса выбросов пыли с модельного объекта составляет около 220 т/год, площадь сухих пляжей – 350 000 м<sup>2</sup>, удельный вынос – 0,62857 кг/м<sup>2</sup> в год. По данным Росгидромета преобладающим направлением ветра в рассматриваемом районе является юго-западное (20%). С учетом выбранного профиля унос пыли по данному направлению составит 0,125714 кг/м<sup>2</sup> в год, масса пыли (Q), уносимая с полосы шириной 1 м и длиной 4,9 км – 615,9986 кг/год.

**3.** Сумма выпадения пыли с поверхности хвостохранилища распределяется согласно графику (**рис. 1**), где значения «4000x» и «50x» – удельные выпадения на различных расстояниях от хвостохранилища (кг/м<sup>2</sup>), x – поправочный коэффициент для конкретной массы выпадений (Q). Масса выпадения Q отображается на рисунке в виде площади трапеции ABCD:

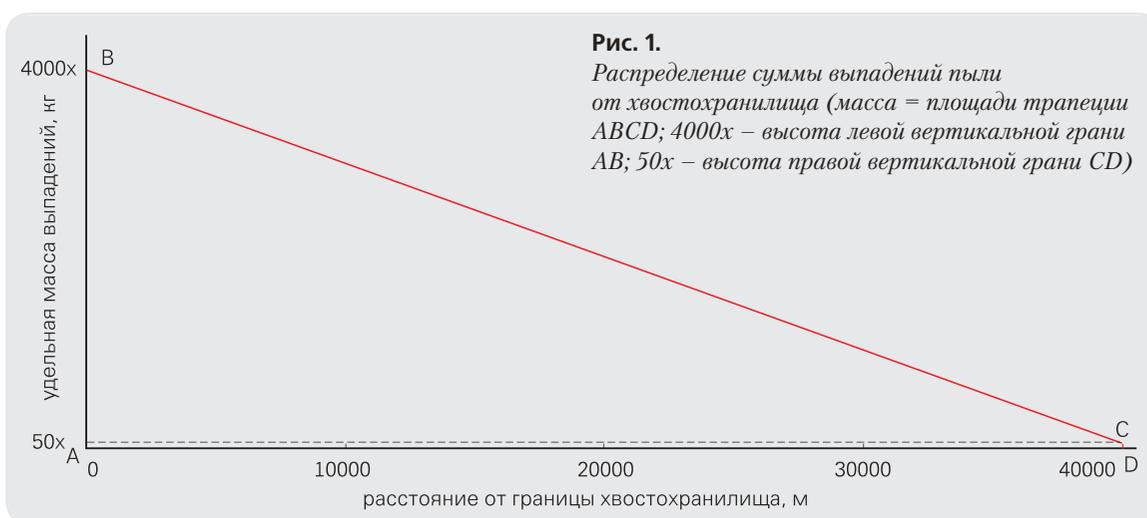
$$Q = \frac{1}{2} (4000x + 50x) \times 40000.$$

$$\text{Коэффициент } x = 0,000007622.$$

Определенные максимально возможные удельные выпадения хвостов на территории прилегающего к границе хвостохранилища земельного фонда, равные 30,488 г/м<sup>2</sup> в год, позволяют вычислить максимально возможные накопления поллютантов флотореагента в почве. Обычно в состав флотореагента входят ПАВ [5, 6], серная кислота, фторсиликаты, жидкое стекло и др.[6].

Для экспериментального моделирования был изготовлен образец флотореагентсодержащих хвостов с учетом существующих технологий применения флотореагентов и массовых пропорций компонентов при полном предварительном смачивании хвостов жидкой фракцией, формирующейся после стадии флотации.

