

УДК 504.064.4

DOI 10.18413/2075-4671-2018-42-3-467-477

**ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И РЕКУЛЬТИВАЦИЯ  
ОТВАЛОВ КАРЬЕРА ПО ДОБЫЧЕ МЕРГЕЛЯ****ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT AND RECLAMATION  
OF MARL QUARRY DUMPS****А.В. Алексеенко<sup>1</sup>, К. Дребенштедт<sup>2</sup>  
A.V. Alekseenko<sup>1</sup>, C. Drebenstedt<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Санкт-Петербургский горный университет,  
Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, 21 линия В.О., 2<sup>2</sup>Технический университет Фрайбергская горная академия,  
Германия, 09599, г. Фрайберг, Академиштрассе, 6<sup>1</sup> Saint Petersburg Mining University,  
2, 21<sup>st</sup> Line V.O., Saint Petersburg, 199106, Russia<sup>2</sup>Technische Universität Bergakademie Freiberg,  
6 Akademiestraße, Freiberg, 09599, Germany

E-mail: alekseenko\_av@pers.spmi.ru

**Аннотация**

Экологическое состояние отвалов карьера по добыче мергеля и прилегающих территорий Новороссийской промышленной агломерации оценено на основе результатов полевых замеров концентраций пыли в воздухе (фракции 1–10 мкм) и аналитического определения содержаний химических элементов в пробах почв и цементного сырья методами спектрально-эмиссионного анализа и атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. Установлено, что пыление нерекультурированных отвалов в условиях сухого субтропического климата и высоких значений pH почв приводит к формированию полиэлементных техногенных геохимических аномалий Pb, Zn, Cu, Ba и Sr. Полученные данные использованы при подборе наиболее эффективного способа рекультивации отвалов с применением геомата и гидропосева мелиорантов с семенами закрепляющих почву травянистых видов растений.

**Abstract**

The environmental impact of abandoned marl quarry dumps was assessed in the city of Novorossiysk at the Black sea coast of the Northwestern Caucasus (Krasnodar Krai, Russia). Portland cement has been produced there since 1882 and dumps of overburden rocks and off-grade marl have been formed at the northeastern slope of the Markoth Range as a result of longtime open-cast mining of the raw material. The conducted ecological investigation included dust content measurements (PM1–PM10); soil, rock and dust sampling; analytical study of chemical composition of the specimens by spectral emission analysis and atomic-emission spectrometry with inductively coupled plasma. It was found that fugitive dust emission from abandoned dumps led to accumulation of a multi-element lithochemical anomaly of Pb, Zn, Cu, Ba and Sr. Considering dumps as a key source of dust in the atmospheric air, the following reclamation measures are proposed. At the technical stage, slopes of the dumps will be covered with a three-dimensional erosion control mat. The subsequent hydroseeding will allow ensuring complete coverage of the slope surface with grass in a short time and at the lowest cost.

**Ключевые слова:** загрязнение почв, геохимические исследования, отвалы горного производства, восстановление ландшафтов, зонирование территории.

**Keywords:** soil pollution, geochemical exploration, mine dumps, land restoration, ecological zoning.



## Введение

Новороссийск – город на побережье Цемесской (Новороссийской) бухты Черного моря в юго-западной части Краснодарского края с населением более 300 тыс. жителей. После открытия одного из крупнейших в мире месторождений мергеля в 1882 г. в городе началась его открытая разработка для производства цемента. Основным видом деятельности завода в настоящее время является производство сульфатостойкого портландцемента со среднегодовым выпуском, составляющим, по данным предприятия, около 500 тыс. т. Кроме того, Новороссийская агломерация является важным промышленно-транспортным центром и входит в число крупнейших европейских городов-портов. Помимо цементной, строительной и пищевой промышленности, в городе развита сфера туристическо-рекреационных услуг.

В Новороссийской промышленной агломерации отходы, образованные при добыче цементного сырья, представляют опасность для окружающей среды вследствие пыления и эрозии. Сдуваемая с породных отвалов пыль представляет угрозу при попадании в дыхательные пути, сорбирует содержащиеся в атмосферном воздухе поллютанты и осаждается на поверхности почвы, усиливая загрязнение селитебных ландшафтов. В связи с этим, выполнение эколого-геохимического исследования Новороссийской промагломерации с выделением неблагоприятных зон необходимо для проведения рекультивации и снижения техногенной нагрузки отвалов горного производства на природную среду.

## Объекты и методы исследования

Город Новороссийск вытянулся амфитеатром на 25 км вокруг Цемесской бухты и окружен горами Северо-Западного Кавказа. Территория города имеет сложный гористый, сильно пересеченный рельеф, основным морфологическим элементом которого является хребет Маркотх, представляющий собой оконечность Главного Кавказского хребта. Большая часть территории лишена древесной растительности. Южная часть покрыта низкорослым лесом и кустарниками из сухолюбивых пород. Вершины гор и хребтов выше 400 м безлесны и покрыты горно-степной и горно-луговой растительностью [Нагалецкий и др., 2004]. Климатические особенности оказывают существенное влияние на миграцию и концентрацию химических элементов в рассматриваемом регионе. Средняя годовая температура в городе превышает +10 °С. Среднегодовое количество атмосферных осадков в Новороссийске в среднем составляет около 700 мм. Выпадают осадки главным образом в виде дождей, устойчивый снежный покров не образуется. Среди главных метеорологических особенностей города Новороссийска и прилегающих территорий стоит отметить сильные ветры северо-восточного и южного направлений [Торопов, Шестакова, 2014]. Из-за расположения отвалов на склоне Маркотхского хребта, при наиболее частых ветрах северо-восточного направления пыль переносится в сторону города.

