

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.228.02, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КРАСНОЯРСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 04.03.2022 г. № 1
о присуждении Крошке Елене Сергеевне,
гражданке Российской Федерации,
ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Широкополосная диэлектрическая спектроскопия почв и пористых горных пород» по специальности 1.3.4. Радиофизика принята к защите 17.12.2021 г. (протокол заседания № 8) диссертационным советом 24.1.228.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН), 660036, Красноярск, Академгородок, д. 50, приказ Минобрнауки № 1514/НК от 25.11.2016 г.

Соискатель Крошка Елена Сергеевна, «29» декабря 1990 года рождения, в 2018 г. окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского», выдавшее диплом об окончании аспирантуры.

Работает научным сотрудником в научно-исследовательской лаборатории диэлькометрии и петрофизики Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Омский государственный педагогический университет» (ФГБОУ ВО «ОмГПУ»).

Диссертация выполнена в научно-исследовательской лаборатории диэлькометрии и петрофизики Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Омский государственный педагогический университет».

Научный руководитель – *Бобров Павел Петрович*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской лабораторией диэлькометрии и петрофизики ФГБОУ ВО «ОмГПУ».

Официальные оппоненты: *Бордонский Георгий Степанович*, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник с возложением обязанностей заведующего лабораторией геофизики криогенеза, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения науки Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук; *Кочеткова Татьяна Дмитриевна*, кандидат физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» – дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Фрязинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской Академии Наук, в своем положительном отзыве, подписанном кандидатом физико-математических наук, в.н.с., и.о. зав. лаб. ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, зам. председателя научно-квалификационного семинара «Дистанционное зондирование земных покровов и атмосферы» и «Статистическая радиофизика» ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН Саворским Виктором Петровичем, указала, что новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для научного направления «Разработка научных основ и принципов активной и пассивной дистанционной диагностики окружающей среды, основанных на современных методах решения обратных задач», а также полученные данные могут быть использованы при дистанционном космическом зондировании Земли на частотах от 1,4 ГГц до 10,65 ГГц по программам SMOS, SMAP, Sentinel-1и GCOM-1W; в подповерхностной радиолокации, диэлектрическом каротаже и исследовании свойств пород диэлектрическим методом, при расчете распространения радиоволн в земной атмосфере.

Соискатель имеет 26 опубликованных работ, в том числе 9 работ по теме диссертации опубликовано в рецензируемых научных изданиях. Сведения об опубликованных соискателем работах, вида, авторского вклада и объема научных изданий, указанные в диссертационной работе, являются достоверными. Наиболее значимые работы:

- 1) Bobrov, P. P. Modeling of Dielectric Relaxation Processes in Moist Sand Rocks / P. P. Bobrov, V. N. Krasnoukhova, E. S. Kroshka, A. S. Lapina // Russian Physics Journal. – 2017. – V.60, № 4. – P. 711–716. 2) Bobrov, P. P. Soil moisture measurement by the dielectric method / P. P. Bobrov, T. A. Belyaeva, E. S. Kroshka, O. V. Rodionova // Eurasian Soil Science. – 2019. – V. 52, № 7. – P. 822-833. 3) Bobrov, P. P. Combined dielectric model of sandy soils in

the frequency range from 10 kHz to 8 GHz / P. P. Bobrov, T. A. Belyaeva, E. S. Kroshka // Journal of Applied Geophysics. – 2018. – V. 159. – P. 616–620. 4) Бобров, П.П. Диэлектрическая спектроскопия слабозасоленных песков / П.П. Бобров, Т.А. Беляева, Е.С. Крошка, О. В. Родионова // Геология и геофизика. – 2021. DOI: 10.15372/GiG2021107. 5) Бобров, П. П. Связь низкочастотной диэлектрической проницаемости с проводимостью слабозасоленных образцов песка / П. П. Бобров, Т. А. Беляева, Е. С. Крошка, О. В. Родионова // Техника радиосвязи. Омский научно-исследовательский институт приборостроения. Омск. – 2020. – Выпуск 3 (46). – С. 85-94. 6) Repin, A.V. Modeling of Dielectric Relaxation in Clays at Negative and Positive Temperatures / A.V. Repin, O.V. Rodionova, E. S. Kroshka, // Russian Physics Journal. – 2021. – V. 64. № 1. – P. 67–73. 7) Бобров, П. П. О параметрах диэлектрической модели почв, используемой в алгоритме SMOS / П. П. Бобров, Т. А. Беляева, Е. С. Крошка, О. В. Родионова / Техника радиосвязи. Омск. – 2021. – Выпуск 1 (48). – С. 85–94.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы (все положительные):

