

РГБ ОД

7 0 197 2181
На правах рукописи

Ёлкин Владимир Александрович

РАДИОВОЛНОВЫЕ ПРИБОРЫ СВЧ И КВЧ ДИАПАЗОНОВ
ДЛЯ ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Специальность 05.12.21 – Радиотехнические системы
специального назначения,
включая технику СВЧ и
технология производства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук



САРАТОВ 2 000

Работа выполнена в Саратовском отделении Института радиотехники и
электроники РАН (СО ИРЭ РАН)

Научные руководители: кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник В.И. Петросян
доктор физико-математических наук В.В. Кислов

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
профессор И.Н. Салий
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник Э.И. Жалковский

Ведущая организация – Центральный научно-исследовательский институт
измерительной аппаратуры (ЦНИИИА, г. Саратов)

Защита состоится "7" июля 2000 г. в 16 часов на заседании
диссертационного совета Д 063.58.06 в Саратовском государственном
техническом университете по адресу: 410054, г. Саратов, ул. Политехническая,
77, ауд. 216а.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Саратовского госу-
дарственного технического университета.

Автореферат разослан "6" июня 2000 г.

Учёный секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук

 В.А. Сосунов

0820 с 46, 0

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертационная работа посвящена разработке принципов, приборов и методов радиоволнового зондирования состояния почв, растительных покровов, мёрзлых грунтов, снежно-фирновых образований и ледников, разработке комплекса аппаратуры и методов радиоспектроскопии для регистрации внутренних процессов в средах и объектах живой и неживой природы, диагностике состояния организма человека и животных, лабораторным и натурным испытаниям приборных комплексов и методов, проведению опытно-производственных измерений параметров природных образований, внедрению разработок.

Актуальность темы. Главным фактором, определяющим жизнедеятельность растений и, в конечном счёте, урожайность, безусловно, является баланс водной и минеральной компонент почвы. В то же время широкое применение в сельском хозяйстве механизации, мелиорации и химизации земель заключает в себе не только положительные стороны. Неконтролируемое их использование не только не позволяет оптимизировать землепользование и добиться высокой экономической эффективности сельскохозяйственного производства, но и таит в себе убытки и непрогнозируемые экологические катастрофы. Избежать этой ситуации можно путём внедрения радиоэлектронных средств оперативного и широкомасштабного контроля состояния всех звеньев в системе земледелия – “почва – вода – минерально-солевой состав – растительность – животные – человек” (Вериго С.А., Разумова Л.А., Роде А.А., Грингоф И.Г., Гридасов В.Ф., Набиев Х.Р., Хомяков В.Н.).

На сегодняшний день обстановка такова, что имеющийся научно-технический потенциал позволяет решить эту проблему.

Средства радиоэлектронного контроля состояния природной среды и системы автоматического управления качеством работ при осуществлении сельскохозяйственных технологий принципиально разработаны и некоторые из них апробированы, например, приборы дистанционного радиометрического зондирования природных образований (Арманд Н.А., Башаринов А.Е., Бородин Л.Ф., Зотова Е.А., Шутко А.М., Богородский В.В.).

Однако в настоящее время таким оборудованием и новейшими информационными технологиями сельское хозяйство не обеспечено, хотя они являются мощным резервом повышения урожая.

В засушливых районах Юго-Востока Европейской части России в условиях неустойчивого земледелия, к которым принадлежит Саратовское Поволжье, решающее значение имеет водобаланс посевных площадей.

Поэтому необходима текущая информация о влажности и солёности почв на локальных участках и больших площадях полей с естественным и искусственным увлажнением, о динамике уровней грунтовых вод, о глубине промерзания почвы за зимний период. Эти задачи решаются с помощью контактных зондовых радиоволновых влагомеров-солемеров и самолётных лабораторий для дистанционного зондирования состояния почв.

Известно, что главным фактором, обуславливающим неравномерное распределение водного и пищевого режима почв, является рельеф поля. Такие поля с неровным ландшафтом крутизной на склонах свыше одного градуса характерны не только для Саратовской области, но составляют более 60% площадей пашни в России. Поэтому при посеве на таких полях необходимо учитывать этот лимитирующий фактор урожая и в условиях сложного рельефа полей, в процессе посева сельскохозяйственных культур необходимо применять дифференцированную норму высева, для чего требуется непрерывная оперативная информация о влажности почвы. Такая постановка приводит к необходимости автоматизации посевной технологии и установке портативных бесконтактных измерительно-управляющих радиозлектронных комплексов непосредственно на посевных агрегатах.

Специфику земледелия в горных районах определяет гляциологическая обстановка горных ледников (Богородский В.В., Бентли Ч., Гудмандсен П.). Важнейшими здесь являются мощность ледников и процессы водобаланса в них. От этого зависит селевая и лавинная обстановка, а также речной водобаланс. Стратегическое прогнозирование указанных процессов зависит от полноты объективной информации состояния ледников. Эта задача решается специализированными радиотехническими зондовыми устройствами.