Для изученной территории Новороссийской агломерации характерны антропогенно нарушенные почвы ландшафтов города и отвалов, имеющие различные классификационные названия – урбаноземы, техноземы, техногенные поверхностные образования [Герасимова и др., 2003]. В целом, для города характерны слабоструктурированные почвы, отличающиеся низким содержанием гумуса. Особенностью данных почв является большое процентное содержание включений техногенного происхождения. В пределах ненарушенных ландшафтов изучаемого района выделены следующие типы почв: горно-лесные дерново-карбонатные, бурые горно-лесные, серые горно-лесные [Белюченко, 2005].

Образующиеся при разработке используемых в цементном производстве мергелей отходы вскрышной породы и некондиционного сырья с 1960-х гг. транспортировались автосамосвалами и размещались на двух внешних отвалах на склонах Маркотхского хребта (рис. 1). Так как мощность плодородного слоя почв составляла менее 10 см, снятие

его проводилось валовым способом, без разделения совместно залегающих подстилающих пород и почв. Территория двух групп отвалов составляет 15 га, они расположены на высотах 100–150 м над уровнем Цемесской бухты. На данный момент отвальные работы в карьере не ведутся, так как необходимый объем вскрышных пород снят. Внешние породные отвалы карьера относятся к площадным нарушенным территориям, поскольку их длина ( $L$ ) и ширина ( $B$ ) различаются незначительно,  $L \approx B$ . Согласно классификации нарушенных земель для рекультивации [ГОСТ 17.5.1.02-85, 1986] данные насыпные массивы можно отнести к платообразным террасированным высоким и очень высоким внешним отвалам: высота относительно естественной поверхности от 50 до 100 м, угол откоса уступов до  $45^\circ$ .



Рис. 1. Отвалы вскрышных пород и некондиционного мергеля на северо-восточных склонах Маркотхского хребта (источник: [www.strana.ru](http://www.strana.ru))

Fig. 1. Dumps of overburden rocks and off-grade marl at the northeastern slope of the Markoth Range (credits: [www.strana.ru](http://www.strana.ru))

Полевые исследования на территории Новороссийской промышленной агломерации, а также на прилегающих к мергелевому карьере территориях и отвалах, проведены в течение летних сезонов 2014 и 2015 гг. При полевых работах проведено опробование верхнего (0–5 см) горизонта почв, являющегося наиболее индикативной с точки зрения загрязнения частью почвенного покрова – депонирующей геохимической средой. Работы велись по регулярной сетке с шагом 1 км, являющейся наиболее репрезентативной в условиях исследования промышленной агломерации, покрывающей все основные геохимические ландшафты территории исследования (65 проб). Заложены 4 почвенных разреза в пределах жилой части города и на отвалах с погоризонтным описанием и отбором образцов (17 проб). Полевые замеры концентраций пыли в воздухе (фракции PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>4</sub> и PM<sub>10</sub> – 1.0, 2.5, 4.0 и 10 мкм) были проведены с применением пылемера DustTrak 8533 («TSI Inc.», США). Измерения выполнялись по прореженной регулярной сетке, совпадающей со схемой опробования почвенного покрова. Содержание пыли анализировалось в трехкратной повторности на высоте 1.5 м в 46 точках.

В Научно-образовательном центре коллективного пользования Санкт-Петербургского горного университета проведены лабораторные анализы образцов поверхностных горизонтов



почв, включавшие определение концентраций химических элементов, величины рН, а также гранулометрического состава. Концентрации 53-х микроэлементов определены в 25 пробах на оптическом эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ICPE-9000 («Shimadzu», Япония). Все рядовые эмиссионные спектральные анализы проб почв и цементного сырья проводились в аккредитованной лаборатории «Кавказгеолсъемка», ОАО «Росгеология» на приборе ДФС-8-1 («Спектральная лаборатория», Россия). Геохимический метод обработки данных включал в себя расчет геохимических показателей и коэффициентов, КК (кларков концентрации) и КР (кларков рассеяния) химических элементов [Перельман, Касимов, 1999].

### Результаты и их обсуждение

Попадающие в атмосферный воздух при пылении отвалов мелкодисперсные твердые частицы с аэродинамическим диаметром  $\leq 1$  мкм (PM1),  $\leq 2.5$  мкм (PM2.5) и  $\leq 10$  мкм (PM10) являются наиболее важными в экологических исследованиях [O'Dowd et al., 2002; Юсупов и др., 2014; ГОСТ Р ИСО 13271-2016, 2017]. По данным ВОЗ, содержание фракции твердых частиц PM2.5 в воздухе считается в настоящее время лучшим показателем уровня воздействия на окружающую среду [Burden..., 2014]. При многолетнем вдыхании воздуха с высоким содержанием частиц диаметром менее 2.5 мкм с альвеолярным осаждением в организме человека [Намазбаева и др., 2013] отмечено прогрессирование ряда заболеваний, что приводит к среднему сокращению ожидаемой продолжительности жизни приблизительно на 1 год [Adapting..., 2008].

