



РЕСУРСЫ И СПЕЦИФИКА РЕКУЛЬТИВАЦИИ ОТВАЛОВ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ХАКАСИИ

© 2020 Е.А. Гуркова ¹, В.А. Андроханов ¹, А.Т. Лавриненко ²

¹ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: gurkova@issa-siberia.ru

²ФГБУН НИИ аграрных проблем Хакасии СО РАН, улица Садовая 5, с. Зеленое, Республика Хакасия, 655132, Россия. E-mail: aleks233@yandex.ru

В статье приведен анализ природных условий Хакасии с целью оценки их ресурсов и вклада в эффективность рекультивации на отвалах угледобывающей промышленности. Обеспеченность ресурсов потенциально плодородных пород оценивали по мощности залежей четвертичных суглинистых и глинистых пород с учетом их объема, необходимого для проведения рекультивации. Оценка обеспеченности ресурсами плодородного слоя почв проводили по мощности и плотности гумусового горизонта наиболее плодородных почв региона с учетом регламента проведения оптимальных схем рекультивации, в соответствии с нормативными документами и методическими рекомендациями. Обеспеченность гидротермическими ресурсами оценивали по величине суммы активных температур и гидротермическому коэффициенту. Показана сильная неравномерность распределения рекультивационных ресурсов по территории региона. Для южной части Хакасии с наибольшими площадями техногенных ландшафтов ресурсы оценены как дефицитные, недостаточные для реализации оптимальных схем рекультивации. Дефицитность ресурсов подтверждается преобладанием площади самозарастающих отвалов угольных разрезов. В статье приведены примеры успешного учета специфики природных условий для снижения остроты дефицита ресурсов и повышения эффективности самовосстановления техногенных ландшафтов.

Ключевые слова: ресурсы рекультивации; потенциально плодородная порода; плодородный слой почвы; техногенный ландшафт; техногенные почвы; угледобывающая промышленность; Хакасия

Цитирование: Гуркова Е.А., Андроханов, В.А., Лавриненко А.Т. Ресурсы и специфика рекультивации отвалов угледобывающей промышленности Хакасии // Почвы и окружающая среда. 2020. Том 3. № 4. e127. doi: 10.31251/pos.v3i4.127

ВВЕДЕНИЕ

Проведение рекультивации на нарушенных землях подразумевает восстановление их утраченного качественного состояния, достаточного для целевого использования (ГОСТ, 2017). С ландшафтно-экологической точки зрения основной задачей рекультивации является восстановление почвенного покрова, способного выполнять функции, характерные для естественных почв ненарушенного ландшафта (Гаджиев и др., 2001). Поскольку новообразованные почвы техногенного ландшафта формируются и развиваются под совокупным воздействием тех же факторов среды, что и естественные, то очевидно, что для выбора оптимального направления рекультивации важен как анализ собственно природных факторов, так и анализ специфики техногенного ландшафта. Актуальность подобных исследований вызвана необходимостью повышать эффективность восстановительных мероприятий на нарушенных территориях.

С точки зрения развития горнодобывающей промышленности Хакасия – один из перспективных районов Сибирского федерального округа. Наибольший вклад в добычу полезных ископаемых дают угледобывающие предприятия: восемь разрезов на трех месторождениях открытым способом добывают 22,6 млн. тонн каменного угля (Государственный доклад..., 2018; Лысенко и др., 2019). Площадь земель, нарушаемых в ходе такой масштабной добычи, существенна, и по некоторым оценкам достигает 5–8 тыс. га, а ежегодное увеличение составляет до 260 га (Зеньков и др., 2017; Рекультивация..., 2017). Учитывая прогнозы темпа роста добычи угля в регионе (Плакиркина, 2016), следует ожидать и масштабное увеличение нарушенных территорий. Темпы рекультивации уже сейчас существенно ниже, а в перспективе соотношение нарушенных и восстановленных земель ожидается гораздо шире, чем в настоящее время. Отмечается и низкая эффективность восстановительных мероприятий (Рекультивация..., 2016). Наряду с экономическими причинами значительное влияние оказывают и природные условия Хакасии. В настоящей статье представлен их

анализ и оценка как ресурсов рекультивации, в том числе с точки зрения специфики техногенного ландшафтогенеза и почвообразования на отвалах угольных разрезов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Теоретической и методической основой настоящей статьи выступили работы Андроханова и др. (2004), Андроханова и Курачева (2010), Гаджиева и др. (2001). Анализ природных факторов выполнен для лесостепных и степных районов Минусинской котловины в границах Республики Хакасия (левобережье р. Енисей) с применением сравнительно-географического, сравнительно-экологического, ландшафтно-картографического методов и подходов. Ресурсы рекультивации оценивали с точки зрения их использования при проведении восстановительных мероприятий на отвалах пород угледобывающих разрезов республики по методике, описанной в работе Андроханова и Курачева (2010). К ресурсам отнесены биоклиматические параметры, запасы потенциально плодородных пород (ППП) и плодородного слоя почвы (ПСП). Запасы ППП и ПСП необходимы для формирования насыпных плодородных слоев в рамках технического этапа рекультивации. Учет запасов проводили на основании данных о мощности пород и плотности; таким же образом и для плодородного слоя почв. Считаем важным уточнить, что в настоящей статье представлена общая оценка ресурсов с целью определения потенциала для рекультивации региона в целом, что может иметь практическое применение в дальнейшем при решении вопросов размещения добывающих предприятий. Названия почв приведены в соответствии с работами Танзыбаев (1993), Национальным атласом почв (2011), а также с классификацией IUSS Working Group WRB (2014).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для успешной реализации рекультивационных мероприятий, а также функционирования и развития техногенного ландшафта учет климатических условий является приоритетом. Сумму биологически активных температур, количество осадков и испаряемость обычно относят к т.н. ресурсам рекультивации (Андроханов, Курачев, 2010), поскольку от этих характеристик зависят темпы преобразования субстрата техногенного ландшафта и интенсивность процессов почвообразования в нем, что дает возможность прогнозных оценок развития почвенного покрова.

Климатически территория Хакасии неоднородна. Причина этому – ее орографическая специфика: цепочка небольших котловин, располагающаяся субмеридионально более чем на 300 км, окаймлена горными хребтами. Орографическая неоднородность обуславливает близкое к концентрическому распределение изогий в котловине, что выражается в росте количества осадков от центра к периферии. Годовая разница в количестве влаги между предгорьями и центральными частями котловины достигает 300 мм и более. Западное окаймление (Абаканский хребет, Кузнецкий Алатау) котловины обеспечивает эффект «дождевой тени» и меньшее количество осадков здесь. Средняя сумма осадков теплого периода в котловине колеблется от 440–500 (в лесостепных низкогорьях вдоль периферии) до 200 мм (в отдельные годы менее 150 мм) в центральной (степной) части (Николаева, 2007; Танзыбаев, 1993). Коэффициент увлажнения (по Иванову) составляет от 1,0–0,9 до 0,5 (Атлас..., 1999). В среднем по величине гидротермического коэффициента территория Минусинской котловины относится к категории недостаточно увлажненной, а по теплообеспеченности к умеренно теплой. Несмотря на это, в летний период средние месячные температуры достигают 17–19°, а абсолютные +36°С (Атлас..., 1999; Новицкий и др., 2012). При небольшом количестве осенне-зимних осадков (не больше 40–50 мм) и малой мощности снегового покрова (не выше 20 см в лесостепи) почвы в котловине промерзают до глубины 2–3 метра (Танзыбаев, 1993). Другими словами, преобразование субстрата протекает преимущественно в ходе физического выветривания, а течение процессов почвообразования в нем осуществляется в условиях дефицита влаги и сильного иссушения в вегетационный период.

