

ГЕОГРАФИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 913+551.4.08

Е.А. Еременко¹, Ю.Н. Фузена², Е.В. Ворошилов³, М.В. Власов⁴, А.В. Бредихин⁵**АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ РЕЛЬЕФА ВОРКУТИНСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА**

Впервые выполнена количественная оценка антропогенной трансформации рельефа на территории Воркутинского промышленного района за 90 лет хозяйственного освоения. Выделены участки преобладающей прямой (создание антропогенного рельефа) и косвенной (изменение условий рельефообразования, спектра и интенсивности геоморфологических процессов) трансформации рельефа. Около 25% (144 км²) от всей площади района – это территории, где либо созданы антропогенные формы рельефа (79 км²), либо наблюдается существенное изменение естественного хода развития геоморфологических процессов (65 км²). Среди прямых антропогенных трансформаций рельефа по площади и объемам перемещенного вещества преобладают аккумулятивные – создание положительных форм рельефа (отвалы, насыпи и др.), общая площадь их составляет 75,2 км², объем – 417,8 млн м³. При этом 30% площади всех положительных антропогенных форм и 66% их объема – это отвалы шахт. Прямые денудационные трансформации (создание карьеров, каналов и пр.) значительно уступают по площади (3,8 км²) и объему перемещенного материала (72 млн м³). Косвенные трансформации рельефа имеют место в ближайших окрестностях (до 1 км, в основном – в пределах 200 м) зон прямых трансформаций. Они выражаются в изменении спектра и интенсивности геоморфологических процессов (прежде всего, мерзлотных, склоновых и флювиальных) вследствие нарушения сплошности растительного покрова, изменения гидрогеологического режима, теплового баланса мерзлых толщ и пр. В составе антропогенных отложений территории абсолютно преобладают по площади распространения и объемам продукты дробления скальных, в том числе углеродсодержащих пород, изъятые при проходке подземных выработок. Наибольшие объемы антропогенных отложений сосредоточены в отвальных полях шахт, ЦОФ «Печорская» и Юньягинского угольного разреза (в сумме – до 66% от всего объема), а также в насыпях под населенными пунктами (до 26%). В пределах участков развития антропогенного рельефа получили развитие обвально-осыпные, эрозионные и эоловые процессы, в естественных условиях развитые на территории крайне ограниченно; спектр криогенных процессов здесь был изменен – ведущим процессом стало криогенное выветривание, а пучение и термокарст, напротив, практически не развиты. Наиболее опасным природным процессом, развитым в пределах отвальных полей действующих и ликвидированных шахт, является самовозгорание. Обнаруженные признаки этого процесса (парение поверхности, выход горячих газов и растворов, фумаролы, просадки поверхности отвалов) указывают на возможность существования в теле отвалов крупных полостей и трещин.

Ключевые слова: породные отвалы, карьеры, добыча угля, техногенные грунты, рельеф районов горнодобычи

Введение. Воркутинский промышленный район (ВПР) располагается на территории Печорского угольного бассейна (республика Коми), общая площадь которого составляет около 90 тыс. км². Это крупнейший угольный бассейн в Европе и единственный в европейской части России, где добываются коксующиеся угли (около 9% от всего объема добычи коксующихся углей в России). Балансовые запасы угля составляют около 7,4 млрд тонн (в т. ч. – 3,3 млрд тонн коксующихся углей) [Логинов, Смир-

нов, 2005]. Основные потребители воркутинского угля – Череповецкий, Новоліпецкий и Нижнетагильский металлургические комбинаты, Московский коксогазовый завод и Ленинградский промышленный узел. С 1931 года на шахтах Воркуты добыто около 960 млн тонн (в 1980-х добывали до 22 млн т/год, в настоящее время – до 14–15 млн т/год). Уголь здесь поднимают с большой глубины (до 1100 м), что требует сложной организации добычного процесса, а также приводит к формированию больших объемов

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, доцент, канд. геогр. н.; *e-mail:* eremenkoeaig@gmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, доцент, канд. геогр. н.; *e-mail:* donaldw@bk.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, магистрант; *e-mail:* voroshilov@yahoo.com

⁴ ООО «ФРЭКОМ», г. Москва, гл. специалист; *e-mail:* vlasov-maxim@mail.ru

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, заведующий кафедрой, профессор, докт. геогр. н.; *e-mail:* avbredikhin@yandex.ru

пустой породы, изымаемой при проходке подземных выработок (стволов, штреков, лав, штолен и др.). При добыче тысячи тонн угля на поверхность извлекается от 200 до 300 т пустой породы [Коршунова, 1999; Северьянова, 2015], которая складывается в окрестностях шахт, формируя отвалы площадью в десятки га и высотой до 40 м. Комплекс антропогенных форм рельефа территории Воркутинского узла включает не только собственно отвалы шахт и обогатительной фабрики, но и большое количество прочих форм, образованных в ходе сопутствующего хозяйственного освоения территории (насыпи автомобильных и железных дорог, площадные отсыпки под населенными пунктами и др.). За прошедшее столетие природные ландшафты окрестностей Воркуты были существенно изменены. Наиболее изучены геохимические последствия горнодобычи [Коршунова, 1999; Дымов и др., 2013; Северьянова, 2015], в то время как работы по оценке изменения рельефа ранее не проводились. Целью исследования являлось выделение основных типов антропогенной трансформации рельефа Воркутинского промышленного района, а также впервые количественная оценка ее масштабов за весь период хозяйственного освоения.

Воркутинский горнодобывающий узел располагается в восточной части Большеземельской тундры вблизи западных отрогов Полярного Урала. Территория представляет собой пологохолмистую ледниково-аккумулятивную равнину, абсолютные отметки междуречий составляют от 170 до 230 м. Глубина вреза наиболее крупных речных долин (Воркута, Юньяха, Воргашор и пр.) не превышает 50 м, амплитуды высот в пределах междуречий составляют в среднем от 3–4 до 10–12 м. Крутизна поверхности в пределах междуречий не превышает 3–4°, лишь в пределах эрозионной сети увеличивается до 60–90°. С поверхности залегают четвертичные отложения (средняя мощность от 20 до 60 м), представленные преимущественно ледниковыми и водно-ледниковыми отложениями среднего плейстоцена [Астахов и др., 2007]. В долинах рек развиты три уровня надпойменных террас, а также современная пойма, сложенные супесчаным и суглинистым аллювием. Подстилающие коренные породы (нижепермские песчаники, аргиллиты, алевролиты, угли; реже – нижнекаменноугольные известняки и доломиты) смяты в складки с углами падения от первых градусов до 60–70°, вскрываются лишь в долинах крупных рек (Воркута, Уса и др.). Мощность угольных пластов в породах нижепермского отдела составляет до 4,5 м (пласт «Мощный»), в среднем – около 1,5 м [Логоинов, Смирнов, 2005]. Район работ расположен в зоне сплошного развития многолетнемерзлых пород, мощность которых составляет от 60 до 120 м. На междуречных поверхностях и речных террасах развит криогенный рельеф – бугры пучения (относительной высотой до 2–3 м, до 10–15 м в поперечнике), термокарстовые котловины (глубиной до 2–3 м, до 300 м в поперечнике), ложбины протаивания. В естественном растительном

покрове доминируют кустарнички (карликовая ива, береза, брусника и др.), мхи, лишайники.