Исследование загрязнения атмосферного воздуха в Новороссийской промышленной агломерации показало, что на отвалах и в непосредственной близости от них (на расстоянии до 100 м) среднее содержание суммы частиц PM1–PM10 достигает значений  $0.594 \text{ мг/м}^3$ , наибольшая же концентрация по результатам трехкратного замера доходит до  $2.680 \text{ мг/м}^3$ . При этом в атмосферном воздухе ненарушенной территории, находящейся к северо-востоку от Маркотхского хребта и испытывающей значительно меньшее техногенное воздействие, среднее содержание суммы тех же фракций составляет  $0.060 \text{ мг/м}^3$ , доходя до максимального значения  $0.132 \text{ мг/м}^3$ . Среднее содержание фракции PM2.5 в районе расположения отвалов ( $0.134 \text{ мг/м}^3$ ) более чем в 2 раза превышает средние величины, характерные для фоновых территорий ( $0.050 \text{ мг/м}^3$ ). Эти результаты соответствуют осредненным данным, показывающим, что общая концентрация PM2.5 примерно в 2 раза выше в воздухе города, чем сельской местности [Pöschl, 2005]. При происходящем ветровом переносе твердые частицы оказываются на западном побережье Цемесской бухты, что приводит к росту концентраций суммы фракций в 2.5–3.0 раза в сравнении с фоном. В городских ландшафтах аэрозоли вступают в реакции с прочими примесями. Расчетные среднемировые данные [Karagulian et al., 2015] показывают, что 25 % городских твердых частиц фракции PM2.5 образуются в связи с дорожным движением, 15 % выделяются промышленностью, в том числе при производстве электроэнергии, 20 % возникают от бытового сжигания топлива, 22 % – от прочих неустановленных техногенных источников, и 18 % – от естественной пыли и морской соли.

Формирование новых аэрозолей в воздухе происходит со средней скоростью до 100 частиц на  $\text{см}^3$  за 1 с, а увеличение размера частиц за счет образования связей составляет от 1 до 25 нм в час, причем процесс проходит намного интенсивнее в течение лета, чем зимой [Kulmala et al., 2004]. Химические реакции протекают как на поверхности, так и в объеме твердых и жидких аэрозольных частиц и могут влиять на химический состав газовой фазы в атмосфере, а также на свойства атмосферных частиц и их воздействие на климат и здоровье человека. Из-за большой площади реакционной поверхности мелкие аэрозольные частицы вступают в активные взаимодействия с газами: окисление, кислотно-основные реакции, гидролиз, конденсация и другие процессы [Pöschl, 2005].

Таким образом, взаимодействие первичных сдуваемых с отвалов пылевидных твердых частиц с содержащимися в атмосферном воздухе примесями ведет к формированию вторичных загрязненных аэрозолей. Поскольку постоянное измерение их концентраций остается затруднительным, наиболее индикативным показателем экологического состояния ландшафтов является почвенный покров – депонирующая среда, отражающая суммарный итог техногенного воздействия на окружающую среду.

Для оценки основных источников загрязнения территории Новороссийской промышленной агломерации под воздействием горноперерабатывающего цементного производства сопоставлены результаты химико-аналитического определения состава почв незагрязненных лесных ландшафтов Северо-Западного Кавказа [Алексеев и др., 2008] и производимого портландцемента и пылевых выбросов предприятия (табл. 1)

Таблица 1

Table 1

Средний химический состав почв ненарушенных территорий, производимого портландцемента и выбросов предприятия ОАО «Новоросцемент», мг/кг  
 Averaged chemical composition of background soils, Portland cement and dust emissions of the Novorscement JSC, mg/kg

Объект анализа	Ba	Co	Cr	Cu	Li	Mo	Ni	Pb	Sn	Sr	V	Zn
Фоновые почвы	800	21.0	137.0	58.0	52.0	2.6	48.0	42.0	5.1	340.0	143.0	123.0
Портланд-цемент	1200	13.0	86.0	82.0	46.0	2.2	28.0	64.0	3.8	9.0	52.0	170.0
Пылевые выбросы	1000	6.0	60.0	40.0	40.0	2.0	10.0	2000	2.0	5.0	20.0	100.0

Геохимическая трансформация территории почв Новороссийской промышленной агломерации в условиях пылевой нагрузки может быть оценена путем сопоставления содержаний в них элементов со среднемировыми концентрациями. По предложению Н.С. Касимова и Д.В. Власова [Касимов, Власов, 2015], рассчитаны КК и КР (кларки рассеяния – превышение содержания элемента в геосфере над содержанием в изучаемых почвах) относительно кларков верхней части континентальной земной коры различных авторов: для Мо и Ва – кларк Р.Л. Рудник, С. Гао [Rudnick, Gao, 2003], Bi, Co, Cu и V – Ж. Ху, С. Гао [Hu, Gao, 2008], Sn – К.Х. Ведеполь [Wedepohl, 1995], As, Cr, Ni, Pb, Sr, W и Zn – Н.А. Григорьева [Григорьев, 2009]. Построенный геохимический спектр (рис. 2) характеризует региональную литохимическую специфику изучаемой территории. Выделяемая при этом аномалия, включающая 9 элементов с КК>1.5, отражает состав почвообразующих мергелевых пород и позволяет выделить группу элементов, имеющих относительно высокие концентрации в местных геохимических условиях.