Не менее важной является диагностика состояния организма человека и животных. В условиях больших антропогенных нагрузок качество здоровья населения ухудшается. Существующие диагностические и терапевтические методы медицины уже не справляются с лавинообразным потоком заболеваний. Особенно это касается потенциальных заболеваний, находящихся на ранней, доклинической стадии. И не последнюю роль в жизнедеятельности организма

опять играет внутриклеточная вода, её структурное и резонансно-волновое состояние. До последнего времени не существовали приборы и методы объективного контроля за этим состоянием. В данном направлении весьма перспективно использование радиоволн ММ, или КВЧ диапазона. Применение КВЧ радиоволн в несвойственной им области медицинской диагностики стимулируется успешным и эффективным использованием ММ радиоволн в КВЧ терапии (Девятков Н.Д., Голант М. Б., Бецкий О.В.).

Актуальной также представляется задача регистрации скрытых процессов тонких молекулярных перестроек в различных средах и объектах живой и неживой природы, происходящих под влиянием внешних воздействий – электрических, магнитных, лазерных, химических, радиационных. Необходимость решения поставленной задачи диктуется обострением экологических проблем.

Цели и задачи. Анализ отечественной и зарубежной литературы, в том числе и патентной, указал на ряд существующих проблем в современном природопользовании и биомедицине. К ним можно отнести следующие.

Среди известных отсутствуют радиоволновые зондовые СВЧ приборы многофункционального действия, позволяющие работать в натуральных условиях, не прибегая к отбору проб и лабораторным измерениям. В регионах Поволжья не применялось дистанционное радиозондирование с самолётов и наземных носителей для получения оперативной информации в виде карт влажности почв, состояния растительных покровов, глубин промерзания почв и залегания грунтовых вод на больших площадях. Отсутствует также информация об аппаратуре просвечивающей резонансно-волновой КВЧ/СВЧ радиоспектроскопии, предназначенной для регистрации внутренних процессов и свойств природных образований, вызываемых внешними факторами. То же относится и к диагностическому резонансно-волновому КВЧ/СВЧ комплексу и новым медицинским технологиям с его применением.

Указанные проблемы определили цели и задачи, поставленные и решенные в диссертационной работе:

– разработка зондовых и дистанционных радиотехнических СВЧ комплексов устройств и методов для измерения влажности, солёности, состояния посевов, глубины промерзания почв, уровней залегания грунтовых вод, водообмена в ледовых и снежно-фирновых образованиях;

– разработка комплекса радиоэлектронной аппаратуры и методов резонансно-волновой просвечивающей КВЧ/СВЧ радиоспектроскопии для спектрального анализа состояния сред и диагностики объектов живой и неживой природы в экологическом и биомедицинском применении;

– развитие теоретических моделей радиоизлучения многослойных природных образований;

– проведение системного, комплексного и масштабного зондирования природных образований с применением разработанных радиотехнических комплексов в Поволжском регионе и районах горного Тянь-Шаня, внедрение результатов в практику специализированных организаций;

– проведение клинических испытаний диагностико-терапевтического КВЧ/СВЧ комплекса на кафедрах и в клиниках Саратовского государственного медицинского университета и внедрение в клиническую практику.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Научные принципы, функциональные схемы и комплексы радиотехнических устройств – зондовых влагомеров, влагомеров-солемеров для измерения влажности, солёности и их профилей в почвах, глубины промерзания почв и уровня залегания грунтовых вод, зондовых влагомеров просвечивающего и отражательного типов для измерения влажности снежно-фирновых образований и ледников, дистанционного влагомера-рефлектометра ближнего действия для оперативной влагометрии в составе посевного агрегата.

2. Результаты опытного контактного и дистанционного зондирования радиометрическими комплексами радиационных параметров, диэлектрической проницаемости, влажности, солёности и их профилей в почвах, глубины промерзания почв и уровня залегания грунтовых вод в условиях Поволжья и влажности снежно-фирновых образований и ледников в динамике влагопереноса в горных районах Тянь-Шаня.

3. Научная концепция просвечивающей резонансно-волновой КВЧ/СВЧ радиоспектроскопии, радиофизические основы построения комплекса резонансно-волнового КВЧ/СВЧ радиоспектрометра.

4. Результаты практического использования радиоспектрометрического комплекса: эффект резонансной прозрачности водных и биологических сред в ММ диапазоне, характеристические резонансные спектры пропускания различных веществ, эффекты воздействия на резонансные спектры воды и биологи-

ческие ткани внешних магнитных полей, температуры, лекарственных препаратов, диагностика заблуждений и контроль за динамикой лечения.

Научная новизна. В диссертационной работе получены следующие существенные новые результаты:

1. Разработаны научные основы проектирования на принципах радиопросвечивания и отражения радиосигналов, впервые изготовлены и апробированы портативные комплексы радиотехнической аппаратуры для контактного инвазивного зондирования природных образований – почв, мёрзлых грунтов, снежно-фирновых образований и ледников.

2. Впервые в регионе Поволжья созданы самолётные лаборатории, оснащённые радиометрическими комплексами с рабочими длинами волн 2,25, 18, 30, 75 см для послонного дистанционного зондирования природных образований – почвы, растительных покровов, мёрзлых грунтов, грунтовых вод. Проведены испытания и впервые на обширных районах Поволжья составлены карты распределения влажности почв, состояния растительных покровов, глубин промерзания почв, уровней залегания грунтовых вод и утечек из оросительных систем, необходимые для сельскохозяйственных технологий.

3. Впервые разработан, изготовлен и апробирован комплекс дистанционного влагомера близкого действия для использования в автоматизированных посевных агрегатах. Показана его эффективность в период посевных работ.

