

Прогноз нарушения устойчивости грунтов по параметрам импульсных электромагнитных полей ОНЧ диапазона

С. Ю. Мальшиков^{1}, В. И. Поливач¹, В. Ф. Гордеев¹*

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск,
Российская Федерация

* e-mail: msergey@imces.ru

Аннотация. Актуальность задачи мониторинга и прогноза экзогенных процессов определяется широкой распространенностью оползней, в том числе и на многих территориях РФ. Катастрофическое обрушение склонов является одним из самых распространенных опасных природных явлений, приводящих как к человеческим жертвам, так и к экономическому ущербу. Целью исследования является проверка алгоритма оценки напряженно-деформированного состояния горных пород по параметрам естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) на активном оползне, угрожающем инфраструктуре г. Томска. В работе показано, что предвестники активизации геодинамических склоновых процессов фиксируются задолго до изменений в рельефе, вызванных срывом блоков горных пород. Проведенные исследования показали высокую перспективность метода ЕИЭМПЗ для прогноза экстремальных явлений представляющих вызовы для территории.

Ключевые слова: естественное импульсное электромагнитное поле Земли, напряженно-деформированное состояние, оползень

Forecast of violation of soil stability according to the parameters of pulsed electromagnetic fields of the VLF range

S. Yu. Malyshkov^{1}, V. I. Polivach¹, V. F. Gordeev¹*

¹ Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation

* e-mail: msergey@imces.ru

Abstract. The relevance of the task of monitoring and forecasting exogenous processes is determined by the widespread occurrence of landslides, including in many territories of the Russian Federation. Catastrophic slope failure is one of the most common natural hazards, resulting in both human casualties and economic damage. The aim of the study is to test the algorithms for assessing the stress-strain state of rocks using the parameters of the natural pulsed electromagnetic field of the Earth (ENEMF) on an active landslide that threatens the infrastructure of Tomsk. The paper shows that the precursors of the activation of geodynamic slope processes are fixed long before changes in the relief caused by the failure of rock blocks. The conducted studies have shown the high promise of the ENPEMF method for forecasting extreme events that pose challenges for the territory.

Keywords: Natural pulsed electromagnetic field of the Earth, stress-strain state, landslide

Введение

Оползни являются одним из главных факторов, которые отрицательно влияют на экологическую обстановку и безопасность в Западной Сибири. Первые работы по прогнозу активизации экзогенных процессов методом естественного

импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) были поставлены в Томском политехническом институте (сейчас университет) [1-4], и эти работы в Томской научной школе продолжаются сейчас [5-12]. В основе метода лежит явление электромагнитной эмиссии – способности хрупких непроводящих материалов генерировать электромагнитные сигналы при механическом или тепловом воздействии на них [13-15]. В настоящее время метод включен в список методов, рекомендованных для оценки НДС горных пород, в своде правил по инженерным изысканиям для строительства [16], но развитие приборно-методической базы не потеряло актуальности для повышения достоверности получаемых результатов. С целью отработки алгоритмов прогноза нарушения устойчивости грунтов по параметрам импульсных электромагнитных полей начиная с 2019г. в Лагерном Саду (г. Томск) были поставлены периодические полевые исследования на участке с внешними признаками активного оползня. В 1979 г. для предотвращения разрушения склона и защиты инженерных сооружений в этой части города был разработан ряд рабочих проектов противооползневых мероприятий, реализация которых в той или иной мере позволила снизить активность оползневых процессов. В настоящее время инженерные службы города ведут мониторинг противооползневых сооружений и состояния грунтов в пределах защищаемой территории. Район работ характеризуется сложными геологическими, гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями третьей категории. Тектонические нарушения имеют зоны дробления от 1,5-3м до 8-20м. Кора выветривания мел-палеогенового возраста на выбранных для исследований участках сложена белыми и светло-серыми каолинизированными глинами и синими суглинками от тугопластичной до полутвердой консистенции с включением органического вещества от 5,9 до 7,1%. Данные грунты способны переходить из устойчивого твердого состояния в природных условиях в пластичное или текучее состояние при техногенном повышении влажности на 3-5%. Из архивных материалов инженерно-геологических изысканий склона правого берега р. Томь в районе Лагерного сада получено, что на площадке исследований выявлено 22 оползня, участки, подверженные процессам струйчатой эрозии, гидрогеологические компоненты, эрозионные уступы, трещины. Процессы, связанные с проседанием почвы в результате вымывания грунтов, являются основной причиной деформаций зданий в пределах территории, прилегающей к оползневой зоне Лагерного сада. В настоящее время наблюдаются деформации в стенах лечебных корпусов 3й городской больницы, находящихся в зоне влияния ложбин древнего стока. Учебный корпус ТУСУРа построенный над тальвеговой частью самой глубокой ложбины стока, пришлось демонтировать. Таким образом, самой вероятной причиной схода участков грунта на этих участках в черте города является техногенная нагрузка на геологическую среду, а с ростом города нагрузка все время увеличивается, поэтому проблема изучения и прогнозирования оползней становится все более актуальной. Активный оползень, выбранный для исследований, находится в непосредственной близости к участку склона, на котором выполнены гидротехнические работы. Решалась задача проверки разработанных ранее алгоритмов мониторинга состояния геологической среды, и предоставле-