Для более детальной характеристики уровня загрязнения рассчитано превышение содержаний элементов в техногенно нарушенных почвах относительно фоновых почв [Алексеев и др., 2008]. Особенности загрязнения почв Новороссийской промагломерации, выявленные путем сравнения с кларками почв селитебных ландшафтов [Алексеев, Алексеев, 2014], демонстрируют более узкую группу приоритетных загрязняющих элементов. Средние превышения содержаний металлов в почвах промышленной агломерации относительно фоновых величин составляют: Sr<sub>2,5</sub>Zn<sub>1,7</sub>Pb<sub>1,7</sub>Cu<sub>1,3</sub>Ba<sub>1,2</sub>. При этом максимальные превышения относительно фона доходят до значений Zn<sub>16</sub>Pb<sub>14</sub>Cu<sub>5</sub>Sr<sub>5</sub>Ba<sub>4</sub>. Проведенные замеры содержания пыли на высоте 1,5 м позволяют предположить, что в условиях резкого преобладания дующего со стороны отвалов ветра, механически сдуваемая с незадернованной поверхности пыль размером 1–10 мкм переносится в направлении центра и жилых районов агломерации. Обладая высокой сорбционной способностью, пыль поглощает содержащиеся в атмосферном

воздухе примеси, осаждая их на почвенный покров и формируя в поверхностном горизонте геохимические аномалии, площадь которых достигает 5 км<sup>2</sup>.

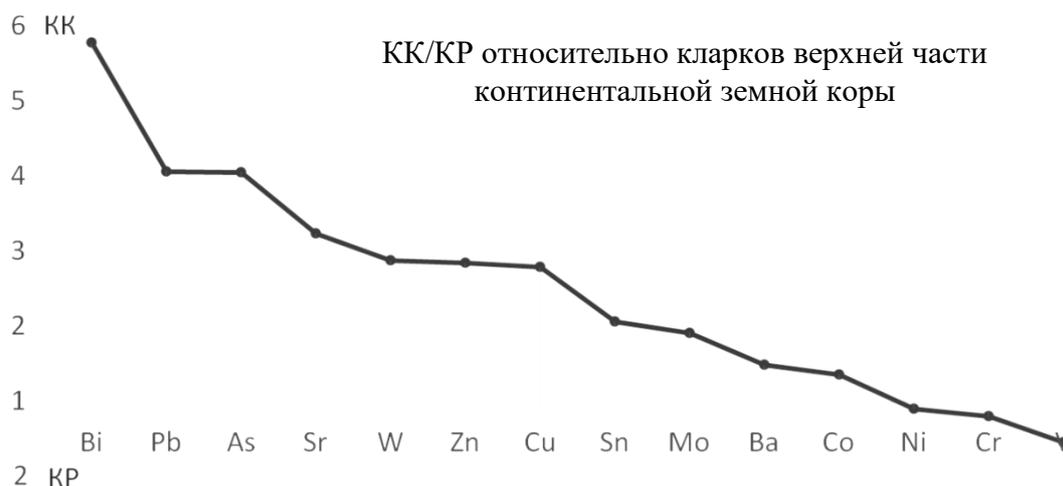


Рис. 2. Геохимические спектры почв Новороссийской промышленной агломерации относительно кларков верхней части континентальной земной коры

Fig. 2. Accumulation of the chemical elements in the soil cover of Novorossiysk city as compared to the upper continental crust

Установленные в России санитарно-гигиенические нормативы были использованы в качестве критериального уровня при оценке экологической опасности загрязнения почвенного покрова. Расчет показал, что максимальные превышения ПДК/ОДК в отдельных точках доходят до значений  $As_{50}Pb_{19}Zn_9Cu_2$ . При этом на долю территории с превышением ПДК/ОДК химических элементов в почвах агломерации (рис. 3) приходится от менее чем 30 % (Cu, Zn) до 62 % (Pb) и 100 % (As). Появление As в ряду элементов, представляющих угрозу окружающей среде и здоровью человека, и повсеместное превышение допустимого уровня его концентрации обусловлено повышенным региональным фоном, что было отмечено при построении геохимического спектра относительно кларка верхней части континентальной земной коры (см. рис. 2). В сравнении же с местными ненарушенными лесными ландшафтами, данный металлоид в городских почвах не накапливается.