Содержание нормируемых в окружающей среде компонентов в экспериментальном об-





**Рис. 2.**  
Фрагмент хвостохранилища с наиболее протяженным профилем «уноса»

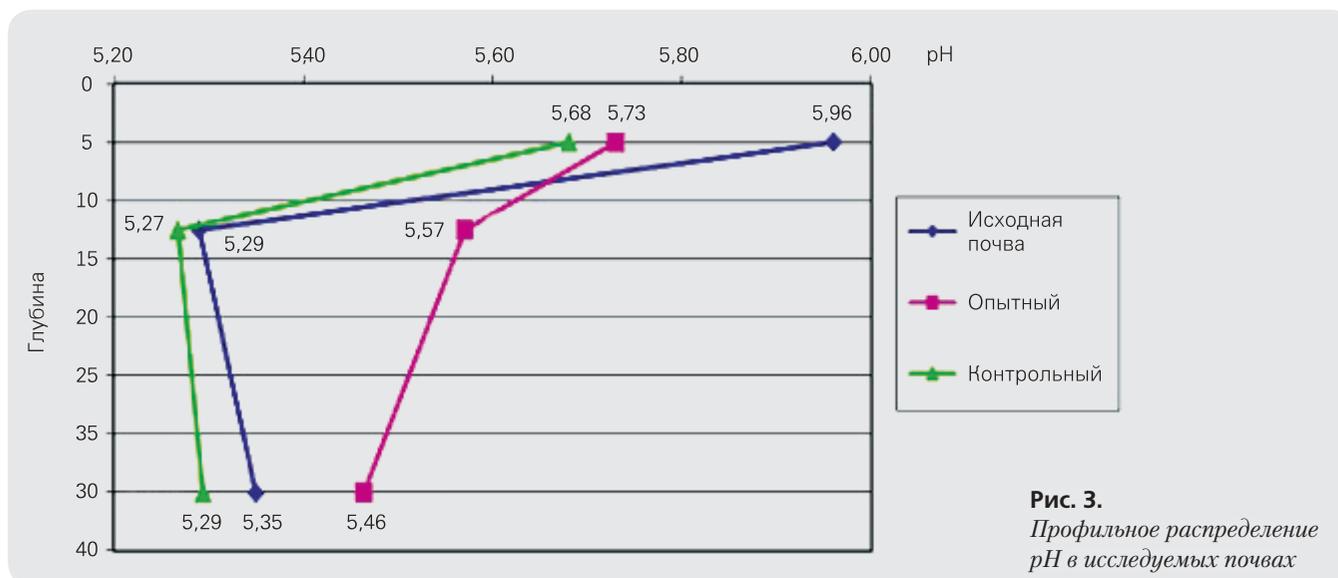
разце составило: фтор – 0,004554 мг/г, ПАВ – 0,0020506 мг/г.

4. Максимально ожидаемая масса выпадения фтора на почву составит 0,1388 мг/м<sup>2</sup> в год., ПАВ – 0,06252 мг/м<sup>2</sup> в год.

5. Накопление учитываемых компонентов в почве за год для глубины пахотного слоя почвы – 0,3 м при плотности серой лесной почвы – 1,35 г/см<sup>3</sup> составит 0,000343 мг/кг фтора и 0,0001544 мг/кг ПАВ. При таких тем-

пах накопления достижение предельно допустимой концентрации (ПДК) по фтору, которая составляет 2,8 мг/кг [7], нереально даже в течение жизни нескольких поколений. Аналогичная ситуация складывается и по ПАВ.

Следует учесть также, что в расчете накопления веществ в почве в результате выносов флотореагентсодержащих хвостов не учитывался промывной режим почв. Поскольку все компоненты флотореагента являются в той



**Рис. 3.**  
Профильное распределение pH в исследуемых почвах

или иной степени водорастворимыми, реальное содержание отслеживаемых ингредиентов должно быть значительно меньше.

**Экспресс-моделирование** воздействия выпадений на серые лесные почвы продолжалось 23 дня. Имитировались атмосферическая нагрузка и промывной режим, соответствующие объемам выпадения флотореагентсодержащих хвостов и атмосферных осадков за 2 года. На контрольной модели имитировался только промывной режим.

В качестве образцов в изучаемом районе были отобраны монолиты почв ненарушенного сложения. В опытный образец внесли дозу флотореагентсодержащих хвостов с содержанием компонентов флотореагента, эквивалентным двухлетнему максимальному выпадению, рассчитанному в предыдущем расчетном моделировании (3,24 г на 0,0531 м<sup>2</sup>). Равномерный ежесуточный полив образцов соответствовал объему общего двухгодичного количества осадков, характерных для данной местности в течение 23 дней.

В каждом образце посеяли семена укропа, затем были отобраны и сравнены по 50 выросших растений с каждого образца. Средняя высота и средняя масса одного растения составили (при двукратном определении) для опытного образца – соответственно 8,3 см и 0,099 г, для контрольного образца – 6,9 см и 0,044 г.

