

подсистем ПТС, так как только на основании параллельных наблюдений и совместного анализа можно прийти к истинной оценке состояния ИПТС и принятию правильных управляющих решений.

Литература

1. Невечера В.Л., Пашкин Е.М., Подборская В.О. Исследование влияния криогенного пучения на устойчивость памятников архитектуры Русского Севера.// Инженерная геология, № 6, 1991.
2. Невечера В.Л., Подборская В.О. Инженерно-геологические и геоэкологические аспекты истории функционирования природно-технической системы монастыря// Сб. «Кириллов», краеведческий альманах. Выпуск Ш. Вологда. Легия, 1998. С.132-140.
3. Пашкин Е.М. Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры. М.: Высшая школа. ПИ «Геореконструкция». СПб. 2013.333с.
4. Пендин В.В., Заботкина Л.В., Подборская В.О. Предложения по классификации исторических природно-технических систем//Геология и разведка, 2012, №3, С.56-62.

К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОМ ВЛИЯНИИ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В РАЙОНЕ СТРОИТЕЛЬСТВА МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА "СИЛА СИБИРИ" НА УЧАСТКЕ ЧАЯНДИНСКОЕ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ – ЛЕНСК

М.В. Решетько

*ФБГАУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Томск, Россия, E-mail: mrechetko@tpu.ru*

Аннотация. Рассмотрено современное состояние исследований и прогнозы отклика многолетней мерзлоты на изменения климата на участке Чайанда-Ленск. Выполнен статистический анализ характеристик метеорологических величин, влияющих на интенсивность экзогенных процессов. Выявлено увеличение среднегодовых температур воздуха и почвогрунтов, а также увеличение годового количества атмосферных осадков преимущественно за счет холодного или переходного периодов года, увеличение дисперсии и количества месячных сумм осадков весной.

Abstract. The modern researches state changes and predictions the response of permafrost to climate change in the area Chayanda-Lensk. A statistical analysis of meteorological parameters influencing the intensity of exogenous processes was performed. There is an increase in temperature of air and soil and an increase in the amount of precipitation mainly in the cold and transitional periods of the year, increase in the dispersion and the monthly precipitation in the spring.

Оценка возможного влияния изменений климатических условий на интенсивность экзогенных процессов в районе строительства магистральных газопроводов эксплуатируемых в сложных природных, инженерно-геологических и суровых климатических условиях является необходимым условием их безаварийной работы в течение периода эксплуатации. Согласно официальным данным ОАО «Газпром», а также данным научных и технологических исследований 42 % всех аварий на линейной части магистральных газопроводов вызвано прямым или косвенным воздействием природных факторов, причем 12 % обусловлено экзогенными процессами, в т. ч. 3 % – в результате изменений геокриологических условий [3].

В работе представлен обзор современных исследований по вопросам изменения климата и влияния этих изменений на состояние многолетнемерзлых

пород (ММП) в пределах территории строительства магистрального газопровода "Сила Сибири" на участке Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение – Ленск, а также результаты статистического анализа характеристик метеорологических величин, влияющих на интенсивность экзогенных процессов, проведенного автором.

Исходной информацией для проведения исследований послужили данные ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» о температуре приземных слоев воздуха, количестве атмосферных осадков с 1960 по 2014 гг., а также температуре почвогрунтов на глубине 320 см с 1963 по 2011 гг., месячной сумме жидких, смешанных и твердых осадков с устранением систематических погрешностей осадкомерных приборов за период 1960-2010 гг. на метеостанциях Ленск и Витим [4].

Методика исследований включала проверку нулевых гипотез о случайности и однородности рядов наблюдений на уровне значимости 0,05. Для выбранных рядов была проведена проверка однородности, в частности наличия климатологической и статистической неоднородности. Проверка рядов на однородность осуществлялась с помощью критерия Стьюдента и теста Аббе; на статистическую независимость и наличие тренда – с помощью критерия инверсий.