Ведущая организация (ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН). Отзыв положительный. Отмечается, что диссертация является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему. Выполненный автором большой объем широкополосных измерений комплексной диэлектрической проницаемости песков, порошков кварцевых гранул, пород нефтеносных скважин, песчано-глинистых смесей и некоторых сельскохозяйственных почв и основные результаты исследований, расчетов и моделирования процессов релаксации комплексной диэлектрической проницаемости могут быть использованы в различных научно-исследовательских организациях. Замечания: 1) В работе исследован более широкий класс объектов, чем заявлено в названии и сформулировано в цели работы, а именно, исследованы не в узком смысле почвы (верхние плодородные слои земли), но более широкий класс объектов, а именно грунты (см. ГОСТ 25100-2011), поэтому при представлении работы имеет смысл указывать на то, что под термином «почва» в работе подразумеваются грунты. 2) Диссертационная работа отмечается значительным объемом экспериментальных исследований по исследованию большого ряда образцов почв в широком диапазоне частот от 10 кГц до 8–18 ГГц, при этом ее значимость могла быть существенно увеличена включением в экспериментальные работы также исследований температурных зависимостей интенсивностей релаксации. 3) В работе используется модель релаксации, базирующаяся на трех релаксационных процессах, которые так и обозначаются: «первый релаксационный процесс», «второй релаксационный процесс», «третий релаксационный процесс». С точки зрения описания физических процессов имеет смысл не только перенумеровать эти процессы, но также и связать их со

структурными особенностями компонентов почв или особенностями взаимодействия этих компонентов между собой, т.е. по крайней мере, кратко указать на то, с какими особенностями компонентов почвы эти релаксационные процессы связаны.

Д.ф.-м.н., профессор Бордонский Георгий Степанович – официальный оппонент. Отзыв положительный. Отмечено, что работа посвящена актуальной проблеме изучения электромагнитных характеристик почв и пористых горных пород, включая искусственные сорбенты. Исследование обладает связанностью, опирается на хорошо обоснованную методику и анализ погрешностей измерений. Полученные результаты могут быть использованы при решении обратных задач аэрокосмического дистанционного зондирования почв, а также при диэлектрической спектроскопии грунтов из геологических скважин. Замечания: 1) Положения, выносимые на защиту, носят эмпирический характер и не объясняются достаточно полно с точки зрения физических процессов и особенностей структуры сред (хотя в тексте диссертации имеются такие выводы). 2) Не обсуждается вопрос (хотя бы в обзоре) о влиянии на точность измерений химических превращений в образцах в процессе измерений, а также фазовых переходов, например, с образованием кристаллогидратов при уменьшении концентрации воды в среде. То же о влиянии геометрии порового пространства, например, фрактальных характеристик или неоднородной среды, которые могут приводить к ошибкам из-за проявления пространственной дисперсии. 3) Интересно было бы привести данные по образцам с содержанием других флюидов (например, нефти), образцы с которыми исследованы в данной работе. 4) Не исследованы температурные зависимости параметров релаксационных процессов. 5) Некоторые опечатки: на рис.5 автореферата не указана частота, на которой выполнены измерения.

К.ф.-м.н., доцент Кочеткова Татьяна Дмитриевна – официальный оппонент. Отзыв положительный. Отмечено, что в работе решена задача исследования корреляционной связи параметров диэлектрической релаксации с размерами частиц и удельной поверхностью в песчаных образцах, с содержанием глины в натуральных почвах. Полученные новые научные результаты имеют существенное значение для научных некоторых научных направлений исследований Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы). Замечания: 1) В п. 2.2.2 (с. 49) написано, что для выравнивания волнового сопротивления ограничительных диэлектрических шайб с волновым сопротивлением стандартной линии диаметр центрального проводника в коаксиальной ячейке уменьшается, а наружного увеличивается. Как видно на рисунке 2.5, в этом случае шайбы становятся зафиксированными. В описании методики измерения не указано, как при этом образец помещается в ячейку. 2) В описании методики измерения КДП консолидированных пород (п. 2.3) не указано, какие меры были

применены для учета или во избежание погрешности измерения, связанной с неплотным прилеганием поверхности образца к электродам (рисунок 2.12). На частотах от 20 Гц до 5 МГц ячейка представляет собой плоский конденсатор, и шероховатость поверхности образца между его обкладками приводит к последовательному соединению емкости воздушных зазоров, что снижает значения измеряемой емкости ячейки, а, следовательно, и диэлектрической проницаемости образца. 3) В п. 3.2.1 одной из характеристик силикагелей является доля связанной воды, которая определяется по диэлектрическим измерениям. Погрешность таких измерений не указана, а между тем доля связанной воды используется в дальнейшем как мера внутренней пористости порошков. 4) Диссертационная работа написана понятным языком в научном стиле, но обращает на себя внимание заметное количество несогласованных падежных окончаний.