Одним из важнейших ландшафто- и почвообразующих факторов является подстилающий субстрат. Как известно, наиболее эффективна рекультивация субстратов с высоким содержанием тонкодисперсной фракции, например, лёссовидных суглинков. Минусинская котловина отличается, например, от межгорных котловин Тувы широким развитием красноцветных и желтобурых глин и суглинков (небольшой мощности до 5–15 м), которые можно использовать при рекультивации (Геологическая карта..., 2019; Карта кайнозойский образований..., 2013; Карта палеоген-четвертичных образований..., 2018; Карта четвертичных образований..., 2015; Танзыбаев, 1993). По генезису это преимущественно элюво-делювий красноцветных осадков

верхнего палеозоя (переотложенная кора выветривания), зачастую засоленный и окаربоначенный (Танзыбаев, 1993, с. 12–21). В составе отложений четвертичного возраста, на которых сформирован современный почвенный покров котловины, присутствуют суглинки, часто скелетные, карбонатные, с прослоями супесей, а в озерных и аллювиальных отложениях с прослоями глин, илов и галечников (Градобоев, 1954; Танзыбаев, 1993). В междуречье Абакана и Енисея развиты эоловые пески и лессовидные суглинки мощностью до 30 м (Аржанникова и др., 2014; Карта кайнозойский образований..., 2013). Для целей рекультивации в качестве потенциально-плодородных пород (ППП) наиболее пригодны элювиально-делювиальные и делювиально-пролювиальные, озерно-аллювиальные суглинки и глины. Мощность этих отложений различна, не выдержана пространственно, варьирует от 2 до 25 м, субстрат залегает гнездами, линзами разной мощности и протяженности. Запасы ППП ориентировочно (при средней плотности таких отложений $1,5 \text{ г/см}^3$) варьируют от 30 тыс. тонн/га в северной части Минусинской котловины до 45–50 тыс. тонн/га в южной (Геологическая карта..., 2019; Карта кайнозойских образований..., 2013; Карта палеоген-четвертичных образований..., 2018). Имеются сведения о запасах элювиально-делювиальных суглинков на севере котловины, составляющих около 6 млн. тонн (Государственная..., 2008).

Неоднородность Минусинской котловины по условиям рельефа, климата и подстилающим отложениям обуславливает сложную дифференциацию естественных ландшафтов, в которой прослеживается основная закономерность – котловинно-кольцевая зональность (Танзыбаев, 1993; Семенов, Лысанова, 2016;). Лесостепные низкогорные ландшафты котловины выделяются преимущественно вдоль Западного Саяна, Кузнецкого Алатау, Абаканского хребта, а также в их невысоких отрогах. Основа этих ландшафтов – структурно-денудационный и эрозионно-денудационный рельеф, мелокосопочный, куэстовый, сильно расчлененный крутосклонный, с маломощным рыхлым чехлом современных отложений. Развитию лесостепной растительности способствует достаточное количество тепла и влаги: сумма биологически активных температур составляет $1300\text{--}1550 \text{ }^\circ\text{C}$, годовое количество осадков около $450\text{--}500 \text{ мм}$, коэффициент увлажнения – $0,9\text{--}1,0$ (Атлас..., 1999; Николаева, 2007). Здесь наиболее распространены мелколиственно-лиственничные, мелколиственные (с березой, осинкой) травянистые леса, с участием кустарников, в сочетании с настоящими и луговыми степями. На более пологих склонах широко представлены типичные для Алтае-Саянской горной страны «перистеги» (экспозиционные лесостепи) (Макунина, 2006; Семенов, Лысанова, 2016). В составе почвенного покрова присутствуют черноземы (Chernozems), серые лесные (Gray-Luvic Phaeozems) и дерново-карбонатные (Rendzic Leptosols) почвы (Национальный атлас почв, 2011; IUSS Working Group WRB, 2014). Подгорные, предгорные и равнинные лесостепные ландшафты отличаются выположенным, менее расчлененным пологоувалистым, аккумулятивным, денудационно-аккумулятивным и эрозионным рельефом. По обеспеченности гидротермическими ресурсами эти ландшафты близки к группе низкогорных ландшафтов, в связи с чем эта территория в значительной степени хозяйственно освоена. В сочетании с пашнями и залежами здесь распространены мелколиственные колки (из осины и березы), остепненные луга и луговые степи (Семенов, Лысанова, 2016). В почвенном покрове широко представлены черноземы нескольких подтипов, а также серые лесные почвы (Танзыбаев, 1993; Национальный атлас почв, 2011). Степные ландшафты Хакасии занимают большую, по сравнению с лесостепными, площадь – $26,4\%$ ее территории (Танзыбаев, 1993). Низкогорные степные ландшафты распространены по периметру Минусинской котловины, на контакте с лесостепными. Рельеф неоднородный, структурно- и эрозионно-денудационный, сильно расчлененный, со склонами различной крутизны. Гидротермический коэффициент здесь ниже – $0,7\text{--}0,8$, а сумма активных температур выше – до $1800 \text{ }^\circ\text{C}$. Растительность представлена петрофитными настоящими степями с участием кустарниковых и разнотравно-злаковых сообществ на щебнистых маломощных черноземах (Skeletal Kastanozems). Подгорные степные ландшафты отличаются выровненным рельефом подгорных шлейфов, более сомкнутым растительным покровом, широким распространением ковыльных сообществ настоящих степей черноземах. Равнинные степные ландшафты занимают центральные выровненные части котловины, образуют «аридные ядра» в структуре котловинно-кольцевой зональности ее почвенно-растительного покрова. Гидротермический коэффициент наименьший – $0,5\text{--}0,6$, а сумма активных температур наибольшая, достигает $2100 \text{ }^\circ\text{C}$. Здесь представлены сухие разнотравно-злаковые мелкодерновинные и злаково-полянские степи на черноземах (Chernozems) и каштановых (Kastanozems) почвах (Национальный атлас почв, 2011; Семенов, Лысанова, 2016). Степные ландшафты выровненных территорий котловины

сельскохозяйственно освоены и трансформированы. Долинные лесостепные и степные ландшафты развиты в долинах рек (поймы и террасовые комплексы) и в котловинах озер, представлены широким спектром лугов на почвах аллювиального ряда, а также болотами. Рельеф аккумулятивный, выровненный. Климатические параметры определяются расположением долинного ландшафта в условиях лесостепи или степи, значительную роль играет грунтовое увлажнение почв, а усиление засушливости выражается в увеличении площади засоленных почв (Лысанова, 2000).

