

УДК 338.47

*А.Р. Колтышева,
А.С. Маршалкович***ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОБЛЕМЫ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ИНФРАСТРУКТУРЫ
СЕВЕРНЫХ ГОРОДОВ**

Рассмотрены эколого-геокриологические условия городской среды на примере одного из наиболее северных городов России — Якутска, их связь с состоянием окружающей среды и криогенными процессами и явлениями, а также состояние и проблемы устойчивости городской инфраструктуры. Показана связь с последующей динамикой изменения климата; освещены вопросы механизма, направленного на улучшение состояния городской инфраструктуры.

Ключевые слова: инфраструктура города, температурный режим атмосферного воздуха, обводненность территории, криогенные процессы, динамика климата, зоны вечной мерзлоты, г. Якутск.

*A.P. Koltysheva, A.S. Marshalkovich***INFRASTRUCTURE OPERATION
IN NORTHERN CITIES: ECOLOGICAL
PROBLEMS**

In the article the ecological and geocryological conditions of the urban environment in Yakutsk, one of the northernmost cities of Russia, are considered, as well as their links with environmental conditions, cryogenic processes and phenomena, the condition and sustainability problems of the urban infrastructure. The authors demonstrate the link between the infrastructure and the dynamics of climate changes.

The infrastructure of northern cities substantially differs from the infrastructure of moderate climate areas. The reason for it is in climate differences, soil structure and characteristics and living conditions on the whole. The infrastructure of northern cities operates in complicated natural, geoecological and technical conditions, many of which are usually considered extreme. The buildings and structures in such zone usually have shorter operating life, because they are subject to more severe wear. One of the reasons is deterioration of the bearing capacity due to the increase in soil temperature.

The authors offer a number of managing and practical actions in order to improve the operation conditions of such objects and increase their reliability.

Key words: urban infrastructure, thermal behavior of the atmospheric air, water content in the area, cryogenic processes, climate change pattern, permafrost zone, Yakutsk city.

В Российской Федерация обладает более развитой инфраструктурой в зонах вечной мерзлоты по сравнению с другими странами, имеющими арктические территории, на которых кроме нескольких городов с населением более 100 тыс. человек имеются авто- и железные дороги, морские и речные порты, аэропорты, принимающие крупные авиалайнеры, протяженные линии электропередач, разветвленная сеть трубопроводов и др. При этом инфраструктура северных городов значительно отличается от инфраструктуры городов, расположенных в средней полосе Европейской России, что связано с серьезными отличиями климата, состава и свойств почв и условий проживания людей в целом.

Эксплуатация объектов инфраструктуры в зоне вечной мерзлоты и за ее пределами сильно различаются, а функционирующие в этой зоне сооружения имеют обычно меньший расчетный срок эксплуатации из-за того, что они подвержены более интенсивному износу, в т.ч. за счет ослабления несущей способности конструкций, которая уменьшается при увеличении температуры грунта (табл. 1) [1].

Табл. 1. Примерные расчетные сроки эксплуатации объектов в криолитозоне

Объекты	Срок, лет
Дороги с покрытием	15...20
Трубопроводы	30
Дома с фундаментом	30...50
Железные дороги	50
Мосты и тоннели	75...100

В институте мерзлотоведения (ИМ) им. П.И. Мельникова СО РАН (г. Якутск) было проведено множество исследований, связанных с проблемами функционирования северных городов, в которых распространены многолетнемерзлые породы (ММП); рассмотрены проблемы изменения температурной стратификации атмосферного воздуха, увеличения количества осадков и площади заболоченных территорий, а также влияния инфраструктуры на рельеф. На основе проведенных исследований сделаны выводы о влиянии климатических условий на инфраструктуру городов.

В отношении проблемы повышения температуры атмосферного воздуха в работе [2] отмечено, что широко освещаемым аспектом является «изменение», а чаще однозначно именуемое «потеплением» климата, и этому природному явлению многие отводят роль основной причины проблем, связанных с состоянием городской инфраструктуры. С потеплением климата в районах распространения ММП обычно связывают повышение температуры мерзлых грунтов и активизацию негативных криогенных процессов. Авторы рассматривают, так ли обстоит все это.

