

УДК 55:502:338:502.171(575.3)

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2026-65-1-108-117

## ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ МАССИВОВ НАСЫПНЫХ ГРУНТОВ ПОДМОСКОВНОГО УГОЛЬНОГО БАСЕЙНА

Татьяна Анатольевна Барабошкина<sup>1✉</sup>, Виктор Титович Трофимов<sup>2</sup>,  
Светлана Казимировна Николаева<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; baraboshkina@mail.ru<sup>✉</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-7209-5905>

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; trofimov@rector.msu.ru

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; nikolaeva.sk@gmail.com

**Аннотация.** Систематизированы особенности трансформации угледобывающих регионов под влиянием порядка трех столетий добычи полезных ископаемых, особенности состава техногенных эколого-геологических систем массивов насыпных грунтов и их трансграничного воздействия на селитебные районы. На основе анализа состояния ресурсного потенциала этих систем, полученных и опубликованных данных, обоснован вывод, что для достижения национальных целей в сфере формирования комфортных условий для проживания населения вблизи исторических угледобывающих территорий, актуально внедрение для рекультивации отечественных апробированных природоподобных технологий на базе комплексного подхода в сфере теории и практики формирования технофитоценозов, учения об экологических функциях литосферы и методологии эколого-ресурсного картографирования, позволяющих систематизировать и синхронизировать решение экологических и социально-экономических проблем.

**Ключевые слова:** угледобывающая промышленность, насыпные массивы грунтов, эколого-геологическая система, ресурсный потенциал, литотоп, фитоценоз, природоподобные технологии, социально-экономические проблемы

**Для цитирования:** Барабошкина Т.А., Трофимов В.Т., Николаева С.К. Трансформация эколого-геологических систем массивов насыпных грунтов Подмосквовного угольного бассейна // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2026. № 1. С. 108–117.

## TRANSFORMATION OF ECOLOGICAL AND GEOLOGICAL SYSTEMS OF MASSIVES OF PUMMED SOILS IN THE MOSCOW COAL BASIN

Tatyana A. Baraboshkina<sup>1✉</sup>, Viktor T. Trofimov<sup>2</sup>, Svetlana K. Nikolaeva<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; baraboshkina@mail.ru<sup>✉</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-7209-5905>

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; trofimov@rector.msu.ru

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; nikolaeva.sk@gmail.com

**Annotation.** The features of the transformation of coal-mining regions under the influence of the centuries-old process of mining, the formation of technogenic ecological and geological systems (EGS), massifs of bulk soils, and their cross-border impact on residential areas are systematized. Based on the analysis of the state of the resource potential of technogenic EGS and the data obtained and published, it is concluded that in order to achieve national goals in the field of creating comfortable living conditions for the population near historical coal-mining territories, it is important to implement domestic nature-like technologies for reclamation based on a comprehensive approach in the field of theory and practice of forming technophytocenoses, the doctrine of the ecological functions of the lithosphere, and the methodology of ecological and resource mapping, which allow for the synchronization of environmental and socio-economic tasks.

**Keywords:** coal mining industry, bulk soil masses, ecological and geological system, resource potential, lithotope, phytocenosis, nature-like technologies, and socioeconomic problems

**For citation:** Baraboshkina T.A., Trofimov V.T., Nikolaeva S.K. Transformation of ecological and geological systems of massives of pummed soils in the Moscow coal basin. *Moscow University Geol. Bull.* 2026; 1: 108–117. (In Russ.).

**Введение.** По данным Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии одним из лидеров по площади нарушенных земель в пределах Подмосквовного угольного бассейна является территория Тульской области, где за три века на площади порядка 10 тыс. га [Прохоров, Снежко,

2019; Рябов, 2009; Программа..., 2020] произошло формирование техногенных эколого-геологических систем массивов насыпных грунтов объемом более 300 млн т.

Эколого-геологическая система (ЭГС) — определенный (в принципе любой по размерам) объем

литосферы с функционирующей непосредственно в нем или на его поверхности биотой, включая человека и социум [Трофимов, 2010; Базовые..., 2013].

ЭГС подразделяются на природные, природно-техногенные, техногенно-природные, антропогенные. Три последние выделяются в группу техногенных эколого-геологических систем [Королев, Трофимов, 2025].

К насыпным грунтам относят формирующиеся в ходе экстенсивной инженерной и хозяйственной деятельности массивы, которые, классифицируются по генезису на грунты природного происхождения с нарушенной естественной структурой, минеральные отходы промышленных производств, твердые бытовые отходы и др. [Гальперин и др., 2006; Огородникова, Николаева, 2017; ГОСТ 25100-82; ГОСТ 25100-2011 (2013)].

Эколого-геологической системой массивов насыпных грунтов называется совокупность инженерных сооружений и антропогенного литотопа, представленного насыпными грунтами, развитыми на них техноземами, а также сформировавшимися на них специфическими техноприродными биоценозами, состоящими из микробиоценоза, фитоценоза и зооценоза. Данный тип ЭГС относится к техногенным (антропогенным, или искусственным) [Трофимов и др., 2024].

Целью работы является систематика особенностей трансформации качества ресурса геологического пространства в районах распространения техногенных массивов насыпных грунтов (на примере Мосбасса) на базе учения об экологических функциях литосферы, методологии эколого-геологического картографирования и отечественного опыта апробации природоподобных технологий для реабилитации угледобывающих регионов с доминированием техногенных насыпных экогеосистем вблизи селитебных территорий.

**Освоение Подмосковского угольного бассейна (Мосбасса) и формирование ЭГС техногенных насыпных массивов.** Подмосковский угольный бассейн (Мосбасс), является одним из старейших угледобывающих районов страны, который был открыт в XVIII в. и охватывает территории Калужской, Московской, Новгородской, Рязанской, Смоленской, Тверской, Тульской областей (рис. 1) [Грязев, Качурин, Захаров, 2015; Открытие..., 2025]. За три столетия разработки уникальных месторождений в Мосбассе было добыто свыше 1589,3 млн т твердых углеводородов.

Промышленные запасы бурых углей на территории Тульской области составляли порядка 40% запасов Подмосковского угольного бассейна, и в исторической ретроспективе для населения угледобыча являлась значимым региональным социально-экономическим фактором. На различных этапах промышленной революции регион успешно решал социальные и стратегические задачи обеспечения транспортной, энергетической и других сфер хо-



Рис. 1. Карта-схема Подмосковского угольного бассейна (Мосбасса) [Грязев, Качурин, Захаров, 2015]

зяйственной деятельности природными ресурсами [Грязев, Качурин, Захаров, 2015; Открытие..., 2025].