В соответствии с нормативами при проведении любых земляных работ необходимо селективное снятие плодородного слоя почвы (ПСП); также предусматривается его хранение и использование при проведении некоторых направлений рекультивации (ГОСТ 57446-2017, 2017). В Минусинской котловине широко представлены почвы с хорошо развитым гумусово-аккумулятивным горизонтом (черноземы, каштановые почвы, серые лесные), который можно использовать как ПСП для рекультивации. Однако ресурсы ПСП распределены неравномерно. В северной и предгорной южной части котловины небольшими площадями (не более 2% от площади Хакасии) встречаются черноземы выщелоченные среднемощные среднегумусные среднесуглинистые и тяжелосуглинистые (Танзыбаев, 1993; Единый государственный ..., 2014). Эти почвы считаются наиболее плодородными в регионе, они обогащены питательными веществами и могут служить эталоном для почвенно-экологической оценки как техногенных, так и естественных ландшафтов. При мощности гумусово-аккумулятивной толщи 35–50 см они содержат до 8–12 % гумуса (в среднем 6–7 %) и до 50–60 % фракции физической глины. Мощность гумусированной толщи (до значений 2 % гумуса) составляет 40–45 см, плотность этой толщи варьирует от 1 до 1,2 г/см³ (Градобоев, 1954). Ориентировочные ее запасы в выщелоченных черноземах составляют 4500–5000 т/га.

Наиболее распространены в котловине черноземы обыкновенные малогумусные маломощные суглинистые. Они имеют мощность гумусированной толщи 25–35 см, среднее содержание глинистых частиц 40–60 %, гумуса 5–6 %; плотность гумусового горизонта составляет в среднем 1,2 г/см³ (Танзыбаев, 1999). В степных наиболее засушливых районах южной части котловины распространены черноземы южные маломощные малогумусные суглинистые и глинистые (Calcic Kastanozems skeletal), а также каштановые и темно-каштановые (Kastanozems) почвы малой и средней мощности и пестрого гранулометрического состава. Содержание гумуса в аккумулятивной толще черноземов мощностью 25–30 см составляет 3–4 %, доля частиц физической глины – 45–54 %. С учетом широкого диапазона мощности гумусированной толщи черноземов, а также участия щебнистых разновидностей в составе почвенного покрова округа, запасы ПСП могут варьировать в пределах от 2000 до 5000 т/га – от дефицитных до оптимальных для выполнения наиболее эффективных схем рекультивации. Мощность гумусово-аккумулятивного горизонта каштановых почв не превышает 20–25 см, содержание гумуса в среднем 2–3 %, физической глины 30–35 %, в тяжелосуглинистых до 55–60 %. Мощность гумусированной (до значений 2%) толщи составляет 15–25 см. Среди каштановых почв часто встречаются карбонатные, солонцеватые, щебнистые варианты, которые ухудшают качество ПСП. Плотность гумусовой части составляет 0,9–1,27 г/см³ (Каллас, Соловьева, 2015). С учетом приведенных данных запасы ПСП каштановых почв варьируют в очень широких пределах от 1350 до 5000 т/га, но в среднем дефицитны. Взяв за основу схему ландшафтной дифференциации котловины (Лысанова, 2000), мы выделили районы по обеспеченности ресурсами рекультивации (таблица). В южной части котловины, соответствующей Абакано-Енисейскому округу, ресурсы рекультивации в целом дефицитны. При этом именно на этой территории сосредоточены и интенсивно разрабатываются крупные угледобывающие предприятия.

Таким образом, распределение ресурсов по территории Хакасии неравномерно: запасы влаги и ПСП уменьшаются от северных территорий к южным, а теплообеспеченность и запасы ППП увеличиваются в том же направлении. Но в целом ресурсов недостаточно для реализации оптимальных схем рекультивации с наибольшей эффективностью. Общим является дефицит увлажнения. На фоне достаточной, усиливающейся к югу, теплообеспеченности, в том же направлении прослеживается нарастание аридности, которая сильнее проявляется в техногенных ландшафтах. Ресурсы ППП в регионе обусловлены спецификой его геологического развития и представлены в достаточной мере (на основании ориентировочных расчетов). Следует учитывать такие лимитирующие факторы, как высокая неоднородность гранулометрического состава отложений, невыдержанность по мощности и неглубокий уровень залегания грунтовых вод. Запасы ПСП сосредоточены, главным образом, в суглинистых и глинистых почвах региона и ограничены мощностью этого слоя, который уменьшается с севера на юг. Эта величина

обусловлена как климатическими особенностями, так и характером почвообразующих пород и форм рельефа. Мощность гумусированной толщи не выдержана в пространстве, в среднем не превышает 30 см, варьируя от 15 до 60 см. С высокой частотой в почвах встречаются щебнистые, галечниковые гумусовые горизонты, содержащие карбонаты, легкорастворимые соли. Поскольку для проведения оправдывающей себя по себестоимости рекультивации ресурсы ППП и ПСП должны располагаться в непосредственной близости от объектов, а оценку их запасов нужно корректировать для конкретной территории. Эта оценка является определяющим фактором при выборе направления восстановительных мероприятий. Другими словами, без оценки характера почвенного покрова в районе размещения и/или функционирования добывающего предприятия не обойтись. В целом же перспективы рекультивации на объектах добывающей промышленности в пределах территории Хакасии ограничены.

Таблица

Обеспеченность ресурсами рекультивации отвалов в Хакасии (Минусинская котловина)

Параметры*	Верхнечулымская провинция	Минусинская провинция	
	Ширинский округ	Североминусинский округ	Абакано-Енисейский округ
$\sum t > 10^\circ$	1300–1700	1600–1800	1800–2100
КУ (по Иванову)	0,6–0,9	0,5–0,8	0,5–0,6
Естественные ландшафты	лесостепь	лесостепь	степь
Почвы	серые лесные, дерново-карбонатные, черноземы (выщелоченные, обыкновенные, южные)	дерново-карбонатные, черноземы (выщелоченные, обыкновенные, южные)	черноземы (выщелоченные, обыкновенные, южные), каштановые почвы
Запасы ППП, тысяч т/га	30	40–45	45–50
Запасы ПСП, тысяч т/га	2,0–5,0	3,0–3,6	1,4–5,0
*обеспеченность по (Курачев, Андроханов, 2010): $\sum t > 10^\circ$ – достаточная для обеспечения любых целей рекультивации – выше 1600, дефицитная – 1600-1400, остродефицитная – менее 1400 КУ – избыточное увлажнение – более 1,25 достаточное – 1,0–1,25 дефицитное – менее 1 ППП – достаточные (лесостепь) – > 20 тыс.т/га дефицитные (лесостепь) – 15-20 тыс.т/га остродефицитные (лесостепь) – < 15 тыс.т/га ПСП – достаточные – >3,5 тыс.т/га дефицитные – 2,5-3,5 тыс.т/га остродефицитные – <2,5 тыс. т/га			

Угледобывающие разрезы региона, на которых сформированы наиболее обширные техногенные ландшафты (до 50 % от площади всех нарушенных промышленностью земель региона), располагаются преимущественно в южной, наиболее засушливой, части Минусинской котловины. Формирование здесь техногенных ландшафтов сопровождается рядом трудностей, которые обусловлены неэффективностью традиционных (по ГОСТу) мероприятий рекультивации в специфических природных условиях региона. Основная проблема горнотехнического этапа рекультивации – создание больших площадей отвалов вскрышных и вмещающих пород, сложенных несортированной смесью пород, с выровненными (спланированными) вершинами. Такие отвалы признаны экологически неблагоприятными, трудно поддаются рекультивационным мероприятиям, поскольку в течение времени претерпевают перераспределение субстрата, в значительной мере ксерофитизированы, переуплотнены, подвержены интенсивной дефляции и водной эрозии (Зеньков и др., 2014; Новицкий и др., 2012; Остапова, Евсева, 2019). Традиционное нанесение ППП и ПСП на такие поверхности в условиях засушливого климата, при воздействии ветровой и водной эрозии, не обеспечивает нужного уровня эффективности восстановления