Для оценки была проанализирована изменчивость температуры воздуха в Якутске за длительный период непрерывных метеорологических наблюдений (1883—2008 гг.) и показано, что среднегодовая температура воздуха за 125 последних лет варьировала в широких пределах (рис. 1): от $-12,1$ (1952 г.) до $-7,2$ °C (2008 г.).

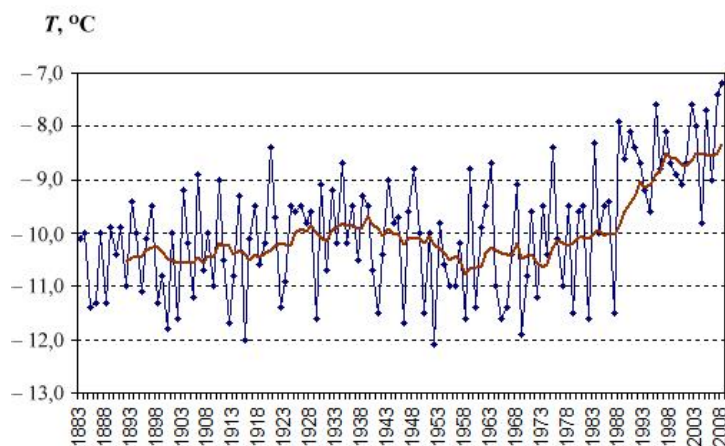


Рис. 1. Изменение среднегодовой температуры воздуха в Якутске: жирная линия — 10-летняя скользящая средняя [2]

Было выделено за весь срок наблюдений в Якутске, начиная с 1883 г. (рис. 1), два периода с сильным повышением температур воздуха: 1) с начала наблюдений до 30—40-х гг. XX в. («потепление Арктики»); 2) начиная с середины 1960-х гг. по настоящее время — с проявлением промежуточного похолодания. При этом уровень наблюдавшихся в последние два десятилетия температур воздуха стал наивысшим за всю историю существования г. Якутска.

Согласно наблюдениям [2], наибольший вклад в текущее повышение среднегодовой температуры воздуха вносят холодные (октябрь — апрель) месяцы, а роль теплых (май — сентябрь) на данном этапе незначительна. Поэтому можно утверждать, что глубина сезонного «протаивания» грунтов целиком обусловлена преимущественно летними факторами, и в настоящее время не должна увеличиваться, это подтверждается многолетними стационарными наблюдениями в окрестностях города.

Оценка внутригодовой изменчивости температуры воздуха, выполненная с помощью регрессионного анализа, дополняет и расширяет представления о вкладах отдельных месяцев [3]. Например, известно, что до середины 1960-х гг. в Якутске не только не проявлялось потепление, но даже в отдельные зимние месяцы шло похолодание. После 1966 г. наиболее холодные зимние месяцы (ноябрь — март) потеплели на $3...6$ °C, а среднезимняя температура, при средней за 1961—1990 гг.

($-25,9\text{ }^{\circ}\text{C}$), повысилась почти на $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, при этом среднегодовая температура воздуха увеличилась почти на $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 2).

