

## Технология мониторинга оползневых склонов по параметрам естественного импульсного электромагнитного поля Земли

*В. Ф. Гордеев<sup>1\*</sup>, С. Ю. Малышков<sup>1</sup>, В.И. Поливач<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск,  
Российская Федерация  
\* e-mail: gordeev@imces.ru

**Аннотация.** Проявление геодинамических процессов, таких как оползни, сели, связанные с развитием напряженно-деформированного состояния горных пород на опасных участках хозяйственной деятельности человечества. Становится понятна актуальность разработок принципиально новых методов, основанных на природных явлениях ранее не применявшихся. Таким методом может быть технология, использующая явление естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) в диапазоне очень низких частот. Представлен принцип работы автоматизированной системы контроля горных пород (АКС-ГП), основанный на пространственно-временных вариациях интенсивности импульсного потока ЕИЭМПЗ. В работе приведены фактические результаты смещения аномальных зон напряженно-деформированного состояния горных пород на оползневом склоне, по которому проходит магистральный газопровод. Показано, что практическое использование в течение 15 лет автоматизированной системы оценки напряженно-деформированного состояния горных пород на объектах ПАО «Газпром» доказало эффективность, надежность и достоверность тестирования оползневых процессов.

**Ключевые слова:** технология, мониторинг, оползни, геодинамика, естественное импульсное электромагнитное поле Земли

## Technology of monitoring landslide by the parameters of the natural pulse electromagnetic field of the earth

*V. F. Gordeev<sup>1\*</sup>, S. Yu. Malyshkov<sup>1</sup>, V. I. Polivach<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation  
\* e-mail: gordeev@imces.ru

**Abstract.** Recently there is a growing concern about frequency, magnitude and resulting damages of geodynamic processes manifestations, including landslides, mudslides, thermocraters. Those could be caused both by global warming and by increasing human economic interference in northern latitudes. There is a growing demand for the development of new technologies, based on the natural phenomena never applied before. Earth's natural pulsed electromagnetic field in a very low frequency bandwidth could be that phenomena providing a crucial information. The paper provides a brief description of hardware developed and a detailed workflow of the technology, allowing to study processes in global scale, including Earth's inner structure research and at the same time allowing to forecast smaller scale exogenic processes. The work presents actual results of anticipatory forecasting of geodynamic processes on a landslide slope bearing a main gas pipeline. Practical use of the automated system for the estimation of stress-strain state of the rocks on the Gazprom facilities proves its efficiency, reliability and accuracy for over 15 years.

**Keywords:** technology, monitoring, landslides, geodynamics, Earth's natural pulsed electromagnetic field, ENPEMF

## *Введение*

Активное исследование параметров естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ), послужила гипотеза профессора Томского политехнического института (сейчас ТПУ) А.А. Воробьева, высказанная в конце 60-х годов прошлого столетия как «гроза в Земле» [1-2]. Идея заключалась в том, что в эпицентре землетрясения, за счет механоэлектрических преобразований, возникают электрические поля, которые могут прямым лучом или по волноводу выходить на поверхность Земли и служить предвестниками готовящихся геодинамических проявлений. Первые теоретические и полевые работы не подтвердили гипотезу, однако, они послужили исследованиям литосферной составляющей импульсных электромагнитных полей. Именно в Томской научной школе были получены первые результаты, показывающие связь процессов в земной коре с ЕИЭМПЗ [3-5].