Строительству первой шахты для добычи угля предшествовал более чем столетний период поиска и разведки сырья. Первая публикация о находках ископаемого угля на Печоре относится к первой половине XIX века [Деньгин, 1828]. В 1920 г. была организована Северная научно-промысловая экспедиция, отряды которой с 1921 г. вели целенаправленный поиск высококачественных углей в Печорском крае. Результаты этих работ позволили А.А. Чернову в 1924 г. сформулировать вывод о наличии огромного Печорского угольного бассейна [Иевлев, 2014]. В 1931 г. на правом берегу реки Воркуты заложен поселок Рудник и первая угольная штольня [Шабаев и др., 2018а]. В 1937 г. на левом берегу реки Воркуты началось строительство первой шахты (№1 «Капитальная»), рядом с которой возник поселок Воркута, получивший в 1943 г. статус города. До середины XX века добыча воркутинского угля производилась в основном силами заключенных (до 73 тыс. человек, проживавших преимущественно вблизи шахт в барачных лагерях). Окончательный перевод шахт комбината «Воркутауголь» на вольнонаемную силу произошел только в 1960 г. К началу 1990-х гг. в окрестностях Воркуты работало 13 крупных шахт. Их закладывали по кругу на краю угольной залежи (мульды). Рядом выросли поселки: Октябрьский, Северный, Юршор, Промышленный, Воргашор, Строительный, Комсомольский, Заполярный, Советский. В районах поселений была сформирована полноценная инфраструктура (детские и школьные учреждения, поликлиники и др.). Поселки соединила асфальтированная дорога длиной 54 км – Воркутинское кольцо. Упадок в металлургической промышленности, последовавший за распадом СССР, снизил конкурентоспособность воркутинского угля на рынке. Заработная плата сотрудников комбината (позднее – АО) «Воркутауголь» снижалась при сохранении тяжелых условий труда, связанных с геологическим строением участка добычи (максимальная в России глубина и метаноопасность [Забурдяев, 2016]). В шахтах участились аварии, уносившие жизни десятков шахтеров. В 1990-х гг. было закрыто шесть шахт, в начале 2000-х гг. – еще две, а в 2016 г. после аварии приостановлена добыча угля на шахте «Северной». В последние 30 лет наблюдается стабильная депопуляция ВПР, периферийные его области заселены лишь частично или вовсе заброшены [Антонов и др., 2014]. По состоянию на конец 2019 г. продолжают работу четыре шахты – «Воргашорская», «Комсомольская», «Воркутинская» (бывшая шахта № 1 «Капитальная») и «Заполярная». Кроме действующих шахт, с 2000 г. уголь добывают также в разрезе «Юньягинский» (первое и единственное в мире предприятие, добывающее коксующийся уголь открытым способом за Полярным кругом). Изучение масштаба и типов антропогенной трансформации рельефа района Воркуты важно для понимания механизма влияния горнодобывающей промышленности на естественное развитие рельефа Арктики,

в том числе, в части активизации негативных и опасных геоморфологических процессов.

Материалы и методы исследования. Сведения о хронологии расширения зоны горнодобычи в окрестностях Воркуты получены из опубликованных данных [Дымов и др., 2013; Иевлев, 2014; Шабаев и др., 2018а, 2018б; Varenberg, 2015], а также материалов архива Геологического музея ОАО «Полярноуралгеология» им. К.Г. Войновского-Кригера в Воркуте и МБУК «Централизованная библиотечная система» Воркуты [Муниципальное ..., 2020]. Эти материалы использованы при определении времени возникновения очагов освоения и изучении технологических процессов добычи угля в Воркуте. Поскольку целью исследования являлась оценка общей трансформации рельефа за весь период освоения, специальные работы по реконструкции хронологии роста очагов воздействия не проводились. Для получения данных о строении современного естественного и антропогенного рельефа ВПР, а также сопутствовавшей освоению трансформации геоморфологических процессов, осенью 2019 г. были выполнены полевые геоморфологические исследования, включавшие крупномасштабную геоморфологическую съемку, а также аэрофотосъемку территории с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА). В ходе полевых работ были обследованы все существующие участки трансформации рельефа в связи с антропогенным освоением (ликвидированные шахты, золоотвалы ТЭЦ, территории населенных пунктов, дорожная сеть, карьеры, свалки ТБО и др.), за исключением территории действующих шахт (их описание и оценка геоморфологических параметров выполнены по космическим снимкам и с использованием цифровой модели рельефа [Arctic DEM Explorer, 2020] с разрешением 2 м). В ходе описания участков антропогенной трансформации рельефа фиксировалось местоположение и морфология антропогенных форм (длина, ширина, глубина, высота, крутизна и др.), их соотношение с исходным рельефом местности, геоморфологические процессы (естественные и антропогенно спровоцированные) как в пределах антропогенных форм, так и в их окрестностях, состав антропогенных отложений.

Для детального исследования морфологии и оценки объемов отдельных крупных антропогенных форм рельефа выполнена съемка территории с помощью БПЛА вертолётного типа DJI Phantom 3 Advanced на девяти ключевых участках: на ликвидированных шахтах «Центральная», «Юршор», № 20, № 25; в южной части Юньягинского угольного разреза, на двух карьерах по добыче ПГС и действующем карьере по добыче щебня, а также на заброшенном участке геологоразведки.

Полученные материалы полевых исследований и анализ данных дистанционного зондирования использованы для расчета объемов антропогенных форм рельефа, определения площадей, занятых разными видами форм и воздействий, а также создания не имевшей аналогов ранее среднemasштабной (1:280 000) карты антропогенной трансформации рельефа Воркутинского промышленного района.

Результаты исследования и их обсуждение.

Горнопромышленное освоение окрестностей Воркуты практически никак не вписывалось в естественный рельеф территории: шахты и их инфраструктура располагались в соответствии со структурными особенностями положения полезных толщ (пластов угля), а прочие здания и сооружения (зоны жилой застройки, промышленные комплексы, в частности обогатительные фабрики) располагались по соседству. Антропогенное воздействие на рельеф территории можно разделить на **прямое** (создание антропогенных форм, изменение естественных форм рельефа) и **косвенное** (изменение условий развития рельефа и, как следствие, геоморфологических процессов). Прямые антропогенные трансформации в районе работ можно разделить на *аккумулятивные* (преобладает создание положительных форм рельефа, сложенных антропогенными отложениями) и *денудационные* (в основном создание отрицательных форм рельефа путем изъятия грунтов). В таблице приведена характеристика участков развития разных типов трансформаций и примеры созданных в их результате антропогенных форм.

Общая площадь участков, затронутых антропогенной трансформацией рельефа в пределах Воркутинского промышленного района, составляет почти 144 км². Эта величина сопоставима с площадью таких городов, как Кострома или Нефтекамск, и в пять раз больше площади Воркуты. Наблюдается традиционное соседство ареалов прямой и косвенной трансформации рельефа: как правило, области изменения условий развития рельефа (растительного покрова, гидрогеологических условий и пр.) обрамляют очаги прямого воздействия. Прямые аккумулятивные трансформации развиты существенно шире денудационных (рис. 1), т. к. создаваемые денудационные формы находятся под поверхностью земли на значительных глубинах. От всей площади, рельеф которой затронут антропогенным освоением (14 356 га), 55% (7 904 га) приходится на участки прямой трансформации (площадь всех антропогенных форм) и 45% – на участки косвенной трансформации (6 452 га, из них 3 510 га – это заброшенные в настоящее время сельскохозяйственные угодья).

Преобладает прямая аккумулятивная трансформация рельефа (насыпи в пределах селитебных территорий, отвальные поля шахт, дорожные насыпи и пр.) (рис. 2, 3), в ходе которой сформированы огромные объемы антропогенных отложений (около 418 млн м³). Если общий объем антропогенных отложений Воркутинского промышленного района равномерно распределить по площади Москвы в пределах МКАД, то он покроет ее слоем толщиной почти 50 см. Около 60% всего этого объема приходится на отвалы шахт и Юньягинского угольного разреза, 26% сосредоточено в насыпях под населенными пунктами. Отвалы угольных шахт Воркуты, ЦОФ «Печорская» и Юньягинского угольного разреза – крупнейшие по площади и объему формы антропогенного рельефа в Большеземельской тундре. Крупные отвалы (т. н. отвальные поля)

Т а б л и ц а

Типы антропогенных трансформаций рельефа Воркутинского горнодобывающего района и участки их распространения