Д.т.н., Романов Андрей Николаевич. Отзыв положительный. Замечаний нет.

К.т.н., Голиков Никита Александрович. Отзыв положительный. Замечания: 1) Использованный автором термин «пористые породы» не полностью отражает объект исследований, так как автор исследует только осадочные горные породы и их модели. 2) Первой задачей автора стоит «выбор метода измерения КДП пород в широком диапазоне частот», что подразумевает сопоставление разных методов измерений и обоснование выбранного метода. По крайней мере в автореферате этого нет. 3) Одним из результатов работы является установление корреляционных зависимостей интенсивности и времен релаксационных процессов от среднего размера частиц породы. Автор не сопровождал этот важный результат рисунком, что несколько снизило его восприятие.

К.ф.-м.н., Зачатейский Дмитрий Евгеньевич. Отзыв положительный. Замечания: 1) Не все введенные автором аббревиатуры расшифрованы при первом их применении. Это относится к ЯМР (см. стр. 3 автореферата), КДП (см. стр. 4). Несмотря на то, что смысл данных аббревиатур понятен специалистам, или их расшифровка неоднократно дается ниже, следует признать, что правила оформления реферата нарушены. 2) Раздел степень разработанности темы исследований не содержит фамилий авторов существующих научных публикаций, рассмотренных соискателем в качестве основы для собственных исследований. Список литературы в диссертации из 145 наименований не оставляет сомнений в том, что автору известны работы других ученых, в связи с чем, непонятно замалчивание их фамилий в автореферате. 3) В части примененного терминологического аппарата вызывают вопросы сочетания «моделирование формулами» (см. стр. 4 автореферата), «моделирование процессами» (см. стр. 5), «увеличение удельной поверхности за счет добавления глины» (стр. 17). 4) Использование в тексте автореферата фразы «мы применяли» требует дополнительного показа авторского вклада в проведенные работы, чего на

стр. 8 автореферата нет. В заголовок диссертации вынесена «широкополосная диэлектрическая спектроскопия». Автореферат несомненно украсило бы определение этого термина с указанием его отличий от узкополосной спектроскопии.

К.ф.-м.н., Лукин Юрий Иванович. Отзыв положительный. Замечания: 1) Из текста автореферата не ясно, как было идентифицировано количество релаксационных процессов в образцах. 2) На стр. 11 в тексте приведен анализ зависимостей от удельной электропроводности порового раствора и удельной электропроводности самого образца следующих параметров спектров КДП: интенсивности релаксационного процесса, времен релаксации и эмпирического параметра α . Однако на графиках приведены данные лишь интенсивности. Для лучшего понимания выводов автора следовало бы либо привести графики всех параметров, о которых идет речь в тексте, либо привести в тексте диапазон их изменения в пределах рассматриваемых значений удельной электропроводности. 3) На стр. 13 приведена следующая фраза: «Измерения показали, что релаксационные процессы в силикагеле существуют только при влажности, меньшей чем W_p ». Кажется странным, что при добавлении воды, молекулы которой являются диполями и способны поляризоваться под действием внешнего электромагнитного поля, вдруг исчезают релаксационные процессы.

К.ф.-м.н., доцент Суляев Валентин Иванович. Отзыв положительный. Замечания: 1) Во втором защищаемом положении утверждается, что возрастание КДП наблюдается при добавлении глины при увлажнении дистиллированной водой. При любом количестве воды вплоть до самых малых? 2) Уменьшение действительной и мнимой частей КДП в частотном диапазоне от 10 кГц до 8 ГГц, как указано в третьем защищаемом положении, наблюдается для любого количества гумуса? Насколько значительно уменьшение этих величин? 3) В тексте (стр. 11) «Значение α_2 существенно меньше, а при насыщении солевым раствором в большинстве случаев равны 0». Значения α_2 меньше нуля? А такое может быть? Оформление: погрешности: В защищаемом положении 2 частицы размером 118–130 мкм одновременно классифицированы как средние и крупные. В тексте «непрерывные спектры диэлектрической проницаемости в диапазоне частот от единиц килогерц до единиц гигагерц, с помощью которых открывается возможность создания *моделей почв и горных пород*» допущено неоднозначное заключение, так как в результате проведенного исследования создается релаксационная *модель диэлектрической проницаемости*, которая связана только с некоторыми обозначенными в автореферате характеристиками объектов.