Лабораторные и натурные исследования показали, что не проводящие горные породы обладают способностью к механоэлектрическим преобразованиям, в том числе, за счет заряжения и колебания дефектов и слоевых структур, как на стадии деформации, так и при микро- и макроразрушениях, особенно в момент нарушения целостности материала за счет разрядных механизмов [6-7]. При лабораторных исследованиях были обнаружены или предложены различные механизмы возникновения электромагнитной эмиссии (ЭМЭ) при механическом воздействии на не металлические материалы. В результате этих исследований были созданы научные основы неразрушающего метода контроля механической прочности по параметрам ЭМЭ [8-9]. В полевых условиях были определены только суточные и сезонные изменения параметров ЕИЭМПЗ [10-11]. Из анализа этих закономерностей не был ясен механизм воздействия на оболочку Земли, который можно было бы связать с механоэлектрическими преобразованиями в литосфере. Ни вариации приливных сил, оказывающих наиболее сильные деформационные воздействия на кору Земли, ни другие известные внешние поля не совпадают с суточными и сезонными изменениями параметров ЕИЭМПЗ. Необходимы были фундаментальные исследования с целью определения модели модуляции ЕИЭМПЗ, а также необходимо было создать аппаратуру и технологии мониторинга геодинамических процессов по параметрам электромагнитных полей в литосфере.

В 2009 году [12-13] была предложена оригинальная идея о воздействии внутреннего ядра Земли на литосферу изнутри (деформационными волнами, [14]), объясняющая основные закономерности типичных суточных и сезонных вариаций ЕИЭМПЗ за счет трассы прохождения внутреннего ядра Земли в течение суток и сезона. Статистическая обработка массива данных за 20 лет позволила создать усредненные и сглаженные суточные вариации интенсивности ЕИЭМПЗ для каждой декады месяцев года в различных регионах Северного полушария [12].

Позже были поставлены натурные эксперименты по оценке доли литосферной составляющей в структуре ЕИЭМПЗ, когда в качестве поглощающего экрана

от атмосферных источников использовались природные водоемы с различным уровнем минерализации воды. Для экранирования от атмосферного электричества регистраторы в герметичных радиопрозрачных контейнерах погружались на различные глубины в озерах с различной удельной проводимостью воды. Сравнивались данные атмосферной и литосферной составляющей ЕИЭМПЗ, зарегистрированные на суше, и данные с ослабленной электрическим экраном атмосферной составляющей. Экспериментальные данные подтвердили наличие существенной доли литосферной составляющей электромагнитного поля ОНЧ диапазона в структуре ЕИЭМПЗ [15].

### *Методы и материалы*

В ИМКЭС СО РАН продолжают начатые в ТПУ работы по созданию технологий опережающего прогноза опасных геодинамических проявлений и новых методов геофизической разведки по параметрам ЕИЭМПЗ. Создан ряд многоканальных геофизических регистраторов (МГР-01) для решения различных инженерных задач. Регистратор МГР-01 сертифицирован, как средство измерений [16-17]. Поскольку в земной коре существует сложное пространственно-временное поле механических напряжений, то для приема сигналов от максимально возможного числа природных источников импульсов в приборе используются несколько приемников поля. В базовом варианте МГР-01 содержит 2 канала измерения магнитной составляющей ЕИЭМПЗ. В зависимости от решаемых задач регистратор может быть оснащен дополнительным каналом GSM-модемом. Модем предназначен для передачи данных на сервер по GPRS каналу.

Антенны для приема магнитной составляющей ЕИЭМПЗ в направлении север-юг и в направлении запад-восток представляли собой магнитные ферритовые антенны, принимающие сигнал в диапазоне очень низких частот (3,0 – 30,0 кГц). Взаимно ортогональное расположение этих антенн позволяло получить диаграмму направленности системы, близкую к круговой. В аппаратуре предусмотрена возможность программного изменения настроек усилительных трактов, уровня срабатывания (компаратором) и частоты регистрации с дискретизацией в 2,5 кГц, в том числе через удаленное соединение. Это позволяло быстро менять алгоритмы сбора и предварительной обработки данных.

Для исследования параметров ЕИЭМПЗ регистратор устанавливался в режим непрерывного мониторинга, либо в режим полевых измерений для поиска структурных и литологических неоднородностей земной коры. В режиме непрерывного мониторинга данные накапливались в энергонезависимой флеш-памяти регистратора, и при наличии сети сотовой связи по заранее заданному расписанию передавались на HTTP-сервер для хранения и обработки.