Для исследуемого района характерно развитие экзогенных геологических процессов; процессы мерзлотного характера и карст являются наиболее неблагоприятными физико-геологическими процессами для строительства газопровода. Согласно [3] трасса проектируемого газопровода на участке Чаянда-Ленск проложена по территории, которая относится к зоне массивно-островного распространения многолетнемерзлых пород (ММП). Площадь развития ММП составляет от 40 до 80 %, наибольшая мощность мерзлой зоны на равнинах и плато составляет 100-250 м [3].

В настоящее время согласно [1] сведения о состоянии криолитозоны можно получить из четырех основных источников:

Наблюдательная сеть геотермических измерений, состоящая в России из 161 скважины различной глубины, от первых десятков до сотни метров. Согласно выводам [1] потепление ММП происходило главным образом в 1970-1990-е годы. В начале XXI века температура мерзлоты на большей части наблюдаемых регионов оставалась стабильной. Тенденция к повышению температуры многолетнемерзлых пород возобновилась только в последние годы. На исследуемой территории имеется только одна скважина (60,72 с.ш., 114,86 в.д. глубина 196 м, среднегодовая температура $-0,2^{\circ}\text{C}$) [11], начало наблюдений, в которой датируется 2008 г.

Данные измерения мощности сезонно-талого слоя (СТС), проводимые с 1990-х годов в рамках международного проекта – программы циркумполярного мониторинга деятельного слоя (Circumpolar Activelayer Monitoring, CALM) для изучения пространственно-временных закономерностей формирования деятельного слоя в разных ландшафтных условиях [1]. На территории России в разное время было организовано 49 площадок; недостатком этих данных является небольшой период наблюдений и неравномерность наблюдательной сети. На исследуемой территории не было площадок CALM.

Комплексные измерения на геокриологических стационарах. Наибольшее число геокриологических стационаров на территории криолитозоны России приурочено к северу европейской части России, северу Западной Сибири и Центральной Якутии. Самый близкорасположенный стационар Иерелях находился в средней тайге Западной Якутии, в бассейне р. Малая Ботуобия (в 1956-1959 гг.) [1].

Наиболее слабое место наблюдений на стационарах, на площадках мониторинга СТС и в геотермических скважинах – их негосударственный уровень.

Наиболее доступные и многочисленные данные это измерения температуры почвогрунтов. Методы наблюдений метеорологических станций за температурой почвогрунтов ограничены глубиной 320 см, и по сравнению с данными геокриологических стационаров, менее совершенны. Преимущество данных метеорологических станции заключается в плотности сети метеорологических станций, кроме того одновременно с измерениями температуры почвогрунтов производится весь комплекс наблюдений. Для исследуемой территории доступны данные метеорологических станций Ленск (1988-2011 гг.) и Витим (1963-2011 гг.) [4].

По мнению большинства исследователей [1, 2, 5-10] на современном этапе климатические условия зоны многолетней мерзлоты в целом способствуют сохранению ММП, однако становятся менее благоприятными. По мнению [5, 6] в Сибири произошли существенные изменения важнейших метеорологических характеристик, определяющих состояние мерзлоты, поэтому в Сибири в зоне ММП могут возникать наиболее серьезные последствия изменений климата. Согласно [9] увеличение снежного покрова и температуры ММП привело к смещению на несколько десятков километров к северу границы вечной мерзлоты, а в работе [6] отмечается, что на территории Предбайкалья – Забайкалья за 1976 – 2006 гг. на глубине 320 см произошло смещение к северу на 500 ± 50 км изотермы, характерной для южной границы островной многолетней мерзлоты.

По данным коллективной монографии [1] большую часть района исследований участка Чайнда-Ленск по соотношению между трендами температуры воздуха и почвогрунтов [2] можно отнести к категории умеренной (средней) чувствительности к изменениям климата. Для района исследований, согласно карте потенциальных геокриологических опасностей, возникающих при современном потеплении климата [1], составленной на основе анализа изменений температуры воздуха и осадков в теплый и холодный периоды года по данным с середины 1960-х годов до 2008 г., прогнозируется сильная активизация криогенных процессов в холодный период и слабая активизация процессов в теплый период. Согласно произведенным расчетам геокриологической опасности в условиях изменения климата до середины XXI века [1] район исследований попадает в зону умеренного риска.