Месторождения углей приурочены к южному и западному крылу Московской синеклизы, в пределах которой выявлено около 95 бурогольных месторождений, объединенных в 22 района. Угольные залежи имеют сложный гумусово-сапропелитовый состав и подразделяются на гумитовые, сапропелито-гумитовые и гумито-сапропелитовые [Барабошкина и др., 2004]. Суммарная площадь развития угленосных отложений достигает 120 тыс. км<sup>2</sup> (до глубин 200 м). Спецификой Подмосковского бурогольного бассейна является линзовидное и пластообразное залегание углей с низкой прочностью вмещающих пород и сложной конфигурацией залежей, гипсометрией и другими особенностями, требующих высоких компетенций специалистов в разведке, строительстве и эксплуатации шахт и угольных разрезов [Грязев, Качурин, Захаров, 2015; Чибрик, 2002; Мазур, 1997; Потапенко, 2012].

Особенностью состава углей данного бассейна является повышенное содержание металлов в зольном остатке. Типичные ассоциации элементов зависят от сернистости исходных углей, например, при более высоком содержании серы в составе отходов углеобогащения накапливаются свинец, селен, ртуть, золото, уран [Калаева и др., 2016], и при развитии наилучших доступных технологий такие отходы имеют большой потенциал для отнесения их к категории вторичных минеральных ресурсов.

На рубеже XX–XXI вв. под влиянием трендов «зеленой» глобальной экологической политики началось закрытие угольных шахт, особенно интенсивное в период с 1993 по 2005 годы, и только восемь шахт были остановлены по причине обработки основных

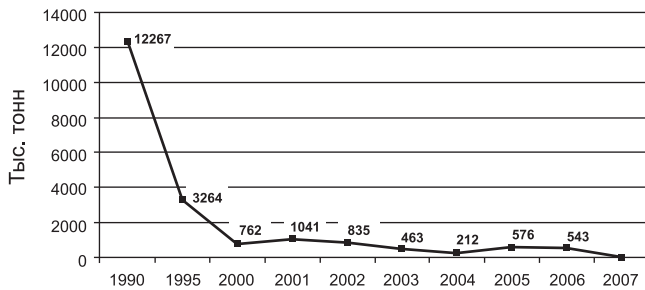


Рис. 2. Тренды промышленной добычи угля в Тульской области (по данным Госкомстата РФ) на рубеже тысячелетий [Программа..., 2020]

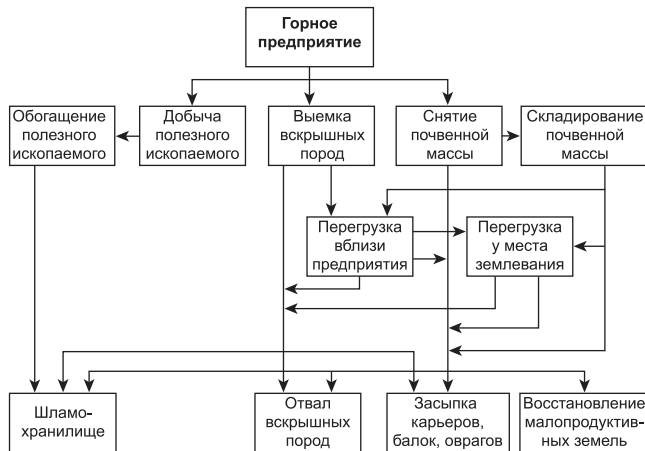


Рис. 3. Модель формирования ЭГС массивов насыпных грунтов шахтного типа, включая этап разработки программ восстановления малопродуктивных земель (по материалам А.Ю. Дриженко, см. [Гальперин и др., 2006])

запасов [Потапенко, 2012; Государственный..., 2013; Барабошкина и др., 2015]. Промышленная добыча угля в регионе уже к 2007 г. (рис. 2) стала резко сокращаться [Грязев и др., 2015; Программа..., 2020].

Согласно регламентам Парижского соглашения по климату (подписано в 2016 г., вступило в силу в РФ в 2019 г.) и глобальным трендам по ускоренному конкурентному развитию низкоуглеродной энергетики с возможным замещением низкокалорийного угля альтернативными энергоресурсами по «Программе развития угольной промышленности...» к 2035 г. не планируется добыча бурых углей в Подмосковном бассейне [Программа..., 2020]. К началу работы выше указанной программы на дневной поверхности в виде различных отходов угольной промышленности накоплено более 317,85 млн т массивов техногенных грунтов (25% от объема добычи товарной продукции) [Калаева и др., 2016].

Техногенные ЭГС сформированы насыпными массивами вскрышных пород (терриконы) и угольных шламов (хвосты — отходов обогащения) (рис. 3). Усложняют ситуацию склады почвенной массы (эдафотоп), не использованные для рекультивации терриконов, и многочисленные земляные инженерные сооружения (насыпи автомобильных и железных дорог, подъездных путей, промплощадок, песчаные подушки и обратные засыпки),



Рис. 4. «Техногенная пустыня» в районе ЭГС, сформированной грунтами породного отвала на территории Узловского района Тульской области [Калаева и др., 2016]

а также техногенно-измененные массивы оснований отвалов, шламохранилищ и других искусственных образований. В итоге в районах земельных отвалов угольных предприятий сформировались техногенные ЭГС (рис. 4).

Насыпные грунты состоят в основном из минеральных частиц природного происхождения, их первоначальная структура изменена в результате разработки и вторичной укладке. К ним относятся: нарушенные природные грунты, вскрышные породы, хвосты обогатительных фабрик и др. Отвалы формируют путем отсыпки без уплотнения различных видов грунтов, полученных при отрывке котлованов, производстве вскрышных работ, проходке подземных выработок и т.п., а также хвостов обогатительных фабрик и отходов производств, удаляемых в отвалы сухим способом. Угольные терриконы сложены широким спектром грунтов, различающихся по дисперсности — от крупнообломочного материала (раздробленных осадочных цементированных пород) до песчаных и глинистых. Часто в отвалы попадают уголь, «конгломераты» — порода с углем, которые вместе с серой являются горючей составляющей насыпного массива. Известны случаи, когда подработка и вскрытие уже перегоревших терриконов провоцируют возобновление окислительных процессов и новое горение [Огородникова, Николаева, 2017; Абакумова и др., 2021; Мосейкин и др., 2013].