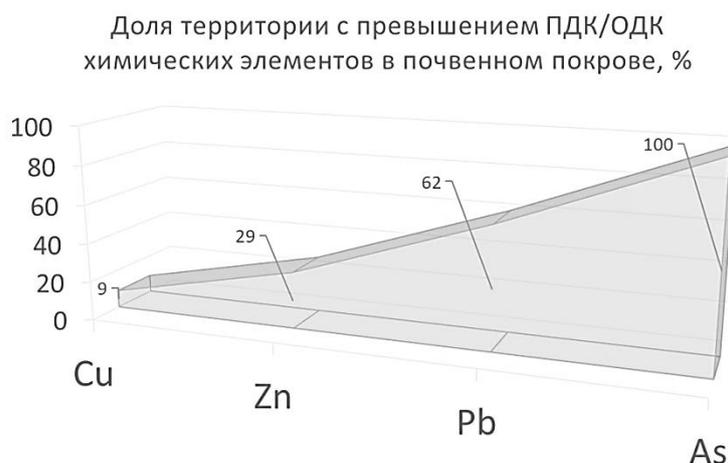


Рис. 3. Характеристика превышения санитарно-гигиенических нормативов содержаний химических элементов в почвах Новороссийской агломерации

Fig. 3. Percentage of the most polluted areas, where contents of heavy metals and metalloids in soil cover exceed the state-established maximum permissible levels

Полученные данные и проведенное ранжирование территории характеризуют состояние окружающей среды горнопромышленной агломерации, а также позволяют проводить разработку мероприятий по ее улучшению с применением различных подходов к инженерной защите окружающей среды, таких как техническая и биологическая рекультивации. Проект рекультивации отвалов в Новороссийской промышленной агломерации направлен на предотвращение дефляционных и эрозионных процессов путем закрепления почвенного покрова и создания устойчивого биогеоценоза. Геоморфологические характеристики отвалов обуславливают необходимость проведения специализированных работ на склоновых участках крутизной от 15 до 45°. Закрепление почвенно-растительного покрова на склоновых частях отвалов требует первоначальной стабилизации поверхности откосов. Наиболее эффективным в данных условиях является использование таких геосинтетических материалов, как геомат, георешетка и геосетка [Малинина и др., 2012]. В табл. 2 приведена сравнительная характеристика свойств возможных покрытий для укрепления откосов на основании данных [www.miakom.ru](http://www.miakom.ru), из которой видно, что при наименьшей потребности в засыпке грунтом по ряду ключевых показателей геоматы не уступают аналогичным типам покрытий. Таким образом, рекомендуется использование геоматов с последующим гидропосевом плодородной смеси и семян травянистых и кустарниковых растений [Тохтарь и др., 2012].

Таблица 2

Table 2

Сравнительные характеристики геосинтетических материалов  
Comparative data on the main properties of geosynthetic materials

<i>Тип покрытия</i>	Геомат	Георешетка	Геосетка
<i>Характеристики</i>			
Материал	Полипропилен и полиэфир	Полипропилен	Полиэфир
Предел прочности на разрыв, кН/м (средн., мин.–макс.)	50 (20–200)	20 (18–28)	20 (30–150)
Удлинение, %	13	30–50	15
Толщина, мм	13–15	50–100	12
Допустимая температура эксплуатации, °С	–30...+100	–60...+55	–15...+250
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Не менее 550	Не менее 570	Не менее 300
Необходимость засыпки грунтом, мм	25–50	100–150	80–100
Вес, г/м <sup>2</sup>	400–800	320–1520	250–950
Цена, Р/м <sup>2</sup>	80–155	70–358	50–124

Геомат – рулонный материал, представляющий собой трехмерную структуру из переплетенных волокон из полипропиленового и полиэфирного сырья. При укреплении им откосов, защита от эрозии будет достигаться благодаря выполнению функций покрытия, повышающего устойчивость откосов, и фильтра, предотвращающего вынос тонких почвенных фракций с атмосферными осадками. Рекультивация с использованием геомата (рис. 4) включает следующие подэтапы.

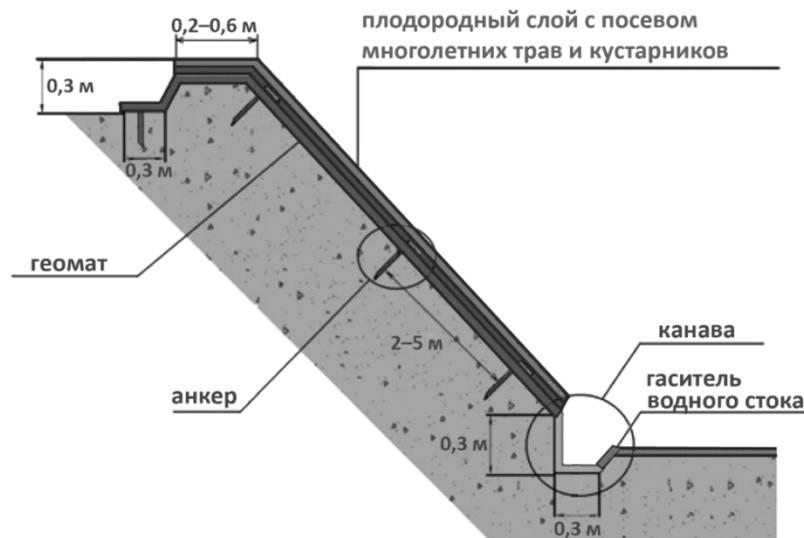


Рис. 4. Схема укладки геомата на откосах отвалов  
 Fig. 4. Application of the geosynthetic cover at dump slopes