В течение прошлого столетия произошло заметное потепление в холодное время года и увеличение количества осадков к северу от 55° с.ш., которое не отмечалось на большей части Сибири; это привело к более сухим летним условиям, повышению вероятности засух и пожаров. Прогнозы изменения климата в XXI веке указывают на дальнейшее увеличение температуры, большее в холодное время года и меньшее в теплое время года, существенные изменения в гидрологическом режиме в Центральной и Южной Сибири, прогнозируется дальнейший рост экстремальных гидрометеорологических явлений, изменения в распределении и стабильности вечной мерзлоты [8]. Необходимо отметить, что увеличение температуры ММП и таяние вечной мерзлоты, например, в районе вокруг Якутска напрямую связано с естественными или антропогенными нарушениями подстилающей поверхности, теплового и водного баланса [7] и существенно не коррелирует с изменениями климата [9], следовательно, при анализе и прогнозе состояния ММП необходимо это учитывать.

В результате проведенных исследований выявлена статистическая неоднородность свыше трети рядов исследуемых данных. Установлен

положительный тренд среднегодовой температуры воздуха и почвогрунтов. В современных условиях для всей криолитозоны России, согласно [5], характерны более низкие значения положительных трендов среднегодовой температуры грунтов по сравнению с трендами температуры воздуха. Эта тенденция сохраняется, установлено, что среднегодовая температура почвогрунтов увеличивается на глубине 320 см в Ленске и Витиме на $0,05^{\circ}\text{C}$ и $0,02^{\circ}\text{C}$ в год соответственно. Следует отметить увеличение дисперсии рядов начиная с середины 90-х годов, что может быть вызвано как увеличением экстремальности климата, так и климатологической неоднородностью.

Как известно, атмосферные осадки оказывают существенное влияние на увлажнение почвы в теплое полугодие и на высоту снежного покрова в холодное полугодие, которые в свою очередь в значительной мере определяют интенсивность проникновения волн тепла и холода из атмосферы в почвогрунты на глубины. На участке исследования установлено увеличение количества атмосферных осадков преимущественно в холодный период года (февраль, март, ноябрь), а также в сентябре, июле и августе. Наблюдается тенденция к уменьшению осадков в декабре, но статистически достоверного тренда не выявлено. Выявлен положительный тренд годовых сумм осадков, количество осадков увеличивается на 16-19мм/10 лет. Кроме того, выявлено увеличение дисперсии и количества месячных сумм осадков весной (рис.), в конце 90-х, что может усилить деградацию ММП.

При анализе многолетних изменений месячных сумм жидких, смешанных и твердых осадков установлено уменьшение количества твердых и увеличение смешанных осадков в переходные периоды года, что является следствием увеличения температуры воздуха. Причем после середины 80-х годов отмечено отсутствие или уменьшение количества твердых и смешанных осадков в летние месяцы, причем в начале исследуемого периода эти суммы могли достигать до 6,1 мм твердых (м/с Витим, июнь 1967 г.) и 9,1 мм смешанных осадков (м/с Ленск, июнь 1983 г.).