Все регистраторы, выполнены с использованием микроконтроллеров, а сервисные программы выполнены на языке высокого уровня.

**Картирование опасных геодинамических процессов.** Перед началом работ все имеющиеся регистраторы устанавливались в одном месте с идентичной ориентацией приемных антенн. В дальнейшем, с использованием коэффициента усилительных трактов, амплитудных компараторов и полосовых фильтров вто-

рого порядка, производили амплитудную и частотную селекцию сигналов РСДН-20 и других техногенных помех с целью их подавления. Все регистраторы программно устанавливали в режим непрерывного мониторинга, где обязательным условием являлось совпадение интенсивности импульсного потока ЕИЭМПЗ и формы суточных ходов для данного времени года в Северном полушарии.

В результате исследований и их анализа предложен алгоритм выделения пространственных аномалий ЕИЭМПЗ, связанных со свойствами грунтов в месте регистрации, с применением (реперных) вариационных регистраторов поля. Одним из маршрутных регистраторов выполнялись измерения параметров ЕИЭМПЗ по заданным профилям в пределах исследуемой территории. Второй регистратор по результатам анализа фондовых материалов и геоморфологическим исследованиям устанавливался стационарно в месте, не затронутом опасными геологическими процессами, на расстоянии не более длины волны от объекта исследований (10-100км). Информативным признаком аномальных зон с точки зрения динамики напряженно-деформированного состояния (НДС) горных пород использовали коэффициенты, которые рассчитывались по формулам:

$$K = \frac{N_m}{N_r} - 1, \text{ если } N_m \geq N_r ;$$

$$K = -\frac{N_r}{N_m} + 1, \text{ если } N_m \leq N_r ,$$

где  $K$  – коэффициент отражающий свойства горных пород в месте регистрации;

$N_r$  – интенсивность ЕИЭМПЗ зарегистрированная вариационным регистратором;

$N_m$  – интенсивность ЕИЭМПЗ, зарегистрированная маршрутным регистратором.

Такой способ обработки позволял получать положительные и отрицательные аномалии в структуре ЕИЭМПЗ с одинаковым коэффициентом пропорциональности [18]. Из-за невозможности добиться полной идентичности усилительных трактов маршрутного и вариационного регистраторов в итоговых результатах появляется погрешность. Для ее минимизации предложено при проведении исследований в начале и в конце работ проводить измерение маршрутными регистраторами в точке установки вариационного регистратора [19-20]. Далее с помощью разработанной программы рассчитывали поправочные коэффициенты, связанные с отличием в настройках регистраторов для каждого пикета.

**Мониторинг параметров ЕИЭМПЗ в реальном масштабе времени.** Мы уже отмечали, что метод ЕИЭМПЗ основан на сигналах электромагнитной эмиссии, которые зависят от свойств излучающего материала и воздействий на него. Поэтому предложенный метод может быть применим не только для картирования неоднородностей в земной коре, но и для мониторинга геодинамики лито-

сферы различных масштабов [21]. В настоящее время наибольшее применение в промышленности получила система мониторинга НДС грунтов и прогноза экзогенных процессов [19].

**Описание объекта исследования.** В режиме мониторинга экзогенных процессов для объединения данных измерений и обеспечения распределенного доступа пользователей к результатам и анализу в 2010 году была спроектирована и реализована автоматизированная система контроля геодинамических процессов (АСК-ГП) на правобережном оползневом склоне участка подводного перехода трасс магистрального газопровода (МГ) через р. Кама. Размер склона составляет 700×700 метров, по которому проходит трасса МГ «Уренгой-Помары-Ужгород» из 9 трубопроводов (рис. 1). Начиная от береговой линии, условно показаны направления трасс МГ, расстояние между трубами составляет примерно 50 метров.