I. *Планировка поверхности.* Перед укладкой противоэрозионных геоматов требуется выравнивание террас ниже и выше укрепляемого откоса с помощью механизированных средств [Голик, Коваленко, 2003]. При проведении работ не должна применяться гусеничная техника, приводящая к большему уплотнению почвы, чем при использовании колесной [Ghose, 2005]. Степень разрыхленности почвы крайне важна для закрепления корневых систем, определяющих способность растения максимально полно закрепиться на рекультивируемой поверхности и обеспечивающих доступ к большим объемам воды и питательным веществам в почве. Растения, выращенные на разрыхленной почве, имеют корневые структуры с широким вертикальным и горизонтальным проникновением, что увеличивает устойчивость субстрата, необходимую для успешного завершения рекультивации.

II. *Подготовка траншей ниже склона и на террасе выше склона вдоль бровки земляного полотна для закрепления геоматов.* После планирования поверхности необходимо заложение траншей трапециевидного сечения с глубиной 0,3 м и шириной в нижней части 0,3 м на расстоянии 0,2–0,6 м от бровки земляного полотна выше склона; также необходимо устройство аналогичной по размерам канавы в основании откоса для гашения водного потока со склона и осуществления водостока, не приводящего к размыву поверхности террасы.

III. *Укладка геоматов должна производиться сверху вниз с заделкой его в верхней части анкерами, в заранее подготовленных анкерных траншеях.* Геоматы транспортируются всеми видами крытого транспорта. Раскатка рулона геомата осуществляется вручную. Анкерные траншеи после укладки геоматов заполняют почвой и уплотняют. Соседние полотна укладываются параллельно с нахлестом не менее 0,2 м и закреплением скобами-анкерами диаметром 3–5 мм и длиной 30 см с отогнутым верхним и заостренными нижними концами, изготавливаемыми из проволоки на месте производства работ. Необходимое для укладки и монтажа геоматов время составит 21 рабочий день с учетом суточной рабочей нормы, составляющей 15 геоматов в день. Покрывание геоматов почвой осуществляется с помощью экскаваторов сверху вниз, выравнивание и уплотнение грунта осуществляется вручную с постепенным перемещением по линии фронта работ. Объем плодородных почв, который необходим для привнесения на спланированную поверхность отвала, устанавливается с учетом требований выбранного санитарно-гигиенического направления рекультивации.

IV. *Для посева сообщества травянистых растений на откосах породных отвалов необходимо применение гидросеялки.* В ней смешиваются все компоненты раствора, с

помощью которого будет выполнен гидропосев. Оборудование подает смесь из машины через шланг и распыляет ее под большим давлением. Спустя несколько часов нанесенный раствор подсыхает. На поверхности почвы образуется корка, защищающая семена от смывания атмосферными осадками, сдувания ветром и поедания птицами. Под коркой создаются оптимальные условия для прорастания семян. Технология гидропосева газона предусматривает использование водного раствора, который распыляется по участку и включает следующие компоненты.

*Семена трав.* На первом этапе рекультивации целесообразно использовать многолетние травы, преимущественно злаки. Данная группа растений обладает высокой продуктивностью, а также быстро образует дернину, защищая поверхность от ветровой и водной эрозии. Помимо этого, злаки малотребовательны к плодородию почвы и большинство их видов переносят недостаток влаги. Оптимальным будет использование распространенных на Северо-Западном Кавказе злаков, обладающих хорошей способностью к образованию дерновой подстилки: пырей гребенчатого (*Agropyron cristatum*), бородача кровоостанавливающего (*Botriochloa ischaemum*), коротконожек (*Brachypodium spp.*).

*Удобрения.* Вносимые с водным раствором мелиоранты улучшают химический состав почвы, обеспечивают быстрое образование корневой системы, способствуют росту травянистого яруса. Для проведения гидропосева необходимо комплексное водорастворимое удобрение, в состав которого в соотношении 1:1 входят гранулы немедленного действия и гранулы в полимерной оболочке. Содержание азота должно составлять не менее 20 %, фосфора – 25 %, калия – 5 %. В течение 2–3 лет весной или осенью должна вноситься подкормка для растений в объеме не менее 50 кг/га. Уход за рекультивируемым участком необходимо проводить до достижения травами проективного покрытия 60–70 % [Ghose, 2005].

*Гидрогель* для накопления в связанной форме влаги, которая будет поглощаться растениями в периоды между поливами. В качестве основы должен использоваться полиакриламид или иной полимер с накапливающей способностью не менее 0,1 л воды на 1 г сухого вещества.

*Мульчирующий материал* на основе древесных опилок, пригодный для покрытия редко обрабатываемой и не перекапываемой почвы (с периодом разложения не менее одного года), являющийся своеобразным «проявителем», который позволяет равномерно нанести раствор. В качестве связующего вещества необходимо использование *клейковины*.

