

УДК 551.4

DOI 10.18413/2075-4671-2018-42-4-497-506

**РЕСУРСНЫЕ ГОРОДА В ЗОНЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД
(Эколого-геоморфологические проблемы и пути решения)****RESOURCES FOCUSED CITIES IN PERMAFROST ZONE
(Ecological-and-geomorphological challenges and solutions)****Э.А. Лихачева¹, Л.А. Некрасова¹, И.В. Чеснокова²
E.A. Likhacheva¹, L.A. Nekrasova¹, I.V. Chesnokova²**¹Институт географии РАН,
Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 29²Институт водных проблем РАН,
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3¹Institute of Geography, Russian Academy of Sciences,
Staromonetny lane 29, Moscow, 119017, Russia²Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences,
3 Gubkina St, Moscow, 119333, Russia

E-mail: nekrasova@igras.ru; ichesn@rambler.ru

Аннотация

Экологические проблемы ресурсных городов Арктической зоны России связаны со спецификой природных условий и нарастающим интенсивным техногенным воздействием. Добыча полезных ископаемых нередко превращает местность в зону экологического бедствия, т. к. интенсивность влияния хозяйственной деятельности в горнопромышленных районах значительно превосходит скорости развития природных рельефообразующих процессов. Эколого-геоморфологический анализ территории, создание карт устойчивости и прогноз развития геоморфологических процессов под влиянием природных и техногенных факторов может стать одним из инструментов по долгосрочному планированию функционирования ресурсных городов. Это позволит оценить катастрофические риски от экстремальных погодно-климатических проявлений и разработать систему мер по решению проблемы устойчивости экономической системы к воздействию гидрометеорологических условий.

Abstract

Ecological challenges of the resources focused cities in the Arctic zone of Russia are associated with the specific of environment and increasing of human impact. Mining typically turns the terrain into a zone of ecological disaster, because the intensity of the economic activity influence is much higher than the speed of natural relief-forming processes development in the mining regions. Ecological-and-geomorphological analysis of the territory, creation of sustainability maps and forecast of geomorphological processes development under the influence of natural and technogenic factors could be one of the tools for long-term planning of the related to resources cities operation. This will allow to assess catastrophic risks from extreme weather-and-climate aspects and to develop a system of measures on dealing with a problem of the economic system stability to the impact of hydrometeorological conditions.

Ключевые слова: ресурсные города, геолого-геоморфологические условия, криолитозона, инженерно-криогенные процессы, эколого-геоморфологический анализ, прогнозирование, «карты устойчивости».

Keywords: related to resources cities, geological-and-geomorphological conditions, cryolithic zone, engineering-and-cryolithic processes, ecological-and-geomorphological analysis, forecast, «sustainability maps».

Введение

Геолого-геоморфологические и социально-экономические потребности государства определили местоположения ресурсных городов, связанных с добычей полезных ископаемых и их обработкой. Наличие полезного компонента в литогенной основе ландшафта определяется, прежде всего, литолого-структурными особенностями местности, что отражается и в геоморфологических (инженерных и экологических) ее свойствах. Добыча полезных ископаемых нередко превращает местность в зону экологического бедствия, т. к. интенсивность влияния хозяйственной деятельности в горнопромышленных районах значительно превосходит скорости развития природных рельефообразующих процессов.

Более 65 % территории РФ занимают ландшафты криолитозоны. Формирование социально-экономического пространства в зоне многолетнемерзлых пород связано с добычей полезных ископаемых, развитием нефтегазового комплекса. При этом более 80 % населения сосредоточено в городских поселениях. На урбанизированных территориях криолитозоны формируется «новая реальность» геокриологических условий, для которой характерны коренное преобразование ландшафтов и, соответственно, изменение условий тепло- и массообмена в морфолитосистеме через поверхность грунтов, грунтовые и поверхностные воды, повышение температуры пород в зоне их инженерного освоения, активизация опасных криогенных процессов.

Объект и методы исследований (Состояние проблемы)

Анализ ситуации на территории ряда ресурсных городов Сибири и Дальнего Востока, проведенный З.Г. Мирзахановой [1989] показал, что экологический дискомфорт в этих городах связан с «техногенным опустыниванием» и с формированием техногенных аномалий загрязнения. Особое значение имеет химическое загрязнение ландшафтов. На севере Западной Сибири техногенные воздействия связаны, в основном, с освоением нефтегазовых месторождений, строительством объектов по добыче и транспортировке полезного компонента. Л.И. Перельман и Н.С. Касимов [1999] этот тип техногенного воздействия относят к наиболее интенсивным источникам загрязнения.