Поскольку на настоящий момент разработки углей на территории Подмосковного угольного бассейна минимизированы, актуальным является вопрос доизучения и оценки состояния компонентов ЭГС насыпных массивов, в том числе терриконов, шламоотвалов и др., для определения их потенциала для рекультивации [ИТС 37-2023] и решения задач национальных целей развития территорий и создания комфортных условий для проживания населения и восстановления экосистем в староосвоенных регионах Российской Федерации.

**Методика исследований.** Для оценки современного состояния ЭГС насыпных массивов и особенностей проявления экологических функций абиотических сфер земли были проведены комплексные исследования на типовом участке Мосбасса в северо-восточной части Щекинского района Тульской области.

На камеральном этапе осуществлен анализ опубликованных и фондовых материалов, на базе которого перед началом полевых работ составлены предварительные эколого-геологические картосхемы масштаба 1 : 500 00 с использованием фондовых материалов (топографической, почвенной, геологической, радиологических карт) и осуществлена типизация района по особенностям строения экогеосистем (табл. 1). Исходя из розы ветров, уровня техногенной нагрузки, оказываемой горнодобывающим комплексом (см. рис. 2), опубликованных материалов, были намечены профили для комплексных полевых исследований.

Маршруты осуществлялись вдоль двух профилей: основного — проходящего в направлении с северо-запада на юго-восток области (от фонового участка в с. Ясная Поляна далее по направлению с. Ломинцево, с. Плеханово (шахта № 11), Васильевскую шахту № 17); вспомогательного — от восточной окраины с. Казначеевское через шахту № 21 и шахту № 27 (Мостовская) (приурочены к Усть-Колпинскому и Липковскому месторождениям соответственно) [Барабошкина и др., 2004]. Проведена интерпретация полученных и опубликованных междисциплинарных данных о состоянии компонентов эколого-геологических систем района исследований.

Основными объектами изучения явились компоненты ЭГС: «литотоп/насыпные грунты — эдафотоп/

почвы — гидросфера/поверхностные воды — фитоценозы/растения». Осуществлялась фотофиксация природных и техногенных процессов и экологических последствий их проявлений для фитоценозов. Полевое опробование эдафотопа и растительности выполнялось через 50 м методом конверта с площадок 1×1 м. Аналитические исследования выполнялись в Александровской опытно-методической лаборатории Министерства природных ресурсов РФ.

Фиксировался уровень гамма-излучения на базе радиометра СРП-97-01 [Барабошкина и др., 2004]. Определения вариации мощности дозы гамма-излучения были выполнены в районе семи шахт, четыре из которых (№ 11, 13, 14 и 17) располагались на основном профиле и две — шахты № 21 и 27 — на дополнительном. Систематика данных о трансформации компонентов эколого-геологических систем выполнена на основе метода эколого-геологического картографирования [Эколого-геологические карты, 2002; Baraboshkina, 2003] с учетом новых приоритетов развития региональной экономики до 2035 года [Программа..., 2020].

**Эколого-геологическое картографирование трансформации компонентов ЭГС.** Оценочный блок фрагмента легенды к карте типизации компонентов эколого-геологических систем исследуемого участка Тульской области приведен в табл. 2.

Литотоп в пределах участков опробования представлен техногенными (tH), покровными (grII-III) образованиями — суглинками желтовато-бурыми (до 2 м), подстилаемыми моренной (gIdns), меловыми (K<sub>1</sub>ap), юрскими (J<sub>3</sub>) и каменноугольными (C<sub>1</sub>) отложениями. Эдафотоп вдоль профиля характеризуется преимущественно светло-серыми лесными почвами,

Таблица 1

**Эколого-геологические системы (фрагмент легенды к карте типизации компонентов ЭГС исследуемого участка Тульской области) [Барабошкина, Соболева, Голынская, 2012]**  
**Раздел I. Эколого-геологические системы территории исследований**

Название ЭГС	ЛИТОТИП		ЭДАФОТОП	Фитоценозы (Растительность)	Индекс ЭГС		
	Рельеф	Характеристика				Почвы	
		Геолого-генетический комплекс	Характеристика первого от поверхности водоносного горизонта				
Эколого-геологические системы водо-разделов (В)	Водоразделы уплощенные, плавно снижающиеся к бровке склонов речных долин. Абсолютные отметки изменяются от 275 до 180 м (В1)	gr II-III суглинки желтовато-бурые, мощность достигает 5 м	Воды порового типа, минерализация 0,1–0,2 г/л, гидрокарбонатно-кальциевые	Светло-серые лесные (Л <sub>1</sub> )	Разнотравнозлаковый луг (1)	ВЛ <sub>1</sub> 1	
		gIdn суглинки коричневатобурые, от средних до тяжелых, мощность до 5 м		Серые лесные (Л <sub>2</sub> )	Смешанный лес (2)	ВЛ <sub>1</sub> 2	
		K <sub>1</sub> ap пески, мощностью 10–15 м			Смешанный лес (2)	ВЛ <sub>2</sub> 2	
		Заброшенная пашня (3)		ВЛ <sub>2</sub> 3	Темно-серые лесные (Л <sub>3</sub> )	Разнотравнозлаковый луг (1)	ВЛ <sub>3</sub> 1
					Черноземы оподзоленные (Ч <sup>оп</sup> )	Разнотравнозлаковый луг (1)	ВГЧ <sup>оп</sup> 1

Таблица 2

Оценка класса эколого-геологического состояния (фрагмент легенды к карте типизации компонентов ЭГС исследуемого участка Тульской области) [Барабوشкина и др., 2004; Барабوشкина, Соболева, Голынская, 2012]

Раздел легенды: Оценка класса эколого-геохимического состояния ЭГС

Класс состояния эколого-геологических условий	ЭДАФОТОП	ФИТОЦЕНОЗЫ						Состояние экосистемы
	Почвы	Травянистая растительность			Древесная растительность			
		Z(c) — суммарный показатель содержания токсикантов	Концентрация микроэлементов в укосах и растительных кормах, мг/кг сухого вещества			Концентрация микроэлементов в зпелых тканях листьев, мг/кг сухой массы		
		Cu	Cr	Ni	Cr	Mn	Ni	
Условно-удовлетворительное	8–16	20–80	0,75–2,5	4,5–15	0,5–5	200–300	5–10	Риск (Р)
Неудовлетворительное	16–32	80–100	2,5–5	15–30	5–30	300–500	10–100	Кризис (К)



Рис. 5. Фотофиксация трансформации эдафотоп и фито-, микробо- и зооценозов на территориях, прилегающих к ЭГС массивов насыпных терриконов (фото Т.А. Барабوشкиной)

а также серыми и темно-серыми лесными, черноземами оподзолеными [Барабوشкина и др., 2013].