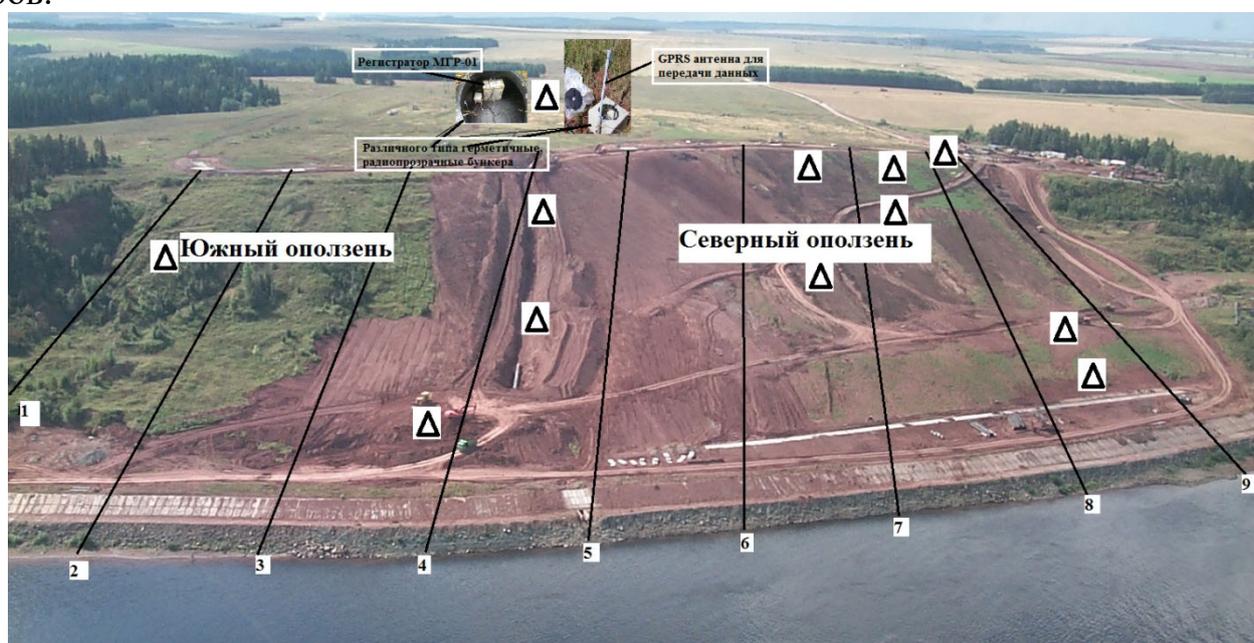


Рис. 1. Вид местности и схема расположения постов системы АСК-ГП в районе выполнения исследований оползневых процессов

По результатам геоморфологических исследований в 2006 году было установлено, что на склоне имеются два оползня (Северный и Южный), граница проходит с Востока на Запад от береговой линии в районе монтажных работ по укладке трубы (рис. 1). Выявленные нами зоны повышенной активности оползневых процессов по параметрам ЕИЭМПЗ в пространственно-временных вариациях достаточно хорошо совпали с данными геоморфологических исследований.

При проектировании и строительстве магистрального газопровода был сглажен участок Северного оползня, но не до основания. Становится понятным, почему на указанном участке чаще всего проявляются аномалии в пространственно-временных вариациях ЕИЭМПЗ, начиная с момента постоянного мониторинга системы АСК-ГП. По видимому, искусственно нарушив природный слой Северного оползня, изменили естественное напряженно-деформированное

состояние горных пород, что привело к увеличению геодинамики района. Аномалия геодинамики может быть связана с периодическими проявлениями грунта сезонного и гидрогеологического характера.

