ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

DOI 10.15593/2409-5125/2018.01.04

УДК 351.345

С.И. Сериков, М.М. Шац

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН

МОРОЗОБОЙНОЕ РАСТРЕСКИВАНИЕ ГРУНТОВ И ЕГО РОЛЬ В СОСТОЯНИИ ПОВЕРХНОСТИ И ИНФРАСТРУКТУРЫ Г. ЯКУТСКА

В последние десятилетия селитебные центры Севера стали очагами масштабного поражения природной среды. На примере одного из крупнейших городов Севера – Якутска показана специфика селитебной отрасли в экстремальных природных условиях при сплошном развитии многолетнемерзлых пород (ММП). Цель публикации – показать основные причины возникающих проблем и предложить главные пути их решения.

Охарактеризована мерзлотно-ландшафтная обстановка города, специфика экзогенного рельефообразования на его территории и его последствия для состояния поверхности и инфраструктуры.

В статье приведены новые ранее неосвещенные в научной литературе материалы и факты, что делает безусловными ее актуальность и тематическую значимость.

В целом повседневное состояние инфраструктуры города, уже много лет находящейся в неудовлетворительном, а часто и катастрофическом состоянии, является самостоятельной проблемой, заслуживающей многолетнего изучения и монографического описания. Проведенный анализ свидетельствует, что основные проблемы устойчивости инженерных сооружений на территории Якутска необходимо связывать не только с изменением климата, как это делалось совсем недавно, а и с непрофессиональным проектированием, некачественным строительством и безобразной эксплуатацией, вызывающими деградацию мерзлых грунтов в основаниях зданий и сооружений города. Комплексный анализ результатов проведенных исследований позволил сформулировать ряд общих рекомендаций, направленных на стабилизацию и улучшение геотехнологической обстановки города.

Ключевые слова: селитебные центры Севера; сплошное развитие многолетнемерзлых пород; очаги масштабного поражения природной среды.

Сериков С.И., Шац М.М. Морозобойное растрескивание грунтов и его роль в состоянии поверхности и инфраструктуры г. Якутска // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 1. – С. 56–69. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.01.04

Serikov S., Shatz M. Frost cracking of soils and its role in the state of the surface and infrastructure of the city of Yakutsk. PNRPU. Applied ecology. Urban development. 2018. No. 1. Pp. 56-69. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.01.04

Введение. В последние десятилетия в пределах крупных населенных пунктов Севера функционируют масштабные промышленные объекты, часто базирующиеся на устаревших технологиях и обычно не подкрепленные общей культурой природопользования. В результате сложилась современная ситуация, когда именно селитебные центры стали очагами масштабного поражения природной среды. Все вышесказанное в полной мере относится к г. Якутску, расположенному, к тому же, в области развития сплошных многолетнемерзлых пород (ММП). Это еще более усложняет его геоэкологическую ситуацию. В подобных условиях при воздействии на поверхностные компоненты природной среды (микро- и мезорельеф, верхние горизонты горных пород, почвенно-растительный покров, поверхностные и грунтовые воды и т.д.) существенно меняются морфология мерзлых толщ горных пород, их свойства и т.д. В результате условия строительства и эксплуатации большинства объектов городской инфраструктуры негативно трансформируются. Поэтому в последние десятилетия для большинства населенных пунктов Севера характерна очевидная тенденция развития природной среды – от сравнительного благополучия на начальных этапах до современного предкризисного, а чаще – кризисного состояния.

Примечательно, что данная ситуация особенно остра именно в северных городах, где на фоне сложных природных условий и серьезных ограничений во всех системах жизнеобеспечения, очевидна тенденция недооценки серьезности геотехнической обстановки. Более подробно специфика природно-технических комплексов (ПТК) селитебного типа освещена ранее [1–4].