На урбанизированных территориях криолитозоны криогенные процессы зачастую отличны от развивающихся в природных условиях: они протекают более интенсивно или, наоборот, затухают под воздействием техногенных факторов, а местами возникают новые криогенные процессы и явления, которые ранее не были характерны для региона. В совокупности данные процессы оказывают негативное влияние на хозяйственные объекты, а в ряде случаев могут носить разрушительный характер. Более 75 % всех зданий и сооружений в области распространения ММП построено и эксплуатируется по принципу сохранения мерзлого состояния грунтов оснований (фундаменты заморожены в грунты и за счет этого обеспечивается требуемая несущая способность). Повышение температуры грунтов (и тем более их протаивание) приводит к резкому уменьшению их несущей способности и, соответственно, к массовым деформациям различных инженерных объектов. Так или иначе техногенные воздействия на природу криолитозоны приводят к активизации неблагоприятных процессов [Воскресенский, 2001; Марахтанов, 1984, 2001; Город..., 1997]. Изменения геолого-геоморфологических условий можно представить в следующем виде: *воздействие* → *изменение (трансформация) природных условий* → *инженерно-криогенные процессы*.

Воздействие:

– *на рельеф*: изменения морфометрических характеристик часто превышают максимальные показатели для данной территории (влияние рельефа на распределение давления и напряженного состояния пород по глубине может достигать многократного относительного превышения, особенно при открытой добыче);

пространственно-территориальное воздействие распространяется на площадь 4–5-го и более высокого порядка водосборных бассейнов, при этом значительно изменяется структура водосборов малых рек и гидрологический режим; изменяется сейсмичность территории настолько, что требуется проведение антисейсмических мероприятий при строительстве. Техногенная сейсмичность является одной из актуальных проблем современной горнодобывающей промышленности;

– *на литосферу*: техногенные преобразования приводят к деградации многолетнемерзлых пород, создаются значительные по мощности и площади техногенные отложения с несвойственными для данной местности механическим и химическим составом; промышленная добыча полезных ископаемых и уничтожение литологических «ресурсных слоев»; истощение эксплуатируемых региональных водоносных горизонтов; изменяются и грунтовые воды – показатели уровней и состава не укладываются в рамки среднестатистических многолетних колебаний;

– *на биосферу*: уничтожение растительности, ослабление закрепляющего действия растительности на грунты, загрязнение почв, инвазия;

– *на атмосферу*: изменение теплообмена многолетнемерзлых пород с атмосферой, загрязнения (тепловые и химические).

Инженерно-криогенные процессы можно условно разделить на *два основных типа*. К *первому типу* принадлежат активизированные природные криогенные процессы, развивавшиеся на территории до ее освоения, а также возникшие под влиянием деятельности человека, но встречающиеся в природных условиях. И, в частности:

– *Отепление ММП* – процессы, связанные с отепляющим эффектом на мерзлые грунты, сопровождающиеся вытаяванием подземного льда и приводящие к деградации многолетнемерзлых пород – термокарст, тепловые просадки, термоэрозия, термоабразия. При одинаковых климатических условиях различные типы грунтов протаивают на разную глубину. Наиболее сильно протаивают пески, наименее – глина. Супеси и суглинки занимают промежуточное положение. Глубина протаивания также зависит от влажности почвы, рельефа и характера растительности, в особенности от мохово-торфяного покрова.

– *Охлаждение ММП* – процессы, вызванные охлаждающим воздействием на грунты и сопровождаемые промерзанием талых горных пород или дополнительным льдовыделением в мерзлых – криогенное пучение, наледеобразование, морозобойное растрескивание.

– *Криопелитизация* – процесс формирования мерзлых толщ с особым режимом засоления. Площадное нарушение почвенного покрова и гидрологического режима, повышение температуры почв за счет выделяющегося под объектами тепла, выброс бытовых и промышленных сточных вод, а также выброс в атмосферу вредных веществ, приводят к увеличению мощности и влажности сезонного слоя, аккумуляции в нем вредных веществ и засолению надмерзлотных грунтовых вод. Увеличение глубины сезонного протаивания уменьшает величину заглубления свай. Большая часть каменной застройки в северных городах выполняется на свайных фундаментах. Заглубление свай в мерзлый грунт должно быть достаточным для обеспечения их несущей способности. Увеличение глубины сезонного протаивания может приводить к возникновению и развитию таликов (как правило, техногенных) из-за роста засоленности надмерзлотных вод и образования глубоких чаш протаивания под отдельными зданиями, теплотрассами, водоемами. Активизируются криогенные процессы, в первую очередь, термокарст и оползни.