Участки распространения	Характерные антропогенные формы рельефа и их морфология (для прямых трансформаций), характерные геоморфологические процессы (для косвенных трансформаций)	Слагающие техногенные отложения	Площадь, га	Объем, тыс. м ³
Прямые аккумулятивные трансформации				
Окрестности действующих шахт («Воргашорская», «Комсомольская», «Воркутинская», «Заполяная»), ЦОФ «Печорская», а также временно закрытой шахты «Северная»	Отвалы вскрышных пород высотой до 40 м (в среднем около 15 м)	Щебень, дресва, мелкие глыбы (алевролиты, аргиллиты и глинистые сланцы, песчаники)	598	89 699
	Отсыпки под промышленные комплексы шахт и отвалы вскрышных пород высотой в среднем около 4–6 м		556	27 824
Ликвидированные шахты	Отвальные поля высотой до 10–12 м на территории ныне разрушенных промышленных комплексов (в теле отвалов – остовы зданий) и в их окрестностях	Щебень, дресва, мелкие глыбы (алевролиты, аргиллиты и глинистые сланцы, песчаники), обломки кирпича и железобетонных конструкций, остовы разрушенных зданий	321	25 679
Территории ТЭЦ и их окрестности	Золоотвалы, вытянутые в плане, со ступенчатым профилем, отражающим их послонное формирование, высотой до 15 м	Зола, суглинки и глины с примесью дресвы, оградительные дамбы сложены щебнем и дресвой	65	6 495
	Золоотвалы изометричной в плане формы высотой до 5 м	Зола, суглинки и глины с примесью дресвы	120	5 993
Автомобильные дороги	Насыпи асфальтированных автодорог с двумя и более полосами движения, высотой в среднем 2,5–3,0 м, шириной по подошве 16–18 м	Щебень и дресва (известняки, доломиты, алевролиты, песчаники, аргиллиты)	255 (общая протяженность – 150 км)	5 742
	Насыпи асфальтированных автодорог и дорог с улучшенным покрытием (щебень, дресва) с двумя полосами движения, высотой в среднем 1,5–2,0 м, шириной по подошве 10–12 м		309 (общая протяженность – 281 км)	4 298
	Насыпи автодорог с улучшенным покрытием (щебень, дресва, песок), высотой в среднем до 1,0 м, шириной по подошве 6–8 м		185 (общая протяженность – 265 км)	1 587
Железные дороги (действующие и заброшенные)	Насыпи высотой до 4–5 м, ширина по подошью до 18 м	Щебень с примесью дресвы (известняки, доломиты)	<i>Действующие:</i> 193 га (общая протяженность – 121 км) <i>Заброшенные:</i> 33 га (общая протяженность – 21 км)	6 352
Селитебные территории (город, поселки и пр.)	Насыпи под крупными населенными пунктами (в т. ч., г. Воркута) высотой 3–5 м	В основном щебень и дресва (известняки, доломиты, песчаники), реже (обычно в нежилых зонах) – щебень аргиллитов, алевролитов, глинистых сланцев, ПГС (в виде прослоев в теле насыпей)	2 497	58 172
	Насыпи под небольшими населенными пунктами, площадками городской инфраструктуры, ТЭЦ, складскими комплексами и пр. высотой до 3 м		1 455	49 939
Свалки ТБО	Два изометричных в плане отвала с выровненной вершинной поверхностью	Бытовой мусор	40	1 406
Отвалы Юнгинского угольного разреза	Крупнейшие отвальные поля на изучаемой территории, высота до 40 м (в среднем около 15 м)	Щебень, дресва (аргиллиты, глинистые сланцы), супеси, валуны и галька метаморфических пород	898	134 576
Прямые денудационные трансформации				
Участки добычи ископаемых	Карьеры-прорезы по добыче угля (Юнгинский) вытянутой вдоль простирания угольного пласта формы, глубиной до 50 м	В бортах вскрываются четвертичные суглинисто-супесчаные отложения с валунами и галькой, аргиллиты, глинистые и углифицированные сланцы, песчаники	355	71 110
	Карьеры по добыче щебня карбонатных пород (известняка, доломита) глубиной до 35 м	В бортах вскрываются карбонатные коренные породы, перекрытые четвертичными отложениями, днища заполнены водой		
	Карьеры по добыче песчано-гравийных смесей глубиной до 25 м	В бортах вскрываются песчано-гравийные и песчано-галечные толщи, супеси с валунами и галькой, днища местами заполнены водой		

Продолжение табл.

Участки распространения	Характерные антропогенные формы рельефа и их морфология (для прямых трансформаций), характерные геоморфологические процессы (для косвенных трансформаций)	Слагающие техногенные отложения	Площадь, га	Объем, тыс. м ³
Окрестности шахт и карьеров	Каналы дренажные глубиной до 5 м, шириной по бровкам до 30–35 м	Используются для отвода поверхностных и подземных вод с территорий шахт и карьеров, местами – для переброски стока рек (например, р. Юньяха)	24 (общая протяженность – не менее 12 км)	853
Косвенные трансформации (изменение условий развития рельефа)				
Селитебные территории, ТЭЦ, складские комплексы, производственные предприятия (цементный завод и пр.), свалки	Все населенные пункты, инфраструктурные и прочие сооружения построены на насыпях из крупнообломочного материала. Поверхностный сток организован путем создания поверхностных и подземных дренажей. Как следствие – полностью изменен ход криогенных процессов (ведущий из них в настоящее время – криогенное выветривание, местами – малоамплитудное пучение, не приводящее к образованию форм рельефа). Развитие флювиальных и склоновых процессов в долинах рек не претерпело значительных изменений, в малых эрозионных формах активизировались склоновые процессы (на участках застройки и свалок).	Общая площадь зоны воздействия селитебного и сопутствующего воздействия составляет не менее 4 200 га (около 3 950 га приходится на участки прямой трансформации, не менее 250 га – исключительно косвенной трансформации)		
Территории шахт, вентиляционных шахт, ЦОФ и их окрестности	Все промышленные сооружения построены на насыпях. Поверхностный сток организован путем создания поверхностных и подземных дренажей. Как следствие – полностью изменен ход криогенных процессов (ведущий из них в настоящее время – криогенное выветривание, местами – малоамплитудное пучение, не приводящее к образованию форм рельефа). В ближайших окрестностях шахт (в т.ч. отвальных полей) и ЦОФ (в радиусе не более километра, в среднем – до 300 м) местами наблюдается активизация процессов термокарста и заболачивания	Общая площадь зоны воздействия процессов шахтной горнодобычи и обогащения сырья составляет не менее 2 000 га (из них около 1 400 га – участки прямой трансформации, не менее 600 га – косвенной трансформации)		
Участки открытой добычи (угля, ПГС и пр.)	На территории Юньягинского угольного разреза полностью изменено направление стока р. Юньяха, долина вовлечена в район добычи, сток перебросен в дренажный канал, огибающий участок разработки с востока. Повсеместно между крупными отвальными полями – термокарст, заболачивание, а местами и затопление. В районах добычи ПГС и карбонатных пород на прилегающих территориях существенных изменений геоморфологических процессов нет, однако в самих карьерах получили развитие процессы, не характерные для территории: обвалы, осыпи, линейная эрозия временных водотоков	Общая площадь зоны воздействия открытой горнодобычи составляет не менее 1 580 га (из них около 1 200 га – участки прямой трансформации, не менее 380 га – косвенной трансформации)		
Участки прокладки дорог	Повсеместно у подножья насыпей (чаще всего, выше насыпи на склоне, где она проложена) наблюдается заболачивание, постоянное подтопление (даже при крутизне поверхности менее 2°). Ширина зоны воздействия для крупных автодорог составляет местами до 50 м, для прочих – менее 10 м. На участках перехода дорог через долины рек, ручьев и ложбины выше перехода днище заболочено, местами затоплено	Общая площадь зоны воздействия дорожной сети составляет не менее 2 050 га (из них около 1 075 га – участки прямой трансформации, не менее 975 га – косвенной трансформации, в т.ч. около 100 га – участки наезженных тракторных колея в тундре)		
Участки прокладки трубопроводов (водопроводов, пульпопроводов надземным способом, газопроводов подземным способом)	Практически повсеместно вдоль трасс (и на притрассовых грунтовых дорогах) – активизация термокарстовых процессов, заболачивание, местами затопление	Общая площадь зоны воздействия трубопроводного транспорта составляет не менее 700 га (из них зона воздействия магистрального газопровода Бованенково–Ухта – 453 га)		
Кладбища	Снижение интенсивности криогенных процессов в связи с выравниванием территории (без отсыпки, в основном, путем перемещения материала на месте), снижение интенсивности заболачивания	Общая площадь зоны воздействия составляет около 37 га		
Территории бывших колхозов и совхозов	Сведение кустарничковой растительности, выпас скота, организация дренажа, выравнивание и вспашка (в прошлом) привели к снижению интенсивности криогенных процессов, главным образом, термокарста. Ведущий процесс в настоящее время – криогенное выветривание, малоамплитудное пучение. В составе растительности доминируют травянистые виды, что дополнительно способствует снижению обводненности грунтов, а также интенсивности криогенного пучения	Общая площадь зоны воздействия составляет около 3 510 га, в т.ч. 311 га – бывшие участки овощеводства		