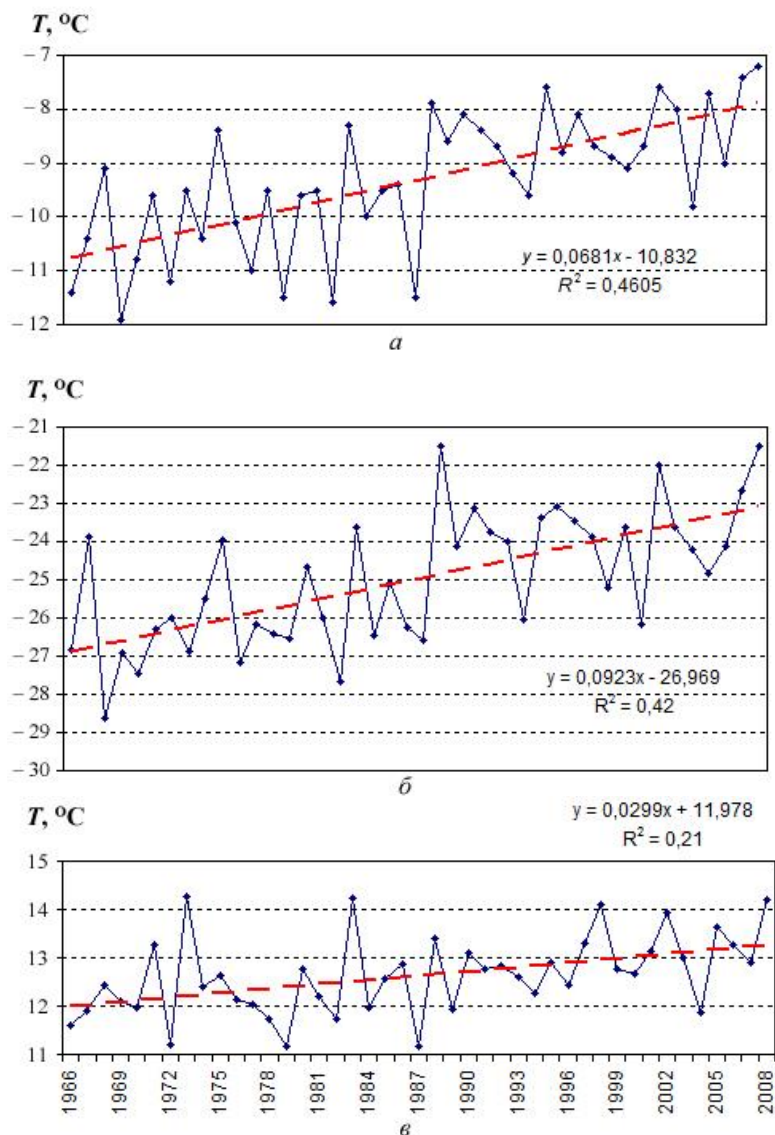


Рис. 2. Изменение среднегодовой (а), среднезимней (б) и среднелетней (в) температуры воздуха в г. Якутске за 1966—2008 гг. [2]

Повышение среднегодовой температуры воздуха за последние 43 года не должно сильно настораживать, так как последние 20 лет она практически не росла, а за 1988—2004 гг. даже немного понижалась. Как известно, формирование температуры верхних горизонтов ММП обусловлено зимними гидрометеорологическими факторами: суммой температур воздуха за сезон, а также высотой снежного покрова и характером его накопления.

Пока сочетание этих факторов в Якутске еще достаточно, чтобы не бояться возможного «растепления» мерзлоты, при этом нельзя автоматически переносить изменчивость температуры воздуха на грунты. Взаимосвязь между ними достаточно сложна и не ограничивается только температурными факторами, что показано многолетними мониторинговыми исследованиями в различных ландшафтных условиях Центральной Якутии, которые зафиксировали пока еще слабую реакцию ММП на современное потепление климата как в плане увеличения глубины их сезонного протаивания, так и повышения их температуры [4].

Относительно роста обводненности территории в [2] указано, что рост обводненности многих городских территорий связан с увеличением атмосферных осадков, которые, в свою очередь, являются следствием глобального потепления. Общее количество выпадающих атмосферных осадков в этом случае не очень велико,

во-первых, в силу своего географического положения (индекс сухости от 1,0 до 2,0, практически близкий к климату степей), а во-вторых, испаряемость в 2...4 раза превышает фактические суммы летних осадков.

В табл. 2 приведены данные по осадкам, которые свидетельствуют о том, что хотя за последние десятилетия наблюдались их значительные межгодовые колебания, в целом в Якутске они не увеличивались. Отсутствие тенденции изменения количества осадков позволяет говорить о явном человеческом факторе в деле повышения обводнения города, а глобальное потепление здесь играет не самую важную роль.

Табл. 2. Среднее количество осадков за различные периоды, мм

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1891—1965 гг.												
11	9	6	11	18	33	43	42	26	30	16	12	247
1961—1990 гг.												
8	7	6	10	18	37	39	36	28	19	15	12	235
1991—2008 гг.												
9	8	7	7	19	31	42	36	34	16	17	9	235

Можно отметить, что влияние снежного покрова (высота и динамика накопления) на температуру многолетнемерзлых грунтов в условиях резко континентального климата Центральной Якутии трудно переоценить, в многоснежные годы он способствует потеплению грунтов, в малоснежные — охлаждению, и его роль даже более значима, нежели роль средней зимней температуры воздуха.