4. Впервые разработаны и изготовлены аппликаторные антенны в качестве сенсоров приёма собственных и стимулированных внешними воздействиями СВЧ излучений природных объектов для радиотехнических комплексов КВЧ/СВЧ радиоспектроскопии. Исследованы их радиотехнические характеристики в контактирующих материальных средах.

5. Впервые разработана концепция просвечивающей в ММ диапазоне длин волн радиоспектроскопии, создан комплекс КВЧ/СВЧ радиоспектрометра и предложен принципиально новый метод радиоспектроскопии, основанной, в отличие от известных абсорбционных типов радиоспектроскопии, на принципах резонансной прозрачности природных объектов в КВЧ диапазоне.

6. Впервые с помощью разработанного комплекса КВЧ/СВЧ радиоспектрометра обнаружен ряд фундаментальных эффектов: частоты резонансной прозрачности водных и биологических сред в ММ диапазоне, расщепление резонансных линий воды в магнитном поле (аналог эффекта Зеемана), низкоин-

тенсивная генерация шумовых СВЧ сигналов водой и биотканями в магнитных полях, влияние лекарственных препаратов (наркотиков и стимуляторов) на резонансные спектры водной среды и биотканей, резонансные спектры биотканей в норме и патологии. Впервые разработаны принципы и методы резонансно-волновой КВЧ/СВЧ диагностики, чувствительной к ранним, доклиническим фазам заболеваний.

Практическая значимость. Диссертационная работа выполнялась в соответствии с планами НИР СО ИРЭ РАН и по договорам с заинтересованными организациями: Институтом сельского хозяйства Юго-Востока, Саратовским сельскохозяйственным институтом, Волжским отделением Всесоюзного НИИ гидротехники и мелиорации, Всесоюзным НИИ гидротехники и мелиорации, Ставропольским отделением Всесоюзного НИИ гидротехники и мелиорации, Волгоградским облводхозом, Астраханской гидрогеологомелиоративной партией, Элистинской гидрогеологомелиоративной партией, Институтом географии Казахской АН ССР, Сельскохозяйственной Академией ГДР. Работы проводились на землях Саратовской, Волгоградской, Астраханской областей, Ставропольского края, Капмыцкой АССР, Казахской ССР и в ГДР на протяжении 8 лет. Полученная информация о состоянии земных покровов в результате опытно-производственных работ в процессе внедрения разработанных аппаратурных СВЧ комплексов и методов радиозондирования использована вышеуказанными организациями для планирования и управления сельскохозяйственными технологиями.

В направлении биомедицинского применения разработанный диагностико-терапевтический комплекс, работающий на принципах радиоволнового резонанса, внедрён в медицинскую практику на кафедрах и клиниках Саратовского государственного медицинского университета. Его использование в течение последних 5 лет позволило успешно пролечить более 1000 пациентов, включая детей, страдающих различными заболеваниями.

Практическая значимость материалов диссертации подтверждена Актами внедрения. Результаты работы отмечены на Всесоюзных и Российской выставках и конкурсе научных программ.

Медали и дипломы

Награждён бронзовой медалью "LAUREAT VBL" Ёлкин В.А. удостоверение № 413, Постановление от 14 января 1993г. № 14-н, Москва.

Награждён серебряной медалью ВДНХ СССР Ёлкин В.А. удостоверение №25822, Постановление от 19.09-89 г. №580-Н, Москва.

Награждён серебряной медалью ВДНХ СССР Ёлкин В.А. удостоверение №37536, Постановление от 14.12-89 г. №931-Н, Москва.

Награждён дипломом II степени ВДНХ СССР в разделе Выставки "Учёные Поволжья народному хозяйству-89" Ёлкин В.А. за разработку "Самолётная лаборатория дистанционного зондирования почвогрунтов".

Награждён дипломом II степени ВДНХ СССР в разделе Выставки "Учёные Поволжья народному хозяйству-89" Ёлкин В.А. за разработку "Автономный радиомаяк с преобразованием частоты зондирующего сигнала для спектрального радиопросвечивания".

Награждён дипломом Президиума центрального правления научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова за успешное выполнение этапов Программы О.Ц.026. "Исследование СВЧ излучательных характеристик почвогрунтов и растительных покровов", февраль 1986 г.

Личный вклад автора. Руководство, постановка задач, разработка принципов и комплексов аппаратуры для контактного и дистанционного зондирования природных образований. Непосредственное участие в лабораторных и натурных испытаниях разработанных аппаратных комплексов. Внедрение разработанной аппаратуры в опытно-производственную эксплуатацию в организациях аграрно-мелиоративного комплекса. Участие в разработке КВЧ/СВЧ радиоспектрометра для просвечивающей радиоспектроскопии, его испытаниях и внедрении в медицинскую практику.

Апробация работы. Материалы по теме диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих форумах:

1. Всесоюзном симпозиуме "Исследование сельскохозяйственных полей радиометодами" (Иркутск, 1985).

2. 5-й научно-технической конференции " Охрана и рациональное использование водных ресурсов и геологической среды в Нижнем Поволжье" (Саратов, 1988).

3. Всесоюзной конференции "Математические методы в мелиорации и гидрогеологии" (Днепропетровск, 1988).

4. 10-м Российском симпозиуме с международным участием " Миллиметровые волны в медицине и биологии " (Москва, 1995).

5. 4-й Международной научно- практической конференции "Традиционные и нетрадиционные методы оздоровления детей " (Москва, 1995).