Мерзлотно-ландшафтная обстановка города. Якутск является одним из старейших городов в области развития ММП, существует чуть менее 400 лет и представляет особый интерес как в научном, в плане геокриологии, так и в практическом отношении. Сотрудники находящегося в городе Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (ИМЗ) уже несколько десятилетий занимаются различными компонентами природной среды города [1, 2, 4–6, 7–11, 14, 16, 17] с акцентом на проблемы состояния и надежности его инфраструктуры.

Особое внимание уделяется специфике экзогенного рельефообразования, в значительной мере обуславливающей особенности перечисленных аспектов. Судя по материалам П.А. Соловьева [7], мощность ММП на территории города колеблется от 100 до 250 м в южной части долины Туймаада и от 250 до 400 м – в северной. На высокой пойме мощность ММП составляет 50–100 м, на островах – 50–100 м, а на низкой пойме – менее 25 м. Относительно экзогенного рельефообразования отмечаются узкие (шириной до

0,6 м) жилы повторно-жильного льда и участки шириной до 600 м, где отмечаются льды аналогичного генезиса глубиной до 15–20 м, а также площади с буграми пучения сезонно- и многолетних циклов развития.

С.П. Качурин [5] обращал особое внимание на развитые в пределах Якутска формы рельефа в виде сухих четко ориентированные с СЗ на ЮВ коротких долин шириной 150–300 м с разделяющими их грядами высотой свыше 5 м и шириной до 1000 м. В соответствии с исследованиями [9] образование подобных форм рельефа можно увязать с потоками, захлестнувшими отдельные регионы Средней Сибири в конце позднего неоплейстоцена. Конкретно для местности Туймаада установлено преобладание отложений позднего неоплейстоцена и голоцена.

Значительное внимание уделялось сотрудниками ИМЗ вопросам связи компонентов природной среды Якутска с элементами его инфраструктуры (здания и сооружения, дороги, гидротехнические сооружения). Были показаны причины их ненадлежащего состояния, связанные с рядом природных и геотехнических факторов [1–3, 5, 10–12].

Подробнее геоэкологические условия территории города освещены в следующих специальных работах [1–3, 5, 8, 12, 14, 15].

Экзогенное рельефообразование на территории города. По результатам многолетних исследований сотрудников ИМЗ [5, 7–9], наиболее широко в пределах города развиты следующие экзогенные явления: термокарстовые и термосуффозионные просадки, морозобойное растрескивание, локальное и площадное морозное пучение, заболачивание и подтопление, а также техногенное наледообразование. В последнее время на территории города все чаще проявляются суффозионные процессы, связанные с техногенным влиянием коммуникаций (подземные теплотрассы и канализационные стоки, лотки ливневой канализации) в деятельном слое. Активизация этих процессов неблагоприятно сказывается на функционировании городской инфраструктуры и требует детального изучения этого негативного процесса. По сути, все вышеперечисленные процессы в той или иной степени связаны с техногенным воздействием.

Серьезная проблема городского хозяйства зимой – техногенные наледи, обусловленные аварийными утечками воды из водопроводно-канализационных коммуникаций и являющиеся массовым и непрерывным процессом [2]. Наледный сток на территории города в среднем составляет 50 мм в год, а в отдельных кварталах эта величина достигает более 200 мм, что значительно превышает сумму зимних атмосферных осадков.

Наледи, минерализация льда которых достигает 1,5–2,0 г/л, представляют собой существенный источник загрязнения городской территории,

они негативно влияют на качество грунтов и их инженерно-геологических свойства, способствуют заболачиванию территории, изменяют тепловой баланс и химический состав подстилающих отложений. Наиболее интенсивное развитие криогенных процессов происходит в пределах линейных участков, приуроченных к древним пойменным и старичным понижениям, которые охватывают территорию города густой сетью и наиболее распространены на поверхности первой надпойменной террасы. Эти участки служат ареной наиболее активного развития криогенных процессов и явлений, а древним пойменным грядам свойственна определенная стабильность.

К числу наиболее активных криогенных явлений относятся и сезонное пучение, и просадки грунтов (до 15–20 см/год), термоэрозия, вызванная техногенезом, а также термокарстовые просадки дна новообразованных озер на северо-западе города, составляющие от 15 до 40 см/год [2].