ние новых дополнительных знаний о состоянии объекта в Администрацию г. Томска для своевременного принятия управленческих решений с целью недопущения чрезвычайных ситуаций, связанных с потерей устойчивости грунтов.

Методы

Измерения пространственно-временных вариаций ЕИЭМПЗ проводились в двух ортогональных направлениях ориентации приемных антенн. Это позволяло получить диаграмму приема электромагнитных сигналов, близкую к круговой [17-18]. Расстояние между пикетами 15 метров. Время измерения на каждом пикете 2 минуты. Методика картирования экзогенных процессов разработана в ИМКЭС СО РАН [19-20] и основана на выделении пространственных аномалий в структуре ЕИЭМПЗ из пространственно-временных вариаций поля с применением во время проведения работ вариационного регистратора. Вариационный регистратор был установлен в месте, не затронутом экзогенными процессами в восточной части исследуемой территории. Отрицательные аномалии ЕИЭМПЗ интерпретируются, как зоны сжатия, положительные – зоны растяжения.

Результаты

За два года геоморфологических исследований на выбранном в 2019 году участке значимых изменений рельефа не произошло. Однако при измерениях в 2021 году, в северо-восточной части площади измерений были обнаружены трещины закола (рис. 1).



Рис. 1. Измерение параметров ЕИЭМПЗ вблизи трещин закола оползневого склона. На фотографии трещина прослеживается от лицевой панели регистратора до выносного датчика.

Карты аномального поля, полученные в период с 2019 по 2021 г.г., приведены на рис. 2.

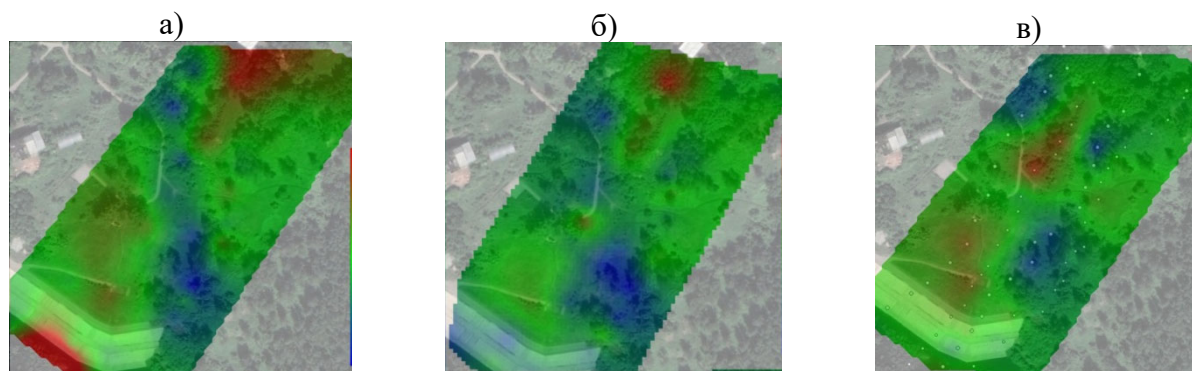


Рис. 2. Карта аномалий ЕИЭМПЗ.

а) измерения 14 августа 2019г.; б) измерения 20 мая 2021г.;
в) измерения 21 июля 2021г.