Вблизи техногенных ЭГС массивов насыпных грунтов фитоценозы отсутствуют не только на крутых откосах терриконов, но и вдоль шлейфов эрозионных техногенных кислотных стоков, ликвидирующих эдафотоп и биоту (фито-, микробо- и зооценозы) (рис. 5).

Интегральная оценка состояния экогеосистем определяется на основе принципа доминанты наилучшего показателя из совокупности использованных абиотических и биотических критериев. Зачастую именно особенности отклика фитоценозов выступают надежными индикаторами различных воздействий, что позволяет использовать растительность для оценки интенсивности техногенных нагрузок, диагностики уровня комфортности территории для живого и выявлять особенности проявления экологических функций массивов насыпных грунтов.

**Трансформация ресурсной и геодинамической экологических функций литосферы в районе ЭГС массивов насыпных грунтов.** Длительная разработка угольных месторождений в пределах ведущих угледобывающих регионов, включая Подмосковский бассейн, повсеместно ведет к трансформации литотопы, и в первую очередь идет изменение рельефа

территории, механическая миграция горных пород. Перепад высот между днищами карьеров и вершинами насыпных массивов грунтов (терриконов) достигает сотен метров.

К доминирующим негативным эколого-ресурсным особенностям в районах формирования ЭГС насыпных техногенных массивов следует отнести: сокращение площадей земель, пригодных для сельскохозяйственного использования или снижение их биопродуктивности; разрушение структуры эдафотопы и фитоценоза, среды обитания микробио- и зооценозов; изменение интенсивности эрозионных процессов — усиление ветровой и водной эрозии; активизация обвальных и оползневых процессов.

За счет загрязнения и изъятия земельных ресурсов, о которых говорилось выше, например, в Тульском регионе трансформация пахотных ресурсов достигает порядка десяти тысяч гектаров. В проекте ликвидации ДОО «Тульское» предусматривалась рекультивация земель на площади более 1460 га, в том числе по шахтам около 780 га, а по угольным разрезам (Ушаковскому, Богородицкому, Кимовскому и Грызловскому) более 580 га. Однако по факту площадь восстановленных земель суммарно составила около 170 га, так как в ретроспективе наблюдался тренд к снижению рекультивированных за год земель, например, с 2012 по 2018 гг. в 1,7 раза (с 1018 га до 589,5 га) [Программа..., 2020].

Преимущественно в регионе осуществлялась техническая рекультивация путем засыпки выработанного пространства вскрышными породами, а снятые (по проекту разработки) плодородные слои почв остаются не востребованными на складах «временного» хранения, достигая в настоящее время более 3 млн м<sup>3</sup> гумусового слоя почв. Суммарная площадь, в той или иной мере подверженная техногенному воздействию, связанная с разработкой месторождений угля, достигает 3102,75 км<sup>2</sup>, или 12,1% от общей территории области. Насыпные отвалы техногенных грунтов по высоте варьируют очень сильно и условно классифицируются на низкие (до 20 м), средние (20–50 м) и высокие (свыше 50 м). Общая схема их формирования представлена выше на рис. 3 [Гальперин и др., 2006].

Занятые массивами техногенных грунтов площади выпадают из сельскохозяйственного и лесного производства. Плодородный слой черноземных почв перемешан со смытой дождевыми потоками и нанесенной ветром угольной золой в радиусе 250–400 м. На пашне встречаются фрагменты пустой породы и спекшегося шлака. Ряд исследователей фиксируют формирование Верхнедонского антропогенного района. В его состав входят территории Кимовского, Узловского, частично Новомосковского, Богородицкого, Киреевского и Щёкинских административных районов Тульской области. Площадь района равна 5760 км<sup>2</sup> [Калаева и др., 2016]. Терриконы хаотично разбросаны по территории всей области. Сформированные техногенные ЭГС массивов насыпных грунтов при экстенсивной работе горнодобывающих предприятий приводят к истощению запасов невозполняемых природных ресурсов и нарушают качество ресурса геологического пространства, как для проживания населения, так и для сельскохозяйственных сфер экономической деятельности. Фактически отмечается трансформация ресурсной экологической функции литосферы.

Однако, согласно исследованиям [Грязев и др., 2015], в настоящее время угли представляют интерес как ресурс комплексного горно-химического сырья. Зольный остаток подмосковных углей содержит редкие рассеянные элементы, цветные и благородные металлы (алюминий, цинк, золото). Редкие рассеянные элементы — это, прежде всего, галлий, натрий, скандий, лантан, церий, тантал, цирконий и др., что может предполагать высокий потенциал диверсификации экономики региона. Поэтому необходимо изучение состава грунтов, слагающих насыпные массивы терриконов, хвостохранилищ, золошлакоотвалов, которые могут рассматриваться как техногенные месторождения.

*Трансформация геодинамической экологической функции литосферы* наблюдается в регионе повсеместно. Расчлененность рельефа в пределах Подмосковного угольного бассейна, избыточная обводненность территории провоцируют развитие склоновых процессов: оползней, обвалов, оплывин, селей и других, обусловленных действием гравитационных сил [Барабошкина, Соболева, Гольнская, 2012; Барабошкина и др., 2004; Рябов, 2009; Трансформация..., 2006; Потапенко, 2012; Программа..., 2025].

Комплексный экологический мониторинг ЗАО «Центрэкомониторинга» [Потапенко, 2012] после закрытия шахт в Тульской области зафиксировал 178 провалов земной поверхности диаметром 7–20 м и глубиной 2–4 м. Была установлена интенсификация провалообразования во времени: за первый пятилетний период в год было задокументировано от 5 до 10 провалов, а далее ежегодно фиксировалось по 15–21 провалов.

