

ВОЗМОЖНОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ РАЙОНОВ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЗОЛОТВАЛОВ

Н.Ю. Антонинова, Л.А. Шубина

Институт горного дела Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург

Приведены результаты исследований формирования на золоотвале естественных сообществ из высших растений. Определены и проанализированы возможности восстановления экологической ценности техногенно нарушенных экосистем. Предложен вариант использования собственных регенерационных возможностей экосистемы при поэтапном проведении технической рекультивации.

Ключевые слова: экологическая реабилитация, золоотвалы, техногенная нагрузка, самозарастание

Possibilities of Ecological Rehabilitation of Ash Disposal Areas

N.Yu. Antoninova, L.A. Shubina

Institute of Mining of Ural Branch of RAS, 620075 Yekaterinburg, Russia

The results of studies of the formation of natural communities of higher plants on the ash dump. Identified and analyzed the possibility of restoring the ecological value of disturbed ecosystems are presented. Offered the option of using its own regenerative capabilities in a phased carrying out technical reclamation.

Key words: environmental remediation, ash dump, industrial impact, self-overgrowing

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-03-49-53

По данным Свердловского областного кадастра отходов производства и потребления, всего по Свердловской области на конец 2017 г. в объектах размещения отходов и на территории хозяйствующих субъектов было накоплено 9,37 млрд т отходов производства и потребления, в том числе 0,23 млрд т отходов при обеспечении электроэнергией, газом и паром. Как правило, золошлаковые отходы (ЗШО) размещаются в специально оборудованных хвостохранилищах — золоотвалах, сложных гидротехнических сооружениях, представляющих пустующую, непригодную для хозяйственного использования территорию. На сегодняшний мо-

мент общая площадь занятых под золоотвалами территорий в Свердловской области составляет порядка 1900 га.

Одним из подобных объектов является золоотвал №2 Верхнетагильской ГРЭС. Топливом для ВТГРЭС долгое время являлся низкосортный каменный уголь экибастузского бассейна, зольность (содержание минеральных примесей) которого достигает 38–43 %. Технологией предусматривается сжигание угля в пылевидном состоянии и последующее удаление отходов производства — золы и шлаков — посредством гидротранспорта в накопители — золоотвалы. Площадь существующего золоотвала расположена в 2 км к

северо-востоку от г. Верхний Тагил (рис. 1), в подзоне южной тайги таежной зоны и находится на границе подзоны предлесостепных сосново-березовых лесов лесостепной зоны.

Согласно схеме биорекультивационного районирования Свердловской области, предложенной Колесниковым Б.П. и Лукьянец А.И., территория золоотвала расположена в зоне актуальной рекультивации в районе неотложной массовой рекультивации. Кроме того, данный район характеризуется наибольшим и повсеместным расположением промышленных отвалов, сформированных при добыче руд черных и цветных металлов.

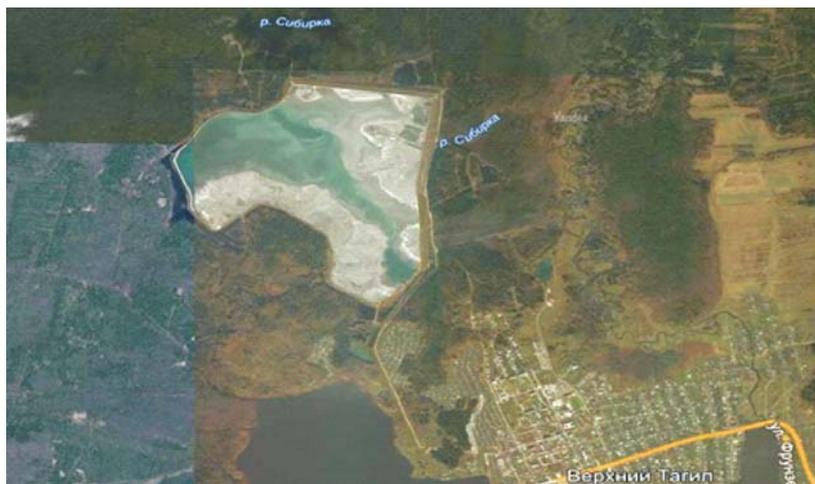


Рис. 1. Район расположения площадки размещения золоотвала ВТГРЭС (покрытие Google, 2016 г.)