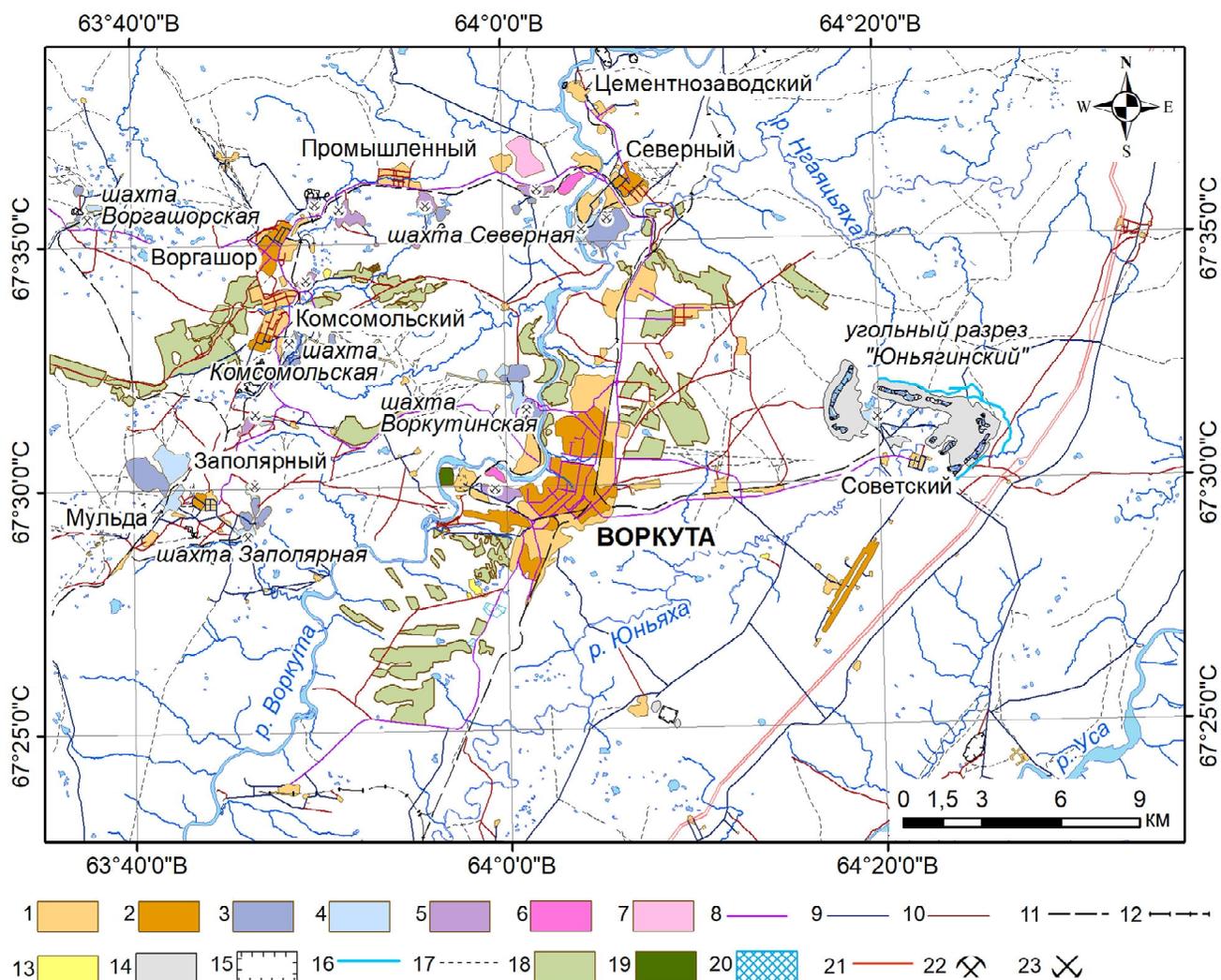


Рис. 1. Антропогенная трансформация рельефа Воркутинского промышленного района. Условные обозначения. **I. Аккумулятивный антропогенный рельеф:** 1 – отсыпки большой площади под населенными пунктами (средняя мощность <3 м); 2 – отсыпки большой площади в населенных пунктах (средняя мощность 3–5 м); 3 – отвальные поля шахт высотой >5 м; 4 – отвальные поля шахт высотой <5 м (в т.ч. под инфраструктуру и сооружения); 5 – отвальные поля ликвидированных шахт (высотой >5 м; внутри – остовы зданий); золоотвалы ТЭЦ; 6 – высотой >5 м; 7 – высотой <5 м; насыпи автодорог: 8 – высотой >2 м, шириной по подошве 16–18 м; 9 – высотой <2 м, шириной по подошве 10–12 м; 10 – высотой <2 м, шириной по подошве 6–8 м; 11 – насыпи действующих железных дорог; 12 – насыпи заброшенных железных дорог; 13 – полигон складирования ТБО; 14 – отвалы карьеров Юньягинского угольного разреза. **II. Денудационный антропогенный рельеф:** 15 – карьеры; 16 – дренажные каналы; 17 – тракторные колеи в тундре. **III. Участки косвенной трансформации:** 18 – земли бывших колхозов; 19 – заброшенные участки овощеводства; 20 – кладбища; 21 – трассы газопроводов. *Прочие обозначения:* 22 – действующие шахты; 23 – недействующие (в т.ч. ликвидированные) шахты

Fig. 1. Anthropogenic relief transformation in the Vorkuta industrial region. Symbols: **I) Accumulative anthropogenic relief:** 1 – large dumps under settlements (average thickness <3 m); 2 – large dumps within settlements (average thickness 3 to 5 m); 3 – mine dump fields over 5 m high; 4 – mine dump fields less than 5 m high (also under infrastructure and buildings); 5 – dump fields of abandoned mines (over 5 m high; with crushed buildings); ash dumps of the CHPP: 6 – over 5 m high, 7 – less than 5 m high; road embankments: 8 – over 2 m high and 16–18 m wide at the foot, 9 – less than 2 m high and 10–12 m wide at the foot, 10 – less than 2 m high and 6–8 m wide at the foot; 11 – embankments of operating railways; 12 – embankments of abandoned railways; 13 – solid waste storage landfill; 14 – open pits dumps of the Yun-Yaginsky coal mine. **II) Denudation anthropogenic relief:** 15 – quarries; 16 – drainage channels; 17 – tractor tracks in the tundra. **III) Areas of indirect transformation:** 18 – former collective farms lands; 19 – abandoned of vegetable growing areas; 20 – cemeteries; 21 – gas pipeline routes. *Other symbols:* 22 – actual mines; 23 – inactive (including liquidated ones) mines

достигают по длинной оси 2,5 км на Юньягинском угольном разрезе, 1,5 км на ЦОФ «Печорская» и 1 км на действующих шахтах; высота отвалов – до 40 м (в среднем 15–20 м); крутизна склонов от 20–25 до 35–40°. Слагающие их отложения имеют в основном грубообломочный состав (мелкие глыбы, щебень, дресва) и представляют собой измельченную «пустую» породу, изытую при проходке подземных выработок. Объемы отдельных отвальных

полей, измеренные с высокой точностью по данным съемки БПЛА, составляют первые миллионы кубических метров (в частности, отвалы ликвидированных шахт № 25 – 2,3 млн м³, № 20 – 2,1 млн м³, «Центральной» – 3,4 млн м³). При сооружении отсыпок большой площади и сравнительно малой мощности (в среднем до 5 м) в селитебных зонах были использованы отложения разного возраста и генезиса. До 1960-х гг. (при строительстве Воркуты и