6. Российском симпозиуме "Итоги и перспективы научных исследований по проблемам патологии животных и разработке средств терапевтической профилактики" (Воронеж, 1995).

7. International Conference on "Nonlinearity, Sifureation and Chaos: The Doors to the Future. Proceedings of the ICNBC, 96" (Polska, Loaz-Dobieszkw, 1996).

8. Межрегиональной учебно-методической конференции (Пермь, 1996).

9. Международном конгрессе "Современные методы профилактики, диагностики и лечения бронхиальной астмы", посвящённом 850-летию Москвы (Москва, 1997).

10. Всероссийской межвузовской конференции "Современные проблемы электроники и радиофизики СВЧ" (Саратов, 1997).

11. XVIII Международной конференции "Теория оболочек и пластин. Математическое моделирование. Динамические проблемы в биологических системах" (Саратов, СГТУ, 1997).

12.11 Российском симпозиуме с международным участием "Миллиметровые волны в медицине и биологии" (Саратов, 1997),

13. Республиканском совещании - семинаре "Актуальные вопросы детской эндокринологии" (Саратов, 1997).

14. Международном координационном совещании "Экологические проблемы патологии, фармакологии и терапии животных" (Воронеж, 1997).

15. Российской научно-практической конференции "Экология, здоровье и природопользование", посвящённой 200 - летию Саратовской губернии (Саратов, 1997).

16. Международной научно-технической конференции "Актуальные проблемы электронного приборостроения, АПЭП - 98" (Саратов, СГТУ, 1998).

17. Международной научной конференции, посвящённой 125-летию Ветеринарной Академии (Казань, 1998).

Публикации. Основные материалы по диссертации опубликованы в 33 статьях и материалах по докладам, 7 авторских свидетельствах и патентах, общим объёмом 40 наименований.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, приложений и библиографии.

Основное содержание работы

Во введении даётся общая характеристика работы, обосновывается актуальность, ставятся цели и задачи исследований, приводятся основные положения, выносимые на защиту; отменяются научная новизна и практическая значимость. Обращается внимание на несоответствие сельскохозяйственных технологий возросшему уровню возможностей применения радиоволновых СВЧ приборов и информационных технологий, применение которых является резервом качественного и количественного увеличения продуктивности сельскохо-

зяйственного производства. Отмечается, что использование КВЧ/СВЧ приборов и радиоволновых методов в экологии и биомедицине перспективно для выявления влияния внешних воздействий на состояние сред и объектов живой и неживой природы и повышения качества здоровья населения в условиях антропогенных перегрузок.

В первой главе приводятся данные по микроволновым диэлектрическим свойствам природных образований – влажных почвогрунтов, пресной и солёной воды, растительных покровов, снежно-фирновых образований и льда, мёрзлых грунтов, биологических тканей (Арманд Н.А., Башаринов А.Е., Шутко А.М., Богородский В.В., Musil J.). Отмечается определяющая роль комплексной диэлектрической проницаемости (ДП) $\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$ в теоретических оценках и интерпретации, поведения радиационных характеристик природных образований – коэффициентов отражения и излучения. Частотная зависимость радиационных свойства- излучательной способности $\chi_\lambda(T, S)$ и радиояркостной температуры $T_\lambda(\chi_\lambda)$ поверхности природных образований от температуры T и солёности S , которая неявно входит в ϵ'' , описывается в приближении Кирхгофа с помощью отражательных коэффициентов Френеля на границе раздела сред 1-2

$$R_{\lambda 1,2} = (\sqrt{\epsilon_{\lambda 1}} - \sqrt{\epsilon_{\lambda 2}}) / (\sqrt{\epsilon_{\lambda 1}} + \sqrt{\epsilon_{\lambda 2}})$$

с учётом длины волны излучения λ общими формулами:

$$T_\lambda(\chi_\lambda) = \chi_\lambda T, \quad \chi_\lambda = 1 - R_\lambda \text{ и при вертикальном наблюдении}$$

$$\chi_{0\lambda} = 2\{1 + (1 + |\epsilon_\lambda|) / \sqrt{2(|\epsilon_\lambda| + \epsilon'_\lambda)}\}^{-1}$$

где $|\epsilon_\lambda| = \epsilon'_\lambda \sqrt{1 + \text{tg}^2 \delta_\lambda}$, $\text{tg} \delta_\lambda = \epsilon''/\epsilon'$ – тангенс угла потерь. Зависимость действительной и мнимой частей ДП чистой воды от частоты определяется уравнениями Дебая

$$\epsilon'_{w0} = \epsilon_{w0} + (\epsilon_{w0} - \epsilon_{w\infty}) / [1 + (2\pi f \tau_w)^2],$$

$$\epsilon''_{w0} = 2\pi f \tau_w (\epsilon_{w0} - \epsilon_{w\infty}) / [1 + (2\pi f \tau_w)^2],$$

где $\epsilon_{w0} = 81$ – статическая ДП чистой воды, $\epsilon_{w\infty} = 4,9$ – ВЧ или оптический предел ДП, τ – время релаксации, молекул чистой воды (с), f – частота электромагнитной волны (Гц). Экспериментальные зависимости ДП грунтов от влажности w хорошо описываются формулой Брауна, полученной для рефракционной модели смеси воды и сухого грунта:

$$\sqrt{\epsilon_{rw}} = w \sqrt{\epsilon_w} + (1 - w) \sqrt{\epsilon_{rc}}$$

где ϵ_{rw} - ДП влажного грунта, ϵ_{rc} - ДП сухого грунта и Оделевского для матричных смесей

$$\epsilon_{rw} = \epsilon_w \{1 + (1 - w)[w/3 + \epsilon_w/(\epsilon_{rc} - \epsilon_w)]\}.$$

Увеличение ДП с ростом влагосодержания сопровождается уменьшением излучательной способности и яркостной температуры.