Fig. 1. Area of the location of ash dump's placement VTGRES (Google cover 2016)

На залитых водой участках золошлаки находятся во взвешенном состоянии, в прибрежной зоне увлажнены (рис. 2, а), на пляжах представлены рыхлой, слабосцементированной массой (рис. 2, б).

Грунт золоотвала имеет рН, равный в среднем 9,46, и более чем на 80 % состоит из диоксида кремния. Влияние золоотвалов на окружающую среду несомненно.

Во-первых, это влияние проявляется в процессе изъятия из биологического круговорота вещества и энергии при отчуждении значительных земельных площадей, к тому же это часто происходит в районах, уже имеющих значительную техногенную нагрузку.

Во-вторых, возникшие на месте природного ландшафта техногенные образования изменяют эстетику местности, воз-

действуют на водные ресурсы и атмосферу не только в местах их создания, но и далеко за пределами. Следствием этого становится понижение экологической ценности ландшафта и качества жизни населения, т.е. экологический ущерб.

Таким образом, влияние золоотвалов, территорий размещения промышленных отходов на окружающую среду через изъятие земель превращается из локальной проблемы конкретного предприятия в региональную геоэкологическую проблему.

Емкость существующих отвалов периодически исчерпывается, и возникает вопрос о разработке эффективных мероприятий по экологической реабилитации нарушенных природных экосистем.

Так как экологическая реабилитация имеет своей целью

восстановление нарушенных земель с помощью природоохранных мероприятий, а одним из важных моментов является подбор соответствующего ассортимента растений, изначально на основе многочисленных работ разных исследователей были определены растительные жизненные формы, способные произрастать в данных условиях [2]. Вообще формирование на золоотвалах естественных растительных сообществ представляет особый интерес как в теоретическом, так и в практическом отношении.

Начальный этап заселения золоотвалов семенами высших растений начинается, как правило, одновременно с внесением в почву микроорганизмов. Формирование продуктивного почвенного и растительного покрова естественным путем происходит очень медленно, начинаясь с поселения случайных видов, преимущественно сорной флоры. Факторами, лимитирующими развитие естественного растительного покрова, являются не только неблагоприятные агрохимические показатели субстрата отвалов, но и их бесструктурность, что впоследствии приводит к пылению и переносу субстрата, в связи с которым растения не могут закрепиться на поверхности. Значительным препятствием для поселения растительности служит ещё и отсутствие расчленённого рельефа, не препятствующего значительному пылению поверхности, и относительная "стерильность" грунта для развития флоры с точки зрения химического состава.

С целью изучения растительного покрова на золоотвале №2 сотрудниками лаборатории экологии горного производства ИГД УрО РАН проводилось маршрутное обследование, которое позволило получить общую геоботаническую характеристику территории.

Так как большая часть территории золоотвала № 2 покрыта водой, растительные со-



Рис. 2. Современное состояние территории золоотвала (2016 г.):

а – прибрежная зона; б – пляжи

Fig. 2. Current state of the ash dump area (2016)

a – foreshore; b – beaches

общества формируются лишь на его границе и в прибрежной зоне (рис. 3). Там встречаются тростник обыкновенный, камыш озерный, ива *sp.*, иванчай узколистный, мать-и-мачеха и раkitник русский.

Обследование показало практически полное отсутствие проявлений почвообразовательных процессов, за одним исключением: в естественно сформированных микропонижениях, у кромки границы с дамбой золоотвала было выявлено заселение растений из сорной флоры, где, вероятно, скапливались переносимые ветром частицы пыли. Это связано с изначальной обводненностью субстрата отвала, его песчано-пылеватым составом и рельефом, способствующим периодическому застаиванию атмосферной влаги. Однако известно, что эволюция техногенных грунтов вследствие нахождения их в начале эволюционной кривой протекает достаточно стремительно из-за быстрого изменения процессов почвообразования [2] и при наличии стимулирующих факторов. К ним относятся, безусловно, рекультивационные мероприятия, а также поселение в субстрате микрофлоры, являющейся фактором первичного почвообразования.

Поэтому в первую очередь необходимо проведение ряда технических мероприятий для подавления процессов пыления и нормализации концентрации пыли в районе источника до значений, предусмотренных нормативами, так как особенность золы — тонкопылевидный механический состав, обуславливающий сдувание ее частиц и формирование пылевого облака уже при минимальных скоростях ветра (рис. 4).