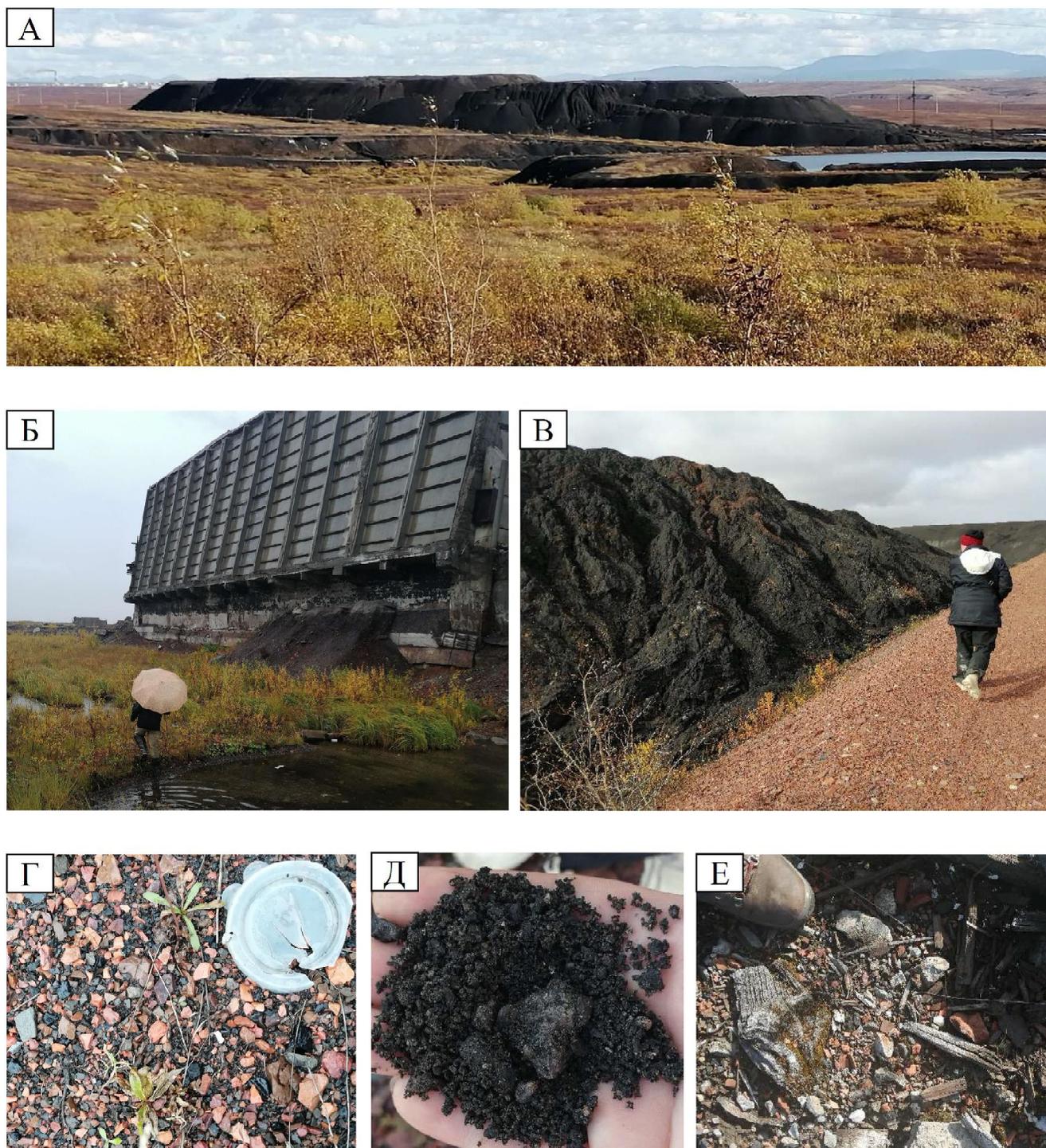


Рис. 2. Антропогенный рельеф и отложения Воркутинского промышленного района: А – общий вид отвальных полей действующей шахты «Заполярная», Б – разрушение заброшенных промышленных сооружений приводит к накоплению новых объемов антропогенных отложений, В – эрозийный бедленд на отвалах временно законсервированной шахты «Северная», Г – наиболее распространенная разновидность антропогенных отложений ВПР (щебень и дресва – продукты дробления скальных пород при проходке подземных выработок), Д – золошлаковые отходы ТЭЦ, Е – состав отложений на участке ликвидации шахты «Южная» (содержание бытового и промышленного мусора – 50% и более)

Fig. 2. Anthropogenic relief and sediments of the Vorkuta industrial region: А – general view of dump fields of the operating Zapolyarnaya mine, Б – destruction of abandoned industrial structures leads to the of new volumes of anthropogenic deposits accumulations, В – erosion badland on the of the temporarily inactive Severnaya minedumps, Г – the most widespread type of anthropogenic deposits (crushed stone and gruss – rock crushing products during underworkings excavation), Д – ash and slag waste from the CHP, Е – deposits at the disposal site of the Yuzhnaya mine composition (the content of household and industrial waste is 50% and more)

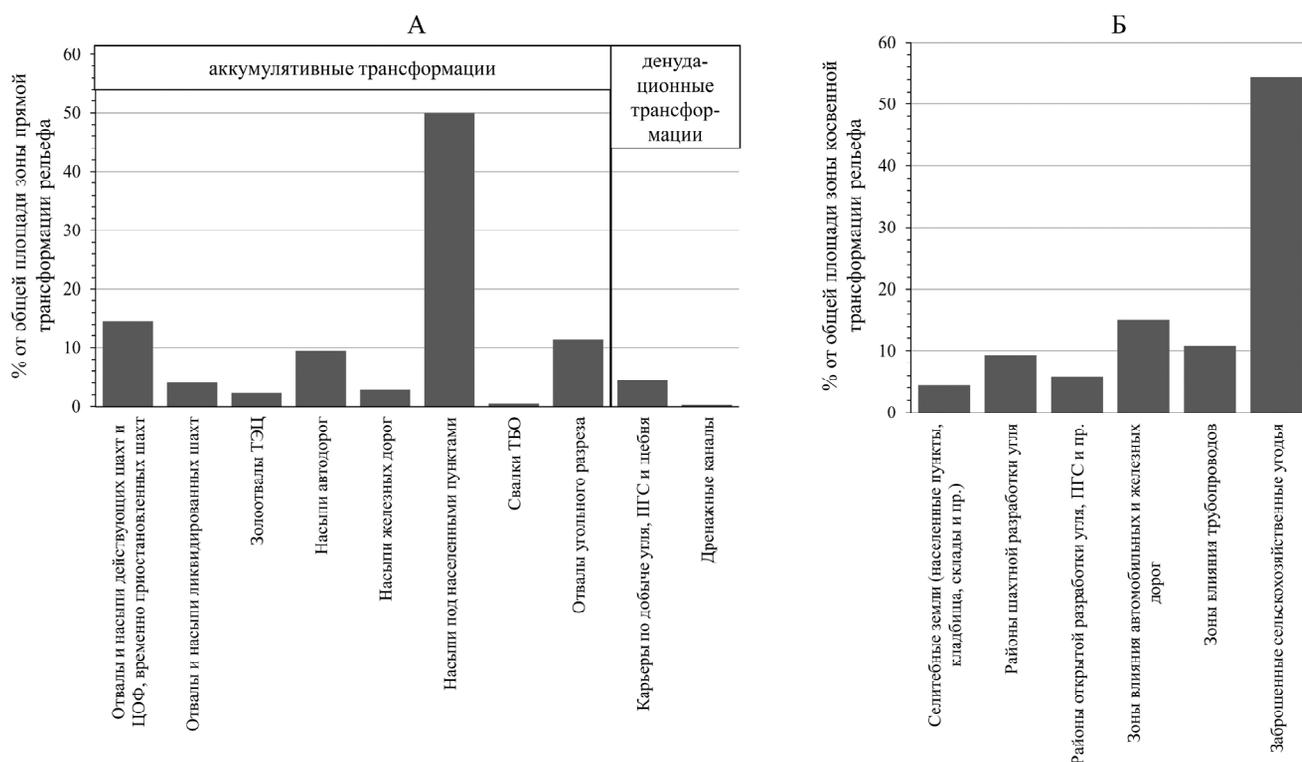


Рис. 3. Виды прямой – А и косвенной – Б трансформации рельефа Воркутинского промышленного района и занимаемые ими площади (в % от общей площади зоны трансформации)

Fig. 3. Types of direct – A and indirect – B relief transformation in the Vorkuta industrial region and their areas (% of the total transformation area)

пос. Северного) насыпи сооружались из песчано-гравийного материала и карбонатного щебня, добытых в окрестных карьерах, позднее использовались и породы, добытые при проходке вертикальных стволов шахт (алевролиты, песчаники и пр.) [Дымов и др., 2013]. В целом на изученной территории встречаются два основных вида антропогенных отложений: **породы природного состава**, вовлеченные в деятельность человека, и **техногенные образования** (новообразованные отложения). В первой группе выделяются два подвида – *перемещенные отложения* (перетолжены без изменения литологического состава), к которым относятся, прежде всего, песчано-гравийные смеси (ПГС) и *преобразованные отложения* (продукты дробления скальных пород), абсолютно преобладающие по площади распространения и объему в пределах ВПП. К техногенным относятся образованные в результате деятельности человека материалы, не имеющие природных аналогов (шлаки, зола, шлам, кирпич, бетон, металлические конструкции, бытовой мусор и др.).