В последние десятилетия отмечается расширение площадей распространения деструктивных криогенных процессов, выражающееся в разрушении дорожных покрытий и коммуникаций, деформациях насыпей, фундаментов сооружений, формировании термоэрозионных рытвин, увеличении зон заболачивания. Масштабность развития подтопления и обводнения территории Якутска обуславливает высокую степень нарушения и нестабильности мерзлотно-грунтовых условий для оснований зданий, сооружений и коммуникаций, способствующее активизации опасных криогенных процессов [12]. Именно обводнение является одним из наиболее неблагоприятных факторов, приводящих к потерям устойчивости грунтов оснований и несущих конструкций. Причем обводнение происходит как пресными, так и высокоминерализованными подземными водами – криопэгами.

Территория города на протяжении последних пятидесяти лет активно заболачивается, меняется тепловой баланс и химический состав подстилающих отложений. Именно процессы переувлажнения, а чаще и заболачивания городских геосистем, приводят в застроенной части города к интенсивному обводнению, засолению и оттаиванию пород, вызывая неравномерные деформации грунтов оснований [2, 3, 10–14].

В городе не только переувлажняются верхние горизонты пород, но и возникают новые обширные техногенные водоемы-болота. Особенно активизировался этот процесс с 60-х гг. прошлого века, вскоре после начала массового строительства каменных благоустроенных зданий, когда в городе резко возрос объем утечек из коммуникаций, систем канализации, септиков и т.д. Технические и бытовые стоки поступали в грунты, повышая уровни и минерализацию грунтовых вод.

В результате локализация надмерзлотных вод и техногенных водоемов приобрела «ячеистый» характер [10]. Каждая «ячейка», т.е. локальное понижение разных размеров и глубины, является местным очагом формирования толщи переувлажненных грунтов, а значит, и центром активизации криогенеза. При этом за счет твердых покрытий дорог, тротуаров, площадок вблизи зданий и под ними, отчетливо сокращающих расходную составляющую водного баланса городской территории, резко уменьшилось испарение надмерзлотных вод. В результате процессы обводнения и подтопления поверхности приобрели катастрофический характер. Наряду с негативным влиянием на здания, обводнение, как это было показано ранее, аналогично усложняет и эксплуатацию дорог.

Для решения проблемы обводнения города и минимизации его негативных последствий был рекомендован комплекс организационных и практических мероприятий [4]. В последнее время сотрудниками ИМЗ представили по данной проблеме несколько полезных разработок [15, 16 и др.]. Реализация этих предложений могла бы, хотя бы частично, решить одну из основных геоэкологических проблем города.

Еще одной причиной ухудшения условий увлажнения поверхности города являются аномальные атмосферные осадки. Приведем данные за последние 10 лет, свидетельствующие, насколько значительны бывают здесь объемы активно поступающей на поверхность атмосферной влаги [14]. В 2013 г. в отдельные дни мая и июля выпадало более полуторамесячной нормы осадков. В 2014 г. в некоторые дни июля и августа выпадало также более месячной нормы. При этом в июле при норме 39 мм выпало 75 мм осадков, т.е. 192 %, а в августе соответственно 37 и 43 мм, 116 % от нормы. В 2015 г. за последние два дня мая выпало более половины месячной нормы осадков, а всего за май при обычной норме 20, выпало 31 мм, т.е. больше на 55 %, а в июне соответственно 35 и 50 мм (43 %). Напомним, что именно в этот период 2015 г. или непосредственно после него возникли упомянутые выше провалы на магистральных улицах Якутска. Особую тревогу вызывают последствия обильных осадков, акцентированно обрушившихся на город 22 июня 2015 г., когда очередной провал образовался на улице Кальвица уже 23 июня. Подобные явления формировались и ранее, но несколько в меньших масштабах. Однако наибольшее количество осадков выпало в августе-сентябре 2006 г., когда в августе за несколько дней пролилась четырехмесячная норма, а за 2 дня – двухмесячная. За весь август при норме 36 мм фактически выпало 151 мм, т.е. 419 %!!! от нее. В сентябре того же года выпало 54 мм при норме