Второй тип инженерно-криогенных процессов – техногенно-(антропогенно)-геологические процессы, – включает техногенное подтопление грунтов, морозную деструкцию бетона [Экологический..., 2017]. Подсыпки под здания и дороги, ведут к подтоплению старых деревянных зданий и дворов с просадкой грунта и образованием болот. При возрастающем засолении надмерзлотных вод происходит рост их агрессивности, ускоряющей коррозию и разрушение железобетонных свай. Мощность



сезонноталого слоя в районе развития многолетнемерзлых пород, его влажность и степень засоленности надмерзлотных вод определяют и условия строительства, а динамика развития этих параметров определяет долговечность построенных зданий и сооружений. Рядом с городскими поселениями существует проблема разрушения старых кладбищ и скотомогильников, что ведет к загрязнению грунтовых и поверхностных вод, и риску возникновения санитарно-гигиенических проблем [Антропогенная..., 2013].

В социально-экономическом аспекте весь набор перечисленных процессов приводит к удорожанию градостроительства, которое составляет для городов Севера Сибири, Дальнего Востока 80–120 %, а для ряда горных районов может достигать 160–240 % [Кожухов, 1981; Курбатова и др., 1997].

Наиболее масштабные и глубокие *изменения природного комплекса* нефтегазовая промышленность произвела на территории северной части Западно-Сибирской равнины – Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского (Югра) автономных округов. В настоящее время на этой территории расположены 22 города. Из их числа 15 городов с населением свыше 20 тыс. возникло в 1980-х гг. Рассмотрим инженерно-геологические и эколого-геоморфологические процессы в некоторых городах этих регионов [Атлас..., 2004; Емельянова, 2010; Минкин, 2013; Осадчая, Зенгина, 2013].

Салехард (48 тыс. чел.), основан как крепость в 1595 г. Расположен на Полульской возвышенности Западно-Сибирской равнины при впадении реки Полуя в Обь. Инженерно-геологические условия территории города во многом определяет широкое развитие ММП. Их температура, криогенное строение, мощность слоя сезонного протаивания и промерзания существенно неодинаковы в разных частях территории. Региональные геологические факторы, в частности, тектоническое строение лишь осложняет мерзлотные особенности.

На территории города широко развиты морозное пучение, сезонное промерзание и оттаивание. Одной из самых главных проблем г. Салехард является овражная эрозия. В связи с этим возникают проблемы при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений.

Антропогенное влияние на активизацию процессов заключается в изменении теплового баланса грунтов (под трассами дорог и взлетно-посадочной полосой), изменении стока поверхностных вод, что ведет к активизации оврагообразования, ускорению эрозионных процессов, образованию осыпей. Наблюдается деформация железной дороги, обусловленная образованием наледей и пучин, происходит подтопление зданий, образование наледей, трещинообразование стен и несущих конструкций, а также выпучивание свай.

Территория Салехарда является примером проявления причин и условий образования оврагов в криолитозоне, к которым относятся: климатические особенности (количество выпадающих атмосферных осадков превышает испарение); направленный поверхностный сток дождевых и паводковых вод в условиях Обь-Полульского водораздела; сплошное распространение рыхлых легкоразмываемых пород; нарушение растительного покрова; наличие многолетней мерзлоты и т. д.

Надым (46 тыс. чел., статус города получил в 1972 г. в связи с освоением месторождения газа «Медвежье») расположен на аллювиальных отложениях надпойменной террасы, представленных песками разной крупности, преимущественно в талом состоянии. Из современных экзогенных процессов в пределах г. Надым развито заболачивание, на склоновых участках – солифлюкция и оврагообразование.

Городская территория относится к категории, условно благоприятной по инженерно-геологическим условиям. На территории города сформировалась сложная литотехническая система, функционирование которой определяется взаимосвязью природных компонентов и техногенных воздействий. Инженерные сооружения построены на ленточных фундаментах. Нарушение температурного режима грунтов, деградация ММП, изменение состояния и свойств грунтов, потеря их несущей способности повлекли

неравномерные осадки поверхности и фундаментов, изгибы и коррозию свай, активацию таких процессов как суффозия, подтопление, морозное пучение, интенсивные разрушения несущих конструкций зданий. Около 60 % зданий характеризуется как неудовлетворительное, около 20 % – требуют принятия срочных мер по укреплению и спасению от разрушения.