На участки прямой денудационной трансформации рельефа приходится менее 5% от площади всех антропогенных форм, суммарный объем карьеров и прочих выемок составляет около 72 млн м³. Объемы крупнейших карьеров, измеренные с высокой точностью по данным съемки БПЛА, составляют 3,8 млн м³ (карьер по добыче ПГС в районе устья р. Воргашор, около 700 м в поперечнике, глубина до 20 м) и 3,7 млн м³ (карьер по добыче карбонатного

щебня к юго-востоку от Воркуты, 600 м в поперечнике, глубина до 35 м). Объем карьеров в пределах Юньягинского угольного разреза составляет около 57 млн м³ при средней их длине около 1,5 км и глубине до 50 м. Таким образом, доля отрицательных форм составляет по площади 1/20, в то время как по объему – около 1/6 от всех антропогенных форм на территории, что связано со спецификой разрабатываемых карьеров (преобладают узкие карьеры-прорезы, ориентированные вдоль угольных пластов).

В пределах антропогенных форм рельефа протекают геоморфологические процессы, набор которых определяется, прежде всего, крутизной поверхности и литологическим составом слагающих пород. Состав насыпных грунтов в подавляющем большинстве случаев принципиально отличается от такового для поверхностных отложений, присущих данной территории в естественном состоянии (ледниковые и водно-ледниковые суглинки, супеси, глины с галькой и гравием). В составе антропогенных отложений преобладают щебень и дресва (алевролитов, аргиллитов, глинистых и углефицированных сланцев, песчаников), крайне редко – пески, супеси и суглинки. Как следствие, для участков насыпей и отвальных полей отмечается изменение спектра присущих криогенных процессов, выражающееся, прежде всего, в прекращении процессов многолетнего пучения с образованием бугров, термокарста, солифлюкции. Ведущими на вершинных поверхностях отвалов становятся процессы криогенного вы-

ветривания, местами – образования криогенного микрорельефа (пятна-медальоны). На плоских вершинных поверхностях золоотвалов вследствие сброса пульпы ТЭЦ развивается линейная эрозия, приводящая к формированию широких (до 5–7 м) меандрирующих русел глубиной до 2 м. На склонах отвальных полей и насыпей протекают эрозионные процессы (образование борозд и рытвин, реже – оврагов), наибольшего размаха достигающие на склонах золоотвалов и карьеров по добыче ПГС. На незаросших склонах отвальных полей и карьеров крутизной 30–40° протекают обвально-осыпные процессы и оползание. В днищах карьеров развивается затопление. На поверхностях отвальных полей и в днищах карьеров по добыче ПГС местами развиваются эоловые процессы. Насыпи линейных сооружений на значительном протяжении испытывают деформации криогенной природы (в основном это касается автомобильных дорог) на участках перехода через термокарстовые котловины, ложбины, неглубокие долины рек и ручьев. Многие из перечисленных процессов получили широкое развитие на изучаемой территории в основном в результате антропогенного воздействия (к примеру, гравитационные склоновые и эоловые процессы) и развиты практически исключительно в пределах комплекса антропогенного рельефа.

Наиболее опасным природным процессом, который протекает в пределах некоторых крупных отвалов, является, без сомнения, самовозгорание. Очаги самовозгорания возникают, прежде всего, из-за неправильной планировки отвалов [Zasterova et al., 2015], обеспечивающей свободный доступ кислорода и процессов окисления угля. На вероятность самовозгорания влияют также температура окружающей среды, влажность породных отвалов, наличие минеральных примесей и др. [Гамов, Гордеев, 2017]. Под воздействием высоких температур (800–1200°C) происходит разложение минеральной части и углистых частиц с выделением CO, CO₂, NO_x, SO₂ и других газов, а также углеводородов [Goswami, 2015]. Горячий газ, насыщенный продуктами разложения пород, по трещинам в отвале поднимается к поверхности. Здесь происходит уменьшение температуры и давления, что приводит к осаждению веществ в составе водяных паров, обуславливающее подкисление среды в верхней части горящего участка до 3,1 единиц pH [Брагина, 2014]. Процесс самовозгорания, в частности, парение поверхности и выходы горячего газа (в том числе с образованием фумарол) отмечены на отвальных полях ликвидированных шахт № 20, № 25 и «Южная».

В сравнении с угольными отвалами Кузбасса и Донбасса, отвальные поля Воркуты в целом характеризуются ограниченными возможностями к самовозгоранию. Препятствуют активному протеканию этого процесса мелкообломочный состав техногенных грунтов (снижен доступ кислорода), низкие среднегодовые температуры воздуха, компактность отвальных полей (в данном случае, крупные отвалы предпочтительнее небольших, так как доступ кис-

лорода со стороны склонов отвала ограничен). Тем не менее, обнаруженные на поверхности признаки самовозгорания указывают на то, что в толще отвалов могут существовать полости, образованные в результате этого процесса. Самовозгорание угольных отвалов опасно возможностью провалов, взрывов, распространением пожаров на прилегающей территории, а также поступлением газов (CO₂, NO_x, SO₂, H₂S) в атмосферу. Установлено, что в пределах ВПР вклад отвалов в загрязнение атмосферы в случае самовозгорания особенно велик по сероводороду [Коршунова, 1999].

Косвенная трансформация рельефа в районах освоения ВПР выражается, прежде всего, в изменении спектра и интенсивности геоморфологических процессов на территориях, соседствующих с районами прямой трансформации, вследствие нарушения растительного покрова, изменения гидрогеологических условий, режима мерзлых толщ и пр. Среди участков косвенного воздействия наибольшие площади занимают территории бывших колхозов (54% от площади всей зоны косвенной трансформации, см. рис. 3), где естественный растительный покров был изменен в результате выпаса скота и распашки. Здесь отмечается снижение интенсивности криогенных процессов, главным образом, термокарста. В составе растительности доминируют травянистые виды, что дополнительно способствует снижению обводненности грунтов, а также интенсивности криогенного пучения. В притрассовых полосах линейных сооружений и вблизи крупных ареалов горнодобычи наблюдается, напротив, существенная активизация термокарста и солифлюкции, подтопления и заболачивания. Таким образом, прямая трансформация рельефа привела к усложнению условий освоения прилегающих территорий в результате активизации негативных и опасных геоморфологических процессов. В целом в пределах территории ВПР вследствие освоения возросла площадь развития гравитационных и оползневых процессов, делювиального смыва, линейной эрозии в малых эрозионных формах, а также эоловых процессов. Площадь ареалов термокарста и многолетнего пучения с образованием бугров снизилась, так как в районах прямой и, отчасти, косвенной (на заброшенных сельскохозяйственных землях) трансформации эти процессы практически не развиты.

Впервые выполненная на основе данных геоморфологического картографирования и аэрофотосъемки количественная оценка последствий антропогенного освоения ВПР с точки зрения развития рельефа подтверждает мнение о преобладании прямого воздействия на рельеф над косвенным в районах активной горнодобычи в Арктике [Бредихин и др., 2020]. При этом обследованный район является примером территории, где освоение недр, начатое в 1930-х гг., до сих пор продолжается, и объемы добычи в последние десять лет постепенно растут, что приводит к продолжающемуся расширению области антропогенной трансформации

рельефа. Иная тенденция наблюдается вне действующих шахт, где созданные породные отвалы и насыпи вовлекаются в естественный ход природных процессов – зарастают травянистой и кустарничковой растительностью, склоны их постепенно выветриваются, вследствие физического и химического выветривания на поверхности формируется элювий. На заброшенных территориях, где мощность насыпей изначально была невелика, наблюдаются криогенные деформации, формируются мерзлотные формы рельефа (полигональная сеть морозобойных трещин, бугры пучения, термокарстовые котловины и пр.).