На большей части исследуемой площади динамика ЕИЭМПЗ была незначительная. Но положительная аномалия в структуре ЕИЭМПЗ в северо-восточной части исследуемой территории, которая была интерпретирована нами, как напряжение растяжения в 2019 г., после разгрузки сместилась ниже по телу оползня. Возможен срыв блока горных пород, но отклонение ЕИЭМПЗ от фоновых значений и площадь аномального участка незначительны. Откол крупного блока горных пород в результате потери устойчивости грунтов в настоящее время маловероятен, но факт появления предвестника изменения состояния геосферы по параметрам ЕИЭМПЗ показывает высокую перспективность выполняемых в рамках настоящего проекта работ для прогноза экстремальных явлений, представляющих вызовы для территории.

Заключение

Поставленные работы имели не только научное значение, кроме этого, они были нацелены на решение актуальных социально-экономических задач Томской области и укрепление региональной безопасности. В настоящее время муниципальным предприятием г. Томска разрабатывается проект противооползневых мероприятий на этот участок. Полученные в результате выполнения настоящего проекта данные будут учтены при разработке технического задания на инженерно-геологические изыскания перед производством этих мероприятий.

В дальнейшем можно создать автоматизированную систему прогноза опасных геодинамических процессов на оползневом склоне в режиме реального времени. Основанная на методе ЕИЭМПЗ автоматизированная система прогноза опасных геологических процессов уже сейчас работает на объектах повышенной опасности ПАО «Газпром». Технологии опережающего прогноза этим методом доказывают свою эффективность, надежность и достоверность уже более 15 лет [19].

Благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, проект №121031300155-8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матов, Ш. Р., Саломатин, В. Н., Яворович, Л. В. Выявление степени деформации участков оползня методом регистрации импульсов электромагнитного поля // Инженерная геология. – 1983. – № 2. – С. 98-101.
2. Изучение прогрессирующего разрушения при развитии оползневого процесса методом регистрации электромагнитных сигналов / Ш. Р. Матов, Р. М. Гольд, В. Н. Саломатин, Л. В. Яворович // Инженерная геология. – 1984. – № 1. – С. 68-71.
3. Малышков Ю.П., Гордеев В.Ф., Дмитриев В.П., Смирнов В.А., Фурса Т.В., Ульченко В.И. Закономерности генерирования электромагнитного сигнала твердыми телами при механическом воздействии / Журнал технической физики, 1984. – Т. 54. – Вып. 2. – С. 336-341.
4. Импульсное электромагнитное поле, возникающее при деформациях грунтов в лабораторных условиях / А. А. Воробьев, Л. А. Защинский, С. Г. Надежкин, В. Ф. Ширяев // Физикотехнические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1981. – № 5. – С. 119-120.
5. Malyshkov S. Yu., Gordeev V. F., Pustovalov N. A. Detailing the tectonic structure of a nuclear industry construction site using an Earth's natural pulsed electromagnetic field method // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – Vol. 211. – 012077. doi: 10.1088/1755-1315/211/1/012077.
6. Yury P. Malyshkov, Sergey Yu. Malyshkov, Vasily F. Gordeev, Sergey G. Shtalin, Vitaly I. Polivach, Vladimir A. Krutikov, and Michail M. Zaderigolova Earth's Natural Electromagnetic Noises: Their Deep-Seated Origin, Effect on People, Recording and Application in Geophysics Editors: Reimer, A. // Horizons in World Physics, 2015 (283), С. 43-128. Nova Science Publishers, ISBN: 978-1-63482-500-9
7. Malyshkov S. Yu., Gordeev V. F., Pustovalov N. A. Detailing the tectonic structure of a nuclear industry construction site using an Earth's natural pulsed electromagnetic field method // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science – 2018. – Vol. 211. – 012077. doi: 10.1088/1755-1315/211/1/012077.
8. Развитие пассивной радиоволновой информационно-измерительной технологии мониторинга динамических процессов взаимодействия литосферы, криосферы и атмосферы / В. Ф. Гордеев, С. Ю. Малышков, В. А. Крутиков, В. И. Поливач, М. М. Кабанов, С. Н. Капустин, С. Г. Шталин, К. Н. Пустовалов // Оптика атмосферы и океана. – 2022. – Т. 35. – № 02. – С. 105–109. DOI: 10.15372/AOO20220204.
9. Сезонное изменение частотных характеристик естественного импульсного электромагнитного поля Земли / В. Ф. Гордеев, В. А. Крутиков, С. Ю. Малышков, В. И. Поливач // Вестник КРАУНЦ. – Физ.-мат. науки. – 2020. – Т.33. – №4. – С. 127 – 136. DOI: 10.26117/2079-6641-2020-33-4-127-136
10. Малышков, С. Ю., Гордеев, В. Ф., Поливач, В. И. Картирование аномалий напряженно-деформированного состояния грунтов и оценка опасности разрывных нарушений для промышленных объектов// Сборник материалов XII международного научного конгресса «ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ 2016». Междунар. науч.конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия», 18-22 апреля 2016 г., Новосибирск. – Новосибирск : СГГА, 2016. – Т. 2. – С. 13-18.
11. Гордеев, В. Ф., Поливач, В. И., Малышков, С. Ю. Метод естественного импульсного электромагнитного поля Земли для мониторинга динамики грунтов// Сборник материалов XII международного научного конгресса «ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ 2016». Междунар.

