

АНТРОПОГЕННЫЙ МОРФОЛИТОГЕНЕЗ НА ТЕРРИТОРИИ НОРИЛЬСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

Кажукало Г.А., Еременко Е.А., Романенко Ф.А.

Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

На основе результатов крупномасштабной геоморфологической съёмки и анализа ДЗЗ и цифровых моделей рельефа выполнена типизация антропогенных форм рельефа и количественная оценка масштабов антропогенного морфолитогенеза на территории Норильского промышленного района. Площадь участков прямой трансформации рельефа составила 113,5 км², объём антропогенных форм рельефа оценивается не менее, чем в 1,8 млрд м³. Среди антропогенных форм рельефа абсолютно преобладают аккумулятивные формы (93% и 72,6% по площади и объёму соответственно). Участки косвенной трансформации рельефа, площадь которых по данным дешифрирования составила 23,4 км², охватывают днища речных долин и сниженные поверхности озёрно-аллювиальной низменности, загрязнённые разливами нефтепродуктов и отходов обогащательных фабрик. Наиболее выраженная аккумуляция загрязняющих веществ в долинах рек установлена в пределах внутренних дельт и наледных полей.

Ключевые слова: *антропогенный рельеф, трансформация рельефа, экологическая геоморфология, загрязняющие вещества, Арктика*

Введение и методы исследования. Скорости антропогенного морфолитогенеза в Арктике (одновременное формирование антропогенного рельефа и антропогенных отложений) существенно возросли в последнее столетие. При этом горнопромышленное освоение характеризуется наибольшими преобразованиями рельефа в сравнении со всеми прочими видами природопользования, приводит к существенной перестройке всех компонентов ландшафта. Выявление типов и интенсивности антропогенного морфолитогенеза позволяет оценить экологические последствия хозяйственного освоения, определить пути миграции загрязняющих веществ, что особенно актуально для Норильского промышленного района (НПР), характеризуемого, как наибольший источник техногенного загрязнения в российском секторе Арктики [Бутюгин, Гулан, 2005]. Несмотря на практическую значимость оценки антропогенного морфолитогенеза, в крупном масштабе для территории НПР подобные исследования ранее не проводились. Опубликованные работы посвящены преимущественно изменениям климата, загрязнению почвенно-растительного покрова, подземных и поверхностных вод, деградации многолетнемерзлых пород [Телятников, Пристяжнюк, 2014, Гребенец, Исаков, 2016; Юркевич и др., 2021]. Целью представленного исследования являлась разносторонняя (качественная и количественная) крупномасштабная (1:50 000) оценка антропогенного морфолитогенеза на территории НПР, типизация антропогенного рельефа и слагающих его антропогенных отложений. Актуальность исследования связана с необходимостью оценки роли хозяйственной деятельности и ее последствий в развитии рельефа территории для разработки мероприятий и концептуальных подходов к снижению антропогенно обусловленных природных рисков.

С целью получения данных о морфологии антропогенного рельефа, его приуроченности к определенным геоморфологическим позициям и степени трансформации антропогенно-спровоцированными процессами в августе 2021 г. на территории НПР выполнена полевая крупномасштабная (1:50 000) геоморфологическая съёмка. Фиксировались морфометрические параметры антропогенных форм, состав слагающих их отложений, геоморфологическое и геокриологическое строение территории, а также спектр ведущих экзогенных процессов в пределах освоенных площадей. Детально обследованы подвергшиеся загрязнению нефтепродуктами в ходе аварии на ТЭЦ-3 в мае 2020 года речные долины (выполнено геоморфологическое и

ландшафтно-геокриологическое профилирование с использованием высокоточного ГНСС-приёмника). В ходе полевых работ обследована территория месторождения «Норильск-1», Надеждинского металлургического завода, Кайерканского угольного разреза, селитебной зоны районов Центрального, Талнаха и Кайеркана. Морфометрические параметры антропогенных форм на территориях с особым режимом пользования (участки разрабатываемых месторождений) получены с помощью ЦМР ArcticDEM (<https://livingatlas2.arcgis.com/arcticdemexplorer/>) с пространственным разрешением 2 м. Для выявления участков, подверженных антропогенным трансформациям рельефа, помимо материалов полевого обследования использовались результаты дешифрирования космических снимков из открытых источников [<https://earth.google.com/>].