Толщина эффективно излучающего слоя грунта, характеризующая глубину зондирования на волне λ , связана со значением скин-слоя воды

$$l_{gr\lambda} \approx 10^{-2} \lambda^2 w \text{ см.}$$

Излучательная способность системы растительный покров-почва определяется в изотермическом случае выражением для матричной смеси

$$\chi_{rp} = \chi_{rw} (1 - \xi) + \chi_p \xi,$$

где χ_p - излучательная способность растительности, ξ - относительная площадь покрытия почвы растительностью. Интересна модель снежно-фирновых образований, описываемая как двухкомпонентная смесь лёд-воздух. Уравнение, применимое для описания ДП снега, известно под названием уравнения Лознга

$$\epsilon'_{sn}{}^{1/3} - 1 = v(\epsilon'_i{}^{1/3} - 1),$$

где v - объёмное содержание льда в снеге, ϵ'_{sn} , ϵ'_i - вещественная часть ДП снега и льда, соответственно. Другие типы природных образований описываются эмпирическими полиномами.

Далее обсуждаются известные принципы и конструкции радиометров для дистанционного зондирования природных образований и влагомеров, используемых в качестве сенсоров в системах автоматического контроля влажности материалов (Zasek F., Tsang L., Берлинер М.А., Бензарь В.К., Еселкина М.А., Корольков Д.В., Парийский Ю.Н., Kraszewski A.).

Обращается внимание на отсутствие контактных влагомеров и влагомеров-солемеров в практике сельского хозяйства и гляциологии. Также отсутствуют какие-либо данные по радиоспектрометрам и диагностико-терапевтическим комплексам на принципах просвечивающей резонансной КВЧ/СВЧ радиоспектроскопии, перспективных для использования в экологии и биомедицине.

Во второй главе приводится конструкция прибора для измерения комплексной ДП на фазовом принципе с преобразованием измерительной линии

задержки в симметричную полосковую конструкцию. Излагаются результаты использования испытаний прибора на типичных для Поволжья почвогрунтах. Приводятся полученные зависимости ДП от влажности, температуры и плотности почвогрунтов, типичных для Поволжья. Обращает на себя внимание поведение мёрзлого грунта при оттаивании. Характерно, что вблизи точки фазового перехода воды лёд-жидкость действительная часть ДП почвы испытывает резкий скачок. Скачок ДП почвы при замерзании, в сторону малых значений, близких к сухому грунту, объясняется замерзанием свободной, поровой воды и вкладом в ДП остающейся в жидком состоянии вплоть до -70°C адсорбированной и связанной поверхностью частиц почвы плёночной воды. Исследовались в основном характерные для Саратовской области тёмно-каштановые и чернозёмно-луговые типы почв и распространённый в степях Заволжья южный бурый суглинок. Результаты экспериментов в диапазоне длин волн от 0.1. до 10 ГГц подтвердили нелинейный характер зависимости ДП почвы от влажности, а основной параметр этой зависимости – плотность грунта – слабо влияет на её характер и крутизну. При малых значениях влажности (менее 5%) комплексная ДП почвы практически не зависит от степени увлажнения. Это объясняется преимущественным наличием только связанной с поверхностью частиц почвы влаги, имеющей аномально низкое значение действительной части ДП в пределах от 1,06 до 2.2. При увеличении влажности почвы и переходе в интервал значений от 5 до 35% зависимости действительной и мнимой частей ДП становятся ближе к линейным. Следующим по значимости параметром является солёность (S) поровой воды, которая оказывает существенное влияние на электрофизические и, следовательно, радиационные параметры почвогрунтов. Экспериментальные значения мнимой части ДП на частотах 0.3 - 0.6 ГГц близки к рассчитанным по формуле $\varepsilon'' = S/\omega\varepsilon'_{\text{ст}}$. Основной вклад в значения ε'' солёность вносит в низкочастотном диапазоне – метровом и дециметровом, где преобладает не широкополосная релаксация молекул воды, а ионная проводимость. В высокочастотном диапазоне основное влияние приходится на действительную часть ДП. Такое разделение влияния параметров легло в основу разработанного двухчастотного влагомера-солемера.

Далее рассматриваются научные основы и принципы построения, функциональные схемы и конструкции портативных радиоволновых СВЧ приборов активного контактного, инвазивного зондирования природных образований –

одночастотного влагомера, двухчастотного влагомера-солемера, ледового и снежно-фирнового просвечивающего и отражательного влагомеров. Работа данных приборов основана на воздействии параметров среды на импеданс антенного зонда (Кинг Р., Смит Г., Богородский М.П.). Получены градуировочные кривые и оптимизированы радиотехнические характеристики приборов. Приводятся данные зондирования по определению агрофизических и гляциологических параметров природных образований в лабораторных и натурных условиях – влажности, плотности, солёности и их профилей в почвогрунтах Поволжья, влажности снежно-фирновых и ледниковых образований в горах Тянь-Шаня в динамике влагопереноса.