Выводы:

– на территории Воркутинского промышленно-го района с 1930-х гг. наблюдается продолжающаяся существенная антропогенная трансформация рельефа, связанная с освоением угольного месторождения и сопутствующим развитием инфраструктуры. В пределах территории выделены участки преобладающей *прямой* (создание антропогенного рельефа, около 79 км²) и *косвенной* (изменение условий рельефообразования, спектра и интенсивности геоморфологических процессов, около 65 км²) трансформации рельефа;

– среди прямых антропогенных трансформаций рельефа по площади и объемам перемещенного вещества преобладают аккумулятивные. Общая площадь созданных положительных форм составляет 75,2 км², объем – 417,8 млн м³. Прямые денудационные трансформации значительно уступают по площади (3,8 км²) и объему перемещенного материала (72 млн м³). Косвенные трансформации рельефа выражаются в изменении спектра и интенсивности геоморфологических процессов, прежде всего, мерзлотных, склоновых и флювиальных;

– в составе антропогенных отложений ВПР абсолютно преобладают по площади распространения и объемам т. н. *преобразованные* породы – продукты дробления скальных, в том числе угле-

содержащих пород, изъятые при проходке подземных выработок. Наибольшие объемы антропогенных отложений сосредоточены в отвальных полях шахт, ЦОФ «Печорская» и Юньягинского угольного разреза (в сумме – до 66% от всего объема), а также в насыпях под населенными пунктами (до 26%). Следствием создания рельефа с отличным от естественного геологическим строением стало общее снижение площади ареалов термокарста и пучения в пределах ВПР, в то время как гравитационные и эрозионные процессы, напротив, стали развиты более широко;

– наиболее опасным природным процессом, развитым в пределах отвальных полей действующих и ликвидированных шахт, является самовозгорание. Несмотря на перспективные возможности использования отвальных полей колоссального размера (к примеру, для развития лыжно-саночных видов спорта) и низкую в сравнении с районами Кузбасса и Донбасса активность процесса самовозгорания, последний, тем не менее, представляет собой фактическую опасность и переводит эти территории в разряд непригодных для использования;

– хозяйственное освоение территории ВПР не сопровождается угрожающей активизацией опасных геоморфологических процессов вне участков прямого воздействия. Негативные последствия (активизация термокарста, пучения и пр.) имеют в целом ограниченное распространение и, скорее, усложняют освоение прилегающих территорий, а фактический ущерб значим, прежде всего, для линейных транспортных сооружений. При сохранении существующего режима природопользования и социально-экономической обстановки в регионе следует ожидать, с одной стороны, расширения площади зоны прямой антропогенной трансформации рельефа, с другой – прогрессирующей переработки антропогенных форм (особенно в заброшенных поселках, на ликвидированных шахтах и пр.) естественными геоморфологическими процессами.

Благодарности. Исследования выполнены Еременко Е.А., Фузеиной Ю.Н. и Бредихиным А.В. за счет средств проекта РФФИ № 18-05-60200, аэрофотосъемка территории с использованием БПЛА выполнена Ворошиловым Е.В. в рамках темы госзадания № АААА-А16-11632810089-5 «Эволюция природной среды, динамика рельефа и геоморфологическая безопасность природопользования».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антонов Е.В., Денисов Е.А., Ефремова В.А., Фаддеев А.М. Современные проблемы развития убывающих городов на северо-востоке Республики Коми // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2014. № 2. С. 55–61.
- Астахов В.И., Мангеруд Я., Свенсен Й.И. Трансуральская корреляция верхнего плейстоцена Севера // Региональная геология и металлогения. 2007. № 30–31. С. 190–206.
- Брагина П.С. Самовозгорание угольных отвалов в Кемеровской области // Природа и экономика Кемеровской области и сопредельных территорий. 2014. № 4(29). С. 23–31.
- Бредихин А.В., Еременко Е.А., Харченко С.В., Беляев Ю.Р., Романенко Ф.А., Большов С.И., Фузеина Ю.Н. Районирование российской Арктики по типам антропогенного освоения и сопутствующей трансформации рельефа на основе кластерного анализа // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2020. № 1. С. 42–56.
- Гамов М.И., Гордеев И.В. Основные факторы и экологические последствия самовозгорания отвалов угольных шахт Восточного Донбасса // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2017. № 2. С. 92–100. DOI: 10.23683/0321-3005-2017-2-92-100.
- Деньгин А. Сведения о реке Печоре // Отечественные записки. 1828. Ч. 36. С. 349–379.
- Дымов А.А., Каверин Д.А., Габов Д.Н. Свойства почв и почвоподобных тел г. Воркута // Почвоведение. 2013. № 2. С. 240–248. DOI: 10.7868/S0032180X13020032.
- Забурдяев В.С. Категории опасности угольных шахт по метану // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № S1. С. 300–314.
- Иевлев А.А. Ухтинская экспедиция ОГПУ: старт промышленного освоения недр Печорского края // Арктика и Север. 2014. № 16. С. 91–115.
- Коршунова Л.М. Оценка техногенных нагрузок на природную среду предприятиями угольной промышленности г. Воркуты // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 1999. № 7. С. 161–163.
- Логинов А.В., Смирнов М.И. Воркута – северный форпост угольной промышленности России // Горная промышленность. 2005. № 1(59). С. 8–11.
- Северьянова Е.Н. Эколого-геохимическая характеристика почвенного покрова в зоне деятельности угледобывающего предприятия на примере города Воркуты республики Коми // Альманах современной науки и образования. 2015. № 10(100). С. 127–129.
- Шаббаев Ю.П., Жеребцов И.Л., Лабунова О.В. Культурная эволюция заполярного города: от города-концлагеря к городу-призраку (часть I) // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2018а. № 2(34). С. 78–88.
- Шаббаев Ю.П., Жеребцов И.Л., Лабунова О.В. Культурная эволюция заполярного города: от города-концлагеря к городу-призраку (часть II) // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2018б. № 3(35). С. 88–92.
- Barenberg A. The GULAG in Vorkuta: beyond space and time. *Laboratorium*, 2015, vol. 1, p. 92–108.
- Goswami S. Impact of coal mining on environment. *European Researcher*, 2015, vol. 92, iss. 3, p. 185–196. DOI: 10.13187/er.2015.92.18.
- Zasterova P., Marschalko M., Niemiec D., Durd'ak J., Bulko R., Vlček J. Analysis of possibilities of reclamation waste dumps after coal mining. *Procedia Earth and Planetary Science*, 2015, vol. 15, p. 656–662. DOI: 10.1016/j.proeps.2015.08.077.
- Электронные ресурсы*
- Муниципальное бюджетное учреждение культуры «Централизованная библиотечная система» г. Воркуты. URL: <http://www.vorkuta-cbs.ru/> (дата обращения 20.07.2020).
- Arctic DEM Explorer. URL: <https://livingatlas2.arcgis.com/arcticdemexplorer/> (дата обращения 20.07.2020).

Поступила в редакцию 25.07.2020

После доработки 15.08.2020

Принята к публикации 25.08.2020

**Е.А. Eremenko¹, Y.N. Fuzeina², M.V. Vlasov³,
E.V. Voroshilov⁴, A.V. Bredikhin⁵**

**ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF RELIEF
IN VORKUTA INDUSTRIAL REGION**

Anthropogenic transformation of relief within the Vorkuta industrial region during 90 years of economic development was for the first time quantitatively evaluated. Areas of predominantly direct (creation of anthropogenic relief) and indirect (change in the conditions of relief formation, spectrum and intensity of geomorphologic processes) transformation of relief are identified. About 25% (144 km²) of the entire area of the region are under anthropogenic landforms (79 km²), or with a significant change in the natural course of geomorphologic processes (65 km²). Among the direct anthropogenic transformations of relief accumulative ones, i.e. the creation of positive forms of anthropogenic relief (dumps, embankments, etc.), prevail in terms of area and volumes of displaced matter; their total area is 75,2 km² and the volume is 417,8 million m³.