Но для территорий размещения промышленных отходов предприятий Свердловской области особую сложность представляет выполнение требований по формированию рекультивационного слоя с использованием потенциально

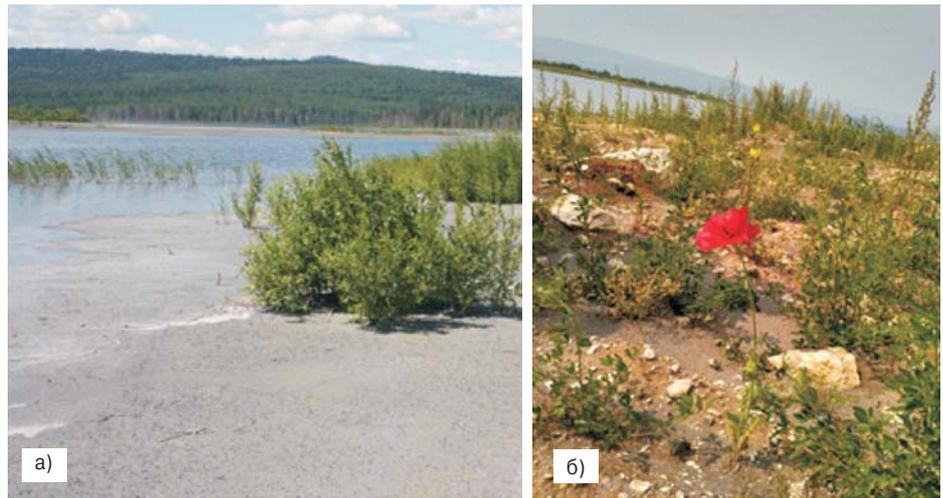


Рис. 3. Растительность ЗШО:

a – прибрежная зона; *б* – зона с нанесенными суглинками

Fig. 3. Vegetation of the ash dump:
a – foreshore; *b* – area coated with loam

плодородных и плодородных пород в виду их малого объема или полного отсутствия. Учитывая, что предприятие не имеет запасов снятого плодородного слоя, в качестве потенциально-плодородного слоя грунта для целей санитарно-гигиенического направления рекультивации золошлакового отвала № 2 предполагается использовать вскрышу Сухоложского карьера строительного камня (глины, суглинки). Территория промплощадки Сухоложского карьера строительного камня расположена в лесной области подзолистых почв в 3,5 км в юго-западном направлении от г. В. Тагил. Подзолистые почвы — типичные почвы хвойных лесов, сформировавшиеся на бескарбонатных породах вследствие развития подзолистого процесса (рис. 5).

Агрохимические свойства подзолистых почв малоблагоприятные, а емкость поглощения низкая. По содержанию элементов питания, усвояемых растением, подзолистые и дерново-подзолистые почвы имеют относительно невысокое плодородие — бедны азотом, фосфором и калием, что определяет необходимость последующей химической коррекции продуктивности естественных растительных сообществ путем внесения минеральных

удобрений. Для улучшения биологической активности корнеобитаемого слоя предложены травосмеси рекомендуются внесение следующих удобрений по выбору.

- Нитроаммофос ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KCl}$), который содержит три основных компонента, необходимые для обеспечения нормального качества жизни растения на разных этапах — азот, фосфор и калий (NPK).

- Диаммофос ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$) — вариант сложного азотно-фосфорного удобрения, но с увеличенной долей азота, которая в зависимости от марки удобрения может составлять от 21,5 до 22,4 %. Содержание в диаммофосе фосфора примерно такое же, как и в аммофосе, и колеблется от 48,5 до 50,5 %.



Рис. 4. Пылящая поверхность золоотвала № 2

Fig. 4. Dusty surface of the ash dump no. 2



Об	Смытые и намывные почвы оврагов, балок и прилегающих склонов
Гл	Горные луговые
ГТ	Горные тундровые
ГП	Горные подзолистые
ГПд	Горные дерново-подзолистые
ГПдг	Горные дерново-подзолистые глееватые и глеевые
ГЛ	Горные лесные бурые
ГПп	Горные примитивные

Рис. 5. Фрагмент Почвенно-географической карты Свердловской области (на основе Почвенной карты Свердловской области, М 1:500 000. ГУГК, 1990 г.)
Fig. 5. Fragment of the soil-geographical map of Sverdlovsk Oblast (based on the soil map of Sverdlovsk Oblast, Scale 1: 1,500,000 FAGG, 1990)

Агрохимический анализ предполагаемых грунтов подтвердил, что все грунты имеют слабокислую реакцию среды и низкое содержание гумуса, но удовлетворяют требованиям к потенциально плодородному грунту (ППГ), что в соответствии с РД34.02.202-95 определяет возможность использования его в целях рекультивации при покрытии поверхности золошлакового отвала для дальнейшего биологического освоения и естественного поселения на нем травянистой и древесно-кустарниковой растительности.