Ханты-Мансийск расположен в пределах Среднеобской низменности в террасированной долине р. Иртыш. Спецификой инженерно-геологических условий г. Ханты-Мансийска является сложно-разветвленная овражно-балочная сеть. На территории города установлено более 50 эрозионных форм – логов, оврагов, промоин, что требует проведения мероприятий по инженерной подготовке, направленных на предотвращение таких опасных природных процессов как оврагообразование, оползни, подтопление, заболачивание. Одной из актуальных проблем обеспечения развития жилищной сферы в г. Ханты-Мансийске является выполнение работ по инженерной подготовке свободных территорий под жилищное строительство. Необходимо учитывать уклон рельефа, пораженность территории экзогенными процессами, коэффициент овражно-балочного расчленения, плотность овражной эрозии, устойчивость к оползнеобразованию, геодинамическую устойчивость, вероятность затопления территории.

Подтопление и заболачивание территорий обусловлены затрудненностью транзита поверхностного стока в результате городской застройки на плоских поверхностях, на участках выхода подземных вод вследствие эрозионного вскрытия линз водонасыщенных грубообломочных отложений. Переувлажнение грунтов влечет потерю их несущей способности и, как следствие, развитие деформаций зданий и сооружений.

Для городов **Сургу́та** и **Нижневартовска**, **Нефтеюганска**, расположенных на берегу Оби, характерны сходные проблемы развития опасных процессов, в том числе, набухание глинистых пород, сезонное развитие мерзлотных процессов, размыв берегов р. Оби до 5–10 м/год. В целом на территории городов отмечается слабая активизация пучения. Природный риск возникновения чрезвычайных ситуаций высокий.

Результаты исследований и их обсуждение

(Возможные решения проблемы)

Разработка и эксплуатация месторождений углеводородного сырья по ряду критериев относится к категории экологически опасного производства. Прежде всего – в связи с риском возникновения аварийных ситуаций на всем пути от добычи полезного ископаемого до места его длительного хранения или использования, в том числе и по причине возникновения инженерно-криогенных процессов.

Процесс деградации криолитозоны на урбанизированных территориях, в частности, обусловлен не только и не столько климатическими параметрами. Интенсивное освоение *криолитозоны* в настоящее время создает целый ряд экологических проблем, которые усугубляются спецификой природных условий этого региона. К традиционным причинам уязвимости северных *геосистем* относятся: дефицит тепла, слабая способность к самоочищению, низкая восстанавливаемость растительности, крайняя неустойчивость *многолетнемерзлых* пород, а также резкая активизация криогенных процессов при *антропогенном воздействии*. Строительство здесь должно вестись по принципу сохранения вечномерзлого состояния грунтов основания в течение всего периода эксплуатации зданий и сооружений. Также необходимо учитывать при инженерной подготовке наличие термокарстовых образований.

Эколого-геоморфологический анализ территории и прогноз развития геоморфологических процессов под влиянием природных и техногенных факторов может стать одним из инструментов по долгосрочному планированию функционирования ресурсных городов в заданном (экологически благоприятном) режиме.



Эколого-геоморфологический анализ выполняется в следующем алгоритме: оценка условий (анализ пригодности территории для городского строительства) → оценка риска активизации природных и развития инженерных (в т. ч. инженерно-криогенных) → рекомендации по снижению опасности и благоустройству территории.

Особое место при комплексной характеристике антропогенного рельефа занимает оценка факторов (условий), ограничивающих нормальное функционирование антропогенных объектов, особенно повышенной экологической опасности (АЭС, гидроузлы, ТЭЦ, хранилища токсических отходов и др.). Среди них следует назвать сейсмическую опасность, активизации современных криповых движений в зонах разломов, активизации оползней, селей, эрозии, абразии, просадок, карста и др. Эта оценка включает количественные параметры опасных геодинамических процессов, а также оценку устойчивости осваиваемого геолого-геоморфологического пространства к антропогенным (техногенным) нагрузкам и сценарии изменений функционирования антропогенно-геоморфологических систем в изменившихся условиях. Результатом такой оценки могут стать карты устойчивости [Антропогенная..., 2013].