Засыпка осуществлена 117 провалов грунтом объемом 32 200 м<sup>3</sup>. Актуально отметить качественное проведение планировочных работ на тех участ-

ках шахтного поля, где осуществлялась засыпка горных выработок грунтом, так как провалов земной поверхности более не зафиксировано. Однако еще сохранились 75 воронок на шахтных полях (объемом около 10 000 м<sup>3</sup>), снижающих ресурс геологического пространства для комфортного проживания населения и безопасного выпаса животных.

Комплексный анализ экологических последствий закрытия угольных шахт, выполненный в работе В.А. Потапенко [Потапенко, 2012], показал, что на пяти шахтах Тульской области ликвидация горных выработок производилась обрушением кровли после извлечения крепи. Этот метод консервации горных выработок оказался не эффективным, т.к. на трех шахтах в последствии произошла активизация провалов, визуально фиксируемых в бортах оврагов, ручьев и рек. Из четырнадцати шахт, ликвидированных путем затопления, над семью также сформировались провалы земной поверхности. Горные выработки, имевшие выход на поверхность, были заполнены насыпным грунтом, а устья перекрыты железобетонными плитами. Однако в дальнейшем металлоконструкции перекрытий были вскрыты и извлечены «черными копателями» на 13 шахтах до глубины 10–30 м, и провальное явление получили новый толчок развития [Потапенко, 2012].

Отличительной особенностью изученных ЭГС массивов насыпных грунтов в регионе является продолжение развития эрозионных процессов вследствие низкой степени их самозарастания и фиторекультивации. Формирующаяся поверхностная корка отвалов легко разрушается из-за контрастных температурных колебаний и воздействия атмосферных осадков (рис. 6).

При поверхностном стоке вследствие эрозионных процессов с терриконов идет миграция поллютантов и формируется «агрессивная» пульпа с аномальными концентрациями токсичных веществ (см. рис. 5), которые поступают на прилегающие территории. Образующиеся растворы серной кислоты меняют кислотно-щелочной баланс почв и поверхностных вод в бассейне реки Ока [Эколого-геологические..., 2016].

Синергетическим эффектом ветровой и водной эрозии (рис. 5, 7), по опубликованным данным, является деградация гумусового горизонта вследствие его загрязнения порядка на 2970 га плодородных земель и снижение их ресурсного потенциала [Мазур, 1997; Барабошкина и др., 2004; Потапенко, 2012; Барабошкина, Соболева, Гольнская, 2012; Антонова и др., 2015; Эколого-геологические..., 2016; Барабошкина, Харькина, Жигалин, 2015; О санитарно-эпидемиологической..., 2025; Шейнкман и др., 2018].

*Трансформация геохимической экологической функции литосферы в районе ЭГС массивов насыпных грунтов.* По результатам полевого комплексного опробования системы «эдафотоп-фитоценозы» установлено, что приоритетными загрязнителями эдафотопы в пределах изученной территории являются свинец, ванадий и марганец. Причем для свин-



Рис. 6. Пример проявления активных эрозионных процессов и минимизация самозарастания крутых откосов терриконов, граничащих с селитебными территориями (фото Т.А. Барабошкиной)

ца характерны средние значения на уровне 30–32 мг/кг, с закономерным увеличением его содержания около автотрасс межрайонного значения и технологической насыпи железнодорожного полотна. Высокие концентрации ванадия и марганца имеют локальное распространение в районе шахты № 14. Повышенные количества токсикантов зафиксированы в дорожном основании, сложенном из обожженных углеводородных пород и в юго-восточной части района (шахты № 13 и 14), где на локальных участках содержание свинца имеет коэффициент превышения концентрации относительно ПДК (Кпдк) до 50. В пространственном аспекте можно отметить тренд к снижению концентраций свинца в почвах в радиусе 1 км от терриконов до фоновых концентраций [Барабошкина, Соболева, Голынская, 2012].

В северо-восточной части изученного района типичной ассоциацией в почвах являются: Zn, Ni, Pb, Zr, Ba, Ti и P. Вариации геохимического состава техногенных грунтов обусловлены, в первую оче-

редь, геохимическим составом разрабатывавшихся продуктивных пластов и углеводородных пород [Барабошкина, Соболева, Голынская, 2012].

По составу ассоциаций в укосах трав преобладают Cr, Cu и Ni; в листьях деревьев — Cr, Mn и Ni. Специфическим маркером для растений является Cr, как один из лимитирующих факторов диагностики класса состояния эколого-геологических условий изученных ЭГС. Согласно полученным данным как в эдафотопе, так и в фитоценозах зафиксирован никель. Принципиальным важным аспектом, который надо учитывать на современном этапе, являются перманентные трансграничные выбросы от действующих производств на староосвоенные горнодобывающие территории.

Главными загрязняющими компонентами подземной гидросферы в районе терриконов являются сульфаты, железо, тяжелые металлы, продукты разложения остатков древесины и других материалов, оставленных в горных выработках. Содержание железа в отобранных пробах воды имеет вариации  $K_{\text{ПДК}}$  в 10–20 раз, сухой остаток в 1,2–2 раза, общая жесткость в 2–3 раза. В последнее время наблюдается тенденция к стабилизации показателей качества подземных вод в регионе [О санитарно-эпидемиологическом..., 2025; О состоянии..., 2025; Потапенко, 2012; Информационный..., 2019].

**Трансформация геофизической экологической функции литосферы в районе ЭГС массивов насыпных грунтов.** Фиксируемая общая тенденция вариации гамма-фона в пространственном аспекте сопоставима с полученными геохимическими данными и наследует как особенности геологического строения района, так и ретроспективу развития экономики горнодобывающей деятельности в регионе. Так, радиоактивность почвы в пределах северо-западной части основного профиля изменяется в диапазоне от 0,15 до 0,21 мкЗв/ч. В юго-восточном направлении мощность дозы гамма-излучения варьирует от 0,2 до 0,31 мкЗв/ч, имея максимум вблизи