нарушенных территорий и экономически невыгодно (Лавриненко и др., 2014). Другая серьезная проблема горнотехнического этапа – селективное снятие и длительное хранение плодородного слоя почв в буртах, предусмотренное ГОСТом. В первом случае происходит ухудшение гумусного состояния снимаемого ПСП за счет смешивания с почвообразующей породой и слоями с меньшим содержанием гумуса, а во втором происходит негативное изменение хозяйственно ценных свойств плодородного слоя вследствие его интенсивной минерализации, переуплотнения, дефляции и водной эрозии поверхности буртов (Андроханов, 2014; Зеньков, 2010).

Специфика рекультивационных мероприятий на хакасских углеразрезах для решения перечисленных проблем заключается в создании предпосылок для эффективного биологического этапа рекультивации или ускоренного самозарастания поверхности отвалов. Отказ от выполаживания отвалов в пользу создания неровностей рельефа (гребней, западин), ориентированных по направлению преобладающих ветров, позволил решить проблему влагозадержания и накопления мелкодисперсного материала за счет предотвращения выдува тонких частиц, образующихся при физическом выветривании породы (Лавриненко, Остапова, 2018), а также за счет возможного эолового привноса с прилегающей территории. По оценке Баженова (2018) эоловая аккумуляция в котловине составляет до 0,2 т/га в год. При таких темпах вклад дефляции в формирование «очагов» почвообразования за счет скопления в понижениях рельефа мелкозема относительно выше, чем процессов выветривания.

Мощность наносимого слоя ПСП определяется целями рекультивации с учетом специфики зональных почв. Согласно работам Танзыбаева (1993), активный влагооборот в черноземах Хакасии захватывает слой в 30–50 см, в каштановых почвах – менее 30 см. Следовательно, мощность наносимого слоя в местных условиях не может быть меньше 25–30 см. Проблема дефицита ресурсов ПСП и их разубоживания в процессе хранения решается путем неселективного снятия и нанесения почвенного слоя в смеси с почвообразующей породой мощностью 2 м и более (Рекультивация..., 2016). В северной части Хакасии угольные разрезы не разрабатывают, однако на Назаровском угольном разрезе Красноярского края, расположенном севернее, но в схожих природных условиях, апробирована похожая схема нанесения ПСП (Зеньков и др., 2014), которая показывает возможную эффективность и для территории Хакасии. В более засушливых условиях южной части Хакасии успешная реализация такой схемы позволяет не только получить экологический эффект, но и достичь определенной экономии средств, затрачиваемых на горнотехнический этап рекультивации, что в современных условиях развития горнодобывающей промышленности весьма важная деталь.

На биологическом этапе рекультивации главная задача – сформировать функционирующий биоценоз, который способствует закреплению поверхности отвала, и по своим свойствам максимально возможно приблизит техногенный ландшафт к естественным зональным. На рекультивируемых отвалах традиционно проводят посев многолетних трав и древесно-кустарниковой растительности (лесо- и сельскохозяйственная рекультивация). На самозарастающих отвалах растительный покров формируется длительное время путем сукцессий (Курачев и др., 1994; Подурец, 2011). И в том, и в другом случае основным лимитирующим фактором, как и у зональных фитоценозов, является увлажнение. Для естественных степей Минусинской котловины дефицит увлажнения проявляется в разреженности и низкорослости травостоя, преобладании дерновинных злаков – овсяницы, ковылей, змеевки, тонконога, а также осок. Как правило, эти растения имеют мощную развитую корневую систему, благодаря чему способны переносить и сильную засуху и сильное промерзание почвы. Кроме того, по массе и продуктивности подземная фитомасса намного превышает надземную, что придает устойчивости степным экосистемам (Куминова и др., 1976). На залежах восстановление сухостепной растительности проходит в течение длительного периода – 25–30 лет (Балязин, 2018). Зарастание отвалов на угледобывающих разрезах Хакасии происходит за счет ресурсов прилегающих участков и по времени занимает сопоставимый срок. По данным (Швабенланд, Карпухина, 2011), на отдельных участках отвалов Черногорского разреза Хакасии фитоценозы достигали пырейно-попынной стадии развития только через 12–14 лет. Однако даже после 20 лет техногенные фитоценозы остаются своеобразными и неустойчивыми (Доронькин и др., 2019; Сафронова и др., 2018). В то же время показано, что продуктивность фитоценозов на 30-летних отвалах выше продуктивности естественных степей прилегающих территорий в несколько раз (Ламанова, Сафронова, 2017). К общим особенностям восстановления растительности в техногенных ландшафтах региона можно отнести следующие: преимущественно разнотравный состав

фитоценозов и значительное участие рудеральных видов растений; преобладание надземной фитомассы над подземной. В ходе сукцессионных смен, доля рудеральных видов постепенно сокращается. Превышение надземной фитомассы над подземной можно объяснить низким участием дерновинных растений. Также отмечается рост общей фитомассы с увеличением возраста отвала, с поправкой на экспозицию. Как и в случае с естественной растительностью, техногенные фитоценозы наиболее развиты на наветренных затененных склонах отвалов, в понижениях между грядами на поверхностях отвалов (Лавриненко и др., 2018; Доронькин и др., 2019; Рекультивация, 2016). По сравнению с самозарастающими фитоценозами, техногенные агроценозы и древесные посадки отличаются более благоприятными условиями и лучшими показателями продуктивности, поскольку посев корневищных травосмесей и организация древесных и кустарниковых насаждений производится с применением комплекса удобрений, биопрепаратов, с предварительным подбором сортов и организацией почвенного плодородного слоя (Лавриненко, 2016; Лавриненко и др., 2018). Однако, как показывают исследования, отсыпка ПСП не приближает техногенные фитоценозы по видовому обилию к залежам прилегающих территорий (Уфимцев и др., 2019). В целом, адаптированные к условиям Хакасии схемы рекультивации, например лесохозяйственной, являются наиболее благоприятными, по сравнению с самозарастанием, как для минимизации отрицательного воздействия отвалов на прилегающие территории, так и для формирования устойчиво функционирующего техногенного ландшафта.