В 2006 году были выполнены комплексные исследования НДС горных пород на оползневом склоне, с целью определения мест для размещения аппаратуры системы АСК-ГП при постоянном мониторинге различных физических полей (радиоволновые, эманация радона, уровень и минерализация грунтовых вод, линейная деформация и др.). Были определены на оползневом склоне места расположения герметичных, радиопрозрачных бункеров с регистраторов МГР-01 автоматизированной системы (АСК-ГП) (рис. 1.).

Между трубами, для уменьшения помех от анодной защиты, были расположены регистраторы «МГР», входящие в состав АСК-ГП. Основной принцип автоматизированной системы заложен в непрерывной регистрации естественного импульсного электромагнитного поля Земли и использовании оригинальной статистической обработки полученных результатов с целью определения НДС горных пород.

Система состояла из 12 постов наблюдения (бункеров с регистраторами типа «МГР»), местоположение 10-ти из которых определены по результатам картирования аномальных зон комплексными исследованиями (геоморфологическими и методом ЕИЭМПЗ), как места с возможным проявлением оползневых процессов в районе Северного оползня. Так как в 2006 году результаты пространственных вариаций интенсивности ЕИЭМПЗ не выявили аномальных зон оползнеопасных проявлений на Южном участке склона, то решено было установить лишь один контрольный бункер между 1-й и 2-й нитками магистрального газопровода. Двенадцатый пост (Треп) был установлен на прямолинейном участке, который не подвержен геодинамическим процессам. Этот пост являлся реперным (вариационным), относительно которого определялись участки на склоне с возможностью оползнеопасных проявлений (рис.1).

Результаты мониторинга отражались через интернет на специальном сервере, доступном соответствующим службам Ижевского ЛЭС, в реальном режиме времени. Далее производилось сравнение и анализ одноименных параметров ЕИЭМПЗ различных областей оползневого участка, с целью оценки активизации опасных геодинамических процессов для возможности принятия упреждающих инженерных решений, предотвращающих аварийную ситуацию. [19-21].

### ***Результаты***

Начиная с 2015 года, наблюдалось смещение аномальных зон в пространственно-временных вариациях интенсивности импульсного потока ЕИЭМПЗ в сторону Южного оползня в виде напряжений растяжения и сжатия.

В 2015 году (рис. 2а) площадные измерения НДС головной части Северного оползня показали значительные напряжения растяжения, на Южном оползне появились в головной части напряжения растяжения, а у береговой линии – зона сжатия. К 2020 году (рис. 2б) картирование аномальных зон Северного оползня показало практически отсутствие каких либо напряжений в литосфере, а вот на

Южном оползне появились аномалии, как в районе головной части, так и у береговой линии.

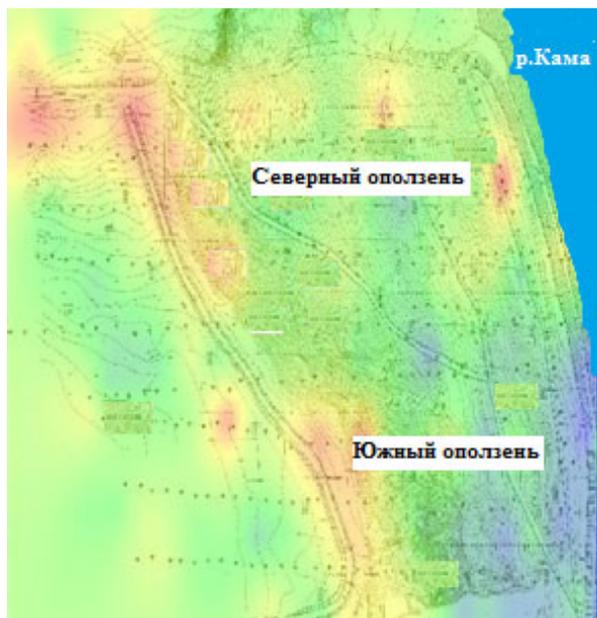


Рис. 2а. Результаты площадных измерений напряженно-деформированного состояния оползневого склона методом ЕИЭМПЗ (2015 г.)