Наиболее острой экологической проблемой для населения является неблагоустроенность территории, недостаток рекреационных зон и оздоровительных центров, так как здоровый образ жизни – основа привлекательности городской и окружающей город среды [Город..., 1997; Лихачева, Чеснокова и др., 2017]. В этом плане весьма важными мероприятиями являются рекультивация территории, ее благоустройство и принятие стратегических решений о размещении зон жилой застройки (в т. ч. и с учетом изменений климата).

Карты трансформации и устойчивости рельефа городской территории призваны отразить как устойчивость природной морфолитосистемы к антропогенному воздействию, так и устойчивость антропогенно-геоморфологической (городской) системы, ее способность выполнять функции социально-экономической основы городской территории (см. таблицу).

Прогноз рисков, управляемость (управление состоянием) и предотвращение (уменьшение) опасности.

Прогноз рисков развития экзогенных процессов, как правило, весьма сложная задача. Необходимо учесть взаимодействие довольно многих факторов (и его синергетический эффект) или довольствоваться установленными закономерностями. Но и то и другое пока дают лишь вероятностный прогноз, т. к. многие явления природы недостаточно изучены. По мнению А.Б. Шмакина и М.М. Чернавской, даже наиболее продвинутые числовые (численные) модели общей циркуляции атмосферы и океана пока недостаточно точно воспроизводят региональные особенности современных изменений климата в Северной Евразии [Попова, Шмакин, 2010; Чернавская, Черенкова, 2010].

Динамика температур воздуха теплого сезона в Арктической зоне на протяжении последних 500 лет имеет тренд, который наиболее четко проявился в XX веке.

На Ямале, по данным метеостанции г. Салехард, современное потепление началось в конце XIX века. Самая высокая скорость повышения летних температур наблюдалась с 1883 по 1923 гг. – около 0.03 °С/год. [Кононов, 2018].

Исследования показали циклические взаимосвязи изменений активности экзогенных процессов с климатическими характеристиками [Воскресенский, 2001]. Однако сочетание температур и осадков, оптимальное для развития экзогенных процессов (в том числе мерзлотных), в различных регионах проявляется несинхронно. Реакция криогеоморфологических систем (определение К.С. Воскресенского) на техногенные воздействия может проявиться как в изменении интенсивности активизации природных процессов, так и в развитии инженерно-криогенных процессов.

Таблица
Table

Возможные варианты «карт устойчивости»
Optional versions of anthropogenic-geomorphic (urban) system stability maps

Тип устойчивости	Тип карты
Устойчивость природной морфолитосистемы к антропогенному воздействию	Карты геоморфологического и геологического риска на основе прочностных свойств грунтов, морфометрических и морфодинамических характеристик рельефа, устойчивости к физико-химическому воздействию
Устойчивость антропогенно-геоморфологической системы к опасным явлениям природы	Карты опасности и риска затопления, селевых потоков, осыпей и др. гравитационных процессов; смерчей, ураганов, землетрясений и др. опасных природных процессов и явлений с учетом их повторяемости и максимальных (катастрофических) характеристик на основе данных мониторинга и расчетных моделей; карты эколого-геоморфологических ограничений
Устойчивость антропогенно-геоморфологических связей, обеспечивающих функционированием системы (функциональная устойчивость)	Карты трансформации рельефа и активизация (проявления) природно-антропогенных процессов. На основании данных о типе освоения, мощностях и свойствах техногенных отложений, данных геодезического мониторинга о вертикальных движениях и «средового» мониторинга о проявлении негативных процессов на освоенной, в том числе городской территории; карты антропогенного морфолитогенеза
Устойчивость пространственной организованности геоморфологических систем и антропогенно-геоморфологических систем (структурная устойчивость)	Карты пространственного соотношения АГМС разного типа с выявлением «зон контактного взаимодействия» и «узлов критического (противоречивого) развития»; карты безопасности проживания, возможных потерь и ущербов.

Исследования изменения показателей температурного режима, применяемых в строительной практике в пределах равнинных территорий северных регионов России в различные периоды XX–XXI вв., показал, что в результате прогнозируемого потепления повышение среднегодовой температуры в северных строительно-климатических подрайонах к середине XXI века составит от 1.6 °C до 6.5 °C и произойдет, в основном, за счет холодного периода, который наиболее важен для строительства [Чернавская, Черенкова, 2010]. И в этом отношении произойдут изменения и социально-экономических условий, в частности, стоимость как строительства, так и эксплуатации инженерных сооружений. Так, результаты обследований экологического и инженерно-геологического состояния территории города Надыма свидетельствуют о том, что ни современные инженерно-строительные технологии, ни серьезные капиталовложения при создании жилищно-социальной инфраструктуры не стали гарантией инженерно-геологической и эколого-геоморфологической устойчивости территории города.