31 мм, т.е. на 74 % больше ее. В результате значительная часть города была затоплена и глубина воды в среднем составляла 0,5 м, а в пониженных местах – площадь Ленина, Залог и т.д. – достигала 1,0 м [14]. Ливневая канализация – одна из «слабых» геотехнических систем города, не справлялась, были затоплены первые этажи зданий в понижениях. Очевидно, что значительное количество воды через многочисленные трещины проникли в верхние горизонты грунтов и губительно повлияли на их инженерно-геологические свойства. Это сказалось на грунте как в теплое время – возникновение многочисленных «плывунов», так и в холодный период – активизация пучения и особенно морозобойного растрескивания.

Все это губительно сказалось на состоянии элементов городской инфраструктуры, в том числе дорожных систем, и без того находящихся в неудовлетворительном состоянии. Таким образом, проблема из категории чисто геотехнических становится еще и геоклиматической.

Никаких действенных решений по ликвидации или хотя бы уменьшению масштабов этого негативного процесса пока не выработано. Не проводятся исследования влияния повышенной обводненности на температуру и прочность грунтов оснований инженерных сооружений. И это при участвовавших в последние годы случаях деформаций оснований и частичных разрушений зданий. Особенно тревожным является факт возникновения проблем со зданиями не только 1970–1980-х гг., но и построенных в последние годы (элитный жилой комплекс «Времена года», торговый центр «Вектор» и т.п.).

В частности, к 2006 г. в городе к ранее существовавшим и значительно увеличившимся районам активного подтопления прибавился ряд новых. К ним относятся район оз. Новое на территории областной больницы, район ДСК и т.п.

Систематические или аварийные утечки из внутренних, внешних, внутриквартальных и магистральных сетей водо- и теплоснабжения в грунты около зданий или непосредственно в основания приводят к локальному протаиванию грунтов под зданиями, осадке оснований и фундаментов, деформации несущих конструкций и зданий в целом [3, 4]. Возникает капиллярный подсос засоленных вод из грунта сезонного слоя в каменную кладку стен построек середины XX в. и ранее (здания на пл. Орджоникидзе, по ул. Ленина, Хабарова, Бестужева-Марлинского), приводящий к морозному и химическому разрушению бетона конструкций фундаментов в зоне сезонного протаивания грунтов и постепенному разрушению несущих стен, а затем и зданий в целом.

Зимой активизируется морозобойное растрескивание грунтов под зданиями и, как следствие, разрушение цокольной части зданий. Всего по г. Якутску из более чем 500 обследованных капитальных жилых и общественных зданий в разной степени деформировано 182, т.е. 36,4 % целенаправленно учтенного капитального фонда [4]. Подобные негативные тенденции характерны для большинства северных населенных пунктов, отличающихся, подобно Якутску, высокой аварийностью.

В последнее время сотрудниками ИМЗ было проведена оценка основных тенденций пространственно-временной динамики морозобойного растрескивания грунтов в отдельных районах города. В мерзлотоведении под этим процессом понимается образование трещин из-за температурного сжатия грунта при его отрицательных температурах.

Однако процесс образования морозобойных трещин зависит не только от самой температуры и скорости ее формирования, но и от состава грунтов, влажности и изолирующего влияния снежного покрова. Развитие этого процесса приводит к формированию полигональных форм рельефа с размерами полигонов в поперечнике от 6 до 30 м и образованию в разрезе полигонально-жилых структур вертикальной мощностью от 3–5 до 30 м. Из практики строительства сооружений на Севере известно много случаев деформаций и разрывов зданий и линейных сооружений (дорог, трубопроводов) при пересечении их морозобойными трещинами. Так, например, в Якутске образование морозобойных трещин наблюдается в основании почти 50 % зданий с вентилируемыми подпольями [4].