Несмотря на то, что для региона уже подобраны и апробированы оптимальные схемы рекультивации, большая площадь отвалов оставлена под самозарастание. И восстановление почвенного покрова в таких ландшафтах является основной задачей рекультивации и важнейшим результатом. Как выше было указано, эффективность рекультивации отвалов в условиях Хакасии повышается за счет создания корнеобитаемого слоя путем совместной отсыпки ПСП и ППП, в комплексе с применением удобрений и микробиологических препаратов, а также мероприятиями, направленными на снижение уплотнения почв. Для зональных почвообразующих пород (лессовидных суглинков) имеются сведения о скорости почвообразования: по данным Танзыбаева (1993), ежегодный прирост гумусового слоя на таких породах составляет от 0,16 до 0,6 см в год, что можно принять как зональную скорость для изученного региона. В этом случае можно с определенной долей условности получить представление о скорости развития профиля насыпных техноземов (Technosols) на углерезах Хакасии. Однако необходимо учитывать, что интенсивность процессов дефляции, водной эрозии, неустойчивый режим увлажнения, смена сукцессий растительности являются лимитирующими для почвообразования. Для сравнения темпов почвообразования стоит упомянуть, что максимальная мощность органогенного горизонта дерновых эмбриоземов (Spolic Technosols Gyperskeletal) на самых старых самозарастающих отвалах Хакасии (более 30 лет) не превышает 5–10 см. Собственно гумусово-аккумулятивный горизонт в эмбриоземах на отвалах в регионе не развивается (Соколов, 2015б).

Биоклиматические условия южной части Хакасии и специфика субстрата отвалов препятствуют формированию эволюционно «продвинутых» типов эмбриоземов – гумусово-аккумулятивных (Protolic Technosols Gyperskeletal), поскольку запасов тонкодисперсной фракции недостаточно для формирования органоминеральных связей при гумусообразовании (Соколов и др., 2015а). Накопление педогенного углерода, формирующегося в ходе почвообразования, в эмбриоземах принципиально важно для их функционирования. Это накопление оценивают по показателю литогенного потенциала гумусонакопления (ЛПГ). Для инициальных эмбриоземов ЛПГ составляет менее 1,0–1,5%, органо-аккумулятивных и дерновых – 2–3% (Соколов и др., 2015б). Для сравнения, ЛПГ эталонных зональных выщелоченных черноземов Хакасии и Кузбасса достигает 8–12%. Средний ЛПГ черноземов и каштановых почв котловин Центральной Тувы составляет 2–4% (Соколов, Доможакова, 2015). Создание условий для накопления тонкодисперсного материала и гумуса в самозарастающих ландшафтах Хакасии посредством мер, рассмотренных выше, может обеспечить прогнозный рост содержания в эмбриоземах органического углерода до 4 % (Лавриненко и др., 2018).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом оценка ресурсов рекультивации с экологической точки зрения позволит определить восстановительный потенциал территории. С хозяйственной точки зрения, проведение такой оценки на этапе проектирования мощностей предприятия дает представление о перспективах рекультивации территорий, которые будут нарушены, и возможность более корректного составления проектов рекультивации.

Как показали исследования, в регионе ресурсы распределены неравномерно, что необходимо учитывать при размещении предприятий. В техногенных ландшафтах процессы почвообразования протекают с низкой интенсивностью, вызванной дефицитом увлажнения, тонкодисперсных частиц, активной дефляцией и замедленным развитием растительного покрова. Невысокие темпы восстановления техногенных ландшафтов в Хакасии подтверждаются и другими исследованиями (Зеньков и др., 2017). Следует отметить, что проблема восстановления нарушенных открытой добычей угля территорий Хакасии сохранит свою остроту и в ближайшем будущем из-за высоких темпов роста площади отвалов, дефицита ресурсов и ограниченности использования оптимальных схем рекультивации, а также в определенной степени от заинтересованности добывающих компаний в успешности восстановления нарушенных территорий.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андроханов В.А. Мониторинг почвенного покрова и рациональное использование земельных ресурсов в районах угледобычи // *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. 2014. №2. С.126–130.
2. Андроханов В.А., Куляпина Е.Д., Курачев В.М. *Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 151 с.
3. Андроханов В.А., Курачев В.М. *Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.
4. Аржанникова А.В., Аржанникова С.Г., Акулова В.В., Данилова Ю.В., Данилов Б.С. О происхождении песчаных отложений в Южно-Минусинской котловине // *Геология и геофизика*. 2014. Т.55. №10. С.1495–1508. DOI: [10.15372/GiG20141004](https://doi.org/10.15372/GiG20141004)
5. *Атлас Республики Хакасия (комплексный)*. Омск, Омская картографическая фабрика, 1999. 32 с.
6. Баженова О.И. *Современная денудация в предгорных островных степях Сибири*. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2018. 259 с.
7. Балязин И.В. Анализ динамики степных геосистем с применением картографического метода на примере Койбалльской степи // *Вестник Иркутского государственного университета. Серия наук о Земле*. 2018. Т.26. С.18–30. DOI: [10.26516/2073-3402.2018.26.18](https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.26.18)
8. Гаджиев И.М., Курачев В.М., Андроханов В.А. *Стратегия и перспективы решения проблем рекультивации нарушенных земель*. Новосибирск: ЦЭРИС, 2001. 37 с.
9. *Геологическая карта кайнозойских образований. Лист N-46-XX. Абакан. М 1:200 000*
10. *ГОСТ 57446-2017*. Наилучшие доступные технологии. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков. Восстановление биологического разнообразия. Москва: Стандартинформ, 2019. 6 с.
11. *Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Алтай-Саянская. Лист N-46. Абакан. Объяснительная записка*. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008. 391 с.
12. *Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Хакасия в 2018 году*. Абакан, 2019. 217 с.
13. Градобоев Н.Д. *Природные условия и почвенный покров левобережной части Минусинской впадины* // Почвы Минусинской впадины. М., 1954. С.7–183.
14. Доронькин В.М., Сафронова О.С., Ламанова Т.Г., Шерemet Н.В. Результаты исследования естественного восстановления растительного покрова на вскрышных отвалах, возникших в 2000-е годы в Республике Хакасия // *Уголь*. №11. 2019. С.94–97. DOI: [10.18796/0041-5790-2019-11-94-97](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-11-94-97)
15. *Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0*
16. Зеньков И.В. Результаты исследования и оценка потерь плодородного слоя почв в горнотехнической рекультивации нарушенных земель // *Уголь*. 2010. № 4. С.66–69.
17. Зеньков И.В., Нефедов Б.Н., Барадулин И.М., Кирюшина Е.В. Технологии формирования и рекультивации породных отвалов при добыче угля открытым способом // *Экология и промышленность России*. 2014. № 6. С.30–33. DOI: [10.18412/1816-0395-2014-6-30-33](https://doi.org/10.18412/1816-0395-2014-6-30-33)
18. Зеньков И.В., Нефедов Б.Н., Юронен Б.Н., Нефедов Н.Б. Результаты дистанционного мониторинга и полевых исследований экологического состояния нарушенных земель угольными разрезами в Республике Хакасия // *Уголь*. 2017. № 9(1098). С.72–75. DOI: [10.18796/0041-5790-2017-9-72-75](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2017-9-72-75)
19. Каллас Е.В., Соловьева Т.П. Свойства степных почв Средней Сибири и проблема их деградации // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2015. № 3 (178). С.164–170.
20. *Карта кайнозойских образований. Лист N-46-XXV. Аскиз. М 1:200 000*.
21. *Карта палеоген-четвертичных образований. Лист N-46-XIX. Усть-Бюрь. М 1:200 000*.
22. *Карта четвертичных образований. Лист N-46-XIII. Сорск. М 1:200 000*.