Конечным результатом производства рекультивации откосов должен быть переход территории техногенных отвалов в биокосную систему, характеризующуюся высокой устойчивостью к эрозионным процессам и возможностью функционирования без дополнительного вмешательства человека.

## Выводы

Сформированные в условиях сухого субтропического климата и высоких значений рН почв при добыче цементного сырья нерекультурованные отвалы изменяют экологическую обстановку при пылении, влияя на формирование полиэлементных техногенных геохимических аномалий Pb, Zn, Cu, Ba и Sr площадями до 5 км<sup>2</sup>. Отвалы воздействуют на атмосферный воздух и почвенный покров, ухудшая экологическую обстановку в городе. Проведенный анализ возможных технологий закрепления поверхности показал, что оптимальный результат в местных условиях достигается покрытием откосов геоматом. Волоконная структура противоэрозионного геомата должна состоять из нескольких слоев полипропиленовых экструдированных решеток, наложенных друг на друга и связанных с помощью полипропиленовой нити механическим или термическим способом. Такая конструкция геомата, включающая большое количество пустот, позволит создать оптимальные условия укоренения растений после гидропосева смеси мелиорантов и семян кустарниковых растений.



*Химико-аналитические исследования проведены на базе оборудования Центра коллективного пользования Горного университета. Компьютерное моделирование выполнено с использованием аппаратного и программного обеспечения Фрайбергской горной академии.*

### Список литературы References

1. Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. 2014. Химические элементы в городских почвах. М., Логос, 312.  
Alekseenko V.A., Alekseenko A.V. 2014. Himicheskie ehlementy v gorodskih pochvah. [Chemical elements in urban soils]. Moscow, Logos, 312. (in Russian)
2. Алексеенко В.А., Суворинов А.В., Власова Е.В. 2008. Металлы в окружающей среде. Лесные ландшафты Северо-Западного Кавказа. М., Университетская книга, 264.  
Alekseenko V.A., Suvorinov A.V., Vlasova E.V. 2008. Metally v okruzhayushchej srede. Lesnye landshafty Severo-Zapadnogo Kavkaza [Metals in the environment. Forest landscapes of the Northwest Caucasus]. Moscow, Universitetskaya kniga, 264. (in Russian)
3. Белюченко И.С. 2005. Экология Кубани. Краснодар, Изд-во КГАУ, 513.  
Belyuchenko I.S. 2005. Ekologiya Kubani [Kuban Ecology]. Krasnodar, Izd-vo KGAU, 513. (in Russian)
4. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. 2003. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация \ Под ред. Г.В. Добровольского. М., Ойкумена, 266.  
Gerasimova M.I., Stroganova M.N., Mozharova N.V., Prokof'eva T.V. 2003. Antropogennye pochvy: genesis, geografiya, rekultivaciya [Anthropogenic soils: genesis, geography, and rehabilitation] \ Ed. Dobrovolskiy G.V. Moscow, Oikumena, 266. (in Russian)
5. Голик Т.В., Коваленко В.С. 2003. Методика расчета объемов работ по выколаживанию и террасированию откосов отвала при рекультивации. Горный информационно-аналитический бюллетень. 1: 38–40.  
Golik T.V., Kovalenko V.S. 2003. Method of calculating the amount of reclamation work on planning and terracing of dump slopes. Mining Information and Analytical Bulletin, 1: 38–40. (in Russian)
6. ГОСТ 17.5.1.02-85. Охрана природы. Земли. Классификация нарушенных земель для рекультивации. Дата введения 01.01.1986.  
GOST 17.5.1.02-85. Nature protection. Lands. Classification of disturbed lands to be recultivated. Date of introduction 01.01.1986. (in Russian)
7. ГОСТ Р ИСО 13271-2016. Выбросы стационарных источников. Определение массовой концентрации твердых частиц PM(10)/PM (2.5) в отходящих газах. Измерение при высоких значениях массовой концентрации с применением виртуальных импакторов. Дата введения 01.12.2017.  
GOST R ISO 13271-2016. Stationary source emissions. Determination of PM10/PM2.5 mass concentration in flue gas. Measurement at higher concentrations by use of virtual impactors. Date of introduction 01.12.2017. (in Russian)
8. Григорьев Н.А. 2009. Распределение элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург, УРО РАН, 383.  
Grigoriev N.A. 2009. Raspredelenie elementov v verhnjej chasti kontinentalnoj kory [Chemical element distribution in the upper continental crust]. – Ekaterinburg, URO RAN, 383. (in Russian)
9. Касимов Н.С., Власов Д.В. 2015. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии. Вестник Московского университета. География, 2: 7–17.  
Kasimov N.S., Vlasov D.V. 2015. Clarkes of chemical elements as comparison standards in ecogeochemistry. Moscow University Bulletin. Geography, 2: 7–17. (in Russian)
10. Малинина Т.А., Дюков А.Н., Голядкина И.В. 2012. Применение полимеров для закрепления эродлируемых субстратов при рекультивации техногенных ландшафтов курской магнитной аномалии. Лесотехнический журнал, 3: 50–54.  
Malinina T.A., Dyukov A.N., Golyadkina I.V. 2012. Application of polymers for fixing eroded substrates during reclamation of technogenic landscapes of the Kursk magnetic anomaly. Forestry Engineering Journal, 3: 50–54. (in Russian)
11. Нагалецкий Э.Ю., Нагалецкий Ю.Я., Папенко И.Н. 2004. География земельных мелиораций Краснодарского края. Краснодар, КубГАУ, 256.  
Nagalevskij E.Yu., Nagalevskij Yu.Ya., Papenko I.N. 2004. Geografiya zemelnyh melioracij Krasnodarskogo kraja [Geography of land reclamation in Krasnodar Krai]. Krasnodar, KubGAU, 256. (in Russian)