Возможность дальнейшего естественного поселения на рекультивируемом золоотвале была выявлена в ходе работ по пылеподавлению, проводившихся предприятием летом 2016 г. на

отдельных участках. Фотографии участков зольного поля, покрытые слоем ППГ, выполненные службой эксплуатации ВТГРЭС летом 2017 г., приведены на рис. 6.

Необходимо отметить, что в мировой практике рекультивационных приемов восстановления техногенных ландшафтов наметился новый подход, связанный с максимальным использованием собственных регенерационных возможностей техногенных экосистем при формировании естественного растительного покрова.

Следовательно, использование потенциала пионерных культур, адаптированных к существующим экологическим условиям, позволяет создать устойчивый растительный по-

кров в результате самозарастания и инициировать почвообразовательные процессы.

Для прогнозирования восстановления техногенно нарушенной экосистемы можно использовать моделирование сукцессионного процесса биоты, рассматриваемой в совокупности со всеми флористическими сообществами территории, прилегающей к деградированному участку. Возникающие восстановительные процессы представляют реакции системы на нарушения и позволяют ей поддерживать собственную относительную стабильность в условиях разнообразных внешних воздействий, включая водную и ветровую эрозии. Из многочисленных исследований [3–7], проведенных на не подвергшейся рекультивационным мероприятиям территориях в Уральском, Восточно-Сибирском, Северо-Казахстанском регионах, известно, что самовосстановление нарушенных экосистем на разных участках может быть неодновременным и неоднаправленным. В общей сложности процессы сменяемости растительных сообществ антропогенных территорий со сложными преимущественно сорными видами на квазиклимаксные, а затем на климаксные занимает соответственно 2, 5 и около 10 лет соответственно. При этом наблюдается безусловная зависимость от исторически возникшего либо искусственно созданного впоследствии рельефа, климатических особенностей территории, наличия устойчивых экосистем в незначительном радиусе от деградированных ландшафтов и характеристик нанесенного субстрата.

Как правило, длительность первичной стадии сукцессии определяется наличием корней растений и семян в нанесенном почвенном слое либо ином субстрате, расстоянием от источников семян и характеристиками нанесенного субстрата (пригодностью для по-



Рис. 6. Ложе золоотвала, покрытое потенциально плодородным грунтом
Fig. 6. Ash dump bed covered with potentially fertile ground

селения большинства видов растений, участвующих в сукцессии) — рН, гранулометрическим составом и пр.

При положительных характеристиках длительность первичной стадии, представленной сообществами терофитов, составляет 1–2 года. В климатических условиях Урала стадии восстановительных сукцессий нелесными видами, как правило, имеют продолжительность до 10 лет.

Так как формирующий растительный покров является одним из показателей, характеризующих возможность создания устойчивого раститель-

ного и почвенного покрова, соизмеримого по уровню продуктивности с естественными зональными сообществами, и запускающих процессы самовосстановления техногенно нарушенных экосистем, то в целях минимизации затрат при поэтапном проведении технической рекультивации целесообразно проведение работ по биологическому мониторингу восстанавливаемых земель. Результаты мониторинга могут подтвердить либо опровергнуть наличие устойчивых признаков самовосстановления биоценоза территории.

Таким образом, необходимость приведения нарушенных земель и занимаемых земельных участков в состояние пригодное для дальнейшего использования обуславливает выполнение исследований по обоснованию мер восстановления нарушенных территорий. А создание устойчивого естественного растительного покрова обеспечит восстановление ландшафтной привлекательности территории и привлечет за собой ослабление энергии горизонтальных воздушных потоков мелкодисперстных частиц за границы рекультивируемой поверхности.

Статья подготовлена в рамках программы ФНИ №0405-2019-0005 в соответствии с планом 2019–2021 гг.