23. Куминова А.В., Зверева Г.А., Маскаев Ю.М., Павлова Г.Г., Седельников В.П., Королева А.С., Нейфельд Э.И., Танзыбаев М.Г., Чижикова Н.М., Ламанова Т.Г. *Растительный покров Хакасии*. Новосибирск: Наука СО, 1976. 418 с.
24. Курачев В.М., Кандрашин Е.Р., Рагим-заде Ф.К. Сингенетичность растительности и почв техногенных ландшафтов: экологические аспекты, классификация // *Сибирский экологический журнал*. 1994. № 3. С. 205–213.
25. Лавриненко А.Т. *Особенности рекультивации техногенно разрушенных территорий в засушливых регионах угледобычи* // Природно-техногенные комплексы: современное состояние и перспективы восстановления: мат. Межд. науч. конф. (Новосибирск; Новокузнецк, 13-18 июня 2016 г.). Новосибирск; Новокузнецк: Изд-во СО РАН, 2016. С.125–133.
26. Лавриненко А.Т., Моршнева Е.А., Сафронова О.С., Евсеева И.Н., Андроханов В.А., Соколов Д.А., Госсен И.Н. *Рекультивация земель, нарушенных угледобывающими предприятиями Хакасии*. Методические рекомендации. Новосибирск, 2016. 38 с.
27. Лавриненко А.Т., Остапова Н.А., Сафронова О.С., Евсеева И.Н. Способ выращивания древесно-кустарниковых пород для биологической рекультивации техногенных отвалов в аридных условиях Республики Хакасия // *Уголь*. 2018. № 11. С.92–95. DOI: [10.18796/0041-5790-2018-11-92-94](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-11-92-94)
28. Лавриненко А.Т., Андроханов В.А., Килин А.Б. Современное состояние нормативного обеспечения проектирования строительства и развития угледобывающих предприятий в части рекультивации нарушенных земель // *Уголь*. 2014. № 1. С.65–67.
29. Лавриненко А.Т., Остапова Н.А. Изучение лимитирующих факторов биологической рекультивации на отвалах гребневой формы отсыпки угледобывающих предприятий Хакасии // *Уголь*. 2018. № 12. С.98–101. DOI: [10.18796/0041-5790-2018-12-98-101](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-12-98-101)
30. Ламанова Т.Г., Сафронова О.С. Особенности естественного зарастания вскрышных отвалов в аридных районах Республики Хакасия // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2017. Том 47. №1. С.25–31.
31. Лысанова Г.И. Ландшафтная структура Минусинской котловины // *География и природные ресурсы*. 2000. № 4. С.77–87.
32. Лысенко Д.П., Акатов Д.И., Скорых Н.Н. Факторы и тенденции развития угледобывающей промышленности Республики Хакасия // *Уголь*. 2019. № 5. С.28–30. DOI: [10.18796/0041-5790-2019-5-28-30](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-5-28-30)
33. Максютова Е.В. Оценка радиационного баланса геосистем Минусинской котловины // *География и природные ресурсы*. 2006. №3. С.69–75.
34. Макунина Н.Н. Степи Минусинских котловин // *Turczaninowia*. 2006. Т. 9. Вып. 4. С.112–144.
35. *Национальный атлас почв Российской Федерации*. Москва: Изд-во МГУ; Астрель, 2011. 632 с.
36. Николаева З.Н. Некоторые закономерности современных изменений гидротермических характеристик в Южно-Минусинской котловине // *Вестник КрасГАУ*. 2007. №1. С.71–75.
37. Новицкий А.А., Андроханов В.А., Лавриненко А.Т., Гнитецкий В.А. Рекультивация техногенных ландшафтов на угольных разрезах Красноярского края // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2012. № 4(8). С.15–20.
38. Остапова Н.А., Евсеева И.Н. Биологическая рекультивация верхнего вскрышного уступа на отвалах разреза «Черногорский» // *Уголь*. 2019. № 6 С.106–108. DOI: [10.18796/0041-5790-2019-6-106-108](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-6-106-108)
39. Плакиткина Л.С. Анализ и перспективы развития добычи угля на период до 2035 г. в Республике Хакасия // *Горная промышленность*. 2016. № 1(125). С.26–27.
40. Подурец О.И. Связь динамики запасов растительного вещества с фазами посттехногенного почвообразования // *Вестник ТГУ. Биология*. 2011. Вып. 346. № 169. С.169–174.
41. Сафронова О.С., Ламанова Т.Г., Шеремет Н.В. Результаты исследования естественного восстановления растительного покрова на вскрышных отвалах, возникших в 1990-е годы в Республике Хакасия // *Уголь*. 2018. № 7. С.68–71. DOI: [10.18796/0041-5790-2018-7-68-71](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-7-68-71)
42. Семенов Ю.М., Лысанова Г.И. Ландшафтная карта // *Известия Иркутского государственного университета*. 2016. Т. 18. С.128–139.
43. Соколов Д.А., Андроханов В.А., Кулижский С.П., Доможакова Е.А., Лойко С.В. Морфогенетическая диагностика процессов почвообразования на отвалах каменноугольных разрезов Сибири // *Почвоведение*. 2015а. №1. С.106–117. DOI: [10.7868/S0032180X15010153](https://doi.org/10.7868/S0032180X15010153)
44. Соколов Д.А., Мерзляков О.Э., Доможакова Е.А. Оценка литогенного потенциала гумусонакопления отвалов каменноугольных месторождений Сибири // *Вестник Томского государственного университета*. 2015б. № 399. С.247–253.
45. Соколов Д.А., Доможакова Е.А. Литогенный потенциал гумусонакопления почв Центрально-Тувинской котловины // Природные системы и экономика Центрально-Азиатского региона: фундаментальные проблемы, перспективы рационального природопользования: мат. II Всерос. мол. школы-конф. с межд. уч. (Кызыл, 6–9 сентября 2015). Кызыл: РИО ТувГУ, 2015. С. 109–112.
46. Танзыбаев М.Г. *Почвы Хакасии*. Новосибирск: Наука, 1993. 256 с.
47. Уфимцев В.И., Андроханов В.А., Куприянов О.А., Уфимцев Ф.Г. Плодородный слой почвы как фактор восстановления зональных фитоценозов на отвалах угольной промышленности // *Вестник Кузбасского*

государственного технического университета. 2019. № 6(136). С.64–71. DOI: 10.26730/1999-4125-2019-6-64-71

48. Швабенланд И.С., Карпухина И.В. К вопросу о рекультивации отвалов горнодобывающего предприятия «Черногорская угольная компания» // Молодой ученый. 2011. № 11 (34). Т.1. С.94–98.

49. Язиков Е.Г., Худяков В.М., Азарова С.В. Геоэкологические проблемы угледобывающих предприятий и геохимическая оценка воздействия отвалов на почвы (на примере угольного разреза «Чалпан» Республика Хакасия) // Известия Томского политехнического университет. Инжиниринг георесурсов. 2002. Т.305. № 6 С.433–445.

50. IUSS Working Group WRB, World Reference Base for Soil Resources International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, World Soil Resources Reports. № 106. FAO, Rome, 2014. 181 p.