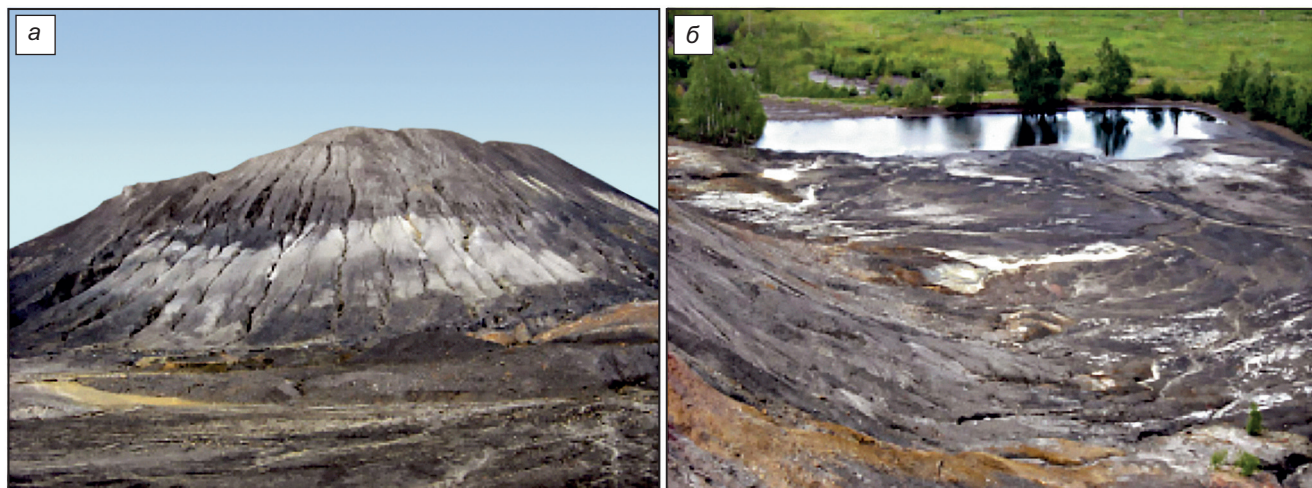


Рис. 7. Породные отвалы угольных шахт Тульской области: а — породные отвалы отработанной шахты АО «Мосбассуголь» в Богородицком районе; б — техногенная пустыня в зоне действия породного отвала [Шейнкман и др., 2018]

шахты № 27 (Мостовская) [Барабоскина и др., 2004; Эколого-геологические..., 2016].

В целом, площадные контуры геохимического загрязнения и величины гамма-фона показывают общую тенденцию к повышению значений вблизи ЭГС терриконов и дорожных насыпей, отсыпанных обожженными углевещающими породами и шлаками из местных котельных; в настоящее время основными региональными факторами риска на территории Мосбасса остаются эколого-геологические системы, сформированные в районе техногенных массивов насыпных грунтов, катализирующие трансформацию экологических функций литосферы в комплексе с трансграничными источниками воздействия.

**Потенциал биологической рекультивации техногенных насыпных массивов для улучшения состояния компонентов ЭГС.** По опубликованным данным Красавина А.П., Хорошавина А.Н., Катаевой И.В., Чибрик Т.С. [Красавин и др., 1985; 1988; Чибрик, 2002] коллектив ВНИИОСуголь внедрил технологию ускоренной биологической рекультивации на аналогичных изучаемым объектах предприятий угольной промышленности. Методика работ предусматривает: «1) нанесение на поверхность отвалов обезвреженных бытовых осадков с иловых площадок городских очистных сооружений — бытовой осадок содержит биогенные элементы (азот, фосфор, калий), необходимые для стартового развития микробиоценозов, которые, в результате своей жизнедеятельности (метаболизма), оказывают стимулирующее влияние на рост и развитие высших растений; 2) внесение гуминового препарата, полученного на основе использования угольных отходов и культуры микроскопических организмов; 3) посев смеси многолетних трав: костреца безостого, донников — белого и желтого» [Красавин, Хорошавин, Катаева, 1985; 1988].

Насыпные техногенные ЭГС для биологической рекультивации представляют большую сложность, особенно те ее участки, где почвенный покров полностью отсутствует, а субстрат с поверхности представлен переотложенными вскрышными грунтами, вторично измененными под воздействием техногенного фактора. В результате литотоп обогащен тяжелыми металлами, фитотоксичен, лишен микрофлоры. Содержание ряда элементов в эдафотопе, литотопе (свинец, медь, никель, цинк, кадмий, олово, ртуть) превышает фоновое иногда в десятки раз [Чибрик, 2002].

Горбунов Н.И. [Горбунов, 1970] классифицирует породы по степени пригодности для биологической рекультивации на три группы: пригодные, малопригодные и непригодные. Группа пригодных пород (I) разделена на две подгруппы: плодородных и потенциально плодородных пород с их характеристиками, т.е. к ним применим оптимальный способ биологической рекультивации. Малопригодные (группа II) и непригодные (группа III) породы классифицированы на неблагоприятные по физическим и химическим свойствам, лимитирующим возможность

выращивания растений и определяющим потенциал использования массива для биологической рекультивации [Горбунов, 1970; Чибрик, Глазырина, 2008].

По результатам многолетних исследований экологических последствий горнодобывающей деятельности в Евразии Т.С. Чибрик с коллегами разработали методические основы биологической рекультивации сложных техногенных экогеосистем [Чибрик, 2002; Чибрик, Глазырина, 2008]. В соответствии с их рекомендациями важно выполнять предпосадочную подготовку техногенного литотопа по системе сидерального пара и выращивать люпины и донники до смыкания крон лесокультур. Люпин накапливает азот в достаточной для растений форме и повышает ферментативную активность техногенных грунтов.

Экспериментально доказана [Чибрик, 2002; Чибрик, Глазырина, 2008] интенсификация роста лесных культур и путем введения в их состав древесных пород — азотонакопителей (ольха, акация, карагана, облепиха), обладающих способностью фиксировать атмосферный азот и трансформировать его в гидролизные соединения. Кроме того, по мнению Т.С. Чибрик, использование ольхи в лесных культурах дает эффект за счет экономии средств на ручных уходах в рядах [Чибрик, 2002]. Около 300 видов древесных, цветочных, декоративных, газонных и грунто-покровных растений, в основном интродуцентов, прошли многолетние испытания на разном агротехническом фоне [Рекультивированные..., 2023; Чибрик, Глазырина, 2008; Шаропова и др., 2020].