Литература

1. Махнёв А.К., Чибрик Т.С., Трубина М.Р., Лукина Н.В. и др. Экологические основы и методы биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций на Урале. Екатеринбург, УрО РАН, 2002. 356 с.
2. Leguédais S., Séré G., Auclerc A., Cortet J., Huot H., Ouvrard S., Watteau F., Schwartz C., Morel J.L. Modelling pedogenesis of Technosols. *Geoderma*. 2016. Vol. 262. P. 199–212.
3. Хохряков А.В., Цейтлин Е.М., Москвина О.А., Ларионова И.В. Прогнозирование концентраций загрязняющих веществ в компонентах окружающей среды. Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2017. № 4. С. 53–63.
4. Антонинова Н.Ю., Шубина Л.А. Об особенностях комплексного экологического анализа районов, испытывающих локальную техногенную нагрузку предприятий горнометаллургического комплекса. Экология и промышленность России. 2017. № 2. С. 52–56.
5. Старицина Н.А., Старицина И.А. Тенденции изменения земельных ресурсов свердловской области. Островские чтения. 2017. № 1. С. 141–145.
6. Рыбникова Л.С., Рыбников П.А. Особенности формирования гидрогеологических систем в горнопромышленных районах Среднего Урала. Tr. V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Экологическая и техноферная безопасность горнопромышленных регионов". Екатеринбург, Уральский государственный горный университет, 2017. С. 177–187.
7. C. Dobre, C. Cotiga. Ecological rehabilitation of coal ash dump, essential objective in order to protect the environment. Trans Tech Publications, Switzerland. Advanced Engineering Forum. 2018. Vol. 27. P. 163–169. doi:4028/www.scientific.net/AEF.27.165.

References

1. Makhnev A.K., Chibrik T.S., Trubina M.R., Lukina N.V. i dr. *Ekologicheskie osnovy i metody biologicheskoi rekul'tivatsii zolootvalov teplovykh elektrostantsii na Urale*. Ekaterinburg, UrO RAN, 2002. 356 s.
2. Leguédais S., Séré G., Auclerc A., Cortet J., Huot H., Ouvrard S., Watteau F., Schwartz C., Morel J.L. Modelling pedogenesis of Technosols. *Geoderma*. 2016. Vol. 262. P. 199–212.
3. Khokhryakov A.V., Tseitlin E.M., Moskvina O.A., Larionova I.V. Prognozirovanie kontsentratsii zagryaznyayushchikh veshchestv v komponentakh okruzhayushchei sredy. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2017. № 4. S. 53–63.
4. Antoninova N.Yu., Shubina L.A. Ob osobennostyakh kompleksnogo ekologicheskogo analiza raionov, ispytyvayushchikh lokal'nuyu tekhnogennuyu nagruzku predpriyatii gornometallurgicheskogo kompleksa. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2017. № 2. S. 52–56.
5. Staritsina N.A., Staritsina I.A. Tendentsii izmeneniya zemel'nykh resursov sverdlovskoi oblasti. *Ostrovskie chteniya*. 2017. № 1. S. 141–145.
6. Rybnikova L.S., Rybnikov P.A. Osobennosti formirovaniya gidrogeologicheskikh sistem v gornopromyshlennykh raionakh Srednego Urala. Tr. V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Ekologicheskaya i tekhnosfernaya bezopasnost' gornopromyshlennykh regionov". Ekaterinburg, Ural'skii gosudarstvennyi gornyi universitet, 2017. S. 177–187.
7. C. Dobre, C. Cotiga. Ecological rehabilitation of coal ash dump, essential objective in order to protect the environment. Trans Tech Publications, Switzerland. Advanced Engineering Forum. 2018. Vol. 27. P. 163–169. doi:4028/www.scientific.net/AEF.27.165.

Н.Ю. Антонинова – канд. техн. наук, зав. лабораторией, Институт горного дела Уральского отделения РАН, 620075 Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка 58, e-mail: natal78@list.ru • Л.А. Шубина – науч. сотрудник, e-mail: las714@mail.ru

N.Yu. Antoninova – Cand. Sci. (Eng.), Head of laboratory, Institute of Mining of Ural Branch of RAS, 620075 Russia, Yekaterinburg, Mamin-Siberian Av. 58, e-mail: natal78@list.ru • L.A. Shubina – Research Scientist, e-mail: las714@mail.ru