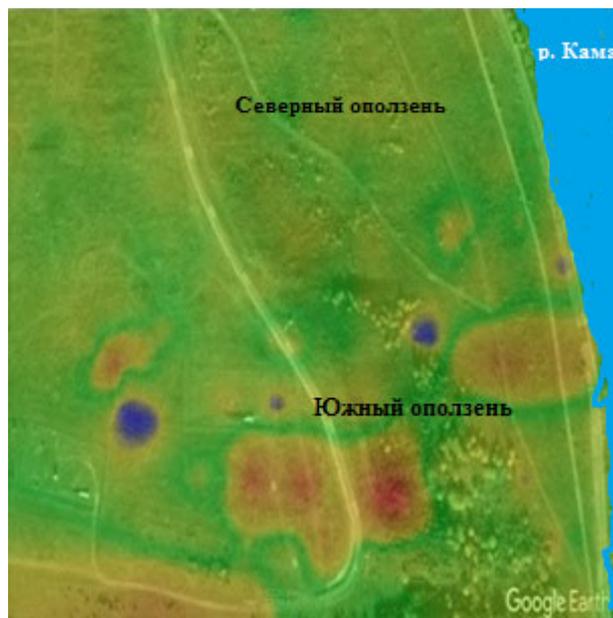


Рис. 2б. Результаты площадных измерений напряженно-деформированного состояния оползневого склона методом ЕИЭМПЗ (2020 г.)

Анализируя активность оползневых процессов по результатам геоморфологических наблюдений и площадных измерений НДС оползневого склона методом ЕИЭМПЗ, можно отметить, что наибольшие аномалии наблюдаются на маршруте между 1-й и 2-й нитками МГ в районе головной части Южного оползня – это начало крутого склона. Несколько меньшие аномалии наблюдались по маршрутам между 2-й и 3-й нитками трубопроводов в 200 метрах от береговой линии.

В 2017 г. наблюдалась просадка каменного глыбового банкета от нижней бетонной автодороги (абс. отм. 69,0-70,0 м) на 0,3-0,7 м и частичное разрушение её полотна. Деформация полотна автодороги происходила за счёт эрозионного размыва русловым потоком р. Кама каменной наброски (банкета). Ширина банкета в настоящее время не превышает 3-5 м, а крутизна к урезу воды составляет 40-45°. Ширина каменного банкета в 2003 г составляла в среднем 10-15 м и к настоящему времени сократилась в 2-3 раза. Полное уничтожение каменного банкета рекой приведёт к активизации оползневых процессов, как в нижней части берегового склона, так и в пределах всего правобережного оползневого склона. Это угрожает безопасности эксплуатации всей газотранспортной системе МГ - с 1 по 9 нитки.

В связи с активизацией головной части Южного оползня целесообразно оборудовать дополнительно два пункта наблюдения (бункера) с аппаратурой постоянного радиоволнового мониторинга НДС грунтов между второй, третьей и четвертой нитками газопровода. Для надежности контроля развития оползневых процессов необходимо также установить еще два бункера в южной части склона у береговой линии, где наблюдается зона сжатия между первой и второй, второй и третьей нитками газопровода.

Результаты инженерно-геологической и трещинно-морфологической съемок оползней и прилегающих склонов с выделением оползневых трещин растяжения, растяжения и сдвига, спущенных ступеней трещин растяжения и сдвига, трещин сжатия и валов выдавливания хорошо совпадают с результатами картирования аномальных зон ЕИЭМПЗ, свидетельствующих о возможном развитии оползневых процессов.

### ***Заключение***

1. Экспериментально установлено, что смещение аномальной зоны с повышенной НДС горных пород можно определить, используя технологию мониторинга объекта по параметрам естественного импульсного электромагнитного поля Земли в ОНЧ диапазоне.