Заключение

Ресурсные города в зоне многолетнемерзлых пород – это особый вид поселений с определенным составом населения, особой структурой (организованностью) городской территории и особой инфраструктурой связей с регионами страны. На урбанизированных территориях криолитозоны инженерно-криогенные процессы развиваются наиболее активно; их проявление связано не только с природными условиями (прежде всего геокриологическими), но и с характером техногенных воздействий.

Сохранение устойчивого градообразующего каркаса этих городов является важной геополитической, экономической и социальной задачей [Бабурин и др., 2016].



Нарушения природной среды, сопровождающие хозяйственное освоение территории севера Западной Сибири, устраняются значительно труднее, чем в других регионах.

Основные потенциальные угрозы и риски антропогенно-обусловленной деградации геосистем при глобальном изменении (потеплении) климата: изменение соотношений поверхностей рельефа с разной отражательной способностью; рост стока рек и усиление эрозии берегов, усиление оврагообразования; рост техногенных катастроф (разрушение зданий, сооружений и др.).

Для дальнейшего освоения территории необходимы мероприятия по созданию локальных и глобальных сетей мониторинга для оценки и прогноза критических изменений условий местообитаний, корректировки стратегии развития хозяйственной деятельности, оценки сложности и стоимости инженерно-геологических изысканий [Дзюба, 2015].

Одним из механизмов управления природопользованием может быть дифференциация территории по степени социально-экономической ценности (стоимости земельных ресурсов) и вероятности рисков, в том числе на специальных эколого-геоморфологических картах.

Эколого-геоморфологический анализ территории, создание карт устойчивости и прогноз развития геоморфологических процессов под влиянием природных и техногенных факторов может стать одним из инструментов по долгосрочному планированию функционирования ресурсных городов. Это позволит оценить катастрофические риски от экстремальных погодно-климатических проявлений и разработать систему мер по решению проблемы устойчивости экономической системы к воздействию гидрометеоусловий.

Благодарности

Работа выполнена по Программе фундаментальных исследований Президиума РАН № 53 «Пространственная реструктуризация России с учетом геополитических, социально-экономических и геоэкологических вызовов» и по теме ГЗ 0148-2014-0016.

Список литературы

References

1. Антропогенная геоморфология. 2013. / Отв. ред. Э.А. Лихачева, В.П. Палиенко, И.И. Спасская. М., Медиа-ПРЕСС, 416.
Antropogennaya geomorfologiya [Anthropogenic geomorphology]. 2013. / Ed. E.A. Likhacheva, V.P. Palienko, I.I. Spasskaya. Moscow, Media-PRESS, 416. (in Russian)
2. Атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Т. 2. Природа, экология. М., 2004, 152.
Atlas Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga – Yugry. T. 2. Priroda, ekologiya. Moscow, 2004, 152. (in Russian)
3. Бабурин В.А., Бадина С.В., Горячко М.Д., Земцов С.П. 2016. Природные факторы развития урбанизированных пространств Арктической зоны России. В кн.: Вопросы географии. Сборник 142: география полярных регионов / Отв. ред. В.М. Котляков. М., Издательский дом «Кодекс»: 47–56.
Baburin V.A., Badina S.V., Goryachko M.D., Zemtsov S.P. 2016. Natural factors of Russian Arctic urban spaces development. In: Voprosy geografii [Problems of Geography]. Moscow, Kodeks Publishing House: 47–56. (in Russian with English summary)
4. Воскресенский К.С. 2001. Современные рельефообразующие процессы на равнинах Севера России. М., Изд-во географ. ф-та МГУ, 262.
Voskresenskiy K.S. 2001. Sovremennyye relefoobrazuyushchie protsessy na ravninakh Severa Rossii [Modern relief forming processes on the Russian North plains]. Moscow, MSU, 262. (in Russian)
5. Город – экосистема. 1997. / Э.А. Лихачева, Д.А. Тимофеев, М.П. Жидков и др. М., Медиа-ПРЕСС, 336.