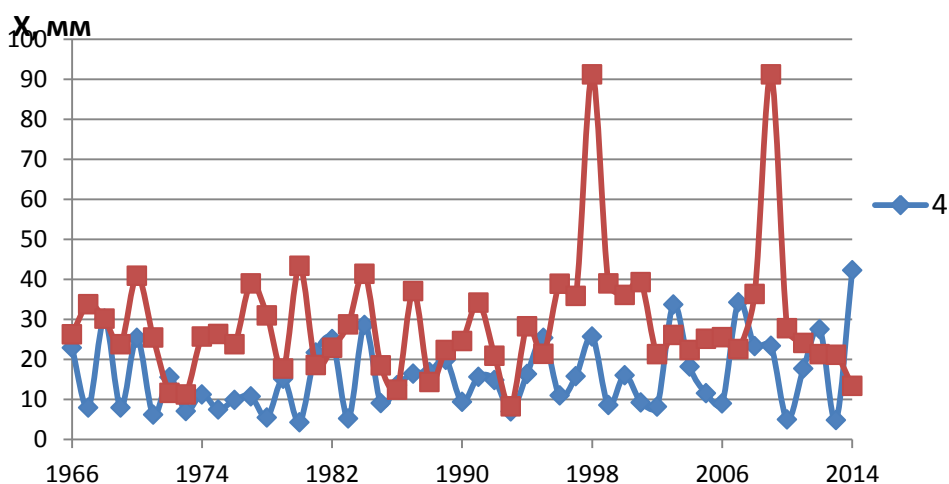


Рис. Временной ход месячного количества осадков за апрель (4) и май (5) по данным м/ст Ленск, период 1966-2014 гг.

Отмеченное в результате исследований увеличение среднегодовой температуры грунтов может привести к усилению деградации ММП и активизации карста в юго-восточной части района исследований, где выходят на поверхность карбонатные породы нижнего кембрия и отмечаются карстовые формы рельефа.

Увеличение количества атмосферных осадков в холодный период года при сохранении существующей тенденции будет благоприятствовать повышению температуры грунтов и усиливать деградацию ММП. Выявленная тенденция увеличения количества осадков в июле в Ленске и Витиме, в августе в Ленске может способствовать повышению количества накопленной за лето влаги в деятельном слое и влиять на интенсивность сезонного пучения.

Литература

1. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем: [коллективная монография] / Ред.: С.М. Семенов; Росгидромет. – М., 2012. – 508с.
2. Павлов А. В., Малкова Г. В., 2009. Мелкомасштабное картографирование трендов современных изменений температуры грунтов на севере России, Криосфера Земли, т. XIII, № 4, с. 32-39.
3. Строкова Л. А. , Ермолаева А. В. Природные особенности строительства магистрального газопровода «Сила Сибири» на участке Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение – Ленск // Известия Томского политехнического университета. - 2015 - Т. 326 - №. 4. - С. 41-55
4. ФГБУ ВНИИГМИ-МЦД. Электронный ресурс, доступ к данным: <http://meteo.ru/data>
5. Шерстюков А. Б., 2007. Температура почвогрунтов России на глубинах до 320 см в условиях изменяющегося климата, Труды ВНИИГМИ-МЦД, вып. 173, с. 72-88.
6. Шерстюков А.Б. Изменения климата и их последствия в зоне многолетней мерзлоты России. – Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2009. – С. 127.
7. Fedorov A. N, and P. Y. Konstantinov. 2008. Recent changes in ground temperature and the effect on permafrost landscapes in Central Yakutia. Proceedings of the 9th International Conference on Permafrost, D. L. Kane and K. M. Hinkel (eds), June 29-July 3, Fairbanks, Alaska, Institute of Northern Engineering, University of Alaska Fairbanks, vol. 1, 433-438.
8. Groisman PYa, Blyakharchuk TA, Chernokulsky AV et al (2012b) Chapter 3. Climate changes in Siberia. In: Regional environmental changes in Siberia and their global consequences, Springer environmental science and engineering. Springer, Dordrecht, pp 57–109.
9. Romanovsky, V. E., D. S. Drozdov, N. G. Oberman, G. V. Malkova, A. L. Kholodov, S. S. Marchenko, N. G. Moskalenko, D. O. Sergeev, N. G. Ukraintseva, A. A. Abramov, D. A. Gilichinsky and A. A. Vasiliev. 2010b. Thermal state of permafrost in Russia. Permafr. Periglac. Process., 21,136-155, doi: 10.1002/ppp.683.
10. Shiklomanov N. I., 2005. From exploration to systematic investigation: Development of geocryology in 19th- and Early–20th-Century Russia, Physical Geography, No. 4, pp. 249–263.
11. The Global Terrestrial Network for Permafrost (GTNP) Data Management System contains both Metadata and Quality Controlled Data about Permafrost. - <http://gtnpdatabase.org/boreholes/>