В третьей главе рассматриваются научные основы дистанционного мониторинга земель Поволжья. Для обеспечения исследований на обширных площадях были созданы две самолётные лаборатории на базе самолётов АН-2 Балаковского и Волгоградского авиаотрядов, наземная подвижная лаборатория на базе автомобиля УАЗ и автоматизированный посевной агрегат на базе трактора "Беларусь". Подвижные лаборатории укомплектованы радиометрическими комплексами на длины волн 2,25, 18, 30, 75 см, что позволяло определять профили агрофизических параметров почв. Тракторно-посевной агрегат был оснащён дистанционным СВЧ влагомером близкого действия, специально разработанным для оперативного контроля влажности в процессе сева. Для интерпретации результатов зондирования был развит системный подход к моделированию многослойных структур природных образований. Для двух- и трёхслойных моделей, описывающих коэффициенты отражения и излучения плодородной почвы на подслое грунта, промёрзшего грунта на влажном подслое, грунта в присутствии грунтовых вод и почвы с растительным покровом получены однотипные аналитические формулы для расчёта коэффициентов отражения и излучения и в явном виде толщины промерзания грунта и глубины залегания грунтовых вод и параметров растительности (влажности, зеленой биомассы, типа культуры). Расчёты по формулам для конкретных почв, растительности и условий хорошо согласуются с опытными данными. Приводятся методы и результаты наземного и лётного зондирования полей и посевов, примеры карт влажности почвы и уровней залегания грунтовых вод. Описан бесконтактный влагомер-рефлектометр, работающий в составе автоматизированного тракторно-посевного агрегата. Приводится его функциональная схема, тополо-

гия полосковой антенны и радиотехнические параметры. Полевые испытания агрегата показали эффективность его использования в посевной период.

Четвёртая глава посвящена описанию нового типа радиоспектрометра и метода радиоспектроскопии – просвечивающей резонансно-волновой КВЧ/СВЧ радиоспектроскопии. Дается их физическое обоснование и отмечается универсальность в применении как к живым, так и неживым объектам. Ранее достаточно полно исследовалось собственное излучение организма человека, однако стимулированное внешним воздействием излучение живого организма и тем более неживых объектов не проводилось (Годик Э.Э., Гуляев Ю.В.). Физической основой, заложенной в КВЧ/СВЧ радиоспектрометрический комплекс, является междиапазонное разнесение частот облучения и приёма – облучение проводится в КВЧ диапазоне (миллиметровые волны), а приём – в СВЧ диапазоне (дециметровые волны). Перенос обусловлен диссипацией миллиметровых волн, проникающих в среду на частотах резонансной прозрачности. Комплекс состоит из генераторов ММ волн типа Г4-141 и Г4-142, СВЧ радиометра типа РТ-30 с параметрами: частота приёма 1 ГГц, полоса приёма 50 МГц, чувствительность 0,3 К (10^{-17} Вт), набора аппликаторных антенн. Антенны потребовали специального рассмотрения и конструктивной разработки, так как их эффективность определяется электродинамическим контактом с материальной средой (Маречек С.В.). Применение спектрометра привело к обнаружению нового явления – резонансной прозрачности водных и биологических сред в ММ диапазоне. Определены фундаментальные частоты резонансной прозрачности этих сред: вблизи 50, 65 и 100 ГГц. Эффект резонансной прозрачности является эффектом малого порогового уровня мощности (порядка 10 мкВт/см^2) и на больших мощностях не проявляется, так как с увеличением мощности воздействия среда переходит в нелинейный режим (Гласс Л., Мэки М., Трубецков Д.И., Рабинович М.Н.). Обнаруженный эффект резонансной прозрачности обусловлен специфической структурой водной среды, представляющей собой систему молекулярных осцилляторов, связанных слабыми водородными связями (Богородский В.В., Гаврило В.П., Габуда С.П., Синюков В.В.). В отличие от известных типов абсорбционных радиоспектрометров, регистрирующих спектры поглощения излучения на квантовых уровнях, разработанный просвечивающий радиоспектрометр использует резонансную прозрачность сред. Дано теоретическое обоснование резонансной прозрачности сред в модели системы связан-

ных молекулярных осцилляторов. Резонансное состояние среды рассматривается как метастабильная термодинамическая фаза с пониженной энтропией, а переход в него, как фазовый переход второго рода. Подтверждается гипотеза (Фрёлих) о том, что резонансное состояние присуще не только искусственным системам, например, лазерам, но свойственно также живым организмам и реализуется в процессе их жизнедеятельности. Исследование показало, что различные вещества имеют характеристические резонансные спектры, отражающие их состав и воздействие внешних факторов – магнитных, электрических и акустических полей, лазерного излучения, химических веществ, температуры, спектры также чувствительны к внутренним процессам в объектах. В применении к биомедицине комплекс легко преобразуется в резонансно-волновой диагностико-терапевтический.

Приводится ряд значимых примеров использования комплекса КВЧ/СВЧ радиоспектрометра для спектрального анализа веществ и воздействий внешних факторов, а также в медицинской диагностике заболеваний. На основании экспериментальных результатов формулируется гипотеза о фундаментальной роли системы ММ волны-вода в жизнедеятельности в качестве глубинной системы гомеостаза.