науч.конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология», 18-22 апреля 2016 г., Новосибирск. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – Т. 2. – С. 152-157.

12. Vasily F Gordeev, Sergey Yu Malyshkov, Vladimir A Krutikov, Vitaly I Polivach and Sergey G Shtalin Lightning discharges bearing using dangerous geological processes monitoring system based on Earth's natural pulsed electromagnetic field parameters // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 211 (2018) 012073, doi:10.1088/1755-1315/211/1/012073

13. Беляев Л.М., Мартышев Ю.Н., Набатов В.В. О времени высвечивания в процессах трибо- и кристаллолюминесценции // Кристаллография. – 1962. – Т. 7. – Вып. 4. – С. 576-580.

14. Импульсное электромагнитное излучение минералов и горных пород, подверженных механическому нагружению / Р. М. Гольд, Г. П. Марков, П. Г. Могила, М. А. Самохвалов // Физика Земли. – 1975. – № 7. – С. 109-111.

15. Дмитриевский В.С., Корнилов Л.Н. Частичные разряды при механическом разрушении твердых диэлектриков // Изв. Томского политехнического ин-та. – 1975 г. – Т. 222. – С. 12-15.

16. СП-11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. – М. : ПНИИИС Госстроя России, 1997. – 42 с.

17. Регистратор импульсных электромагнитных полей для мониторинга геодинамических процессов и геофизической разведки / С. Г. Шталин, В. Ф. Гордеев, С. Ю. Малышков, В. И. Поливач, Ю. П. Малышков // Датчики и системы. – 2012. – №4. – С. 32-37

18. Малышков, Ю. П., Гордеев, В. Ф., Малышков, С. Ю. Регистратор импульсных электромагнитных полей для геофизической разведки // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Международ. науч. конгр. : Международ. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология» (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГГА, 2016. – Т. 2. – С. 68-72.

19. Гордеев В. Ф., Малышков С. Ю., Крутиков В. А., Поливач В. И., Кабанов М. М., Капустин С. Н., Шталин С. Г., Пустовалов К. Н. Развитие пассивной радиоволновой информационно-измерительной технологии мониторинга динамических процессов взаимодействия литосферы, криосферы и атмосферы / В. Ф. Гордеев, С. Ю. Малышков, В. А. Крутиков, В. И. Поливач, М. М. Кабанов, С. Н. Капустин, С. Г. Шталин, К. Н. Пустовалов // Оптика атмосферы и океана. – 2022. – Т. 35. – № 02. – С. 105–109. DOI: 10.15372/AOO20220204.

20. Malyshkov Yu.P., Malyshkov S.Yu., Gordeev V.F., Shtalin S.G., Polivach V.I., Krutikov V.A. and Zaderigolova M.M. Earth's Natural Electromagnetic Noises in a Very-Low Frequency Band// Electromagnetic Fields: principles, engineering applications and biophysical effects/ editors: Myung-Hee Kwang and Sang-Ook Yoon. – New York : Nova Science Publishers, 2013. – P. 1-87.

© С. Ю. Малышков, В. И. Поливач, В. Ф. Гордеев, 2022