Полученный результат свидетельствует о том, что реагент в малых дозах выполняет роль микроудобрения. Промывные воды опытного образца более мутные, что свидетельствует о более активном развитии микрофлоры.

На следующем этапе исследования из каждого сосуда с глубин 0–5 см, 5–20 см и 20–50 см были отобраны по 3 образца для сравнения

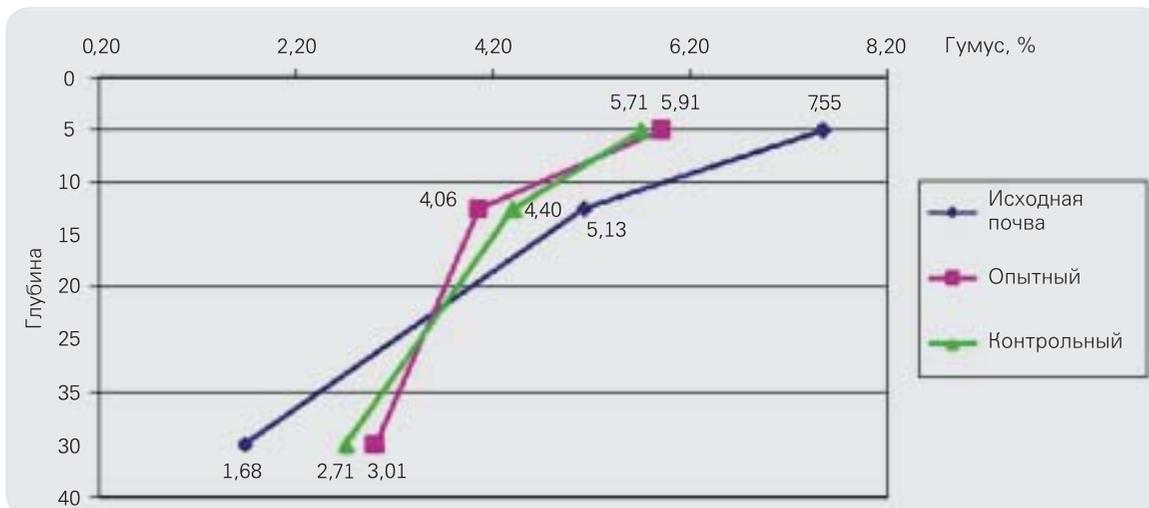
с серыми почвами по основным почвенным характеристикам – pH, содержания гумуса, структурно-агрегатного состава.

**Актуальная кислотность (pH).** Исходная серая лесная почва на глубине 0–5 см характеризовалась слабокислой реакцией, а на глубине 5–20 см и 20–50 см – кислой (**рис. 3**). Промывание почвы двухлетней нормой осадков привело к подкислению почвы в верхнем горизонте вследствие вымывания оснований: реакция осталась слабокислой, но приблизилась к кислой. На контрольном образце подкисление распространилось на всю исследуемую толщу, на опытном, вследствие щелочной реакции «хвостов», в нижних горизонтах реакция стала более щелочной, чем в исходной почве, т.е. в слое 5–20 см почва стала слабокислой, а в слое 20–50 см – приблизилась к слабокислой.

Таким образом, внесение флотореагента не привело к усилению кислотности исследуемой серой лесной почвы.

Содержание **гумуса** – важнейший показатель плодородия почв и устойчивости почв к антропогенным воздействиям. Исходная почва характеризовалась высоким содержанием гумуса в верхнем горизонте и резким падением вниз по профилю (**рис. 4**). Промывка привела к заметному снижению содержания гумуса в верхнем горизонте (в 1,3 раза) и возрастанию в нижней части (в 1,6–1,8 раза), что свидетельствует о процессах вымывания гумуса из почвенного профиля. Профильное распределение содержания гумуса в опытном и контрольном образцах совпадают, поэтому можно предполагать, что флотореагент не оказывает заметного влияния на содержание в почве гумуса.