По итогам многолетних исследований к группе устойчивых растений, которые Т.С. Чибрик с соавтором рекомендуют для озеленения наиболее загрязненных грунтов, отнесены: лох (серебристый и узколистный), тамариск многоветвистый, снежноягодник белый, тополя (бальзамический, душистый), ива козья, бересклеты (Маака и бородавчатый), сирень венгерская, бузина красная, жимолость татарская, вишня песчаная [Чибрик, 2002; Чибрик, Глазырина, 2008].

Газонные и почвопокровные травы этой группы: ежа сборная, кострец безостый, мятлики (луговой и обыкновенный), пырей ползучий, овсяница красная. В эту группу входят и некоторые широко распространенные дикорастущие виды: мать-и-мачеха, латук татарский, синяк обыкновенный, вьюнок полевой. Значительная часть перечисленных растений дает декоративный и санитарно-гигиенический эффект [Чибрик, Глазырина, 2008].

По сути, в связи с биоаккумуляцией токсичных элементов<sup>5</sup>, многолетние травы, а также некоторые листопадные деревья и кустарники выполняют

<sup>5</sup> Фитомасса растений содержит тяжелые металлы и другие элементы. В дикорастущих растениях: свинца в 4–15 раз больше фонового, цинка в 20–500 раз больше фонового, меди — в 3 раза. В зеленой массе овсяницы красной: свинца в 7–20 раз больше фонового, цинка в 42–292 раза, меди — в 46 раз больше. Тамариск многоветвистый может накапливать до 3,9% серы без видимых повреждений, достаточно много накапливает серы лох узколистный [Чибрик, Глазырина, 2008].

функцию «зеленого фильтра» — биохимического барьера [Чибрик, Глазырина, 2008].

В основу классификации вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель [ГОСТ Р 59070-2020] положена их непригодность, определяемая по химическим (сильная кислотность и щелочность, высокое засоление) и физическим (сильная каменистость) свойствам.

Согласно систематике Т.С. Чибрик, М.А. Глазыриной [Чибрик, Глазырина, 2008] в мировой рекультивационной практике сложилась особая форма ведения лесного хозяйства в пределах техногенных экогеосистем: 1) создание предварительных мелиоративных насаждений<sup>6</sup> из быстрорастущих нетребовательных пород; 2) постепенная замена их насаждениями из более ценных пород.

Успешно функционирует и трехмерное лесоводство — создание устойчивых экосистем, заменяющих менее продуктивную естественную растительность, в виде обширных лесополос, перемежающихся с пастбищными угодьями [Чибрик, Глазырина, 2008]. Трехступенчатая лесная рекультивация заключается в создании трех последовательно сменяющихся групп насаждений: 1) пионерной (акация белая, ольха черная); 2) промежуточной (платан, быстрорастущие тополя); 3) заключительной (дуб, ясень белый, орех). Есть положительный опыт [Чибрик, Глазырина, 2008] выращивания перечисленных трех групп фитоценозов в едином насаждении: ряд мелиоративных, ряд быстрорастущих и ряд основных лесобразующих пород. Затем постепенно вырубает ольху и акацию через 16–18 лет, быстрорастущие породы через 25–30 лет, оставшиеся основные породы используются 45–60 лет. По сути, рационально создание в пределах эколого-геологических систем массивов насыпных грунтов устойчивых биоценозов на основе природоподобных технологий.

**Заключение.** В пределах угледобывающих бассейнов при промышленной разработке углей и после ее прекращения происходят значительные изменения эколого-геологических условий территорий, особенно в районах распространения массивов насыпных

грунтов терриконов, шламонакопителей и золошлакоотвалов. В Подмосковном угольном бассейне произошла и продолжается (за счет воздушной и водной миграции загрязнителей) потеря земель для сельскохозяйственной и иной деятельности. Кроме этого, как показали проведенные маршрутные наблюдения, процесс самозарастания крутых склонов терриконов практически минимизирован. Всё в совокупности привело к существенной трансформации экологических функций литосферы (ресурсной, геодинамической, геохимической, геофизической). Собранные опубликованные данные, полученные результаты полевых, лабораторных и картографических работ фиксируют трансформацию компонентов эколого-геологических систем техногенных насыпных массивов по широкому спектру параметров и крайне низкий потенциал их самовосстановления. Поэтому требуется проведение дальнейших мероприятий по рекультивации нарушенных территорий.

Рационально использовать в пределах эколого-геологических систем техногенных насыпных массивов Подмосковного бассейна положительный опыт технической и биологической рекультивации. Рекомендуется после проведения террасирования крутых склонов поэтапное использование фитоценозов для минимизации накопленных эколого-геологических проблем. Внедряя комплекс подходов, в том числе, наилучшие доступные природоподобные технологии, успешно зарекомендовавшие себя в практике реабилитации аналогичных объектов, совместно со специалистами в области промышленной ботаники, агротехники можно добиться улучшения общего состояния эколого-геологических систем насыпных массивов для их последующего нового освоения — разрешенного использования для определенного целевого назначения (лесо- и сельскохозяйственного, строительного, рекреационного) с учетом экономической целесообразности для минимизации факторов риска и создания условий для комфортного проживания населения на селитебных территориях, исторически граничащих с ЭГС техногенных массивов насыпных грунтов.

**Финансирование.** Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова.

<sup>6</sup> Мелиоративные породы — ольха, акация белая, тополя.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абакумова Н.В., Николаева С.К., Самарин Е.Н. Классификации техногенных отложений в инженерной геологии: исторический обзор, современный взгляд на проблему // Инженерные изыскания. 2021. Т. 15, № 1–2. С. 28–40.

Антонова И., Базарский В., Косинова И.И., Барабошкина Т.А. и др. Экологическая геология крупных горнодобывающих районов Северной Евразии / Под ред. И.И. Косиновой / Воронеж: ОАО «Воронежская областная типография», 2015. 576 с.

Базовые понятия инженерной геологии и экологической геологии / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: ОАО Гео-маркетинг, 2012. 320 с.

Барабошкина Т.А., Жигалин А.Д., Матюшина Е.С. и др. Оценка изменения геологической среды под воздействием

угледобывающего комплекса // Сергеевские чтения. Т. 6. М.: ГЕОС, 2004. С. 224–227.

Барабошкина Т.А., Золотарев Г.М., Голынская Ф.А. Трансформация качества ресурса геологического пространства под влиянием горнодобывающей деятельности (на примере угольного бассейна) // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 8. С. 117–122.