2. В случае активизации оползней целесообразно устанавливать дополнительные пункты наблюдения в системе АСК-ГП с аппаратурой постоянного радиоволнового мониторинга НДС грунтов или перегруппировывать имеющуюся аппаратуру в зависимости от развития контролируемого оползневого процесса.

3. В конкретно приведенном случае развития головной части южного оползня целесообразно оборудовать дополнительно два пункта наблюдения в систему АСК-ГП с аппаратурой постоянного радиоволнового мониторинга НДС грунтов между второй, третьей и третьей, четвертой нитками газопровода. Необходимо также установить два дополнительных бункера в южной части склона у береговой линии, где наблюдается зона сжатия между первой, второй и второй, третьей нитками газопровода.

### ***Благодарности***

Авторы статьи искренне благодарны гл. геологу ООО «ГЕОТЭК» (г. Москва) Горбатову В.И. за полученные результаты и обсуждения инженерно-геологических и трещинно-морфологических исследований оползней.

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

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Воробьев, А. А. О возможности электрических разрядов в недрах Земли // Геология и геофизика. – 1970. – № 12. – С. 3–13.
2. Воробьев, А. А. Тектоноэлектрические явления и возникновение естественного импульсного электромагнитного поля Земли. – Томск : ЕИЭМПЗ, 1979. – 585 с. – Рукопись представлена Томским политехническим институтом. Деп. в ВИНТИ.

3. 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
4. Мастов, 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.
5. Изучение прогрессирующего разрушения при развитии оползневого процесса методом регистрации электромагнитных сигналов / Ш.Р. Мастов, Р.М. Гольд, В.Н. Саломатин, Л.В. Яворович // Инженерная геология. – 1984, № 1. – С. 68-71.
6. 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.
7. Мартышев, Ю.Н. Исследование свечения и электризации кристаллов LiF при их деформации // Кристаллография. – 1965. – Т. 10. – Вып. 2. – С. 224-226
8. Закономерности генерирования электромагнитного сигнала твердыми телами при механическом воздействии / Ю. П.Малышков, В. Ф. Гордеев, В. П. Дмитриев, В. А. Смирнов, Т. В. Фурса, В. И. Ульченко // Журнал технической физики. – 1984, – Т. 54. – Вып. 2. – С. 336-341.
9. Аппаратура для контроля качества неметаллических материалов и изделий по характеристикам электромагнитной эмиссии / В. Ф. Гордеев, В. П. Елисеев, Ю. П. Малышков, В. Л. Чахлов, М. Кренинг // Дефектоскопия. – 1994. – № 4. – С. 48-54.
10. 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.
11. 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.
12. Малышков, Ю. П., Малышков, С. Ю. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра земли. // Геология и геофизика. – 2009. – №2. – С. 152-172.
13. Малышков, Ю. П., Гордеев, В. Ф., Малышков, С. Ю. Регистратор импульсных электромагнитных полей для геофизической разведки // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. 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.
14. Добровольский, И. П. Теория подготовки тектонического землетрясения. – М. : ИФЗ АН СССР, 1991. – 219 с.
15. 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.
16. 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.
17. Разработка и реализация программного обеспечения для визуализации и анализа данных геофизических регистраторов / В. Ф. Гордеев, С. Ю. Малышков, И. А. Ботыгин, В. С. Шерстнёв, А. И. Шерстнёва // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы : тезисы докладов XXIII Междунар. симпозиума. – Иркутск, 2017. – С. D514–D518.
18. 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.

19. 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). – P. 43-128. Nova Science Publishers, ISBN: 978-1-63482-500-9.

20. 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

21. Малышков, С. Ю., Гордеев, В. Ф., Поливач, В. И. Картирование изменений напряженно-деформированного состояния оползневого склона методом естественного импульсного электромагнитного поля Земли // Избранные труды Международной конференции «ENVIROMIS-2020», 16 июля 2020 г. – Томск : Издательство Томского ЦНТИ, 2020. – С. 287-289.

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