Gorod – ekosistema [City – ecosystem]. 1997 / Ed. E.A. Likhacheva, D.A. Timofeyev, M.P. Zhidkov, et all. Moscow, Media-PRESS, 336.

6. Дзюба А.В. 2015. Механизмы формирования рисков, обусловленных современной динамикой неподвижных водных объектов в приарктических регионах России. В кн.: «Геориск – 2015» Анализ, прогноз и управление... Т. 2. М., Российский университет дружбы народов: 454–459.

Dzyuba A.V. 2015. Mechanisms of risks formation caused by modern dynamics of immobile water sites in Russian Arctic regions. In: «Georisk – 2015» Analiz, prognoz i upravlenie [«Georisk – 2015» Analysis, forecast and management]. Т. 2. Moscow, RUDN University, 454–459. (in Russian).

7. Емельянова И.А. 2010. Прогноз изменения инженерно-геологических условий городской инфраструктуры в криогенной зоне Западной Сибири: на примере г. Надым. Дисс. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.08. Екатеринбург, Уральский государственный университет, 165.

Emelyanova I.A. 2010. Forecast of engineering and geological conditions changes in the cryogenic zone of Western Siberia urban infrastructure: the example of Nadym. Dis. ... cand. geol.-min. Sciences: 25:00:08. Ekaterinburg, UrFU, 165. (in Russian)

8. Кононов Ю.М. 2018. Пространственные особенности температурного режима теплового сезона в пределах материковой части Российской Арктики в течение последних 500 лет. Известия РАН. Серия Географическая, 2: 48–58.

Kononov Yu.M. 2018. Regional features of the warm season temperature regime within the continental part of the Russian Arctic during the last 500 years. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, 2: 48–58. (in Russian with English summary)

9. Кожухов Ю.С. 1981. Стоимостная оценка природных условий градостроительства на территории СССР. Вестник МГУ. География, 1: 20–26.

Kozhuhov Yu.S. 1981. Valuation base of natural conditions for urban development in the territory of the USSR. Moscow University Bulletin. Geography, 1: 20–26. (in Russian).

10. Курбатова А.С., Мягков С.М., Шныпарков А.Л. 1997. Природные риски для городов России. М., НИИПИ Экология города, 240.

Kurbatova A.S., Myagkov S.M., Shnyparkov A.L. 1997. Prirodnye riski dlya gorodov Rossii [Natural risks for Russian cities]. Moscow, NiiPI Ekologiya goroda, 240. (in Russian)

11. Лихачева Э.А., Чеснокова И.В., Черногаева Г.М., Кошкарев А.В. 2017. Возможные изменения эколого-геоморфологических ситуаций в регионах Арктической зоны при изменении климата. В кн.: Охрана природы и региональное развитие: сборник научных трудов. Т. II. Оренбург, Институт степи УРО РАН: 42–46.

Likhacheva E.A., Chesnokova I.V., Chernogaeva G.M., Koshkarev A.V. 2017. Possible changes of ecological-geomorphic situations in the Arctic zone regions under climate change. In: Ohrana prirody i regional'noe razvitie: sb. nauch. trudov [Environmental protection and regional development: proceedings]. Т. II. Orenburg, Institute of steppe, Ural branch of RAS: 42–46. (in Russian).

12. Мирзеханова З.Г. 1989. Экологические аспекты формирования поселений горнорудных районов. В кн.: Экология – народонаселение – расселение: теория и практика. Л.: 51–52.

Mirzekhanova Z.G. 1989. Environmental aspects of formation the settlements in mining regions. In: Ekologiya – narodonaselenie – rasselenie: teoriya i praktika [Ecology – population – resettlement: theory and practice]. Leningrad: 51–52. (in Russian).

13. Марахтанов В.П. 1984. Количественная оценка устойчивости территории области вечной мерзлоты к техногенным воздействиям при линейном строительстве. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., МГУ, 25.

Marakhtanov V.P. 1984. Kolichestvennaya otsenka ustoychivosti territorii oblasti vechnoy merzloty k tekhnogennym vozdeystviyam pri lineynom stroitel'stve [Quantitative assessment of the territory stability in the permafrost region to technogenic impact under linear construction]. Abstract. dis. ... cand. geogr. sciences. Moscow, MSU, 25. (in Russian).

14. Марахтанов В.П. 2001. Матричная модель антропогенной динамики литогенной основы ландшафтов криолитозоны. В кн.: Проблемы общей и прикладной геоэкологии севера. М., МГУ: 68–85.