В однородных по литологическому составу породах на поверхности формируется полигонально-валиковый микрорельеф правильной тетрагональной формы, а в породах, разнородных по составу, образуется полигонально-валиковый рельеф неправильной формы (рис. 1). Полигональный рельеф неправильной формы в днище долины Туймаада встречается в основном на высоких надпойменных террасах, а правильной формы – на высоких поймах.

В техногенных условиях, когда формируется так называемый «культурный слой» мощностью от 0,5 до 3,0–5,0 м, представленный переслаиванием завезенного грунта различного по составу и физико-механическим свойствам, а сверху перекрытого асфальтом или бетоном, морозобойное растрескивание проявляется на поверхности в виде трещин, пересекающих дорожное полотно перпендикулярно направлению дороги. На рис. 2 показана часть городской территории, на которой выделены морозобойные трещины, секущие асфальтовое дорожное полотно и простирающиеся на сопредельные участки. Собственно само асфальтовое и бетонное покрытие дорог и плиточное

Рис. 1. Формирование полигонального рельефа в результате морозобойного растрескивания грунтов с различным литологическим составом на территории г. Якутска (черно-белый аэрофотоснимок 1946 г.; космический снимок 29.09.2014 г.). Участки: 1 – на неоднородных переслаиваемых глинистых и песчаных грунтах озерной и речной фаций; 2 – на однородных аллювиальных песках; 3 – на техногенных грунтах (щебень, гравий, галька, песок, погребенный асфальт)

Рис. 2. Схема расположения морозобойных трещин на территории г. Якутска в районе улиц Чернышевского, Ярославского, пр. Ленина, Орджоникидзе, Кирова и Кулаковского

тротуаров является хорошим индикатором проявления морозобойного растрескивания на дневной поверхности. Схема дает представление о повсеместности развития морозобойного растрескивания в центре города.

Основная отличительная характеристика морозобойных трещин – проявление их в одном и том же месте, с ежегодным повторением в одно и то же время – ноябрь–декабрь. Именно в этот период полностью завершается фазовый переход влаги в деятельном слое, происходит смыкание границ промерзающего слоя с кровлей ММП, грунты становятся монолитными, что приводит к их сжатию и последующей деформации, проявляющейся в виде морозобойного растрескивания (рис. 3). Температурный градиент в этом незначительном по мощности слое грунта – 1,0–3,0 м может достигать 10,0–15,0 °С/м. Этому явлению на проезжей части улиц и под зданиями способствует незначительное, а чаще полное отсутствие снежного покрова и значительное переувлажнение грунтов.

Рис. 3. Многократное морозобойное растрескивание на перекрестке пр. Ленина и ул. Петровского и положение этой трещины на космическом снимке

Морфометрически трещины рассекают не только дорожное полотно, но и формируются далеко за ее пределы, при этом в одну линию простирающиеся трещины попадают различные коммуникационные сооружения, сопутствующие дороге (рис. 4) бетонные лотки водостока, бордюры, тротуарная плитка и прочие коммуникации в верхней части разреза.

Морфологически трещины могут пересекаться (рис. 5), усугубляя тем самым нарушения дневной поверхности.

Образование морозобойных трещин наносят значительный ущерб коммунальному хозяйству города. Ежегодно на восстановительные работы только дорожного полотна затрачивается сотни миллионов рублей, тратятся огромные средства на так называемый «ямочный» ремонт (рис. 6). Эффективность от такого ремонта практически нулевая, в этом же году и на этом же месте снова образуется морозобойная трещина.