**Рис. 4.**  
Профильное распределение гумуса в исследуемых почвах

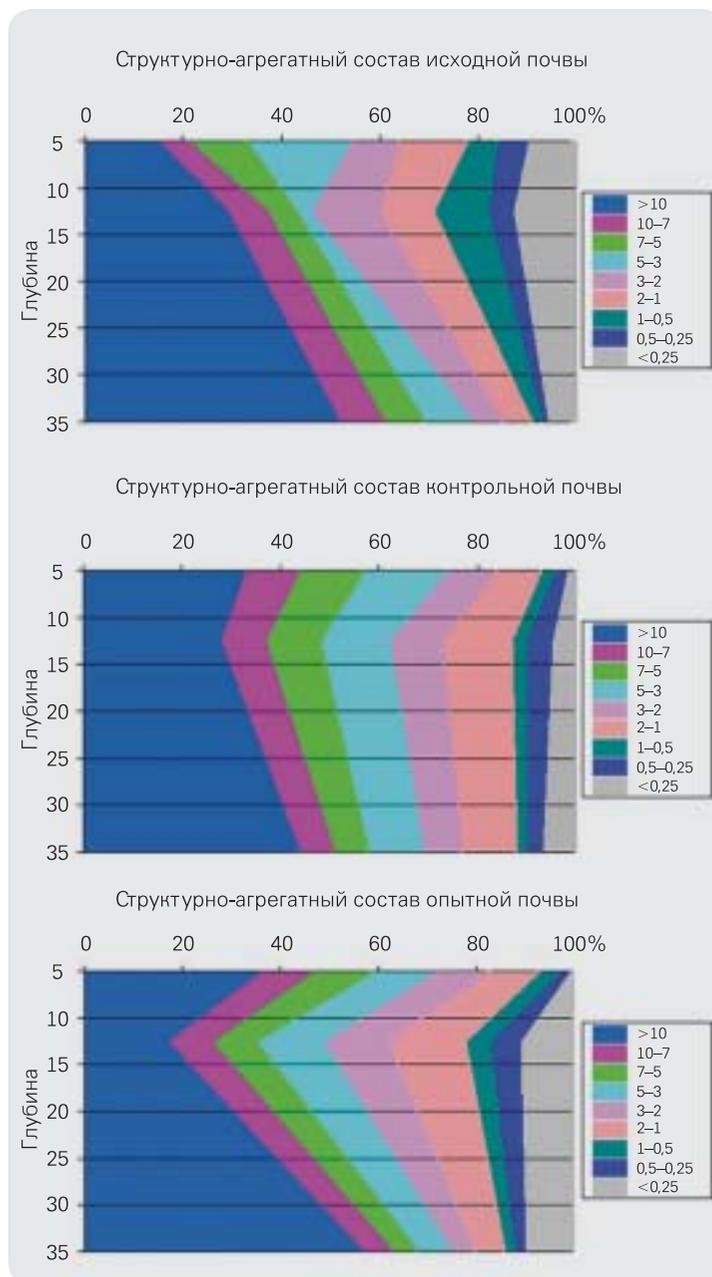


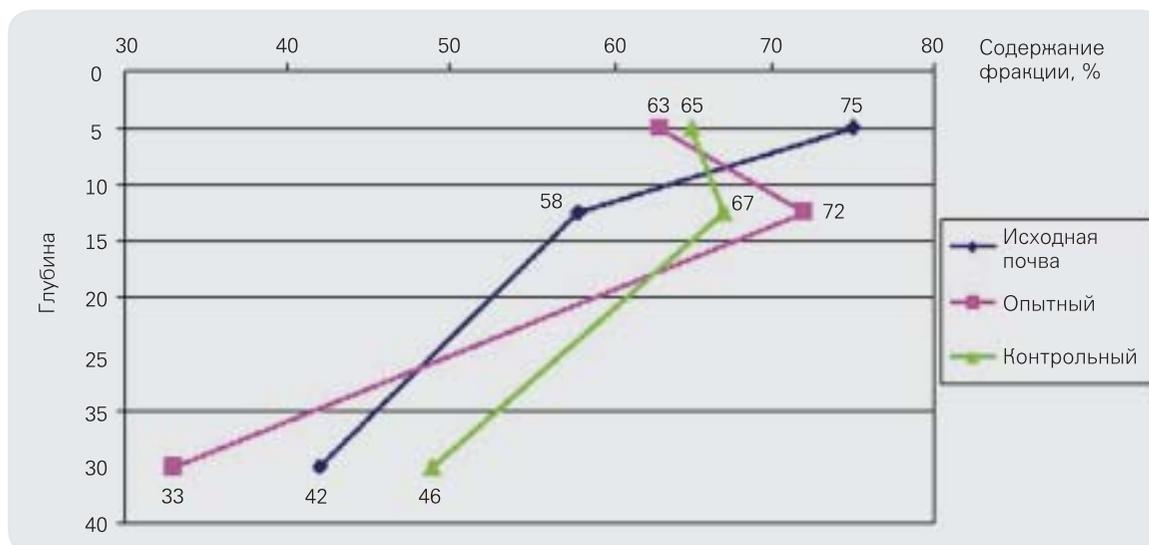
**Структурно-агрегатный состав.** Интенсивный полив сосудов привел к некоторому увеличению глыбистости в приповерхностном горизонте, но к снижению ее на глубине 5–20 см (рис. 5) Этот процесс более ярко выражен в почвах опытного образца.