Marakhtanov V.P. 2001. Matrix model of anthropogenic dynamics in cryolithozone landscapes lithogenic basis. In: Problemy obschey i prikladnoy geoekologii severa [Issues of common and applied geoeology of North]. Moscow, MSU: 68–85. (in Russian)

15. Минкин М.А. 2013. Инженерно-экологический аспект освоения Западной Арктики и Субарктики (ОАО «Фундаментпроект», г. Москва). В кн.: Материалы межрегиональной научно-



практической конференции «Роль университетов в реализации арктической стратегии России: экологические, технологические, социокультурные аспекты». Ухта, Ухтинский государственный технический университет: 18–21.

Minkin M.A. 2013. Engineering and environmental aspects of the Western Arctic and Subarctic development (Fundamentproject OJSC, Moscow). In: Materialy mezhhregional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Rol' universitetov v realizatsii arkticheskoy strategii Rossii: ekologicheskie, tekhnologicheskie, sotsiokulturnye aspekty» [Proc. of trans-regional sc.-practice conf. «The role of universities in the implementation of Russia's Arctic strategy: environmental, technological, socio-cultural aspects»]. Ukhta, Ukhta State Technical University: 18–21. (in Russian).

16. Осадчая Г.Г., Зенгина Т.Ю. 2013. Эколого-географические принципы рационального природопользования на севере. В кн.: Материалы межрегиональной научно-практической конференции «Роль университетов в реализации арктической стратегии России: экологические, технологические, социокультурные аспекты». Ухта, Ухтинский государственный технический университет: 22–26.

Osadchaya G.G., Zengina T.Yu. 2013. Ecological-geographic principles of rational nature management in the north. In: Materialy mezhhregional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Rol' universitetov v realizatsii arkticheskoy strategii Rossii: ekologicheskie, tekhnologicheskie, sotsiokulturnye aspekty» [Proc. of trans-regional sc.-practice conf. «The role of universities in the implementation of Russia's Arctic strategy: environmental, technological, socio-cultural aspects»]. Ukhta, Ukhta State Technical University: 22–26 (in Russian).

17. Перельман А.И., Касимов Н.С. 1999. Геохимия ландшафтов. Изд. 3-е. М., Астрейя–2000, 768.

Perelman A.I., Kasimov N.S. 1999. Geokhimiya landshavtov [Geochemistry of landscapes]. 3 Ed. Moscow, Astreya–2000, 768. (in Russian)

18. Попова В.В., Шмакин А.Б. 2010. Региональная структура колебаний температуры приземного воздуха в северной Евразии во второй половине XX – начале XXI веков. Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 46 (2): 15–29.

Popova V.V., Shmakin A.B. 2010. Regional structure of surface air temperature fluctuations in northern Eurasia in the second half of the XX – beginning of the XXI century. Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, 46 (2): 15–29. (in Russian with English summary)

19. Чернавская М.М., Черенкова Е.А. 2010. Изменение характеристик температуры воздуха в северных строительно-климатических районах России в XX–XXI веках. Известия РАН. Серия Географическая, 3: 61–68.

Chernavskaya M.M., Cherenkova E.A. 2010. Variation of air temperature in the northern construction and climatic regions of Russia in the XX–XXI centuries. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, 3: 61–68. (in Russian with English summary)

20. Экологический атлас России (карты). 2017 / М-во природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Русское географическое о-во, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова; гл. ред. Касимов Н.С. и Тикуннов В.С.; отв. ред. Венчикова В.Р. и Котова Т.В. Москва: Феория, 509.

Ekologicheskiy atlas Rossii (karty) [Ecological atlas of Russia] / Kasimov N.S., Tikunov V.S. Ed.; Venchikova V.R., Kotova T.V. Ex. Ed. Moscow, Feoriya, 509. (in Russia)

Ссылка для цитирования статьи

Reference to article

Лихачева Э.А., Некрасова Л.А., Чеснокова И.В. Ресурсные города в зоне многолетнемерзлых пород (Эколого-геоморфологические проблемы и пути решения) // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2018. Т. 42, №4. С. 497–506. doi: 10.18413/2075-4671-2018-42-4-497-506

Likhacheva E.A., Nekrasova L.A., Chesnokova I.V. Resources Focused Cities in Permafrost Zone (ecological and geomorphological challenges and solutions) // Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series. 2018. V. 42, №4. P. 497–506. doi: 10.18413/2075-4671-2018-42-4-497-506