Рис. 4. Система морозобойных трещин, секущих асфальтовое полотно и захватывающих тротуарную плитку (а, б) бетонный бордюр (в) и лоток водостока (г)

Рис. 5. Пересечение двух морозобойных трещин на перекрестке улиц Кирова и Орджоникидзе

Рис. 6. Последствия «ямочного ремонта» по морозобойным трещинам на улице Ойунского

Заключение. В целом повседневное состояние инфраструктуры города, уже много лет находящейся в неудовлетворительном, а часто и катастрофическом состоянии, является самостоятельной, заслуживающей изучения и монографического описания проблемой. Проведенный анализ свидетельствует, что основные проблемы устойчивости инженерных сооружений на территории Якутска необходимо связывать не только с изменением климата, как это делалось совсем недавно, но и с непрофессиональным проектированием, некачественным строительством и безобразной эксплуатацией, вызывающими деградацию мерзлых грунтов в основаниях зданий и сооружений города. Комплексный анализ результатов проведенных исследований позволяет сформулировать ряд общих рекомендаций, направленных на стабилизацию и улучшение геотехнологической обстановки города:

- 1) восстановление нормальных условий дренажа надмерзлотных вод путем создания специальной системы искусственных каналов;
- 2) систематический контроль за состоянием магистральных и местных водообеспечивающих, тепловых и канализационных сетей;
- 3) усовершенствование технологий соответствующих производств с целью предотвращения либо уменьшения жидких сбросов на городскую поверхность.

Все отмеченные выше проблемы вынуждают администрацию г. Якутска ежегодно расходовать огромные средства на укрепительно-восстановительные, ремонтные работы, на усиление конструкций оснований, дорог и т.д. Однако эти меры пока не снижают кризисности инфраструктуры города. Без принятия кардинальных мер Якутск будет продолжать оставаться в положении, когда дальнейшее его функционирование на существующей территории будет весьма проблематичным.

Библиографический список

1. О проблемах градостроительства в криолитозоне (на примере Якутска) / О.И. Алексеева, В.Т. Балобаев, М.Н. Григорьев, В.Н. Макаров, Р.В. Чжан, М.М. Шац, В.В. Шепелев // Криосфера Земли. – 2007. – Т. XI, № 2. – С. 76–83.

2. Контроль состояния геотехнической системы Якутска на основе мерзлотно-геоморфологической систематизации / М.Н. Григорьев, А.Н. Курчатова, Л.П. Аносова [и др.] // Якутск – столица северной республики: глобальные проблемы градосферы и пути их решения: материалы науч.-практ. конф. – Ч. II. – Якутск, 1997. – С. 31–39.
3. Шац М.М. Геоэкологические проблемы селитебных северных территорий // Теоретическая и прикладная экология. – 2009. – № 3. – С. 46–51.
4. Шац М.М. Современное состояние городской инфраструктуры г. Якутска и пути повышения ее надежности // Геориск. – 2011. – № 2. – С. 40–46.
5. Качурин С.П. Вечная мерзлота и рельеф на Лено-Вилуйском водоразделе // Исследование вечной мерзлоты в Якутской Республике. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. – Вып. 2. – С. 71–97.
6. Мельников П.И. Вечная мерзлота в районе Якутска // Исследование вечной мерзлоты в Якутской Республике. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. – С. 53–70.
7. Соловьев П.А. О влиянии застройки города Якутска на температуру многолетнемерзлых горных пород // Тр. Северо-Восточного отделения Ин-та мерзлотоведения. – Якутск, 1958. – Вып. 1. – С. 179–191.
8. Соловьев П.А. Опыт характеристики территории г. Якутска в отношении глубины сезонного протаивания и пучинистости грунтов в практических целях // Мерзлотные исследования в осваиваемых районах СССР. – Новосибирск: Наука, 1980. – С. 60–63.
9. Спектор В.Б., Спектор В.В. О происхождении высокой Лено-Амгинской перигляциальной равнины // Криосфера Земли. – 2002. – Т. VI, № 4. – С. 3–12.
10. Шепелев В.В., Шац М.М. Геоэкологические проблемы обводнения и подтопления территории г. Якутска // Наука и образование. – 2000. – № 3. – С. 68–71.
11. Шепелев В.В. Надмерзлотные воды криолитосферы и их классификация // География и природные ресурсы. – 2009. – № 2. – С. 62–67.
12. Шац М.М., Сериков С.И. Современное обводнение территории г. Якутска // Наука и образование. – 2009. – № 4. – С. 162–171.
13. Гурьянов И.Е. Анализ градостроительной пригодности территории в зоне вечной мерзлоты // Наука и образование. – 2008. – № 4. – С. 60–63.
14. Шац М.М., Скачков Ю.Б. Состояние городской инфраструктуры Якутска и его связь с изменением климата // Экология урбанизированных территорий. – М.: Камертон, 2011. – № 4. – С. 18–23.
15. Павлова Н.А., Сериков С.И. Роль техногенных барражей в системе формирования поверхностного стока на территории г. Якутска и их влияние на обводненность // Научное обеспечение решения ключевых проблем развития г. Якутска. – Якутск, 2010. – С. 106–110.
16. Мониторинг подземных вод криолитозоны / В.В. Шепелев [и др.]. – Якутск: Изд-во Ин-та мерзлотоведения, 2002. – 172 с.
17. Makarov V.N. Groundwater modification and its effect on the infrastructure of northerh cities // RMZ, Materials and Geo, environment. – Ljubljana, Slovenia, 2003. – Vol. 50, no. 3. – P. 201–204.