Барабошкина Т.А., Соболева А.Н., Голынская Ф.А. Эколого-геохимические особенности Подмосковного угольного бассейна // Экология и промышленность России. 2012. № 6. С. 56–59.

Барабошкина Т.А., Харькина М.А., Жигалин А.Д. Освоение минеральных ресурсов и динамика экологических функций абиотических сфер Земли // Бюллетень

Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2015. Т. 90. № 4. С. 73–80.

Гальперин А.М., Ферстер В., Шеф Х.-Ю. Техногенные массивы и охрана природных ресурсов. Т. 2. Старые техногенные нагрузки и наземные свалки. М.: Изд-во МГГУ, 2006. 258 с.

Государственный доклад: «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2012 году». М.: Минприроды, 2013. С. 50–60.

Горбунов Я.Я. Химико-минералогические признаки пригодности вскрышных пород для использования при биологической рекультивации // Рекультивация в Сибири и на Урале. Новосибирск, 1970. С. 42–56.

Грязев М.В., Качурин Н.М., Захаров Е.И. Горнодобывающая отрасль в экономике Тульской области. Состояние и перспективы // Известия ТулГУ. Науки о Земле. № 2. 2015. С. 57–66.

ГОСТ 25100-82. Грунты. Классификация М.: ГК СССР по делам строительства, 1982. 19 с.

ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2013. 44 с.

ГОСТ Р 59070-2020. Охрана окружающей среды. Рекультивация нарушенных и нефтезагрязненных земель. Термины и определения. М., 2021. 22 с.

Информационный бюллетень о состоянии недр. М.: Геоинформмарк, 2019. С. 30–67.

ИТС 37-2023. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Добыча и обогащение угля (утв. Приказом Росстандарта от 14.12.2023 № 2707). М., 2023. 318 с.

Калаева С.З., Богданов С.В., Лукин Н.О., Огер А.А. Породные отвалы угольных шахт России // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2016. Вып. 1. С. 3–23.

Королев В.А., Трофимов В.Т. Систематика эколого-геологических систем. М.: ООО СамПолиграфист, 2025. 120 с.

Красавин А.П., Хорошавин А.Н., Катаева И.В. Восстановление нарушенных земель с использованием бактериальных препаратов // Вестн. с.-х. науки. 1988. № 10. С. 64–68.

Красавин А.П., Хорошавин А.Н., Катаева И.В. Ускоренная рекультивация породных отвалов угольных предприятий с использованием микроорганизмов // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1985. С. 124–130.

Мазур В.С. Экология Шекинского района Тульской области. Тула: Тульская типография, 1997. 199 с.

Мосейкин В.В., Гальперин А.М., Ермолов В.А., Круподеров В.С. Анализ ситуации с горнопромышленными отходами. (геоэкологический аспект) // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 1. С. 7–23.

О санитарно-эпидемиологической обстановке в Тульской области в 2024 г. Государственный доклад. Тула: УФС по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Тульской области, 2025. 195 с.

О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2024 году. Государственный доклад. М.: Минприроды, 2025. С. 50–60.

Огородникова Е.Н., Николаева С.К. Техногенные грунты. М.: Изд-во РУДН, 2017. 631 с.

Открытие музея шахтеров Мосбасса [Электронный ресурс] <https://rutube.ru/video/55c7da91e54af1deba1d533bb544c288/> (дата обращения 17.07.2025).

Потапенко В.А. Экологические последствия ликвидации угольных шахт в Тульской области // Безопасность жизнедеятельности. 2012. № 12 (144). С. 34–38.

Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года/ Распоряжение от 13.06. 2020 г. № 1582-р. М.: Правительство Российской Федерации. <http://static.government.ru/media/files/OoKX6PriWgDz4CNNAxwIYZEE6zm6I52S.pdf> (дата обращения 17.07.2025).

Прохоров Д.О., Снежко И.И. Проблема учета и регистрации отвалов горных пород в государственных кадастрах // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2019. Вып. 1. С. 17–29.

Рекультивированные отвалы, как депонирующая среда актуального и отложенного углеродного следа / П.П. Кречетов, А.В. Шарапова, Д.А. Касимова, О.В. Черницова // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всеросс. научной конференции с международным участием. Новосибирск: НГУ, 2023. С. 543–548.

Рябов Г.Г. Обоснование эколого-технологических положений системы обращения с отходами производства горнопромышленного региона: Автореф. дисс. ... д. т. н. Тула: ТГУ, 2009. 24 с.

Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза / Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г., Барабошкина Т.А. и др. М.: Ноосфера, 2006. 720 с.

Трофимов В.Т. Эколого-геологическая система и новая структура экосистемы // Геология, география и глобальная энергия. 2010. № 1(36). С. 6–26.

Трофимов В.Т., Барабошкина Т.А., Николаева С.К. Ресурсный потенциал эколого-геологических систем массивов намывных грунтов // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2024. Т. 63. № 5. С. 164–174.

Шарапова А.В., Семенов И.Н., Леднев С.А. и др. Биохимический потенциал саморазвития посттехногенных горнопромышленных геоконструкций Подмосковского бурогоугольного бассейна // Уголь. 2020. № 10. С. 56–61.

Шейнкман Л.Э., Сарычев В.И., Рябов Г.Г., Машинцов Е.А. Оценка экологической безопасности освоения месторождения при подземной добыче угля // Известия ТГУ. Науки о Земле. 2018. № 3. С. 73–84.

Чибрик Т.С. Основы биологической рекультивации. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2002. 172 с.

Чибрик Т.С., Глазырина М.А. Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2008. 196 с.

Эколого-геологические карты / Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г., Барабошкина Т.А. и др. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2002. 132 с.

Эколого-геологические условия России. Т. 2. Трансформация экологических функций литосферы территории России под влиянием антропогенного воздействия и ее экологические последствия / Трофимов В.Т., Харьковина М.А., Барабошкина Т.А., Григорьева И.Ю., Жигалин А.Д., Аверкина Т.А., Зилинг Д.Г. М.: КДУ, Университетская книга, 2016. 280 с.

Baraboshkina T. Ecological-geochemical mapping of the mining area // Mineral Exploration and of the Seventh Biennial SGA Meeting. Vol. 1. Millpress etherlands, Athens, Greece Millpress, Rotterdam, 2003. P. 13–15.

Статья поступила в редакцию 25.08.2025, одобрена после рецензирования 12.11.2025, принята к публикации 27.02.2026