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Palaeogeography, Associate Professor, PhD in Geography; *e-mail*: eremenkoeaig@gmail.com

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Palaeogeography, Associate Professor, PhD in Geography; *e-mail*: donaldw@bk.ru

³ FRECOM Ltd, eading Specialist, PhD in Geography; *e-mail*: vlasov-maxim@mail.ru

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Palaeogeography, undergraduate student; *e-mail*: voroshilov@yahoo.com

⁵ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Palaeogeography, Head of Department, Professor, D.Sc. in Geography; *e-mail*: avbredikhin@yandex.ru

About 30% of the area of all positive anthropogenic forms and 66% of their volume are mine dumps. Direct denudation transformations (creation of quarries, canals, etc.) are significantly smaller in area (3,8 km²) and the volume of displaced material (72 million m³). Indirect transformations of relief take place in the immediate vicinity of the zones of direct transformations (up to 1 km, mainly within 200 m). They include the changes in the spectrum and intensity of geomorphologic processes (primarily permafrost, slope and fluvial) due to disruption of the continuity of vegetation cover, changes in the hydrogeological regime, heat balance of permafrost, etc. The anthropogenic deposits are mainly the products of rock crushing including the coal-bearing rocks withdrawn during the excavation of underground workings. The largest volumes of anthropogenic sediments are concentrated in the dump fields of mines, the Pechorskaya Central Processing Plant and the Yun-Yaginsky open coal mine (up to 66% of the total volume), as well as in the embankments under settlements (up to 26%). Slope, erosion and aeolian processes which are rather marginal under natural conditions, have developed within the areas of anthropogenic relief; the spectrum of cryogenic processes has been changed there: the cryogenic weathering has become a leading process, while on the contrary, heaving and thermokarst are practically absent. The spontaneous combustion is the most dangerous geomorphologic process within the dump fields of operating and abandoned mines. The recorded signs of pyrolysis, e. g. surface hovering, release of hot gases and solutions, fumaroles, subsidence of the dump surface etc., indicate possible existence of large cavities and cracks in the dump body.

Key words: waste dumps, quarries, coal mining, man-made grounds

Acknowledgements. The studies of E.A. Eremenko, Y.N. Fuzeina and A.V. Bredikhin were financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 18-05-60200). Aerial photography of the territory using UAVs was carried out by E.V. Voroshilov under the theme of state assignment no. AAAA-A16-11632810089-5 «Evolution of natural environment, relief dynamics and geomorphologic safety of nature management».

REFERENCES

- Antonov E.V., Denisov E.A., Efremova V.A., Faddeev A.M.* Sovremennyye problemy razvitiya ubyvyayushchih gorodov na severo-vostoke Respubliki Komi [Actual problems of urban shrinkage development in the north-west of the Komi Republic]. *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2014, no. 2, p. 55–61. (In Russian)
- Astahov V.I., Mangerud Ja., Svensen J.I.* Transural'skaja korreljacija verhnego plejstocena Severa [Trans-Ural correlation of the Upper Pleistocene of the North], *Regional'naja geologija i metallogenija*, 2007, no. 4(29), p. 190–206. (In Russian)
- Barenberg A.* The GULAG in Vorkuta: beyond space and time. *Laboratorium*, 2015, vol. 1, p. 92–108.
- Bragina P.S.* Samovozgoranie ugol'nyh otvalov v Kemerovskoj oblasti [Spontaneous combustion of coal dumps in the Kemerovo region], *Priroda i ekonomika Kemerovskoj oblasti i sopredel'nyh territorij*, 2014, no. 4(29), p. 23–31. (In Russian)
- Bredikhin A.V., Eremenko E.A., Kharchenko S.V., Belyaev Ju.R., Romanenko F.A., Bolysov S.I., Fuzeina Yu.N.* Rajonirovanie rossijskoj Arktiki po tipam antropogennogo osvoenija i sopushtvujushhej transformacii rel'efa na osnove klaster'nogo analiza [Regionalization of the Russian Arctic according to the types of anthropogenic development and associated relief transformation by applying the cluster analysis], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2020, no. 1, p. 42–56. (In Russian)
- Den'gin A.* Svedenija o reke Pechore [Information about the Pechora River], *Otechestvennye zapiski*, 1828, vol. 36, p. 349–379. (In Russian)
- Dymov A.A., Kaverin D.A., Gabov D.N.* Properties of soils and soil-like bodies in the Vorkuta area, *Eurasian Soil Science*, 2013, no. 2, p. 240–248. DOI: 10.1134/S1064229313020038.
- Gamov M.I., Gordeev I.V.* Osnovnye faktory i jekologicheskie posledstvija samovozgoranija otvalov ugol'nyh shaht Vostochnogo Donbassa [The main factors and environmental consequences of spontaneous combustion of coal mine dumps in the Eastern Donbass], *Izvestija VUZov. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki*, 2017, no. 2, p. 92–100. DOI: 10.23683/0321-3005-2017-2-92-100. (In Russian)
- Goswami S.* Impact of coal mining on environment. *European Researcher*, 2015, vol. 92, iss. 3, p. 185–196. DOI: 10.13187/er.2015.92.18.
- Ievlev A.A.* Uhtinskaja jekspedicija OGPU: start promyshlennogo osvoenija nedr Pechorskogo kraja [Ukhta Expedition of the OGPU: the Start of Industrial Exploration of Mineral Resources of the Pechora Region], *Arktika i Sever*, 2014, no. 16, p. 91–115. (In Russian)
- Korshunova L.M.* Ocenka tehnogennyh nagruzok na prirodnuju sredu predpriyatijami ugol'noj promyshlennosti g. Vorkuty [Assessment of technogenic loads of coal industry enterprises on the natural environment in the town of Vorkuta], *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)*, 1999, no. 7, p. 161–163. (In Russian)
- Loginov A.V., Smirnov M.I.* Vorkuta – severnyj forpost ugol'noj promyshlennosti Rossii [Vorkuta – the northern outpost of the coal industry in Russia], *Gornaja promyshlennost'*, 2005, no. 1(59), p. 8–11. (In Russian)
- Sever'janova E.N.* Jekologo-geohimicheskaja karakteristika pochvennogo pokrova v zone dejatel'nosti ugledobyvajushhego predprijatija na primere goroda Vorkuty respubliki Komi [Ecological-geochemical characteristics of soil covering in the area of coal producers' activity by the example of the city of Vorkuta of the Komi Republic], *Al'manah sovremennoj nauki i obrazovanija*, 2015, no. 10(100), p. 127–129. (In Russian)
- Shabaev Ju.P., Zherebcov I.L., Labunova O.V.* Kul'turnaja evoljucija zapoljarnogo goroda: ot goroda-konclagerja k gorodu-prizraku (chast' I) [Cultural evolution of the polar town: from the town – concentration camp to the ghost town (part I)], *Izvestija Komi nauchnogo centra UrO RAN*, 2018, no. 2(34), p. 78–88. (In Russian)
- Shabaev Ju.P., Zherebcov I.L., Labunova O.V.* Kul'turnaja evoljucija zapoljarnogo goroda: ot goroda-konclagerja k gorodu-prizraku (chast' II) [Cultural evolution of the polar town: from the town – concentration camp to the ghost town (part II)], *Izvestija Komi nauchnogo centra UrO RAN*, 2018a, no. 3(35), p. 88–92. (In Russian)

Zaburdjaev V.S. Kategorii opasnosti ugol'nyh shaht po metanu [Methane hazard categories of coal mines]. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)*, 2016, no. S1, p. 300–314. (In Russian)

Zasterova P., Marschalko M., Niemiec D., Durd'ak J., Bulko R., Vlček J. Analysis of possibilities of reclamation waste dumps after coal mining. *Procedia Earth and Planetary Science*, 2015, vol. 15, p. 656–662. DOI: 10.1016/j.proeps.2015.08.077

Web-sources:

Arctic DEM Explorer. URL: <https://livingatlas2.arcgis.com/arcticdemexplorer/> (access date 20.07.2020).

Municipal'noe bjudzhetnoe uchrezhdenie kul'tury «Centralizovannaja bibliotechnaja sistema» g. Vorkuty [Municipal budgetary institution of culture «Centralized Library System» of Vorkuta.]. URL: <http://www.vorkuta-cbs.ru/> (access date 20.07.2020). (In Russian)

Received 25.07.2020

Revised 15.08.2020

Accepted 25.08.2020