References

1. Alekseyeva O.I., Balobayev V.T., Grigor'yev M.N., Makarov V.N., Chzhan R.V., Shatz M.M., Shepelev V.V. O problemakh gradostroitel'stva v kriolitozone (na primere Yakutsk) // Cryosphere of the Zemli 2006, pp. 94-98.
2. Grigor'yev M.N., Kurchatova A.N., Anosova L.P. i dr. Kontrol' sostoyaniya geotekhnicheskoy sistemy Yakutsk na osnove merzlotno-geomorfologicheskoy sistematizatsii // Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Yakutsk – stolitsa severnoy respubliki: global'nyye problemy gradosfery i puti ikh resheniya». . CH. II. Yakutsk, Izvestia SO RAN, 1997, pp. 31-39.
3. Shatz M.M. Geoekologicheskiye problemy selitebnykh severnykh territoriy. // Teoreticheskaya I prikladnaya ekologiya», Moscow, 2009, no. 3, pp. 46-51.
4. Shatz M.M. Sovremennoye sostoyaniye gorodskoy infrastruktury g. Yakutsk i puti povysheniya yeyo nadezhnosti // Georisk, Moscow. 2011, no. 2, pp. 40-46.
5. Kachurin S.P. Vechnaya merzlota i rel'yef na Leno-Vilyuyskom vodorazdele // Issle-dovaniye vechnoy merzloty v Yakutskoy Respublike. Moscow...: Izd-vo AN SSSR, 1950. Vyp. 2, pp. 71-97.