Поступила в редакцию 23.01.2021

Принята 10.02.2021

Опубликована 19.02.2021

Сведения об авторах:

Гуркова Евгения Александровна – к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории рекультивации почв ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); gurkova@issa-siberia.ru

Андроханов Владимир Алексеевич – д.б.н., заведующий лабораторией рекультивации почв ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); androhanov@issa-siberia.ru

Лавриненко Алексей Тимофеевич – научный сотрудник лаборатории рекультивации ФГБУН Научно-исследовательского института аграрных проблем Хакасии (с. Зеленое, Республика Хакасия, Россия); aleks233@yandex.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

RESOURCES AND SPECIFICITY OF RECLAMATION AT THE COAL MINING SPOILS OF KHAKASSIA

© 2020 E.A. Gurkova ¹, V.A. Androkhanov ¹, A.T. Lavrinenko ²

¹Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Lavrentieva, 8/2, Novosibirsk, 630090, Russia.

E-mail: gurkova@issa-siberia.ru, androkhanov@issa-siberia.ru

²Research Institute of Agricultural Problems of Khakassia SB RAS, The Republic of Khakassia, Russia.

E-mail: aleks233@yandex.ru

The article analyses Khakassia environmental conditions with the aim to estimate their resources and role in the efficient reclamation of coal mining spoils. The availability of potentially fertile soil substrate as a resource for large-scale reclamation was evaluated by the thickness of the quaternary clay and loamy bedrock layers, taking into account the amount of the substrate needed for reclamation. The availability of resources of the potentially fertile soil substrate was carried out by taking into account the thickness and soil bulk density of the humus horizon of the most fertile soils of the region, and considering the obtained estimates within the framework of the methodical rules and normative regulations for optimal reclamation. The availability of hydrothermal resources was estimated by active temperature sums and hydrothermal coefficient. Overall the distribution of reclamation resources was found to be very uneven throughout the region. In the south of Khakassia with its large areas occupied by technogenic landscapes the reclamation resources were concluded to be in deficit, insufficient for carrying out the reclamation according with the optimal protocols. Such lack of resources is indirectly confirmed by prevailing areas occupied by self-revegetating coal mining spoils. The article also describes some successful reclamation examples where specific local environmental conditions were used in such a way as to decrease the effect of deficient resources, thus increasing the efficacy of the self-restoration of technogenic landscapes.

Key words: reclamation resources; potentially fertile substrate; soil fertile layer; technogenic soils; coal mining industry; Khakassia

How to cite: Gurkova E.A., Androkhanov V.A., Lavrinenko A.T. Resources and specificity of reclamation at the coal mining spoils // *The Journal of Soils and Environment*. 2020. 3(4). e127. doi: [10.31251/pos.v3i4.127](https://doi.org/10.31251/pos.v3i4.127) (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Androkhanov V.A. Monitoring of soil and land rational management in the mining regions, *Bull. of Research Center for Safety in Coal Industry (Industrial Safety)*, 2014, No2, p.126-130. (in Russian)
2. Androkhanov V.A., Kulyapina E.D., Kurachev V.M. *The soils of technogenic landscapes: genesis and evolution*. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2004, 151 p. (in Russian)
3. Androkhanov V.A., Kurachev V.M. *Soil-ecological state of technogenic landscapes*. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2010. 224 p. (in Russian)
4. Arzhannikova A.V., Arzhannikov S.G., Akulova V.V., Danilova Y.V., Danilov B.S. The origin of sand deposits in the South Minusa Basin, *Russian Geology and Geophysics*, 2014, V.55, No10. p.1183-1194 (in Russian) DOI: [10.1016/j.rgg.2014.09.004](https://doi.org/10.1016/j.rgg.2014.09.004)
5. *The atlas of Khakassia*. Omsk: Omsk cartographic plant, 1999. 32 p. (in Russian)
6. Bazhenova O.I. *Actual denudation of the foothill steppe plains of Siberia*. Novosibirsk, Academic Publ. House "GEO", 2018. 259 p. (in Russian)
7. Balyazin I.B. Analysis of the dynamics of steppe geosystems using the cartographic method on the example of the Koibal Steppe, *The Bull. of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences*, 2018, V. 26, p.18-30. DOI: [10.26516/2073-3402.2018.26.18](https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.26.18) (in Russian)
8. Gadzhiev I.M., Kurachev V.M., Androkhanov V.A. *Strategy and prospects for solving the problems of regulation of disturbed lands*. Novosibirsk, CERIS Publ, 2001. 37 p. (in Russian)
9. *Geological map of Cenozoic formation. Page N-46-XX. Abakan. Scale 1:200 000* (in Russian)
10. *GOST 57446-2017. Best available techniques. Disturbed lands reclamation. Restoration of biological diversity*. Moscow: Standartinform, 2019, 6 p. (in Russian)
11. *State geological map of Russian Federation, 1: 1 000 000. Altai-Sayan series. Abakan N-46 page. Explanatory letter*. (in Russian)
12. *State report of environment state of Khakassia in 2018. Abakan, 2019. 217 p.* (in Russian)
13. Gradoboev N.D. *Natural resources and soils cover of the left part of Minusa Basin*. In book: Soils of Minusa Basin. Moscow, 1954. p.7-183. (in Russian)
14. Doronkin V.M., Safronova O.S., Lamanova T.G., Sheremet N.V. The results of the study of natural revegetation on overburden piles, resulting in 2000 years in the Republic of Khakassia, *Ugol*. 2019. No 11. p. 94-97. DOI: [10.18796/0041-5790-2019-11-94-97](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-11-94-97) (in Russian)
15. *Unified state register soil resources of Russia. Version 1.0* (in Russian)
16. Zenkov I.V. Results of research and estimation of losses of a fertile layer of ground in mine technical re-cultivation the broken grounds, *Ugol*, 2010. No4. p.66-69. (in Russian)
17. Zenkov I. V., Nefedov B.N., Baradulin I.M., Kiryushina E.B. Technology of Forming and Reclamation of Waste Heap during Open-pit Coal Mining, *Ecology and Industry of Russia*, 2014, No6. p.30-33 DOI: [10.18412/1816-0395-2014-6-30-33](https://doi.org/10.18412/1816-0395-2014-6-30-33) (in Russian)
18. Zenkov I.V., Nefedov B.N., Yuronen B.N., Nefedov N.B. Environmental conditions remote sounding and field surveys of the lands, disturbed by coal mining open pits in the Republic of Khakassia, *Ugol*, 2017, No9(1098). p.72-75. DOI: [10.18796/0041-5790-2017-9-72-75](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2017-9-72-75) (in Russia)
19. Kallas E.V., Soloveva T.P. Properties of steppe soils in Central Siberia and the problem of their degradation, *Bull. of Orenburg State University*, 2015, No3 (178). p.164-170. (in Russian)
20. *Map of Cenozoic formations. Askis N-46-XXV page. Scale 1:200 000* (in Russian)
21. *Map of Paleogene and Quaternary formations. Ust-Byur N-46-XIX page. Scale 1:200 000* (in Russian)
22. *Map of Quaternary formations. Sorsk N-46-XIII page Scale 1:200 000* (in Russian)
23. Kuminova A.V., Zvereva G.A., Maskaev Yu.M., Pavlova P.G. et al. *The vegetation of Khakassia*. Novosibirsk, Nauka SB Publ., 1976. 418 p. (in Russian)
24. Kurachev V.M., Kandrashin E.R., Ragim-Zade F.K. Singeneticity of vegetation and soils of technogenic landscapes: ecological aspects, classification, *Siberian Journal of Ecology*, 1994, No3, p.205-213. (in Russian)
25. Lavrinenko A.T. *Features of man-causing disturbed areas recultivation in arid regions of coal mining*. In book: Natural-technogenic complexes: current state and prospects for restoration: Proc.of the Int.Sci.Conf. (Novosibirsk-Novokuznetsk, 13-18 June, 2016). Syso A.I.(ed.). Novosibirsk, Novokuznetsk: SB RAS Publ., 2016, p.125-132 (in Russian)
26. Lavrinenko A.T., Morshnev E.A., Safronova O.S., Evseeva I.N., Androkhanov V.A., Sokolov D.A., Gossen I.N. *Reclamation of lands disturbed of coal mining in Khakassia. Guidelines*. Novosibirsk, 2016, 38 p. (in Russian)
27. Lavrinenko A.T., Ostapova N.A., Safronova O.S., Evseeva I.N. A method of growing trees and shrub species for biological recultivation of technogenic dumps in the arid environment of Republic of Khakassia, *Ugol*, 2018, No11, p.92-95. DOI: [10.18796/0041-5790-2018-11-92-94](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-11-92-94) (in Russian)
28. Lavrinenko A.T., Androkhanov V.F., Kilin A.B. The current status of regulatory support for design of construction and development of coal producers with regard to mined-land reclamation, *Ugol*, 2014, No1, p.65-67 (in Russian)