Результаты полевых работ и анализа данных ДЗЗ были использованы для выделения ареалов прямой и косвенной трансформации рельефа, типизации антропогенных форм рельефа, определения их площади, объёма и геоморфологической позиции. Анализ площадей и объёмов антропогенной трансформации рельефа проведён с помощью инструментов программного комплекса ArcGIS 10.5.

Таблица 1. Морфологические подтипы, площадь и геоморфологическая позиция антропогенного рельефа в пределах Норильского промышленного района

Подтипы антропогенного рельефа	Генетический тип естественного рельефа						
	Поверхности ледниковой аккумуляции	Озёрно-аллювиальная равнина	Озёрно-ледниковая равнина	Денудационные останцы	Пластовая денудационная равнина	Структурно-денудационные склоны	Прочее
Крупные отвальные поля	0,370	0,221	0,899	0,944	11,899		
Склоновые отвалы						18,012	
Техногенный каменный глетчер						1,166	
Насыпи под селитебную застройку	0,091	0,730	6,601	0,571	1,015		
Насыпи под промышленную застройку	3,501	0,989	13,342	6,706	3,217	1,762	
Полигоны ТБО		0,316	0,178			0,016	0,03
Насыпные дамбы и площадки хвостохранилищ	8,198	7,931	5,259		3,221	0,114	
Насыпные дамбы и площадки отстойников		2,242	1,059		4,007	0,452	
Изометричные карьеры и карьеры-прорези				0,262		2,391	
Карьеры с отвальными полями в днище	0,437			0,155	5,141		0,05
Насыпи автомобильных и железных дорог	Занимают разные геоморфологические позиции, общая площадь составляет не менее 7,5 км ²						
Выемки автомобильных и железных дорог, дренажные канавы	Занимают разные геоморфологические позиции, общая площадь составляет не менее 1,2 км ²						
Общая площадь, кв. км	12,60	12,43	27,34	8,64	28,50	23,91	0,08
Общая площадь, %	11,10	10,96	24,09	7,61	25,11	21,06	0,07

Результаты и обсуждение. Комплексное и длительное (с 1920 г.) освоение Норильского промышленного района обусловило широкое морфологическое разнообразие антропогенного рельефа – всего было выделено несколько морфологических типов (аккумулятивные и денудационные, площадные и линейные формы) и 12 подтипов (к примеру, по морфологии обособлены площадные насыпи под жилую и промышленную

застройку, полигоны ТБО), для каждого из которых определены основные морфометрические характеристики и геоморфологическая позиция (Рис. 1, Табл. 1).

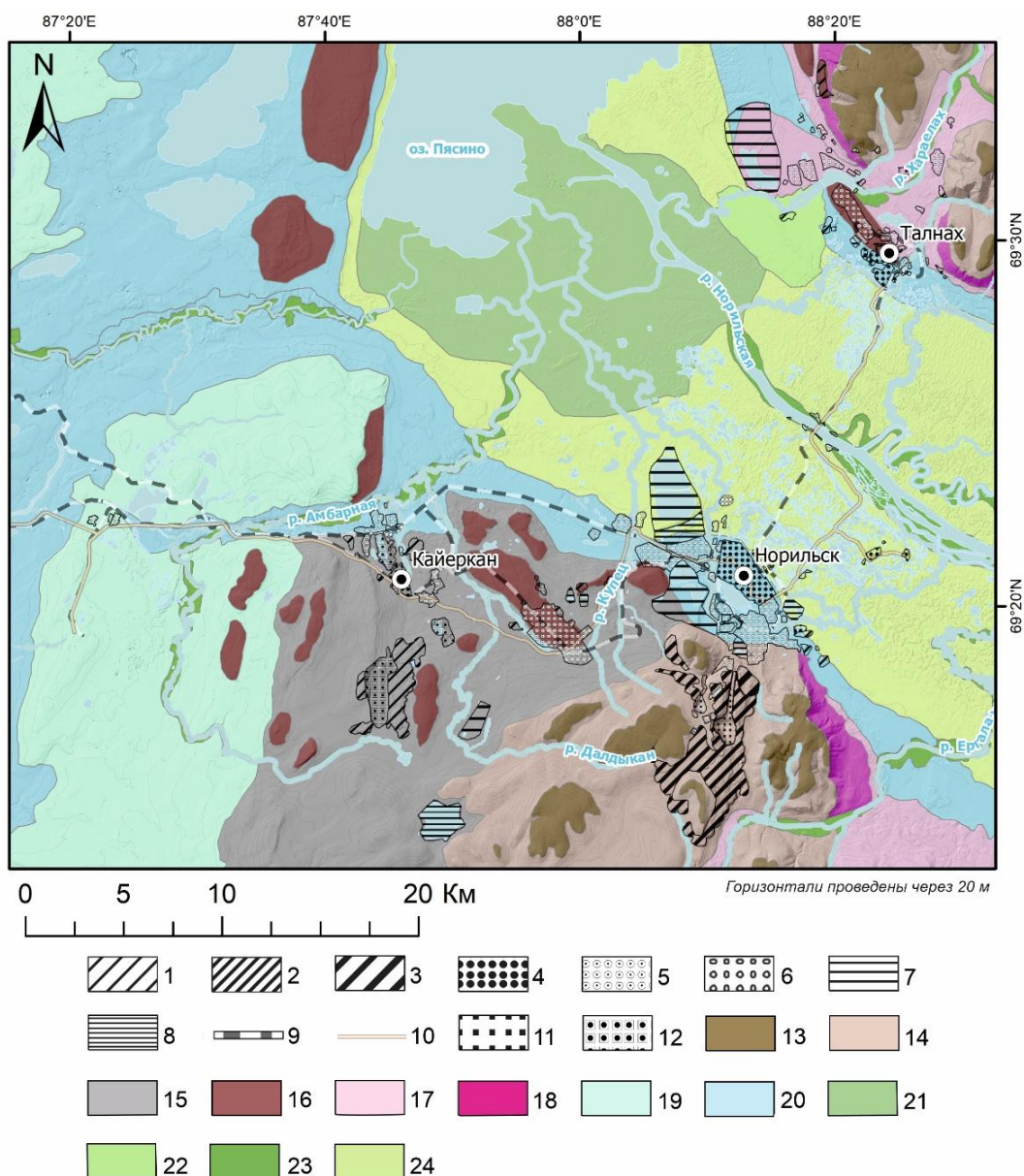


Рис. 1. Естественный и антропогенный рельеф Норильского промышленного района.
 Условные обозначения: **Антропогенный рельеф.** Отвалы шахт и карьеров: 1 – субгоризонтальные отвальные поля, 2 – склоновые отвалы, 3 – техногенный каменный глетчер; насыпи под застройку: 4 – селитебную, 5 – промышленную, 6 – полигоны ТБО; насыпные дамбы и площадки: 7 – хвостохранилищ, 8 – отстойников; линейные антропогенные формы: 9 – железнодорожные насыпи; 10 – насыпи автодорог; карьеры по добыче медно-никелевых руд, угля, ПГС и карбонатных пород: 11 – изометричные и карьеры-прорезы; 12 – карьеры с отвальными полями в днище. **Естественный рельеф.** Структурно-денудационный рельеф: 13 – плоские и пологонаклонные вершинные поверхности траппового плато, 14 – ступенчатые склоны траппового плато, 15 – пластовая ступенчатая денудационная равнина со следами ледниковой аккумуляции, 16 – денудационные останцы; ледниковый рельеф: 17 – субгоризонтальные и наклонные поверхности ледниковой аккумуляции, 18 – крутые (до отвесных) экзарационные склоны; водно-ледниковый рельеф: 19 – пологоволнистая флювиогляциальная равнина, 20 – волнистая поверхность озёрно-ледниковой (вальковской) равнины; флювиальный и озёрный рельеф: 21 – дельта голоценового возраста, 22 – конус выноса р. Хараелах, 23 – днища речных долин (нерасчлененные I НПП и пойма), 24 – бугристо-западинная озёрно-аллювиальная (аяклинская) равнина.

Общая площадь антропогенных форм в пределах Норильского промышленного района составила 113,5 км² (без учёта насыпей и выемок дорог, а также дренажных канав). По занимаемой площади и объёму преобладают аккумулятивные антропогенные формы (93% и 72,6%, соответственно), что обусловлено разуплотнением пустой породы при создании насыпей и отвалов, а также широким распространением форм субрельефа (не учтены в оценке из-за отсутствия данных об объёмах в открытом доступе), общая протяженность которых превышает 800 км [Скачков, 2005].

Большая часть антропогенных форм рельефа приурочена к структурно-денудационному рельефу низкогорий (53,83%) и к озёрно-ледниковой равнине (24,09%). В пределах последней расположены, в основном, насыпи под селитебную застройку (ввиду меньшей заболоченности в сравнении с озёрно-аллювиальной равниной, расположенной гипсометрически ниже). Поверхность озёрно-аллювиальной низменности долины р. Норильской характеризуется наибольшей густотой термокарстовых котловин, что обуславливает нецелесообразность ее первостепенного освоения под жилую и промышленную застройку. Эта территория используется преимущественно для строительства хвостохранилищ и отстойников.

Косвенные трансформации рельефа (участки, где вследствие освоения изменился спектр и интенсивность геоморфологических процессов) в первую очередь охватывают участки распространения антропогенного рельефа. Так, в зоне городской застройки под линейными сооружениями формируются техногенные талики, происходят просадочные деформации и активизация морозобойного растрескивания, термокарста и термоэрозии, на что неоднократно указывалось в предшествующих работах [Гребенец, 2007; Гребенец, Керимов, 2016]. Тем не менее, наблюдаются и обособленные участки косвенных трансформаций, где прямого воздействия на рельеф не наблюдается. Такими ареалами являются участки речных долин и озёрно-аллювиальных низменностей, подвергшиеся загрязнению нефтепродуктами, общая площадь которых оценивается в 23,6 км². Источником загрязнения является топливо (дизель и мазут), пульпа, рудничные воды и другие отходы добычи и обогащения руды, изливающиеся на поверхность при авариях. В дальнейшем материал транспортируется ручьями и реками в виде антропогенно-измененного аллювия. Сильно загрязненные нефтепродуктами аллювиальные отложения (мощностью до 1 м) слагают небольшие аккумулятивные флювиальные формы (побочни, осередки высотой до 20 см), залегают на поверхности высокой поймы на высоте до 4,5-5,0 м над урезом рек.

Установлено, что нефтепродукты в той или иной мере аккумулируются на всех участках речных долин ниже места аварии, однако наибольшие мощности загрязненного аллювия характерны для участков долин с определенным геоморфологическим строением. Так, на реках со свободным меандрированием и спокойным гидродинамическим режимом (например, в низовьях р. Амбарной) загрязненный нефтепродуктами аллювий слагает побочни и осередки, тонким слоем (до 3-4 см) покрывает обширные участки низкой и средней поймы. В долинах рек, прорезающих скальные породы, органоминеральное вещество оседает на участках резкого изменения гидродинамики потока, в частности, ниже по течению от порожистого участка сужения долины. При этом выше сужения долины на участках наледных полей наблюдается не менее интенсивная аккумуляция антропогенно-измененного аллювия. Подобные участки (внутренние дельты, наледные поляны), в особенности, в долине р. Далдыкан, подвергшейся загрязнению при аварии на ТЭЦ-3 в мае 2020 года, являются наиболее распространённой геоморфологической позицией участков аккумуляции нефтепродуктов. Рекультивация в таких зонах, в отличие от приустьевых частей долин рек, в пределах НПП проведена не была (Рис. 2).



Рис. 2. Днище долины р. Далдыкан, загрязненное нефтепродуктами в результате аварии на ТЭЦ-3 в мае 2020 года: слева – пойма реки в пределах наледной поляны; справа – поверхность высокой поймы.

При характеристике антропогенных отложений НПР использована классификация техногенных грунтов [Афонин и др., 1990], в которой выделено три класса – новообразованные, переотложенные и измененные отложения. Установлено, что в большей части случаев в пределах НПР одной подгруппе или виду антропогенного рельефа соответствует определенный класс отложений. При этом новообразованные и переотложенные отложения слагают антропогенные формы, а антропогенно-изменённые отложения распространены на участках косвенной трансформации рельефа. Литологический состав антропогенных отложений принципиально отличается от такового для естественных грунтов, что предопределяет закономерную смену спектра преобладающих геоморфологических процессов на участках антропогенной трансформации рельефа.

К классу *новообразованных* отнесены отложения, являющиеся продуктом техногенеза: твёрдые коммунальные и бытовые отходы, строительный мусор (кирпичная крошка, бетон) и отходы горно-обогатительной промышленности (металлургический шлак, золошлак, шламы). Новообразованные отложения слагают насыпи под промышленную застройку и ж/д насыпи, полигоны твёрдых бытовых отходов, поверхности площадок-накопителей хвостохранилищ и прудов-отстойников, а также золоотвалы. Крупнодисперсные новообразованные отложения (кирпичная крошка, шлакоблоки) слабо подвержены воздействию экзогенных процессов. Тонкодисперсный (металлургический шлам, зола) субстрат обладает низкой противоэрозионной устойчивостью, поэтому сложенные им антропогенные формы характеризуется более высокой плотностью осложняющих микроформ (эрозионных и термоэрозионных борозд и рытвин, суффозионных воронок и просадок) в сравнении с поверхностями естественного происхождения.

Переотложенные образования – это материал естественного происхождения, который в ходе хозяйственной деятельности человека был перемещён с места его первоначального залегания с сопутствующими коренными изменениями в вещественном составе и физико-механических свойствах в ходе добычи, транспортировки и укладки (дробление при взрывных работах, фракционирование, отмыв мелкой фракции и другие виды переработки). Данные отложения чаще всего характеризуются неоднородным гранулометрическим составом с преобладанием песчано-гравийной размерности (материал, слагающий насыпи линейных сооружений и площадок под строительство). Как правило, для склонов антропогенных форм, сложенных таким материалом, характерна

активизация линейной эрозии, делювиального смыва, оползневых и осыпных процессов, а в ряде случаев – отседания.

Антропогенно-изменённые отложения – это отложения естественного происхождения, физические и химические свойства которых были преобразованы в ходе антропогенной деятельности. К таким отложениям следует относить лишь те, свойства которых преобразованы в такой степени, что наблюдается изменение спектра или интенсивности протекания геоморфологических процессов в пределах областей их распространения. Данный класс антропогенных отложений характерен для участков косвенной трансформации рельефа. Чаще всего изменениям подвергаются такие свойства субстрата, как плотность, пористость, увлажненность, влагоёмкость, водопроницаемость, а также прочностные свойства. В пределах НПР антропогенно-преобразованные отложения встречаются на участках, подвергшихся разливу жидкой фракции пульпы или нефтепродуктов. Суглинистый аллювий, содержащий значительную примесь (или полностью состоящий из техногенных частиц) имеет характерный красный, красно-бурый, бурый или тёмно-серый оттенок. Нефтепродукты, в основном, переносятся в приповерхностном слое водной толщи, однако нередко сорбируются песчано-глинистыми частицами и накапливаются на пойме и в руслах рек. Для антропогенно-изменённого аллювия характерно снижение плотности, водопроницаемости, прочностных свойств и сил сцепления.

Таким образом, результатом антропогенного морфолитогенеза на территории Норильского промышленного района является антропогенный рельеф, занимающий обширные площади (площадь ареала антропогенного рельефа превышает площадь, к примеру, таких городов как Салехард или Псков, численно близка площади г. Вологды), а также антропогенные отложения – наиболее молодая генетическая группа четвертичных отложений в Арктике (их общий объем составляет не менее 1,8 млрд м³). Скорости антропогенного осадконакопления в пределах НПР на несколько порядков превышают таковые для естественных геоморфологических процессов.

Благодарности. *Исследования выполнены в рамках темы госзадания кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова «Эволюция природной среды в кайнозое, динамика рельефа, геоморфологические опасности и риски природопользования» (№ 121040100323-5). Полевые экспедиционные работы проведены при поддержке Фонда полярных исследований «Полярный Фонд». Авторы выражают благодарность Н.Н. Луговому, Н.Г. Беловой, а также А.К. Яковенко, П.С. Джевахашивили и А.В. Котенкову за содействие при проведении экспедиционных работ в Норильске в августе-сентябре 2021 года.*

ЛИТЕРАТУРА

Афонин А.П., Дудлер И.В., Зиангиров Р.С., Лычко Ю.М., Огородникова Е.Н., Спиридонов Д.В., Дроздов Д.С. Классификация техногенных грунтов // Инженерная геология. 1990. №1. С. 115-121.

Бутюгин В.В., Гулан Е.А. Геодинамическая и геоэкологическая безопасность хвостохранилищ в Норильском промышленном районе // ГИАБ. 2005. №1. С. 122–126.

Гребенец В.И. Негативные последствия деградации мерзлоты // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2007. № 3. С. 18–21.

Гребенец В.И., Исаков В.А. Деформации автомобильных и железных дорог на участке Норильск-Талнах и методы борьбы с ними // Криосфера земли. 2016. Т. 20. №2. С. 69-77.

Скачков М.С. Подземная разработка месторождений полезных ископаемых Норильского промышленного района: Справочное пособие / Норильский индустр. ин-т. – Норильск, 2005. 77 с.

Телятников М.Ю., Пристяжнюк С.А. Антропогенное влияние предприятий Норильского промышленного района на растительный покров тундры и лесотундры // Сибирский экологический журнал. 2014. №6. С. 903–922.

Эколого-геоморфологический анализ Арктической зоны Российской Федерации / под ред. Э.А. Лихачевой, А.В. Кошкарева. М.: Медиа-ПРЕСС, 2020. 120 с.

Юркевич Н.В., Ельцов И.Н., Гуреев В.Н. Мазов Н.А., Юркевич Н.В., Еделев А.В. Техногенное воздействие на окружающую среду в российской Арктике на примере Норильского промышленного района // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т.332. № 12. С. 230–249. doi: 10.18799/24131830/2021/12/3207

ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF RELIEF AND DEPOSITS IN NORILSK INDUSTRIAL DISTRICT

Kazhukalo G.A., Eremenko E.A., Romanenko F.A.

Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Based on the results of large-scale geomorphological survey and analysis of remote sensing data and digital elevation models, a typification of anthropogenic landforms and a quantitative assessment of the scale of anthropogenic morpholithogenesis in the territory of the Norilsk industrial region were made. The area of areas of direct transformation of the relief was 113,5 km², the volume of anthropogenic landforms is estimated at no less than 1.8 billion m³. Among the anthropogenic landforms, accumulative forms absolutely predominate (93% and 72,6% in area and volume, respectively). Areas of indirect relief transformation, the area of which, according to the interpretation data, was 23,4 km², cover the bottoms of river valleys and lowered surfaces of the lacustrine-alluvial lowland contaminated by spills of oil products and waste from processing plants. The most pronounced accumulation of pollutants in the river valleys is found within the interior deltas and ice glades.

Keywords: *anthropogenic landforms, relief transformation, ecological geomorphology, pollutants, Arctic*