Характеристики снежного покрова в Якутске в период 1966—2008 гг. в целом оставались на уровне многолетних средних, нет явной тенденции увеличения или уменьшения высоты и продолжительности его залегания, при этом сроки образования и разрушения устойчивого снежного покрова находятся в пределах естественной изменчивости. В то же время в последние годы усилилась межгодовая изменчивость его отдельных характеристик, например, за последние 40 лет наблюдений в Якутске в 2003 г. отмечался абсолютный минимум максимальной средней декадной высоты снежного покрова (20 см), а в 2005 г. — абсолютный максимум достиг 50 см (рис. 3). В 2000 г. число дней со снегом составило 220 (абсолютный максимум), а в 2003 г. — всего 172 (входит в тройку лет с наименьшим показателем).

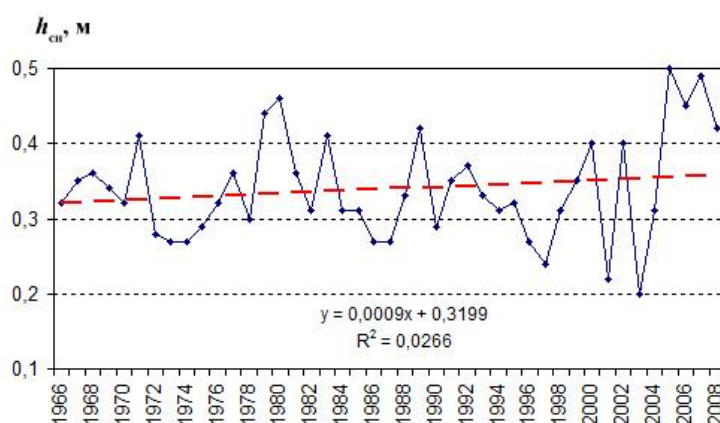


Рис. 3. Изменчивость максимальной среднедекадной высоты снежного покрова в г. Якутске [2]

Наблюдаемые в настоящее время в Якутске изменения основных климатических параметров не выходят за пределы естественной изменчивости и не могут быть причиной возросшей аварийности городских зданий. Совершенно очевидно, что виновником этого бедствия является так называемый «человеческий фактор» (как это принято сейчас говорить).

Проведенный сотрудниками ИМ им. П.И. Мельникова СО РАН геоэкологический мониторинг [5] позволил выявить пространственно-временную изменчивость обводненности поверхности городской территории за период после 1971 г., когда произошли наиболее значительные преобразования природной среды.

Именно обводнение является одним из наиболее неблагоприятных факторов, влияющих на потерю устойчивости грунтов оснований и несущих конструкций (примеры на рис. 4, 5). Практически во всех частях г. Якутска прослеживается тенденция роста обводненности, которая несколько отличается лишь по темпам.



Рис. 4. Обрушение здания из-за разрушения свайных оснований. Якутск (фото С.И. Серикова, 2008 г.) [6]



Рис. 5. Обрушение угла здания в центральной части Якутска (фото М.Н. Григорьева, 1999 г.) [1]

При этом основными криогенными процессами на территории г. Якутска являются термокарстовые и термосуффозионные просадки, морозобойное растрескивание, локальное и площадное морозное пучение, термоэрозия, термопросадки, заболачивание и подтопление, а также техногенное наледообразование и др. [6]. В последние десятилетия отмечается расширение площадей развития деструктивных криогенных процессов, приводящих к разрушению дорожных покрытий и коммуникаций, деформациям насыпей, фундаментов сооружений, формированию термоэрозионных рытвин, увеличению зон заболачивания. В пределах города, особенно в его центральной части, широко распространены грунты, засоленные хлоридами натрия, кальция и магния, а также сульфатами кальция и магния [7].