12. Намазбаева З.И., Базелюк Л.Т., Ешмагамбетова А.Б., Пудов А.М. 2013. Взвешенные вещества атмосферы и донозологические изменения у детей промышленного города. *Токсикологический вестник*, 3: 15–20.
- Namazbaeva Z.I., Bazelyuk L.T., Eshmagambetova A.B., Pudov A.M. 2013. Suspended substances of the atmosphere and donosological changes of the children of the industrial city. *Toxicological Review*, 3: 15–20. (in Russian)
13. Перельман А.И., Касимов Н.С. 1999. Геохимия ландшафта. М., Астрейя-2000, 762.
- Perelman A.I., Kasimov N.S. 1999. *Geohimiya landshafta [Landscape geochemistry]*. Moscow, Astreya-2000, 762. (in Russian)
14. Торопов П.А., Шестакова А.А. 2014. Оценка качества моделирования новороссийской боры с помощью WRF-ARW. *Метеорология и гидрология*. 7: 38–51.
- Toropov P.A., Shestakova A.A. 2014. Quality assessment of Novorossiysk bora simulation by the WRF-ARW model. *Russian Meteorology and Hydrology*, 39 (7): 458–467.
15. Тохтарь В.К., Мартынова Н.А., Корнилов А.Г., Петин А.Н. 2012. Опыт разработки эффективных способов биологической рекультивации отвалов ГОКов на юге Среднерусской возвышенности. *Проблемы региональной экологии*, 2: 83–86.
- Tohtar V.K., Martynova N.A., Kornilov A.G., Petin A.N. 2012. Experience in the development of effective methods for biological reclamation of dumps of GOKs in the south of the Central Russian Upland. *Regional Environmental*, 2: 83–86. (in Russian)
16. Юсупов Д.В., Радомская В.И., Павлова Л.М., Трутнева Н.В., Ильенок С.С. 2014. Тяжелые металлы в пылевом аэрозоле северо-западной промышленной зоны г. Благовещенска (Амурская область). *Оптика атмосферы и океана*, 27 (10): 906–910.
- Yusupov D.V., Radomskaya V.I., Pavlova L.M., Trutneva N.V., Penok S.S. 2014. Heavy metals in dust aerosols on the northwest industrial area of Blagoveshchensk (Amur region). *Optika Atmosfery i Okeana*, 27 (10): 906–910. (in Russian)
17. Adapting to climate change in England: a framework for action PB13137. London: Department for Environmental and Rural Affairs HM Government, 2008, 52.
18. Burden of Disease from Ambient Air Pollution for 2012, Description of Method, Version 1.3. WHO, Geneva. 2014, 3.
19. Ghose M.K. 2005. Soil conservation for rehabilitation and revegetation of mine-degraded. *TIDEE – TERI Information Digest on Energy and Environment*, 4 (2): 137–150.
20. Hu Z., Gao S. 2008. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update. *Chemical Geology*, 253 (3–4): 205–221.
21. Karagulian F., Belis C.A., Dora C.F.C. et. al. 2015. Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level. *Atmospheric Environment*, 120: 475–483.
22. Kulmala M., Vehkamaki H., Petaja T. et. al. 2004. Formation and growth rates of ultrafine atmospheric particles: a review of observations. *Journal of Aerosol Science*, 35: 143–76.
23. O'Dowd C.D., Aalto P., Hameri K. et. al. 2002. Aerosol formation: atmospheric particles from organic vapours. *Nature*, 416: 497–498.
24. Pöschl U. 2005. *Atmospheric Aerosols: Composition, Transformation, Climate and Health Effects*. *Angewandte Chemie International Edition*, 44: 7520–7540.
25. Rudnick R.L., Gao S. 2003. Composition of the continental crust. In: *Treatise on Geochemistry*, 3. The Crust. Elsevier Sci.: 1–64.
26. Wedepohl K.H. 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59 (7): 1217–1232.

### Ссылка для цитирования статьи

#### Reference to article

Алексеенко А.В., Дребенштедт К. Оценка воздействия на окружающую среду и рекультивация отвалов карьера по добыче мергеля // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2018. Т. 42, №3. С. 467-477. doi: 10.18413/2075-4671-2018-42-3-467-477

Alekseenko A.V., Drebenstedt C. Environmental Impact Assessment and Reclamation Of Marl Quarry Dumps. // *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series*. 2018. V. 42, №3. P. 467-477. doi: 10.18413/2075-4671-2018-42-3-467-477