6. Mel'nikov P.I. Vechnaya merzlota v rayone Yakutska // Issledovaniye vечноy merzloty v Yakutskoy Respublike. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1950, pp. 53-70.
7. Solov'yev P.A O vliyaniy zastroyki goroda Yakutska na temperaturu mnogoletnemerzlykh gornyykh porod // Tr. Severo-Vostochnogo otdeleniya In-ta merzlotovedeniya. – Yakutsk, 1958. Vyp. 1, pp. 179-191.
8. Solov'yev P.A. Opyt kharakteristiki territorii g. Yakutska v otnoshenii glubiny sezonnogo protaivaniya i puchinistosti gruntov v prakticheskikh tselyakh // Merzlotnyye issledovaniya v osvayemykh rayonakh SSSR. Novosibirsk: Nauka, 1980, pp. 60-63.
9. Spektor V.B., Spektor V.V. O proiskhozhdenii vysokoy Leno-Amginskoy periglyatsial'noy ravniny // Kriosfera Zemli, 2002, vol. 6, no. 4, pp. 3-12.
10. Shepelev V.V., Shatz M.M. Geoekologicheskiye problemy obvodneniya i podtopleniya territorii g. Yakutska // Nauka i obrazovanie, 2000, no. 3, pp. 68-71.
11. Shepelev V.V. Nadmerzlotnyye vody kriolitosfery i ikh klassifikatsiya // Geografiya i prirodnyye resursy, 2009, no. 2, pp. 62-67.
12. Shatz M.M., Serikov S.I. Sovremennoye obvodneniye territorii g. Yakutska // Nauka i obrazovaniye, 2009, no. 4, pp. 162-171.
13. Gur'yanov I.Ye. Analiz gradostroitel'noy prigodnosti territorii v zone vечноy merzloty // Nauka i obrazovaniye, 2008, no 4, pp. 60-63.
14. Shatz M.M., Skachkov Yu.B. Sostoyaniye gorodskoy infrastruktury Yakutska i yego svyaz' s izmeneniyem klimata // Ekologiya urbanizirovannykh territoriy, Moscow: Izd. dom «Kamerton», 2011, no. 4, pp. 18-23.
15. Pavlova N.A., Serikov S.I. Rol' tekhnogennykh barrazhey v sisteme formirovaniya poverkhnostnogo stoka na territorii g.Yakutska i ikh vliyaniye na obvodnennost'. – Nauchnoye obespecheniye resheniya klyuchevykh problem razvitiya g. Yakutska. Yakutsk. 2010, pp. 106-110.
16. Shepelev V.V. Monitoring podzemnykh vod kriolitozony. — Yakutsk: Izd-vo IMZ SO RAN, 2002, 172 p.
17. Makarov V.N. Groundwater modification and its effect on the infrastructure of northerh cities // RMZ, Materials and Geo, environment. Ljubljana, Slovenia, 2003, vol. 50, no. 3, pp. 201-204.

Получено 6.09.2017

S. Serikov, M. Shatz

FROST CRACKING OF SOILS AND ITS ROLE IN THE STATE OF THE SURFACE AND INFRASTRUCTURE OF THE CITY OF YAKUTSK

In recent decades, the residential centers of the North have become the centers of large-scale destruction of the natural environment. The example of one of the largest cities of the North – Yakutsk shows the specificity of the residential industry in extreme natural conditions with the continuous development of permafrost. The purpose of the paper is to show the main causes of emerging problems and to suggest the main ways to solve them.

The permafrost-landscape situation in the city, the specificity of exogenous relief formation on its territory and its consequences for the state of the surface and infrastructure are characterized. The article contains new materials and facts that were not previously available in the scientific literature, which makes its relevance and thematic significance unconditional.

In general, the daily state of the city's infrastructure, which has been in an unsatisfactory and often catastrophic state for many years, is an independent problem that deserves many years of study and a monographic description. The conducted analysis shows that the main problems of the stability of engineering structures in the territory of Yakutsk must be associated not only with climate change, as it was done quite recently, but also with unprofessional design, poor-quality construction and out-

rageous exploitation, causing degradation of frozen soils in the city's buildings and structures' foundations. A comprehensive analysis of the results of the conducted studies made it possible to formulate a number of general recommendations aimed at stabilizing and improving the geotechnological situation in the city.

Keywords: residential centers of the North, continuous development of permafrost, nidi of large-scale damage to the natural environment.

Сериков Сергей Иванович (Якутск, Россия) – научный сотрудник, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, e-mail: grampus@mpi.ysn.ru).

Шац Марк Михайлович (Калининград, Россия) – канд. геогр. наук, ведущий научный сотрудник, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (236019, Калининград, ул. Беланова, д. 10, кв. 13, e-mail: mmshatz@mail.ru).

Serikov Sergey (Yakutsk, Russian Federation) – Researcher, Permafrost Institute P.I. Melnikov SB RAS (677010, Yakutsk, Merzlotnaya str., 36, e-mail: Grampus@mpi.ysn.ru).

Shatz Mark (Kaliningrad, Russian Federation) – Ph.D. in Geography, Senior Research Officer, Permafrost Institute P.I. Melnikov SB RAS (236019, Kaliningrad, Belanov str., 10, quarter 13, e-mail: mmshatz@mail.ru).