Кроме того, при возведении железнодорожного полотна на Амуро-Якутской магистрали на участке Томмот — Якутск сегодня возникают серьезные проблемы, которые связаны, прежде всего, с пересечением строящейся трассой районов, где горные породы включают мощные (до нескольких метров) массивы подземных

льдов (рис. 6). Нарушение растительного и почвенного покровов в таких условиях неизбежно сопровождается изменением процессов теплообмена горных пород с атмосферой, при этом подземные льды начинают таять, а дневная поверхность проседать, а на некоторых участках происходит «заплывание» грунтов в траншею с перспективой выдавливания трубопровода на поверхность [1]. В результате надежная эксплуатация линейного сооружения становится проблематичной.



Рис. 6. Участок железнодорожной магистрали, подверженный деформации из-за неравномерной просадки и пучения грунта (фото Д.С. Дроздова) [1]

Важным аспектом проблемы устойчивости конструкций и сооружений в зоне вечной мерзлоты является экологическая безопасность. Поскольку в арктическом регионе годами увеличивалось загрязнение окружающей среды различными органическими соединениями и другими токсичными веществами, накапливающимися в толще мерзлых пород, с повышением температуры они могут из зоны вечной мерзлоты попасть в биотическую среду, т.е. в зону обитания человека. Таким образом, при потеплении климата возрастает опасность поступления вредных веществ из мест захоронения химических и радиоактивных отходов. Кроме того, при таянии вечной мерзлоты сильно возрастает и береговая эрозия, усиливающаяся из-за сокращения ледового периода, что представляет угрозу для портов и различных промышленных объектов [1].

Таким образом, инфраструктура северных городов, рассмотренная на примере города Якутска, функционирует в достаточно сложных природных геоэкологических и технических условиях, многие из которых часто являются экстремальными. Для обеспечения безопасности проживания в таких городах органы, принимающие управляющие решения, обязательно должны постоянно иметь достаточно полную оперативную информацию о состоянии городской инфраструктуры, а также о причинах и масштабах ее негативной трансформации. При этом очень важным является вывод и общее признание положения, что кризисное состояние города Якутска связано в первую очередь не с изменением климата (как обычно ошибочно практикуют СМИ), а с деградацией мерзлых грунтов и оснований, а также деформацией и разрушением несущих конструкций, вызванных некачественным проектированием, строительством и эксплуатацией городских объектов.

Для улучшения условий функционирования таких объектов и повышения их надежности необходимо осуществить ряд организационных и практических мероприятий [1], направленных в первую очередь:

- на организацию специализированных городских служб, осуществляющих оперативный контроль за состоянием городской инфраструктуры и динамикой инженерно-геологических условий территории;

- осуществление комплекса специальных мероприятий по улучшению мерзлотно-грунтовых условий территории;

- активизацию деятельности по водоотведению в наиболее проблемных микрорайонах с распространением ее на всю территорию города;

- обязательное создание ливневой канализации и эффективной системы дренажа надмерзлотного стока.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основные природные и социально-экономические последствия изменения климата в районах распространения многомерзлотных пород: прогноз на основе синтеза наблюдений и моделирования / О.А. Анисимов, М.А. Белолуцкая, М.Н. Григорьев, А. Инстанес, В.А. Кокорев, Н.Г. Оберман, С.А. Ренева, Ю.Г. Стрельченко, Д. Стрелецкий, Н.И. Шикломанов. Режим доступа: <http://www.greenpeace.org/russia/Global/russia/2010/4/4607490.pdf>. Дата обращения: 15.11.13.
2. Шац М.М., Скачков Ю.Б. Состояние городской инфраструктуры Якутска и его связь с изменением климата // Экология урбанизированных территорий. 2011. № 4. С. 18—22.
3. Шац М.М. Экологические проблемы северных городов (на примере г. Якутска) // Экология и жизнь. 2008. № 12 (85). С. 64—69.
4. Скачков Ю.Б. Аномальные зимы и их роль в формировании термического режима грунтов // Материалы 3-й конф. геокриологов России. М. : Изд-во МГУ, 2005. Т. 3. С. 239—244.
5. Шац М.М. Дистанционные эколого-геокриологические исследования. Якутск, 1997. 78 с.
6. Шац М.М. Эколого-геокриологические проблемы северных урбанизированных территорий (на примере г. Якутска) // Экология урбанизированных территорий. 2010. № 2. С. 48—52.
7. Макаров В.Н. Геохимический атлас Якутска. Якутск : Изд-во ИМ СО АН СССР, 1985. 65 с.

REFERENCES

1. Anisimov O.A., Belolutskaia M.A., Grigor'ev M.N., Instanes A., Kokorev V.A., Oberman N.G., Reneva S.A., Strel'chenko Yu.G., Streletskiy D., Shiklomanov N.I. *Osnovnye prirodnye i sotsial'no-ekonomicheskie posledstviya izmeneniya klimata v rayonakh rasprostraneniya mnogomertlotnykh porod: prognoz na osnove sinteza nablyudeniya i modelirovaniya* [Main Natural and Social-economic Consequences of the Climate Change in Areas of the Spreading Many-frozen Solids: Forecast Based on the Synthesis of Observations and Modeling]. Available at: <http://www.greenpeace.org/russia/Global/russia/2010/4/4607490.pdf>. Date of access: 15.11.13.
2. Shats M.M., Skachkov Yu.B. Sostoyanie gorodskoy infrastruktury Yakutsk i ego svyaz s izmeneniem klimata [Condition of Urban Infrastructure of Yakutsk and its Relation to the Climate Change]. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of Urban Areas]. 2011, no. 4, pp. 18—22.
3. Shats M.M. Ekologicheskie problemy severnykh gorodov (na primere g. Yakutsk) [Ecological Problems of Northern Cities (on the Example of Yakutsk)]. *Ekologiya i zhizn'* [Ecology and Life]. 2008, no. 12 (85), pp. 64—69.
4. Skachkov Yu.B. Anomal'nye zimy i ikh rol' v formirovaniy termicheskogo rezhima gruntov [The Anomalous Winters and their Role in Forming the Thermal Regime of Soil]. *Materialy 3-y konferentsii geokriologov Rossii* [Materials of the 3rd Conference of Geocryologists of Russia]. Moscow, MGU Publ., 2005, vol. 3, pp. 239—244.
5. Shats M.M. *Dstantsionnye ekologo-geokriologicheskie issledovaniya* [Remote Ecologic and Geocryologic Investigations]. Yakutsk, 1997, 78 p.
6. Shats M.M. Ekologo-geokriologicheskie problemy severnykh urbanizirovannykh territoriy (na primere g. Yakutsk) [Ekologic and Geocryologic Problems of Northern Urban Areas (on the Example of Yakutsk)]. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of Urbanized Areas]. 2010, no. 2, pp. 48—52.
7. Makarov V.N. *Geokhimicheskiy atlas Yakutsk* [Geochemical Atlas of Yakutsk]. Yakutsk, IM SO RAN USSR Publ., 1985, 65 p.

Поступила в редакцию в декабре 2013 г.

Об авторах: **Колтышева Альфия Ренатовна** — студент кафедры городского строительства и экологической безопасности, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, a.r.k_9@mail.ru;

Маршалкович Александр Сигизмундович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, профессор

About the authors: **Koltysheva Al'fiya Renatovna** — student, Department of Urban Engineering and Ecological Security, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, a.r.k_9@mail.ru;

Marshalkovich Aleksandr Sigizmundovich — Candidate of Technical Sciences, Senior Research Worker, Professor, Department of Urban Engineering and Ecological

кафедры городского строительства и экологической безопасности, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, mars.eko@mail.ru.

Security, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, mars.eko@mail.ru.

Для цитирования:

Колтышева А.Р., Маршалкович А.С. Экологические проблемы функционирования инфраструктуры северных городов [Электронный ресурс] // Строительство: наука и образование. 2013. Вып. 4. Ст. 5. Режим доступа: <http://www.nso-journal.ru>.

For citation:

Koltysheva A.P., Marshalkovich A.S. Ekologicheskie problemy funktsionirovaniya infrastruktury severnykh gorodov [Infrastructure Operation in Northern Cities: Ecological Problems]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2013. no. 4, paper 5. Available at: <http://www.nso-journal.ru>.