29. Lavrinenko A.T., Ostapova N.A. The study of limiting factors of biological reclamation on dumps ridge form filling coal mines Khakassia, *Ugol*, 2018, No12, p.98-101. DOI: [10.18796/0041-5790-2018-12-98-101](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-12-98-101) (in Russian)
30. Lamanova T.G., Safronova O.S. Pattern of natural plant colonization of opencast banks in the arid regions of the Khakassia republic, *Siberian Vestnik of Agricultural Science*, 2017, V.47, No1. p.25-31 (in Russian)
31. Lysanova G.I. Landscapes structure of Minusa Basin, *Geografia i Prirodnye Resursy*, 2000, No4, p.77-87 (in Russian)
32. Lysenko D.P., Akatov D.I., Skorykh N.N. Factors and trends in the development of coal mining industry of the Republic of Khakassia, *Ugol*, 2019, No5, p.28-30. DOI: [10.18796/0041-5790-2019-5-28-30](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-5-28-30) (in Russian)
33. Maksyutova E.V. Assessment of the radiation balance of geosystems in the Minusinsk Basin, *Geografia i Prirodnye Resursy*, 2006, No3, p.69-75 (in Russian)
34. Makunina N.N. Steppes of Minusinsk Hollows, *Turczaninowia*, 2006, V.9, No4. p.112-144. (in Russian)
35. *National Soils Atlas of Russian Federation*. Moscow, MSU Publ., Astrel Publ, 2011, 632 p. (in Russian)
36. Nikolaeva Z.N. Some regularities of modern changes in hydrothermal characteristics in South Minusinsk Basin, *Bull. of KrasGAU*, 2007, No1, p.71-75 (in Russian)
37. Novitskiy A.A., Androkhanov V.A., Lavrinenko A.T., Gnitetskiy V.A. Reclamation of technogenic landscapes on the coal mines of the Krasnoyarsk region, *Bull. of Omsk State Agrarian University*, 2012, No4(8), p.15-20 (in Russian)
38. Ostapova N.A., Evseeva I.N. Biological recultivation of overburden the upper ledge on dumps of “Chernogorsky” open-pit mine, *Ugol*, 2019, No6, p.104-107. DOI: [10.18796/0041-5790-2019-6-106-108](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-6-106-108) (in Russian)
39. Plakitkina L.S. Analysis and prospects for the development of coal mining for the period up to 2035 in the Republic of Khakassia, *Gornaja Promyshlennost*, 2016, No1(125), p.26-27 (in Russian)
40. Podurets O.I. The relationship of the dynamics of plant matter reserves with phases of post-technogenic soil formation, *Tomsk State University Journal*, 2011, V.346, No169, p.169-174 (in Russian)
41. Safronova O.S., Lamanova T.G., Sheremet N.V. The results of the study of natural regeneration of vegetation cover on overburden dumps in the Republic of Khakassia, which emerged in the 90-years of the twentieth century, *Ugol*, 2018, No7, p.68-72. DOI: [10.18796/0041-5790-2018-7-68-71](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-7-68-71) (in Russian)
42. Semenov Yu.M., Lysanova G.I. Landscapes map, *The Bulletin of Irkutsk State University*, 2016, V.18. p.128-139. (in Russian)
43. Sokolov D.A., Androkhanov V.A., Kulizhskii S.P., Loiko C.V., Domozhakova E.A. Morphogenetic diagnostics of soil formation on tailing dumps of coal quarries in Siberia, *Eurasian Soil Science*, 2015, V.48, No1, p.95-105. DOI: [10.1134/S1064229315010159](https://doi.org/10.1134/S1064229315010159)
44. Sokolov D.A., Merzlyakov O.E., Domozhakova E.A. Estimation of lithogene potential of humus accumulating in soils of coal-mine dumps of Siberia, *Tomsk State University Journal*, 2015, No399, p.247-253 (in Russian)
45. Sokolov D.A., Domozhakova E.A. *Lithogenic potential of humus accumulating in soils of Central Tuva depression*: In book: Natural Systems and Economic of Central Asia Region: fundamental problems, perspectives of rational use: Proc. of II Rus. Youth Sci.Conf. (Kyzyl, 6-9 September, 2015). Kyzyl, Tuva State University Publ., 2015. p.109-112 (in Russian)
46. Tanzybaev M.G. *Soils of Khakassia*. Novosibirsk. Science Publ., 1993. 256 p. (in Russian)
47. Ufimtsev V.I., Androkhanov V.A., Kupriyanov O.A., Ufimtsev F.G. Fertile soil layer as a factor of recovery of zonal phytocenoses on coal industry dumps, *Bull. of the Kuzbass State University*, 2019, No6(136), p.64-71. DOI: [10.26730/1999-4125-2019-6-64-71](https://doi.org/10.26730/1999-4125-2019-6-64-71) (in Russian)
48. Shvabenland I.S., Karpukhina I.V. On the question of reclamation of dumps of the mining enterprise “Chernogorsk Coal Company”, *Young Scientist*, 2011, V.1 No11(34). p.94-98. (in Russian)
49. Yazikov E.G., Hud'yakov V.M., Azarova S.V. Geoecological problems of coal mining enterprises and geochemical assessment of the impact of dumps on soils (on the example of the Chalpan coal mine, Khakassia), *Bull. of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2002, V.305, No6, p.433-445 (in Russian)
50. *IUSS Working Group WRB, World Reference Base for Soil Resources International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*, World Soil Resources Reports. № 106. FAO, Rome, 2014. 181 p.

Received 23 January 2021

Accepted 10 February 2021

Published 19 February 2021

About the authors:

Gurkova Evgeniya A. – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Recultivation of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); gurkova@issa-siberia.ru

Androkhanov Vladimir A. – Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Recultivation of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); androkhanov@issa-siberia.ru

Lavrinenko Alexey V. – Researcher in the Laboratory of Recultivation of the Research Institute of Agricultural Problems of Khakassia, SB RAS (The Republic of Khakassia, Russia); aleks233@yandex.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)