В заключении сформулированы выводы по основным результатам диссертации. Приложение содержит Акты внедрения и использования.

По результатам работы имеются Акты внедрения, авторские свидетельства и патенты, приборы представлялись на ВДНХ и Международной Лейпцигской ярмарке и награждены дипломами, серебряными и бронзовой медалями.

Автор благодарен руководителям кандидату физико-математических наук Вольдемару Ивановичу Петросяну, доктору физико-математических наук Владимиру Владимировичу Кислову за постоянное внимание к работе, большую помощь и творческое участие.

Автор выражает признательность своему учителю доктору физико-математических наук академику РАЕН Николаю Ивановичу Сеницыну за плодотворную совместную тридцатилетнюю деятельность и постоянные научные консультации, за неоценимую поддержку и участие в работе академику Николаю Дмитриевичу Девяткову, академику Юрию Васильевичу Гуляеву, доктору физико-математических наук Неону Александровичу Арманду, доктору физико-математических наук Олегу Владимировичу Бецкому, доктору технических наук Михаилу Борисовичу Голанту, доктору физико-математических наук Ана-

толию Михайловичу Шутко, кандидату физико-математических Александрю Алексеевичу Чухланцеву, кандидату технических наук Геннадию Тимофеевичу Казакову.

Автор благодарит за участие и содействие сотрудников Института сельского хозяйства Юго-Востока, Саратовского сельскохозяйственного института, Волжского отделения Всесоюзного НИИ гидротехники и мелиорации, Всесоюзного НИИ гидротехники и мелиорации, Ставропольского отделения Всесоюзного НИИ гидротехники и мелиорации, Волгоградского облводхоза, Астраханской гидрогеологомелиоративной партии, Элистинской гидрогеологомелиоративной партии, Института географии АН Казахской ССР.

Основные результаты и выводы

1. Дан обзор литературных источников по поведению комплексной ДП природных образований, коэффициентов отражения и излучения практически важных типов природных образований – воды, увлажнённых и промёрзших почвогрунтов, растительных покровов, ледовых и снежно-фирновых образований, биотканей живых организмов. Отмечается, что ДП является изначальным параметром, зависящим от степени минерализации, плотности, гранулометрического состава и внутренней структуры объектов и процессов в них. В свою очередь, с комплексной ДП связаны такие практически значимые параметры, как коэффициенты отражения и излучения, которые, в конечном счёте и дают информацию о состоянии природных образований.

2. Рассмотрены существующие радиоволновые принципы и устройства, применяемые для определения гидрофизических параметров природных образований по результатам измерения излучательной способности, коэффициентов отражения и поглощения. Из всего разнообразия методов выделены дистанционная радиометрия и контактная активная влагометрия, для реализации которых используются различные типы СВЧ радиометров и влагомеров, среди которых отсутствуют приборы и аппаратурные комплексы активного и пассивного зондирования природных образований с использованием инвазивных антенн датчиков, потребность в которых имеется в сельском хозяйстве, гляциологии, промышленном производстве.

3. Разработан и изготовлен СВЧ аппаратурный комплекс с полосковым сенсором для измерения комплексной ДП различных сред и материалов, работающий на принципах фазовых сдвигов и затухания радиоволн в диапазоне частот 0,1 ... 1,2 ГГц. На примере почвогрунтов, типичных для Поволжья, оп-

ределены ДП в зависимости от влажности, плотности и температуры, необходимые для ведения расчётов коэффициентов отражения, излучательной способности и интерпретации результатов полевых испытаний.

4. Разработан и изготовлен СВЧ аппаратный комплекс приборов для контактного зондирования природных образований, включающий измеритель влажности почв с рабочей частотой 850 МГц, влагомер-солемер двухчастотный с рабочими частотами 800 и 2400 МГц, радиопросвечивающий двухзондовый измеритель влажности снега с рабочей частотой 500 МГц и однозондовый измеритель влажности ледовых и снежно-фирновых образований с рабочей частотой 2000 МГц.

5. Разработаны практические контактные методы СВЧ просвечивания и отражённого сигнала применительно к земледелию и гляциологии. Проведённые серии лабораторных и натурных экспериментов по определению влажности и солёности и их профилей по глубине на землях Поволжского региона и горных районов Тянь-Шаня показали работоспособность разработанных комплексов радиоэлектронной аппаратуры и методов измерений и перспективность их широкого внедрения.

6. С единых позиций рассмотрены теоретические двух- и трёхслойные модели почвогрунтов, таких как увлажнённая почва на подстилающем грунте, мёрзлый слой почвы на увлажнённом подслое, почва с растительным покровом, подпочвенные грунтовые воды. Получены обобщённые аналитические формулы для расчёта коэффициентов отражения и излучения, толщины промерзшего грунта, высоты и густоты растительных покровов, глубины залегания грунтовых вод, которые находятся в хорошем качественном согласии с экспериментальными зависимостями.

7. Оборудованы две самолётных лаборатории в Саратовской и Волгоградской областях, предназначенные для комплексных дистанционных радиометрических измерений в диапазонах длин волн 2,25 см, 18 см, 30 см, 75 см влажности, глубины промерзания грунта, состояния растительности, глубины залегания грунтовых вод, выявления утечек из оросительных каналов, загрязнений акваторий на больших площадях.