Анализ распределения агрономически ценных фракций (рис. 6) свидетельствует, что исходная почва характеризовалась хорошим структурно-агрегатным состоянием в горизонте 0–5 см и удовлетворительным – в горизонтах 5–20 см и 20–50 см. Вниз по профилю происходило резкое ухудшение структурного состояния почвы.

Полив образцов привел к ухудшению структурно-агрегатного состояния почвы в верхнем горизонте: доля агрономически ценных агрегатов уменьшилась на 10–12%. Поскольку изменения аналогичны в контрольном и опытном образцах, их можно связать с разрушением структуры почвы при больших дозах полива. На глубине 5–20 см содержание агрономически ценных фракций выросло на 11–14%, что может быть связано с воздействием корневых систем травянистых растений, выращенных в ходе эксперимента.

**Рис. 5.**  
Профильное распределение фракций структурно-агрегатного состава исследуемых почв





**Рис. 6.** Профильное распределение содержания агрономически ценных фракций размером от 0,25 до 10 мм

На глубине 20–50 см для опытного и контрольного образцов отмечены разные тенденции изменения структурно-агрегатного состава почвы: в контрольном образце – улучшение структурно-агрегатного состава почвы по сравнению с исходной почвой, а в опытном – ухудшение. В целом структурное состояние почв в вегетационных сосудах оценивается в горизонтах 0–5 см и 5–20 см как хорошее, а в слое 20–50 см – как удовлетворительное для контрольного образца и неудовлетворительное – для опытного образца.

### Вывод

Оценка воздействия расчетной атмосферной нагрузки флотореагента на серую лесную мощную среднесуглинистую почву позволяет говорить о том, что его поступление

в почву с пылевыми выбросами не оказывает негативного влияния на актуальную кислотность и содержание гумуса в почвах. Остается открытым вопрос о тенденциях изменения структурно-агрегатного состава почвы. Воздействие флотореагента (с учетом расчетного накопления действующего вещества) ограничено, но возможно определенное воздействие собственно хвостов. Для получения статистически достоверных данных необходимы дополнительные (продолжительностью не менее 1–2 лет) исследования воздействия на структурно-агрегатный состав почвы именно хвостов. ●

### Литература

- Петин А.Н. Геоэкологическая обстановка и проблемы рационального недропользования в железорудном бассейне КМА // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 6. С. 315–322.
- Анисимов В.Н., Котенко Е.А., Кушнаренко В.К., Морозов В.Н. Пути решения геоэкологических проблем безопасной эксплуатации горно-металлургического комплекса КМА // Научный симпозиум «Неделя горняка» МГУ. М., 2001.
- Корнилов А.Г., Петин А.Н., Кичигин Е.В., Присный Ю.А., Колчанов А.Ф., Присный А.В. Современные изменения природных комплексов в Старооскольско-Губкинском промышленном районе Белгородской области // Известия РАН. Серия географическая. 2008. № 2. С. 85–92.
- Чепелев О.А. Изучение пыления хвостохранилищ и отвалов Лебединского горно-обогатительного комбината при помощи оптического анализатора аэрозолей // Проблемы региональной экологии. 2011. № 2. С. 45–48.
- Электронный ресурс: [http://www.chemport.ru/chemical\\_encyclopedia\\_article\\_4042.html](http://www.chemport.ru/chemical_encyclopedia_article_4042.html).
- Справочник по обогащению руд. Основные процессы / Под ред. О.С. Богданова. Недра. 1983. Электронный ресурс: <http://www.markmet.ru/kniga-po-metallurgii/spravochnik-po-obogashcheniyu-rud-osnovnyye-protsessy>.
- ГН 2.1.7.2041-06 Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве.