

Этапы антропогенной трансформации рельефа Российской Арктики*

Ю. Р. Беляев¹, Е. А. Еременко¹, Н. Н. Луговой^{1,2},
Т. Ю. Репкина¹, Ф. А. Романенко¹, С. В. Харченко^{1,2}

¹ Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские горы, 1

² Институт географии Российской академии наук,
Российская Федерация, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29

Для цитирования: Беляев, Ю. Р., Еременко, Е. А., Луговой, Н. Н., Репкина, Т. Ю., Романенко, Ф. А., Харченко, С. В. (2022). Этапы антропогенной трансформации рельефа Российской Арктики. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 67 (4), 675–695.
<https://doi.org/10.21638/spbu07.2022.407>

На основе инвентаризации находящихся в открытом доступе сведений об антропогенных объектах на территории Российской Арктики, а также результатов экспедиционных исследований выделено шесть временных этапов ее освоения и сопутствующей антропогенной трансформации рельефа: 1) дореволюционный (до 1918 г.); 2) комсевморпутский (с 1919 по 1932 г.); 3) главсевморпутский (с 1933 по 1963 г.); 4) ведомственный (с 1964 по 1987 г.); 5) этап смены хозяйственного уклада (с 1988 по 1998 г.); 6) современный (после 1999 г.). Выявлены ведущие типы природопользования на территории Арктической зоны России для разных временных срезов, оконтушены области, затронутые освоением, обозначены присущие типы антропогенной трансформации рельефа. Установлено наличие ритмичности в антропогенном освоении и трансформации рельефа Российской Арктики, обусловленной социально-экономическими и политическими причинами. Наибольшей активности антропогенная трансформация рельефа достигала в советский период — с 1933 по 1987 г., в рамках главсевморпутского и ведомственного этапов освоения Арктики. На периоды с 1919 по 1932 и с 1988 по 1998 г. (комсевморпутский и этап смены хозяйственного уклада соответственно) приходятся крупнейшие переломные моменты для государственного строя России, это время характеризуется резким снижением активности появления новых участков антропогенной трансформации рельефа. Выделено четыре типа территорий, отличающихся по возрасту, набору и интенсивности антропогенного освоения и сопутствующей трансформации рельефа: территории старого освоения со значительной степенью антропогенной трансформации рельефа (4.3 % территории), территории советского освоения со значительной степенью трансформации рельефа (25.8 % территории), территории постсоветского освоения со значительной степенью трансформации рельефа (2.9 % территории) и практически не освоенные территории с крайне незначительной степенью антропогенной трансформации рельефа (67 % территории).

Ключевые слова: Арктическая зона России, антропогенный рельеф, антропогенная трансформация, этапы освоения, природопользование.

* Исследования выполнены при поддержке РФФИ (проект № 18-05-60200) и в рамках темы госзадания кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова (№ 121040100323-5).

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2023

1. Введение и постановка проблемы

Арктика представляет собой один из наиболее сложных с точки зрения условий для жизни и хозяйственной деятельности человека регионов Земли. Тем не менее археологические свидетельства показывают, что история освоения Арктики исчисляется многими тысячелетиями. По континентальной ее части известны стоянки древнего человека, датированные временем до максимума позднелейстоценового оледенения (Pitulko et al., 2004; 2016), а для островных территорий достоверно установлены стоянки возрастом не менее 8 тыс. лет (Pitulko et al., 2019). На протяжении всего этого времени человек оказывал воздействие на окружающую природную среду и, в частности, на рельеф и рельефообразующие процессы. Масштабы этого влияния существенно менялись во времени. На ранних этапах освоение носило очаговый характер и не оказывало значимого влияния на окружающую среду. Более того, можно отметить преобладание противоположной связи — география стоянок древнего человека и особенности его занятий и культуры чутко реагировали на любые изменения внешних условий, резко проявившихся в высокоширотных районах (Desjardin and Jordan, 2019). Для коренного населения, впрочем, эта особенность взаимодействия с окружающей средой сохраняла актуальность до недавнего прошлого (Krupnik, 2002). Начиная с XV–XVI вв. характер антропогенного воздействия на окружающую среду существенно изменился и стал разнообразнее (Avango et al., 2014), а интенсивность его в целом постепенно возрастала.

Эти тенденции проявляются и в пределах современной территории Российской Федерации (РФ). Сравнительно слабо освоенные восток и север России всегда рассматривались как один из главных резервов свободной территории и природных ресурсов, которые еще предстоит вовлечь в хозяйственную деятельность. В частности, это относится и к регионам, входящим в состав Арктической зоны РФ, выделенной согласно Указу Президента РФ от 02.05.2014 № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» (с дополнениями согласно Указу Президента РФ от 13.05.2019 № 220)¹.

Задачи по освоению этих территорий становятся все более актуальными на фоне постепенного истощения ресурсной базы зон старого освоения, а также в связи с отмечаемыми в последние десятилетия быстрыми климатическими изменениями во внетропической зоне, которые уже приводят к изменению ледового режима в бассейне Северного Ледовитого океана и, соответственно, расширению возможностей использования Северного морского пути.

В то же время природа Арктической зоны уникальна, и ее сохранение — одна из важных задач, актуальных для всего человечества. Для этих целей в пределах Арктических территорий создаются особо охраняемые природные территории. Помимо этого, требуется проведение оценки уже накопленных антропогенных трансформаций природной среды Арктики, необходимо установить характер и время ее реакции на антропогенное воздействие, выявить потенциал для восстановления исходного состояния геосистем. Такие знания требуются при разработке и экспертизе новых проектов освоения и могут быть положены в основу систем принятия решения (Trump et al., 2018). Их учет позволит минимизировать

¹ ГАРАНТ (garant.ru).

негативные последствия для ландшафтов и вести бесконфликтное природопользование.

Хозяйственное освоение Арктики сопровождается изменением естественных ландшафтов, которое в связи с рядом отличительных физико-географических особенностей региона (прежде всего широким распространением многолетнемерзлых пород) приводит к трансформации всех их компонентов и характеризуется крайне низкими скоростями восстановления. Из всех составляющих природного ландшафта рельеф традиционно считается наиболее инертным, однако в случае освоения территории его изменения происходят с высокой скоростью, порождая трансформацию и прочих компонентов (растительности, почвенного покрова, геокриологических условий и пр.). В условиях Арктики такие изменения нередко являются необратимыми. Реакция компонентов природных систем Арктики на антропогенное воздействие изучена в разной степени. Достаточно многочисленны данные по трансформации почвенно-растительного покрова (Kitti et al., 2009; Yu et al., 2011; Normand et al.; 2017 и др.), животного мира (Müller-Wille et al., 2006; Sandom et al.; 2014, Doyle et al., 2020; и др.) в результате освоения пространства. В последние годы активное внимание уделяется сюжетам, связанным с формированием «островов тепла» возле крупных населенных пунктов в Арктике (Miles and Esau, 2017; 2020; Varentsov et al., 2018). Имеется обширный банк данных по изменению состояния многолетнемерзлых пород в результате антропогенного воздействия и, соответственно, по криогенным деформациям зданий и сооружений (Greibenets et al., 2012; Streletskiy et al., 2019; и др.). При этом реакция рельефа — одного из ключевых компонентов ландшафта — на антропогенное воздействие изучена в пределах арктических территорий пока недостаточно, за исключением, быть может, упомянутого выше криогенного рельефа, хотя по отдельным регионам исследования соответствующей тематики все же имеются (Козлова, 2013; Чеснокова, 2013). Кроме того, работы, в которых предпринимались бы попытки одновременно оценить реакцию всех основных компонентов геосистем на антропогенное воздействие хотя бы для отдельных локальных ключевых участков, — единичны (Becker and Pollard, 2015). А для всего обширного региона Российской Арктики таких обобщений не делалось вовсе.

В предшествующих публикациях (Бредихин и др., 2020) нами была охарактеризована мелкомасштабная картина антропогенного воздействия на рельеф в Российской Арктике в целом и приведены характерные сценарии воздействия на рельеф разных типов антропогенных объектов, указаны варианты прямого и косвенного воздействия на рельеф и рельефообразующие процессы.

В данной работе была предпринята попытка установить основные закономерности изменения характера и географии антропогенного освоения и, соответственно, антропогенного воздействия на рельеф в Арктике во времени, а также провести на этой основе районирование территории российского сектора Арктики. Основным объектом исследования из всех компонентов ландшафта был выбран именно рельеф, так как он выполняет важную функцию перераспределения вещества и энергии на земной поверхности и вблизи нее. Изменение рельефа неминуемо приводит к изменению прочих компонентов ландшафта, антропогенно обусловленная динамика которых исследуется многими географическими и экологическими науками и лежит за пределами задач, поставленных в работе.

2. Методы исследований и фактический материал

На подготовительном этапе работ была проведена инвентаризация антропогенных объектов на территории Российской Арктики по состоянию на конец 2019 г. При инвентаризации использовались открытые источники: данные проекта OpenStreetMap, публичные данные реестров различных государственных структур РФ (Росгеолфонда, Росморречфлота и др.), схемы развития транспортной и инженерной инфраструктуры субъектов РФ, при необходимости — сведения из специализированной литературы и тематических атласов, собственные полевые наблюдения авторов исследования, а в некоторых исключительных случаях — результаты визуального дешифрирования спутниковых изображений высокого разрешения, интерфейс доступа к которым предоставляет приложение Google Earth Pro. Более подробно процедура инвентаризации антропогенных объектов и основные источники информации, использовавшиеся при этом, приведены в работе А. В. Бредихина (Бредихин и др., 2020).

По каждому из выявленных в ходе инвентаризации антропогенных объектов был проведен поиск информации о времени его возникновения. В качестве источников этой информации использовались данные публичных интернет-порталов, фондовые материалы, специализированные справочно-энциклопедические издания, а также собственные данные авторского коллектива (табл. 1). Поскольку целый ряд образовавшихся на ранних этапах освоения антропогенных объектов со временем перестал функционировать, также при возможности устанавливалась и дата прекращения их эксплуатации. Эта информация представляется важной, поскольку с момента прекращения эксплуатации объектов завершается антропогенное рельефообразование. Сформированный в результате воздействия антропогенный рельеф постепенно уничтожается фоновыми рельефообразующими процессами. В то же время реликтовые антропогенные формы рельефа и сохраняющиеся антропогенные изменения почвенно-растительного покрова еще длительное время способны оказывать косвенное воздействие на рельефообразование, определяя набор и интенсивность ведущих экзогенных рельефообразующих процессов.

Обобщение собранных сведений о времени образования различных антропогенных объектов послужило основой для выявления ключевых пространственно-временных тенденций антропогенной трансформации рельефа российского сектора Арктики. Такой подход базируется на двух ключевых предположениях.

Во-первых, мы исходим из того, что в результате возникновения и функционирования антропогенных объектов неизбежно возникают трансформации рельефа и рельефообразующих процессов. Для каждого типа антропогенных объектов существует типовой набор таких трансформаций, которые возникают в большинстве случаев, хотя яркость их проявления, степень выраженности и прочие характеристики зависят от соотношения конструктивных, планировочных и функциональных особенностей конкретного антропогенного объекта и фоновых геолого-геоморфологических и ландшафтно-климатических условий. Это утверждение позволяет нам предполагать, что, устанавливая изменения ареалов антропогенного освоения, мы одновременно фиксируем и ареалы антропогенной трансформации рельефа.

Во-вторых, масштабы антропогенного рельефообразования и трансформации природной среды в значительной степени контролируются особенностями хозяй-

ственного уклада, типов и способов хозяйственной деятельности, которые зависят от политических и социально-экономических условий, с одной стороны, и уровня технологического развития — с другой. В этой связи было решено весь исторический период освоения Российской Арктики разделить на шесть этапов: 1) дореволюционный (до 1918 г.); 2) комсеверопутский (с 1919 по 1932 г.); 3) главсевморпутский (с 1933 по 1963 г.); 4) ведомственный (с 1964 по 1987 г.); 5) этап смены хозяйственного уклада (с 1988 по 1998 г.); 6) современный (после 1999 г.).

Таблица 1. Основные типы антропогенных объектов, учтенных при инвентаризации, источники информации об их возрасте

Тип объекта	Источник информации
Населенные пункты	Интернет-порталы администраций населенных пунктов, муниципальных образований, сельских поселений; данные открытых справочных интернет-порталов
Дорожная сеть, в том числе: железные дороги автомобильные дороги различных категорий	Афолина, 1996; публичные интернет-порталы ОАО РЖД и других профильных организаций данные публичных интернет-порталов региональных дорожных агентств, архивные данные
Магистральные трубопроводы	Интернет-порталы ПАО «Газпром», ПАО «Транснефть» и др. профильных организаций, интернет-портал https://energybase.ru
Месторождения полезных ископаемых (на разных стадиях освоения, в том числе уже отработанные)	Государственный кадастр месторождений и проявлений полезных ископаемых Росгеолфонда https://www.rfgf.ru/gkm/
Крупные гидротехнические сооружения, в том числе: ГЭС судоходные каналы	Дворецкая и др., 2018 Большая российская энциклопедия (https://bigenc.ru/)
Объекты лесопромышленного комплекса (лесозаводы и лесобиржи)	Данные публичных справочных интернет-порталов; Первозванский, 1959
Участки образования свалок отходов при объектах различного назначения	Аджиев и др., 2017
Участки милитаригенных преобразований рельефа	Khalturin et al., 2005; данные публичных интернет-порталов; визуальное дешифрирование спутниковых изображений; собственные полевые наблюдения авторов
Участки антропогенного воздействия на берега рек и морей, в том числе связанные со строительством портовых сооружений, переходов трубопроводов и пр.	Данные публичных справочных интернет-порталов; визуальное дешифрирование спутниковых изображений; собственные полевые наблюдения авторов

Первый из выделенных этапов — дореволюционный. Освоение Арктики в ходе этого этапа происходило в значительной степени стихийно, при ограниченной роли государства и ведущей роли частной инициативы. Начало этого этапа сложно установить достоверно, а вот завершение фиксируется периодом слома политического строя и хозяйственного уклада, который произошел в результате Октябрьской социалистической революции в 1917 г. Строго говоря, это преобразование произошло не одномоментно, а растянулось на несколько лет, вплоть до окончательной победы большевиков на Севере (в 1920–1922 гг.). Однако в силу того, что о хозяйственной активности в этот переходный период известно мало и она часто менялась, окончанием первого этапа мы считаем 1918 г., тем более что в апреле 1919 г. адмирал А. В. Колчак создал Комитет Северного морского пути — первую специализированную хозяйственную организацию, которая занималась организацией освоения арктических территорий и продолжила существовать уже при большевистском режиме.

Период с 1919 по 1932 г. можно назвать комсеверопутским этапом. На этом этапе освоение арктических территорий впервые начинает осуществляться централизованно — под контролем крупных государственных организаций, наиболее значительной из которых в означенный период и был Комитет Северного морского пути.

Временной интервал с 1933 по 1963 г. характеризуется максимальной централизацией управления хозяйственной деятельностью в Арктике. Практически вся она была сосредоточена под контролем Главного управления Северного морского пути (ГУСМП). Лишь в конце этого этапа, начиная с 1950-х годов, из подчинения ГУСМП стали выводиться подразделения, напрямую не связанные с обеспечением судоходства: экспедиции и промышленные предприятия, горно-геологическое управление. Период с 1933 по 1963 г. назван нами главсевморпутским этапом освоения Арктики.

ГУСМП передало свои функции различным министерствам и ведомствам, продолжавшим хозяйственное освоение уже не в рамках единой организации, а по собственным программам, зачастую не согласованным друг с другом. Соответственно, период с 1964 по 1987 г. был назван нами ведомственным этапом.

С 1988 г. в нашей стране стартует перестройка, приведшая к смене хозяйственного уклада, распаду СССР и существенному разрушению созданного на предшествующих этапах хозяйства. Завершение этого этапа можно соотнести со временем дефолта, который был объявлен в 1998 г. правительством С. В. Кириенко. Время с 1988 по 1998 г., таким образом, может быть названо этапом смены хозяйственного уклада.

Резкое падение рубля в 1998 г. реанимировало сырьевые отрасли, что привело к новой активизации хозяйственного освоения Российской Арктики, которая продолжается до настоящего времени. Период с 1999 г. по настоящее время условно может быть назван современным этапом освоения Российской Арктики.

Обработка собранных данных проводилась в среде QGIS. Все установленные участки антропогенного воздействия в соответствии с целями и масштабом картографирования (1:15 000 000 и мельче) были разделены на преимущественно локальные участки, участки, связанные с линейными инженерными объектами, и площадные участки — ареалы. К локальным условно отнесены населенные пункты разных типов, участки антропогенного воздействия на берегах рек и морей, участки строительства плотин и ГЭС, объекты лесопромышленного комплекса (лесобиржи и пр.), свалки при объектах разного назначения, участки развития мили-

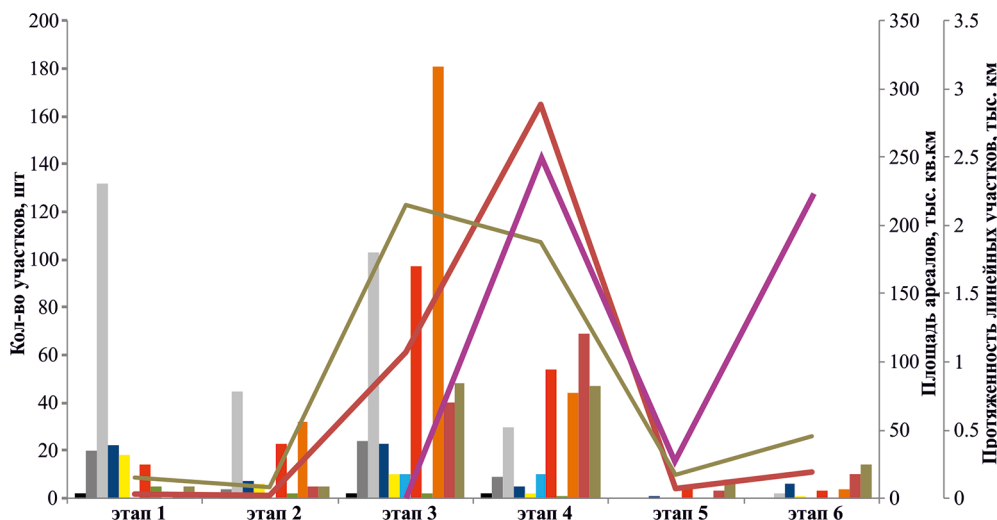
таригенного рельефа. В качестве линейных объектов рассматривались магистральные трубопроводы и судоходные каналы. К площадным объектам были отнесены участки пастбищного оленеводства, участки горнопромышленного освоения, а также участки развития сетей железных и автомобильных дорог. Отнесение последних к категории площадных объектов стало вынужденной мерой, обусловленной высокой густотой этих сетей и невозможностью корректно отобразить их на мелкомасштабных картах линейными знаками без ущерба для отображения прочих картографируемых объектов. Естественно, оценки площади таких участков, приведенные ниже, являются завышенными и пригодны прежде всего для грубой оценки и сравнения разных этапов освоения Арктики между собой.

По времени возникновения все объекты были расклассифицированы по принадлежности к одному из шести вышеописанных этапов антропогенного освоения. Для каждого из этих этапов были составлены мелкомасштабные карты, отражающие пространственное распространение участков антропогенной трансформации рельефа, возникших непосредственно в ходе данного конкретного этапа.

3. Результаты и обсуждение

Анализ собранных данных показал, что на дореволюционном этапе преобладало комплексное антропогенное воздействие на рельеф, связанное с возникновением и развитием населенных пунктов разного размера. Из 213 выявленных локальных участков антропогенных трансформаций к данному типу относится более 70 % (рис. 1). Еще около 20 % участков трансформаций было связано с антропогенным воздействием на рельеф береговой зоны морей, в том числе и в результате строительства капитальных портовых и берегозащитных сооружений. Остальные виды антропогенного воздействия играли меньшую роль, хотя уже появляются отдельные участки антропогенного рельефа, связанные с образованием свалок отходов у первых полярных станций. В западном секторе Арктики в конце XIX — начале XX в. формируется серия объектов лесопромышленного комплекса, в результате деятельности которых сформировались локальные участки специфического рельефа, связанного с накоплением отходов лесопиления: террасы, дамбы, холмы. В частности, в этом контексте можно упомянуть Ковдские лесозаводы, Керетский лесозавод и ряд других производств.

Результаты анализа пространственного распределения участков освоения (рис. 2) говорят о том, что основное направление освоения до революции — это западная часть Российской Арктики в пределах Кольского полуострова, Карелии, Архангельской области. Помимо того, что именно тут сосредоточена большая часть населенных пунктов, здесь также располагаются и первые участки полноценного горнопромышленного освоения (северо-восток Карелии), а также полосы масштабной переработки рельефа, произошедшей при прокладке железных дорог на Мурманск и Архангельск. Арктические территории восточнее устья Печоры практически не освоены, за исключением небольших сгущений участков локальных трансформаций в низовьях Оби и Енисея и крупных ареалов пастбищного оленеводства — основного занятия коренного населения ряда районов этой территории. Безусловно, масштабы трансформации рельефа при традиционных видах природопользования (например, оленеводстве) существенно меньше, чем в случае с про-



Количество участков локальных антропогенных трансформаций:

- связанных с созданием и развитием крупных городов (более 100 тыс. чел. на наст. вр.);
- связанных с созданием и развитием небольших городов и поселков городского типа;
- связанных с созданием и развитием сельских населенных пунктов;
- связанных с воздействием на берега морей и рек, сопровождающимся созданием капитальных сооружений в береговой зоне;
- то же, но без создания капитальных сооружений в береговой зоне;
- связанных с возведением крупных гидроузлов
- связанных с образованием свалок отходов и рельефоидов при объектах различного назначения;
- связанных с развитием объектов лесопромышленного комплекса;
- связанных с созданием милитаригенного рельефа;

Ареалы антропогенных трансформаций, связанные с горнопромышленным освоением:

- количество; — площадь;

Ареалы антропогенных трансформаций, связанные с прокладкой дорожных сетей:

- количество; — площадь;

Участки антропогенных трансформаций вдоль трасс линейных инженерных объектов:

- длина магистральных трубопроводов

Рис. 1. Распределение новообразованных участков антропогенной трансформации рельефа Российской Арктики по основным этапам освоения

мышленным или селитебным освоением. Однако изменение даже микро- и нано-рельефа (к примеру, появление в тундре оленьих троп на путях перегона) приводит в условиях криолитозоны к смене растительных сообществ, активизации заболачивания и линейной эрозии, поэтому данный вид воздействия представляется одной из разновидностей трансформации естественного рельефа.

К комсеверопутскому этапу (с 1919 по 1932 г.) относится значительно меньшее количество новых участков антропогенных трансформаций рельефа. Отчасти это объясняется небольшой продолжительностью данного этапа. Однако не менее важны и объективные исторические обстоятельства, пришедшиеся на начало этого периода, — смена государственного строя, гражданская война, интервенция. В этот период зафиксировано всего 119 новых участков локальной антропогенной трансформации рельефа (см. рис. 1). Резко меняется характер и направление осво-



Условные обозначения:

I. Участки локальных антропогенных трансформаций рельефа:

- связанные с созданием и развитием крупных городов (более 100 тыс. чел. на наст. вр.);
- связанные с созданием и развитием небольших городов (менее 100 тыс. чел. на наст. вр.)
- связанные с созданием и развитием сельских населенных пунктов;
- связанные с воздействием на берега морей и рек, сопровождающимся созданием капитальных сооружений в береговой зоне;
- то же, но без создания капитальных сооружений в береговой зоне;
- связанные с возведением крупных гидроузлов
- ◆ связанные с образованием свалок отходов и рельефоидов при объектах различного назначения;
- ▼ связанные с развитием объектов лесопромышленного комплекса;
- связанные с созданием милитаризованного рельефа;

II. Участки антропогенных трансформаций рельефа вдоль крупных линейных инженерных объектов:

- связанные с прокладкой трубопроводов;
- связанные с прокладкой судоходных каналов;

III. Ареалы антропогенных трансформаций рельефа:

- ▨ связанные с сельскохозяйственным освоением (пастбищное оленеводство);
- ▨ связанные с горнопромышленным освоением;
- ▨ связанные с прокладкой сетей автомобильных и железных дорог

Рис. 2. Участки антропогенной трансформации рельефа Российской Арктики, образовавшиеся на дореволюционном этапе

ения (рис. 3, а). Уменьшается количество новых населенных пунктов, зато заметно увеличивается количество полярных станций (и связанных с ними свалок), а также участков милитаризованной трансформации рельефа. Последние, правда, располагаются все же в западном секторе, преимущественно возле Архангельска. Многие появившиеся на предшествующем этапе объекты (например, лесозаводы) в этот период даже кратковременно прекращали работу, хотя позднее перезапускались.

В то же время с появлением Главного управления исправительно-трудовых лагерей (ГУЛАГа) и индустриализацией СССР начинает реализовываться ряд крупных горнопромышленных и инфраструктурных проектов, повлекших за собой мощные

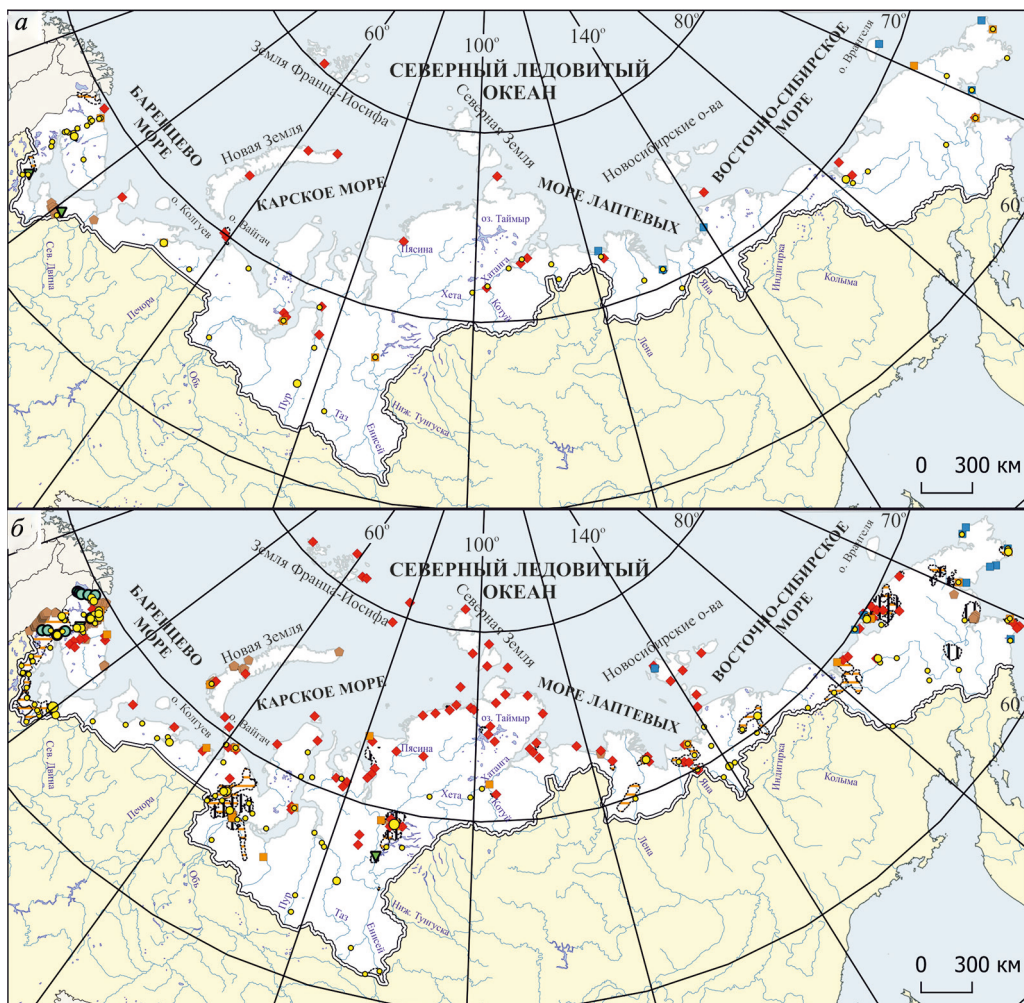


Рис. 3. Участки антропогенной трансформации рельефа Российской Арктики, образовавшиеся на комсеверопутском (а) и Главсевморпутском (б) этапах. Условные обозначения см. на рис. 2

преобразования рельефа. Построен Беломорско-Балтийский канал, в состав которого вошел целый каскад гидроэлектростанций (ГЭС) и шлюзов. Начата разработка открытым способом апатит-нефелиновых руд на месторождениях Хибинского горного узла. Ведутся масштабные горные работы на Вайгаче — месторождениях в Варнеке и у губы Дыроватой. На севере Кольского полуострова, на территории, которая войдет в состав СССР только по итогам Второй мировой войны, финнами осуществлены масштабные горные работы при прокладке шоссе, которое соединило западные районы Финляндии с побережьем Баренцева моря и позже послужило основой развития горнорудного кластера у Печенги, а также осуществлены геологоразведочные работы в этом районе. В Карелии проложена автодорога Калевала-Кемь, в Мурманской области — лежневка Пулозеро-Ловозеро.

Главсевморпутский этап характеризуется резкой активизацией антропогенного освоения и сопутствующей трансформации рельефа (см. рис. 1). Наряду с по-

следующим (ведомственным) этапом именно главсевморпутский дал наибольший прирост как количества отдельных участков антропогенной трансформации рельефа, так и общей их площади. Всего, по нашим данным, в этот период появилось 452 новых участка локальных трансформаций рельефа, 40 крупных участков горнопромышленного освоения и 48 участков транспортно-логистического освоения.

Основная особенность данного этапа — тенденция к расширению географии освоения (рис. 3, б). Наряду со старыми районами Мурманской области, Карелии и Архангельской области начинают формироваться мощные горнорудные кластеры на Полярном Урале и в Воркуте, в Норильском горнопромышленном районе, на Таймыре, в Якутии, на Чукотке (в районе Певека, Анадыря и др.). Вошел в строй крупный лесопромышленный центр в Игарке. С новыми районами освоения связано образование большого количества новых населенных пунктов (всего 126, почти столько же, сколько за весь дореволюционный этап). Именно в этот период формируется большая часть сети полярных станций, а также объектов оборонного назначения в разных районах Арктики.

Впрочем, новые горнорудные объекты появляются и в старых районах — вводятся в эксплуатацию месторождения Оленегорска, Ковдора, Мончегорска. Еще до Второй мировой войны начинают работать рудники в Петсамо. Строятся и вводятся в эксплуатацию ГЭС на Кемь, Ниве, Туломе, Пазе.

Необходимо отметить, что именно на этом этапе проявилась (и продолжает проявляться в настоящее время) зависимость плановых очертаний ареалов освоения от естественных природных условий. В частности, границы функциональных зон крупных населенных пунктов, возникших на данном этапе, в основном наследуют положение геоморфологических границ, так как учет морфологии рельефа позволяет снизить расходы на проектирование и строительство зданий и сооружений. В более мелком масштабе прослеживается отчетливая связь между расположением очагов освоения и геоморфологическими условиями. Большая часть населенных пунктов тяготеет к районам с равнинным рельефом и хорошими условиями дренажа. В то же время при горнопромышленном освоении естественный рельеф учитывался в существенно меньшей степени (так как местоположение участков разработки определялось геологическими условиями залегания полезных толщ), размах его трансформации (особенно в низкогорьях Российской Арктики) является непревзойденным по масштабу.

Ведомственный этап (с 1964 по 1987 г.) характеризуется максимальной активизацией промышленного и транспортно-логистического освоения территории Российской Арктики при относительном сокращении развития сети населенных пунктов, полярных станций и пр. Основной акцент в географии освоения Арктики на этом этапе однозначно сместился из районов старого освоения на восток (рис. 4, а). Сформирован кластер производств и населенных пунктов на месторождениях углеводородов севера Печорской низменности и Западной Сибири. Начато формирование сети магистральных трубопроводов — их суммарная длина к концу этапа в пределах территории достигла 2500 км. Возникло 47 новых ареалов антропогенных трансформаций рельефа, связанных с прокладкой автомобильных и железных дорог. Начата разработка рудных и россыпных месторождений в бассейнах Яны, Колымы, на севере Чукотки. В общей сложности возникли 69 новых ареалов горнопромышленного освоения. В районах старого освоения

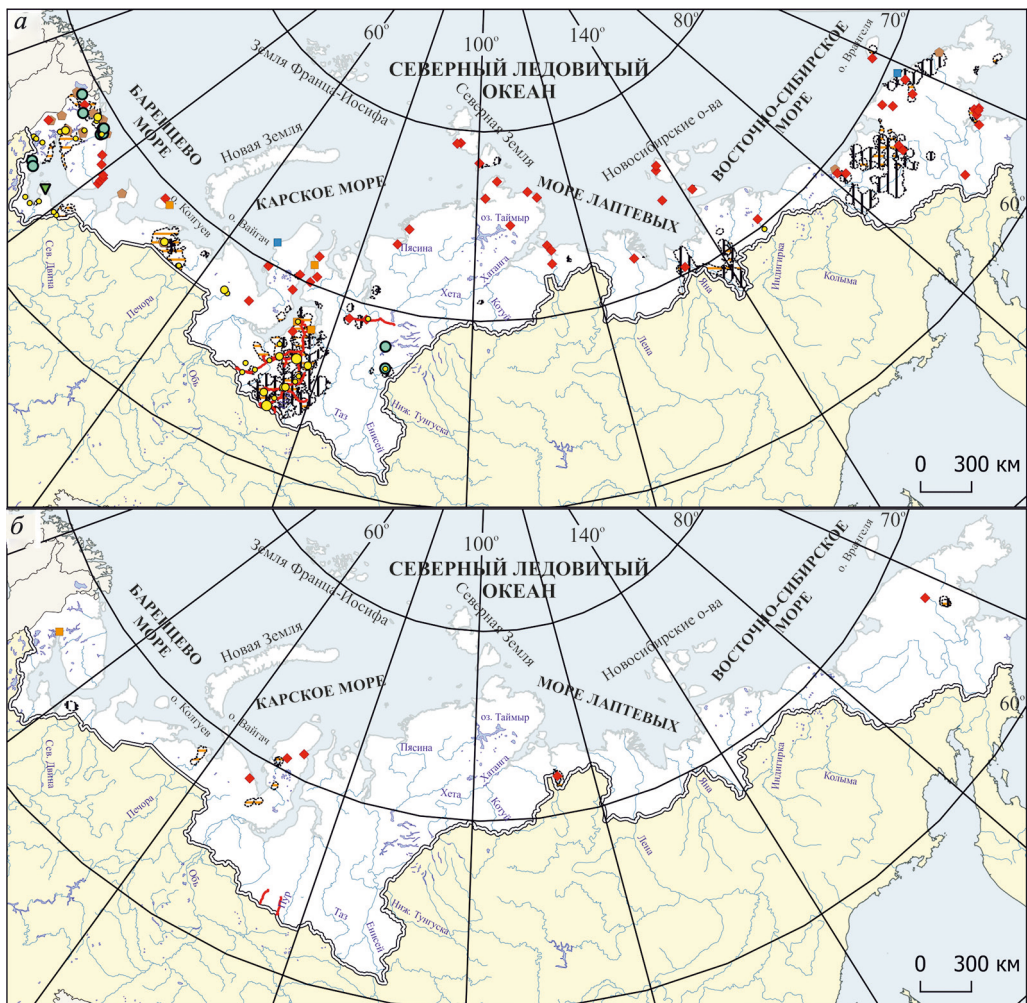


Рис. 4. Участки антропогенной трансформации рельефа Российской Арктики, образовавшиеся на ведомственном этапе (а) и этапе смены хозяйственного уклада (б). условные обозначения см. на рис. 2

вводятся в строй новые ГЭС — закончено формирование каскадов на Ниве, Туломе, Териберке, Вороньей.

Этап смены хозяйственного уклада включает перестроечное время, распад СССР и сложные кризисные годы ранней постсоветской России. Тяжелое экономическое состояние в стране отразилось на особенностях освоения Арктики. Практически все новые проекты в этот период были заморожены (рис. 4, б). Отмечено всего 6 новых локальных участков трансформаций (5 — свалки, 1 — участок воздействия на берега), создано чуть более 200 км трубопроводов. Новые ареалы горнопромышленного освоения отмечены только в Архангельской области (добыча алмазов на периферии Беломорско-Кулойского плато), на полуострове Ямал и на Чукотке. Суммарная площадь новых ареалов освоения соизмерима с образовавшимися на дореволюционном и комсеровпутском этапах.

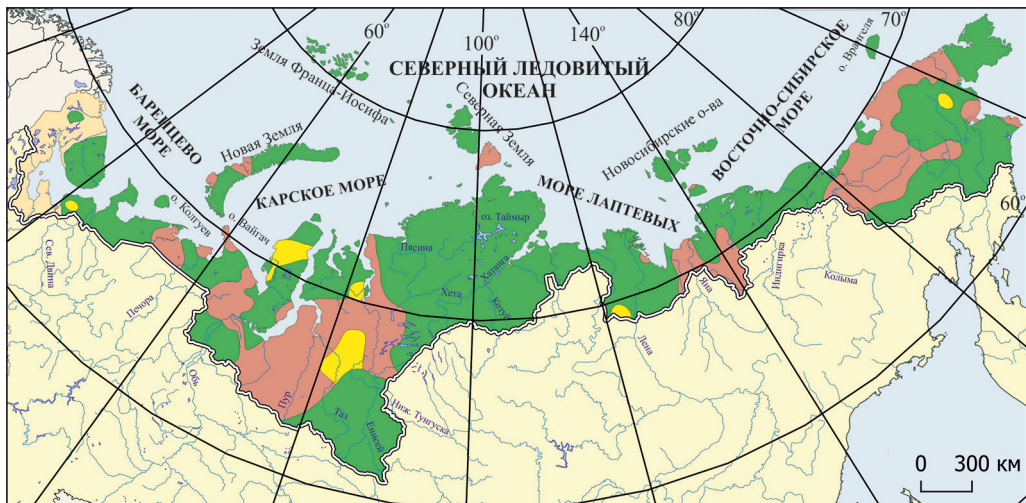


Рис. 5. Участки антропогенной трансформации рельефа Российской Арктики, образовавшиеся на современном этапе. Условные обозначения см. на рис. 2

На последнем этапе, после 1999 г., происходит постепенная реактивизация антропогенного воздействия на рельеф и ландшафты Арктики. Основные районы расширения активности — Ямал и Гыдан, где продолжает развиваться добыча углеводородного сырья (рис. 5). Тут растут площади горнопромышленного освоения, строятся новые трубопроводы, в том числе с подводными участками, развивается портовая инфраструктура, появляются новые населенные пункты, хотя количество их и невелико. Также следует отметить появление нового ареала горнопромышленного освоения, связанного с добычей россыпных месторождений алмазов на реке Молодо — левом притоке Лены, и некоторую активизацию добычи золота, угля и природного газа на Чукотке.

Обобщая полученные данные, можно говорить о существовании ритмичности в антропогенном освоении и соответствующей трансформации рельефа Российской Арктики. Наиболее мощные и широкие по географическому охвату трансформации рельефа были характерны для главсевморпутского и ведомственного этапов освоения Арктики. Комсевморпутский этап и этап смены хозяйственного уклада маркируют своеобразные провалы в активности освоения Арктики — причем последний из них существенно глубже первого. Дореволюционный этап и этап XXI в. демонстрируют не очень ярко выраженные максимумы активности освоения и трансформации, резко уступающие, впрочем, периоду середины — второй половины XX в. Очевидно, что причина такой ритмичности не природная, а социально-экономическая и отчасти политическая. Волны спада активности освоения Арктики приходились на периоды революций и слома общественного строя в России, когда государству становилось «не до Арктики». Напротив, максимум активности освоения приходится на период расцвета СССР.

Говоря о соотношении разновозрастных антропогенных трансформаций рельефа между собой, следует понимать, что большая часть возникших участков антропогенного воздействия продолжает функционировать и на последующих



Условные обозначения:

- территории старого освоения со значительной степенью трансформации рельефа;
- территории Советского освоения со значительной степенью трансформации рельефа;
- территории постсоветского освоения со значительной степенью трансформации рельефа;
- территории, практически не освоенные, с крайне низкой степенью антропогенной трансформации рельефа;

Рис. 6. Типизация территории Российской Арктики по хронологии освоения и сопутствующей антропогенной трансформации рельефа

этапах, усиливая со временем воздействие на рельеф (например, по мере роста площади городских поселений и количества населения в них, появления домов повышенной этажности, появления инженерных коммуникаций — водопровода, централизованного теплоснабжения, канализации и пр.). С другой стороны, даже те антропогенные объекты, которые по каким-то причинам перестают эксплуатироваться, все равно длительное время сохраняются в рельефе в виде комплексов реликтовых антропогенных форм. Анализируя кумулятивную по всем этапам картину их распределения по территории, можно констатировать, что в пределах Российской Арктики отчетливо выделяется четыре типа территорий (рис. 6).

1. *Территории старого освоения со значительной степенью трансформации рельефа.* К этой группе относятся Мурманская область, Карелия, запад Архангельской области, которые начали осваиваться задолго до революции. Они характеризуются повышенной плотностью распространения антропогенных форм рельефа, а местами и значимыми трансформациями естественных рельефообразующих процессов. Типично наложение антропогенных трансформаций, сформированных на разных хронологических этапах, друг на друга. На одних участках они совмещены в пространстве (например, в длительно развивающихся населенных пунктах), на других — образуют пространственную «мозаику». Характерна смена ведущих типов антропогенного воздействия и связанных с ними трансформаций со временем. На ранних этапах трансформации преимущественно вызваны развитием населенных пунктов сельского типа и небольших городов. Позже начинается развитие транспортной сети, промышленного (горнопромышленного, лесопромыш-

ленного) комплекса, возникают крупные гидротехнические сооружения, развиваются более крупные урбанизированные территории, комплексно воздействующие на рельеф. Часть реликтовых форм антропогенного рельефа, сформированных на первых этапах освоения, уже полностью или практически полностью уничтожена последующими процессами. Территории этого типа занимают около 4.3 % от общей площади Российской Арктики.

2. *Территории советского освоения со значительной степенью трансформации рельефа (освоение начато в конце комсевепопутского, на главсевморпутском или ведомственном этапах).* К этой категории можно отнести север Печорской низменности и Полярный Урал, север Западной Сибири, Норильский горнопромышленный район, горнопромышленные районы Северной Якутии (в бассейнах Омоля, Яны, Хромы, Колымы), бассейн Чаунской губы, Северо-Западную (Билибинский район) и Северную (Шмидтовский район) Чукотку и отдельные локальные участки, например о. Большевик, Ванькину губу или северо-запад о. Большого Ляховского. В целом эти территории занимают почти 25.8 % от всей площади Российской Арктики.

В перечисленных районах в большей части случаев абсолютно преобладает горнопромышленное освоение разных типов (добыча углеводородов, рудных полезных ископаемых, разработка россыпей), которое, собственно, и контролирует основные ассоциации трансформаций рельефа и рельефообразующих процессов. Все остальные типы воздействия здесь имели подчиненное значение, хотя комплексное воздействие в ходе развития населенных пунктов также, несомненно, имело и имеет место.

К этой же группе можно отнести специфические по характеру антропогенного рельефообразования районы, где значимую роль играло формирование милитаригенного рельефа, в том числе и беллигеративного (на Новой Земле, на участках испытаний ядерного оружия, военных учений).

3. *Территории постсоветского освоения со значительной степенью трансформации рельефа.* Их площади незначительны (порядка 2.9 % от общей площади Российской Арктики), тем более что в известной степени они наследуют положение зон освоения, сформированных еще во время СССР, лишь немного смещаясь в сторону новых месторождений минерального сырья. Сюда можно отнести прежде всего Ямал, Гыдан, район разработки алмазов на Беломорско-Кулойском плато, а также (с оговорками) небольшие участки левобережной части бассейна Лены в границах Арктики, где в последние годы также началась добыча алмазов, и отдельные районы Чукотки (Валунистое). На этих участках антропогенные трансформации практически полностью связаны с горнопромышленным освоением, прокладкой дорожных сетей и магистральных трубопроводов.

4. *Территории, практически не освоенные, с крайне низкой степенью трансформации рельефа.* К этой группе относится большая часть арктических островов (за исключением Новой Земли, Вайгача и острова Большевик), восток Кольского полуострова, полуостров Канин и прилегающая часть Северного Тимана, Таймыр, восточная часть плато Путорана и Анабарское плато, Приморские низменности Якутии (за исключением небольших участков), большая часть горной Чукотки и северо-восток Корякского нагорья. Этот тип территорий наиболее распространен и занимает более 67 % от общей площади Российской Арктики.

Для этих территорий типично практически полное отсутствие площадных участков антропогенного освоения, за исключением ареалов пастбищного оленеводства. Локальные участки воздействия приурочены к немногочисленным населенным пунктам сельского типа, полярным станциям, маякам и пр.

Говоря о пастбищном оленеводстве, следует отметить, что площади территорий, на которых в большей или меньшей степени оно ведется, практически неизменны (около 1.273 млн км²) с дореволюционных времен. Однако, несмотря на огромные размеры пастбищ, как правило, нагрузка на естественные экосистемы и рельеф всегда была в целом невысокой. Это было связано как с низкой плотностью коренного населения, занимающегося оленеводством, так и с кочевым характером его жизни. Лишь в XX в. на отдельных участках этого громадного ареала перевыпас оленей привел к действительно существенным трансформациям рельефа и рельефообразующих процессов. В частности, на Ямале это привело к существенной деградации тундровых растительных сообществ, уменьшению биоразнообразия, расширению площади песчаных раздувов и активизации дефляции.

Тем не менее авторы отдают себе отчет, что участки естественного рельефа и ландшафтов во множестве сохраняются даже в районах, показанных на карте пораженными тем или иным типом воздействия, потому что масштаб карты не позволяет их выделять. Таким образом, несмотря на большое число участков, где отмечены те или иные виды трансформации рельефа в то или иное время, значительно большие по площади арктические пространства не тронуты человеком и составляют один из последних биосферных резервов не только России, но и всего человечества.

4. Заключение

На основании результатов выполненных исследований можно заключить, что хозяйственное освоение Арктики имеет столетнюю историю, в которой чередовались периоды активизации и застоя. Вне зависимости от типа природопользования естественный рельеф прямо или косвенно изменялся человеком. Масштабы трансформации рельефа и ее глубина оказывались больше присущих территориям вне криолитозоны, что связано со спецификой природы Арктики, в частности наличием многолетней мерзлоты, повышенным увлажнением, суровыми климатическими условиями и другими причинами. Основные выводы выполненного исследования можно сформулировать следующим образом.

Для антропогенной трансформации рельефа Российской Арктики, как и для ее освоения в целом, характерна ритмичность, обусловленная социально-экономическими и политическими причинами. Наиболее мощные и широкие по географическому охвату трансформации рельефа были характерны для главсеверморпутского и ведомственного этапов освоения Арктики. Комсеверопутский этап и этап смены хозяйственного уклада маркируют своеобразные провалы в активности освоения Арктики.

В пределах территории Российской Арктики может быть выделено четыре типа территорий, отличающихся по возрасту, набору и интенсивности антропогенных трансформаций рельефа: 1) территории старого освоения со значительной степенью антропогенной трансформации рельефа; 2) территории советского освоения со значительной степенью трансформации рельефа; 3) территории постсоветского освоения

со значительной степенью трансформации рельефа; 4) практически не освоенные территории с крайне незначительной степенью антропогенной трансформации рельефа.

Более 67 % территории Российской Арктики все еще характеризуются практически полным отсутствием антропогенных трансформаций рельефа, так как освоение почти не затронуло эти области. Оставшаяся часть территории — 33 % — характеризуется наличием антропогенного рельефа и/или косвенной трансформацией хода геоморфологических процессов в результате прежде всего перераспределения поверхностного стока и изменения температурного режима многолетнемерзлых толщ.

Благодарности

Работа по сбору информации о времени возникновения антропогенных объектов выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ №18-05-60200. Создание обобщающих картографических материалов и типизация территории Российской Арктики по характеру антропогенных трансформаций рельефа выполнены в рамках темы госзадания кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова № 121040100323-5 «Эволюция природной среды в кайнозой, динамика рельефа, геоморфологические опасности и риски природопользования».

Литература

- Аджиев, А. Х., Барталев, С. А., Беккиев, М. Ю., Бирюков, М. В., Бирюкова, О. Н., Битюкова, В. Р., Бобылев, С. Н., Богданова, М. Д., Божиллина, Е. А., Бронникова, В. К., Бударина, О. И., Власов, Д. В., Волкова, Е. А., Вомперский, С. Э., Воробьева, Т. А., Гаврилова, И. П., Кошелева, Н. Е., Никифорова, Е. М. (2017). *Экологический атлас России*. М.: Феория.
- Афонина, Г. М., ред.-сост. (1996). *Краткие сведения о развитии отечественных железных дорог с 1838 по 1990 г.* М.: [Б. и.]
- Бредихин, А. В., Еременко, Е. А., Харченко, С. В., Беляев, Ю. Р., Романенко, Ф. А., Болысов, С. И., Фузеина, Ю. Н. (2020). Районирование территории российской Арктики по типам антропогенного освоения и сопутствующей трансформации рельефа на основе кластерного анализа. *Вестник Московского университета. Сер. 5. География*, 1, 42–56.
- Дворецкая, М. И., Жданова, А. П., Лушников, О. Г., Слива, И. В. (2018). *Возобновляемая энергия. Гидроэлектростанции России*: справочник. В. В. Берлин, ред. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та.
- Козлова, А. Е. (2013). Антропогенное преобразование рельефа в условиях хозяйственного освоения территории полуострова Ямал. *Известия РАН. Сер. географическая*, 4, 87–94.
- Первозванский, И. В. (1959). Очерки по развитию лесного хозяйства и лесной промышленности Карелии. *Труды Карельского филиала Академии наук СССР*. Вып. XIX, 5–75.
- Чеснокова, И. В. (2013). Антропогенный морфогенез в зоне развития многолетнемерзлых пород. В: *Антропогенная геоморфология*. М.; Киев: Медиа-ПРЕСС, 167–173.
- Avango, D., Hacquabord, L. and Wråkberg, U. (2014). Industrial extraction of Arctic natural resources since the sixteenth century: Technoscience and geo-economics in the history of northern whaling and mining. *Journal of Historical Geography*, 44, 15–30. <https://doi.org/10.1016/j.jhg.2014.01.001>
- Becker, M. S. and Pollard, W. H. (2015). Sixty-year legacy of human impacts on a high Arctic ecosystem. *Journal of Applied Ecology*, 53, 876–884. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12603>
- Desjardins, S. P. A. and Jordan, P. D. (2019). Arctic Archaeology and Climate Change. *Annual Review of Anthropology*, 48, 1, 279–296. <https://doi.org/10.1146/annurev-anthro-102317-045901>
- Doyle, S., Gray, A. and McMahon, B. J. (2020). Anthropogenic impacts on the demographics of Arctic-breeding birds. *Polar Biology*, 43, 1903–1945. <https://doi.org/10.1007/s00300-020-02756-6>
- Grebenets, V., Streletskiy, D. and Shiklomanov, N. (2012). Geotechnical safety issues in the cities of Polar regions. *Geography, Environment. Sustainability*, 5 (3), 104–119. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2012-5-3-104-119>

- Khalturin, V.I., Rautian, T.G., Richards, P.G. and Leith, W.D. (2005). A review of nuclear testing by the Soviet Union at Novaya Zemlya, 1955–1990. *Science and Global Security*, 13, 1–42.
- Kitti, H., Forbes, B.C. and Oksanen, J. (2009). Long- and short-term effects of reindeer grazing on tundra wetland vegetation. *Polar Biology*, 32, 253–261. <https://doi.org/10.1007/s00300-008-0526-9>
- Krupnik, I. (2002). *Arctic adaptations: native whalers and reindeer herders of northern Eurasia*. Dartmouth College Press.
- Miles, V. and Esau, I. (2017). Seasonal and Spatial Characteristics of Urban Heat Islands (UHIs) in Northern West Siberian Cities. *Remote Sensing*, 9 (10), 989. <https://doi.org/10.3390/rs9100989>
- Miles, V. and Esau, I. (2020). Surface urban heat islands in 57 cities across different climates in northern Fennoscandia. *Urban Climate*, 31, 100575. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100575>
- Müller-Wille, L., Heinrich, D., Lehtola, V.P., Aikio, P., Konstantinov, Y. and Vladimirova, V. (2006). Dynamics in Human-Reindeer Relations: Reflections on Prehistoric, Historic and Contemporary Practices in Northernmost Europe. In: B.C. Forbes et al., eds *Reindeer Management in Northernmost Europe. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*, vol. 184. Berlin, Heidelberg, Springer https://doi.org/10.1007/3-540-31392-3_3
- Normand, S., Høye, T.T., Forbes, B.C., Bowden, J.J., Davies, A.L., Odgaard, B.V., Riede, F., Svenning, J.-C., Treier, U.A., Willerslev, R. and Wischniewski, J. (2017). Legacies of Historical Human Activities in Arctic Woody Plant Dynamics. *Annual Review of Environment and Resources*, 42 (1), 541–567. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085454>
- Pitulko, V., Kuzmin, Y., Glascock, M., Pavlova, E. and Grebennikov, A. (2019). ‘They came from the ends of the earth’: Long-distance exchange of obsidian in the High Arctic during the Early Holocene. *Antiquity*, 93 (367), 28–44. <https://doi.org/10.15184/aqy.2019.2>
- Pitulko, V.V., Nikolsky, P.A., Girya, E.Yu., Basilyan, E.A., Tumskoy, V.E., Koulakov, S.A., Astakhov, S.N., Pavlova, E.Yu. and Anisimov, M.A. (2004). The Yana RHS Site: Humans in the Arctic Before the Last Glacial Maximum. *Science*, vol. 303 (5654), 52–56. <https://doi.org/10.1126/science.1085219>
- Pitulko, V.V., Tikhonov, A.N., Pavlova, E.Y., Nikolskiy, P.A., Kuper, K.E. and Polozov, R.N. (2016). Paleoanthropology. Early human presence in the Arctic: evidence from 45,000-year-old mammoth remains. *Science*, vol. 351 (6270), 260–263. <https://doi.org/10.1126/science.aad0554>
- Sandom, C., Faurby, S., Sandel, B. and Svenning, J.-C. (2014). Global Late Quaternary megafauna extinctions linked to humans, not climate change. *Proceedings of the Royal Society. B: Biological Sciences* 281 (1787), 20133254. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.3254>
- Streletskiy, D.A., Suter, L.J., Shiklomanov, N.I., Porfiriev, B.N. and Eliseev, D.O. (2019). Assessment of climate change impacts on buildings, structures and infrastructure in the Russian regions on permafrost. *Environmental Research Letters*, 14 (2), 025003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf5e6>
- Trump, B.D., Kadenic, M. and Linkov, I. (2018). A sustainable Arctic: Making hard decisions. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 50 (1). <https://doi.org/10.1080/15230430.2018.1438345>
- Varentsov, M., Konstantinov, P., Baklanov, A., Esau, I., Miles, V. and Davy, R. (2018). Anthropogenic and natural drivers of a strong winter urban heat island in a typical Arctic city. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18 (23), 17573–17587. <https://doi.org/10.5194/acp-18-17573-2018>
- Yu, Q., Epstein, H.E., Walker, D.A., Frost, G.V. and Forbes, B.C. (2011). Modeling dynamics of tundra plant communities on the Yamal Peninsula, Russia, in response to climate change and grazing pressure. *Environmental Research Letters*, 6 (4), 45505. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/4/045505>

Статья поступила в редакцию 6 апреля 2022 г.

Статья рекомендована к печати 15 октября 2022 г.

Контактная информация:

Беляев Юрий Ростиславович — yrbel@mail.ru

Еременко Екатерина Андреевна — eremenkoeaig@gmail.com

Луговой Николай Николаевич — lugovoy-n@yandex.ru

Репкина Татьяна Юрьевна — t-repkina@yandex.ru

Романенко Федор Александрович — faromanenko@mail.ru

Харченко Сергей Владимирович — har4enkkoff@yandex.ru

Stages of anthropogenic transformation of surface morphology in the Arctic zone of Russia*

Yu. R. Belyaev¹, E. A. Eremenko¹, N. N. Lugovoy^{1,2},
T. Yu. Repkina¹, F. A. Romanenko¹, S. V. Kharchenko^{1,2}

¹ Lomonosov Moscow State University,

1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation

² Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences,
29, Staromonetnyi per., Moscow, 119017, Russian Federation

For citation: Belyaev, Yu. R., Eremenko, E. A., Lugovoy, N. N., Repkina, T. Yu., Romanenko, F. A., Kharchenko, S. V. (2022). Stages of anthropogenic transformation of surface morphology in the Arctic zone of Russia. *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 67 (4), 675–695.
<https://doi.org/10.21638/spbu07.2022.407>

Information about the occurrence and age of anthropogenic objects and accompanying surface morphology transformations in the Arctic zone of Russia was collected and systematized. Six chronological stages of antropogenic surface transformations were distinguished: before 1918 a.d., 1919–1932 a.d., 1933–1963 a.d., 1964–1987 a.d., 1988–1998 a.d. and after 1999 a.d. The leading types of land-use on the territory of the Arctic zone of Russia for different time slices are identified, the areas affected by development are outlined, and the inherent types of anthropogenic transformation of landscapes are indicated. Rythms of economic development and antropogenic surface morphology transformation due to social-economic and political causes were established. Maximum of antropogenic transformation occurred during Soviet period in 1933–1963 and 1964–1987 a.d. Periods between 1919–1932 a.d and 1988–1998 a.d. coinciding with collapse of Russian Empire and USSR respectively marked with significant decrease of antropogenic activity in Russian Arctic. Four types of territories differing with duration of antropogenic development, intensity and set of antropogenic objects and accompanying surface morphology transformations were revealed: 1) territories of old (before 1918 a.d.) development with significant grade of antropogenic transformation (4.3 % of Russian Arctic); 2) territories of Soviet (1918–1987) development with significant grade of antropogenic transformation (25.8 % of Russian Arctic); 3) territories of Postsoviet (1988+) development with significant grade of antropogenic transformation (2.9 % of Russian Arctic); 4) territories without significant amount of antropogenic objects and with well-preserved natural surface morphology (67 % of Russian Arctic).

Keywords: Russian Arctic zone, antropogenic landforms, antropogenic transformation, stages of development, land-use.

References

- Adzhiev, A. H., Bartalev, S. A., Bekkiev, M. Yu., Biryukov, M. V., Biryukova, O. N., Bityukova, V. R., Bobylev, S. N., Bogdanova, M. D., Bozhilina, E. A., Bronnikova, V. K., Budarina, O. I., Vlasov, D. V., Volkova, E. A., Vomperskij, S. E., Vorobèva, T. A., Gavrilova, I. P., Kosheleva, N. E. and Nikiforova, E. M. (2017). *Ecological Atlas of Russia*. Moscow: Feoria Publ. (In Russian)
- Afonina, G. M., ed. and comp. (1996). *Brief information on the development of domestic railways from 1838 to 1990*. Moscow: [S. n.]. (In Russian)

* The research was carried out with the support of the Russian Foundation for Basic Research (project no. 18-05-60200) and within the framework of the state task of the Department of Geomorphology and Paleogeography of the Faculty of Geography of Lomonosov Moscow State University (no. 121040100323-5).

- Avango, D., Hacquebord, L. and Wråkberg, U. (2014). Industrial extraction of Arctic natural resources since the sixteenth century: Technoscience and geo-economics in the history of northern whaling and mining. *Journal of Historical Geography*, 44, 15–30. <https://doi.org/10.1016/j.jhg.2014.01.001>
- Becker, M. S. and Pollard, W. H. (2015). Sixty-year legacy of human impacts on a high Arctic ecosystem. *Journal of Applied Ecology*, 53, 876–884. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12603>
- Bredikhin, A. V., Eremenko, E. A., Kharchenko, S. V., Belyaev, Yu. R., Romanenko, F. A., Bolysov, S. I. and Fuzeina, Yu. N. (2020). Zoning of the territory of the Russian Arctic according to the types of anthropogenic development and the accompanying transformation of the relief based on cluster analysis. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Series 5. Geografiya*, 1, 42–56. (In Russian)
- Chesnokova, I. V. (2013) Anthropogenic morphogenesis in the permafrost zone. In: *Antropogennaia geomorfologiya*. Kiev: Media-PRESS Publ., 167–173. (In Russian)
- Desjardins, S. P. A., Jordan, P. D. (2019). Arctic Archaeology and Climate Change. *Annual Review of Anthropology*, 48 (1), 279–296. <https://doi.org/10.1146/annurev-anthro-102317-045901>
- Doyle, S., Gray, A. and McMahon, B. J. (2020). Anthropogenic impacts on the demographics of Arctic-breeding birds. *Polar Biology*, 43, 1903–1945. <https://doi.org/10.1007/s00300-020-02756-6>
- Dvoreckaya, M. I., Zhdanova, A. P., Lushnikov, O. G., Sliva, I. V. (2018). In: V. V. Berlin, ed., *Renewable energy. Hydroelectric power plants of Russia. Directory*. St Petersburg: Polytechnic University Publ. (In Russian)
- Grebenets, V., Streletskiy, D. and Shiklomanov, N. (2012). Geotechnical safety issues in the cities of Polar regions. *Geography, Environment. Sustainability*, 5 (3), 104–119. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2012-5-3-104-119>
- Khalturin, V. I., Rautian, T. G., Richards, P. G. and Leith, W. D. (2005). A review of nuclear testing by the Soviet Union at Novaya Zemlya, 1955–1990. *Science and Global Security*, 13, 1–42.
- Kitti, H., Forbes, B. C. and Oksanen, J. (2009). Long- and short-term effects of reindeer grazing on tundra wetland vegetation. *Polar Biology*, 32, 253–61. <https://doi.org/10.1007/s00300-008-0526-9>
- Kozlova, A. E. (2013). Anthropogenic transformation of the relief in the conditions of economic development of the territory of the Yamal Peninsula. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Ser. Geographic*, 4, 87–94. (In Russian)
- Krupnik, I. (2002). *Arctic adaptations: native whalers and reindeer herders of northern Eurasia*. Publ. Dartmouth College Press.
- Miles, V. and Esau, I. (2017). Seasonal and Spatial Characteristics of Urban Heat Islands (UHIs) in Northern West Siberian Cities. *Remote Sensing*, 9 (10), 989. <https://doi.org/10.3390/rs9100989>
- Miles, V. and Esau, I. (2020). Surface urban heat islands in 57 cities across different climates in northern Fennoscandia. *Urban Climate*, 31, 100575. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100575>
- Müller-Wille, L., Heinrich, D., Lehtola, V. P., Aikio, P., Konstantinov, Y. and Vladimirova, V. (2006). Dynamics in Human-Reindeer Relations: Reflections on Prehistoric, Historic and Contemporary Practices in Northernmost Europe. In: B. C. Forbes et al., eds, *Reindeer Management in Northernmost Europe. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*, vol 184. Berlin, Heidelberg, Springer https://doi.org/10.1007/3-540-31392-3_3
- Normand, S., Høye, T. T., Forbes, B. C., Bowden, J. J., Davies, A. L., Odgaard, B. V., Riede, F., Svenning, J.-C., Treier, U. A., Willerslev, R. and Wischnewski, J. (2017). Legacies of Historical Human Activities in Arctic Woody Plant Dynamics. *Annual Review of Environment and Resources*, 42 (1), 541–567. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085454>
- Pervozvansky, I. V. (1959) Essays on the development of forestry and forest industry in Karelia. *Trudy Karel'skogo filiala Akademii nauk SSSR*, XIX, 5–75. (In Russian)
- Pitulko, V., Kuzmin, Y., Glascock, M., Pavlova, E. and Grebennikov, A. (2019). ‘They came from the ends of the earth’: Long-distance exchange of obsidian in the High Arctic during the Early Holocene. *Antiquity*, 93 (367), 28–44. <https://doi.org/10.15184/aqy.2019.2>
- Pitulko, V. V., Nikolsky, P. A., Girya, E. Yu., Basilyan, E. A., Tumskey, V. E., Koulakov, S. A., Astakhov, S. N., Pavlova, E. Yu. and Anisimov, M. A. (2004). The Yana RHS Site: Humans in the Arctic Before the Last Glacial Maximum. *Science*, vol. 303 (5654), 52–56. <https://doi.org/10.1126/science.1085219>
- Pitulko, V. V., Tikhonov, A. N., Pavlova, E. Y., Nikolskiy, P. A., Kuper, K. E. and Polozov, R. N. (2016). Paleo-anthropology. Early human presence in the Arctic: evidence from 45,000-year-old mammoth remains. *Science*, vol. 351 (6270), 260–263. <https://doi.org/10.1126/science.aad0554>

- Sandom, C., Faurby, S., Sandel, B. and Svenning, J.-C. (2014). Global Late Quaternary megafauna extinctions linked to humans, not climate change. *Proceedings of the Royal Society*. In: Biological Sciences 281 (1787), 20133254. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.3254>
- Streletskiy, D. A., Suter, L. J., Shiklomanov, N. I., Porfiriev, B. N. and Eliseev, D. O. (2019). Assessment of climate change impacts on buildings, structures and infrastructure in the Russian regions on permafrost. *Environmental Research Letters*, 14 (2), 025003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf5e6>
- Trump, B. D., Kadenic, M. and Linkov, I. (2018). A sustainable Arctic: Making hard decisions. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 50 (1). <https://doi.org/10.1080/15230430.2018.1438345>
- Varentsov, M., Konstantinov, P., Baklanov, A., Esau, I., Miles, V. and Davy, R. (2018). Anthropogenic and natural drivers of a strong winter urban heat island in a typical Arctic city. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18 (23), 17573–17587. <https://doi.org/10.5194/acp-18-17573-2018>
- Yu, Q., Epstein, H. E., Walker, D. A., Frost, G. V. and Forbes, B. C. (2011). Modeling dynamics of tundra plant communities on the Yamal Peninsula, Russia, in response to climate change and grazing pressure. *Environmental Research Letters*, 6 (4), 45505. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/4/045505>

Received: April 6, 2022
Accepted: October 15, 2022

Authors' information:

Yuriy R. Belyaev — yrbel@mail.ru
Ekaterina A. Eremenko — eremenkoeaig@gmail.com
Nikolay N. Lugovoy — lugovoy-n@yandex.ru
Tatiana Yu. Repkina — t-repkina@yandex.ru
Fedor A. Romanenko — faromanenko@mail.ru
Sergey V. Kharchenko — xar4enkkoff@yandex.ru