Д.т.н., профессор Башкуев Юрий Буддич. Отзыв положительный. Замечания: К числу замечаний следует отнести то, что комплексная диэлектрическая проницаемость (КДП) рыхлых образцов в диапазоне частот от 10 кГц до 8–18 ГГц измерялась в коаксиальной ячейке, а КДП твердых образцов в диапазоне частот от 100 Гц до 500 МГц измерялась в

конденсаторе, включенном в разрыв центрального проводника коаксиальной линии большого сечения, то есть в лабораторных условиях. Какие результаты по КДП могут быть получены в условиях естественного залегания почв и горных пород? Возможно ли значительное различие КДП в низкочастотной области от 100 Гц до 10 МГц?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается соответствием направлений научных исследований, выполняемых оппонентами и реализуемых в ведущей организации, тематике представленной диссертационной работы, наличием публикаций и высоких достижений в соответствующей области исследований.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Проведены экспериментальные измерения комплексной диэлектрической проницаемости увлажняемых дистиллированной водой и соевым раствором образцов песков, порошков кварцевых гранул, мелкопористых силикагелей, песков с содержанием глины 5 и 10 % от массы, разрушенных образцов пород нефтеносной скважины, сельскохозяйственных почв с различным содержанием глины и гумуса в широком диапазоне частот от 10 кГц до 8–18 ГГц; твердых образцов пород нефтеносной скважины в диапазоне частот от 100 Гц до 500 МГц.

Установлены корреляционные связи параметров процессов диэлектрической релаксации с размерами частиц и удельной поверхностью в рыхлых песчаных образцах и с размерами внутренних пор силикагелей.

Установлено влияние глины и гумуса на интенсивность релаксационных процессов в сельскохозяйственных почвах. В глинистых почвах влияние релаксационных процессов в зависимости от содержания глины сказывается вплоть до частот 2–5 ГГц.

Установлено, что частотная зависимость комплексной диэлектрической проницаемости определяется ориентационной поляризацией молекул связанной и свободной воды (на высокочастотном краю диапазона) и поляризацией межфазных границ, проявляющейся на частотах ниже 100–500 МГц в песчаных образцах и ниже 2–5 ГГц в образцах с большим содержанием глины.

Установлено, что на низкочастотном краю диапазона значительный вклад в комплексную диэлектрическую проницаемость вносит поляризация двойного электрического слоя на поверхности минеральных частиц. Низкочастотная электропроводность частично осуществляется движением ионов через двойной электрический слой; его свойства влияют на общую электропроводность и диэлектрическую проницаемость образца, поэтому между параметрами двух низкочастотных релаксационных процессов и удельной электропроводностью существует тесная корреляционная связь.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что в диссертации показаны возможности исследования многочастотных релаксационных процессов во влажных пористых породах, что открывает перспективу создания и совершенствования реалистичных диэлектрических моделей почв и горных пород.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что они могут быть использованы для изучения свойств структуры порового пространства почв и горных пород, необходимых в геофизике при подсчете запасов нефти и газа, в микроволновом дистанционном зондировании для определения влажности почв. Найденные параметры процессов диэлектрической релаксации имеют корреляционную связь с размерами частиц и удельной поверхностью в песчаных образцах, с содержанием глины в натуральных почвах.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что надежность полученных данных о диэлектрической проницаемости почв и пород обеспечивается использованием сертифицированных поверенных измерительных приборов, использованием проверенной методики измерений, тщательным анализом погрешностей, совпадением в пределах расчётных погрешностей результатов измерений, полученных разными методами в перекрывающихся частотных диапазонах, совпадением части измерений с результатами, полученными другими авторами. Достоверность результатов моделирования подтверждается количественным совпадением экспериментально полученных зависимостей с модельными расчетами, высокими коэффициентами корреляции полученных параметров моделей и петрофизических характеристик образцов.

Личный вклад соискателя состоит в том, что автором самостоятельно выполнен большой объем экспериментальных измерений, основная часть расчетов и моделирования релаксационных процессов. Соискатель в составе коллектива авторов принимала непосредственное участие в работе по подготовке публикаций по теме диссертационной работы.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Крошка Елена Сергеевна ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и согласилась с замечаниями.

На заседании 04.03.2022 г. диссертационный совет сделал вывод о том, что диссертация представляет собой законченное исследование, содержит решение научной задачи, имеющей значение для разработки и развития методов в радиофизике, соответствует критериям, установленным Положением ВАК РФ о порядке присуждения ученых степеней, и принял решение присудить Крошке Елене Сергеевне ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. Радиофизика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 6 докторов наук по специальности 1.3.4 Радиофизика, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени –22, против присуждения ученой степени –нет, недействительных бюллетеней –нет.

Председатель

диссертационного совета 24.1.228.02

д.ф.-м.н., академик РАН



Шабанов В. Ф.

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.1.228.02

д.ф.-м.н., с.н.с.

Втюрин А. Н.

4 марта 2022 года