8. Разработаны методики комплексных наземных и самолётных измерений параметров земных покровов. На основе экспериментальных данных построены рабочие диаграммы влажностных зависимостей излучательной способности

наиболее распространённых почв Саратовской области – чернозёма и бурых суглинков для двух длин волн 30 и 75 см. Применение длины волны 75 см привело к практически важному результату – увеличению глубины зондирования почвы от 0,5 до 8 метров в зависимости от влажности. Проведён цикл исследований растительных покровов и определены поправочные коэффициенты и эмпирическая формула, позволяющие по дистанционным самолётным измерениям оценивать состояние растительных покровов. По данным дистанционного зондирования по заказам организаций-землепользователей составлялись карты влажности и уровней залегания грунтовых вод в районах Поволжья.

9. Разработан бесконтактный СВЧ влагомер-рефлектометр, работающий на принципе обработки обратно отражённых сигналов на длине волны 35 см. Прибор предназначен для оперативного измерения влажности почв с малых дистанций. Посевной агрегат в составе трактора и сеялки оборудован СВЧ влагомером, включённым как сенсор в систему автоматического управления нормой высева в зависимости от влажности почвы. Проведённые испытания показали повышение урожайности на опытном поле Института сельского хозяйства Юго-Востока.

10. Посевной агрегат в составе трактора и сеялки, оборудованный дистанционным влагомером, включённым как сенсор в систему автоматического управления нормой высева в зависимости от влажности почвы, позволил оптимизировать технологию посева. Проведённые испытания показали повышение урожайности на опытном поле Института сельского хозяйства Юго-Востока.

11. Разработан КВЧ/СВЧ радиоспектрометр на основе комплекса радиоэлектронной аппаратуры, состоящий из генераторов миллиметрового диапазона, радиометра дециметрового диапазона, аппликаторных антенн и регистрирующих устройств (цифровых и аналоговых).

12. Разработан метод трансмиссионно-резонансной КВЧ/СВЧ радиоспектроскопии, заключающийся в регистрации и анализе спектров резонансного пропускания КВЧ волн. Этим положено начало развитию новой концепции радиоспектроскопии – просвечивающей резонансно-волновой радиоспектроскопии.

13. Обнаружено явление резонансного взаимодействия низкоинтенсивных электромагнитных волн миллиметрового диапазона с живыми биологическими объектами, водой, водосодержащими средами, органическими и неорганиче-

скими веществами. Экспериментально резонансное состояние сред проявляется в существенном возрастании собственного радиоизлучения объекта на фоне радиотеплового шума в длинноволновой части СВЧ диапазона при облучении объекта миллиметровыми волнами в узких полосах частот. Резонансное взаимодействие проявляется как пороговый эффект малого уровня мощности. Ввиду нелинейного поведения биологических и водосодержащих сред при надпороговых мощностях воздействия миллиметровыми волнами эффект не проявляется. Эффекты резонансного взаимодействия регистрируются радиометром дециметрового диапазона на уровне 10^{-13} – 10^{-16} Вт/см² при мощности падающего излучения миллиметрового диапазона порядка 0.1–10 мкВт/см² вблизи частот 50,3 ГГц, 51,8 ГГц, 64,5 ГГц, 65,5 ГГц, 95 ГГц, 105 ГГц.

14. Показано, что метод трансмиссионно-резонансной КВЧ/СВЧ радиоспектроскопии в дополнение и в отличие от известных методов анализа позволяет регистрировать скрытые молекулярные перестройки в объекте, происходящие под воздействием внешних слабых воздействий: электромагнитных, магнитных, электрических, химических, температурных. Обнаружен ряд эффектов: аналог эффекта Зеемана по расщеплению резонансных спектральных линий воды в магнитных полях, СВЧ генерация воды в магнитном поле, фазовый переход воды в антиферромагнитное состояние, изменение структурного состояния воды при воздействии лекарственных препаратов.

15. На основе КВЧ/СВЧ радиоспектроскопии разработан принципиально новый метод спектрально-волновой диагностики широкого спектра болезней, чувствительный к ранним доклиническим стадиям заболеваний.

16. Одним из ключевых результатов является заключение о молекулярной структуре водной компоненты биосред как носителя волновых процессов в миллиметровом диапазоне, реализующих коммуникационно-корректирующую функцию в системах гомеостаза организма.

Основные публикации по материалам диссертации

Авторские свидетельства и патенты

1. А. с. СССР №858526 с приоритетом от 14 июля 1978 г. Сверхвысокочастотный генератор / Ёлкин В.А., Зайцева Н.Г., Наянов В.И., Потапов С.К.
2. А. с. СССР №1318869 с приоритетом от 9 апреля 1985 г. Устройство для измерения влажности и плотности материалов / Ёлкин В.А., Леонидов В.А., Хорев С.А., Шитов В.Д.

3. А. с. СССР №1591207 с приоритетом от 1 июля 1987 г. Способ диагностики беременности коров / Ёлкин В.А., Петросян В.И., Семиволос А.М., Чумаков Б.И., Кузьмин Ю.С.

4. А. с. СССР №1691378 с приоритетом от 5 июля 1988 г. Сверхвысоко-частотный измеритель влажности сред / Ёлкин В.А., Леонидов В.А., Хорев С.А., Шитов В.Д., Казаков Г.Т.

5. Пат. РФ № 2014806 с приоритетом от 30 июня 1994 г. Способ отделения последа у коров / Петросян В.И., Ёлкин В.А., Семиволос А.М., Богачкин М.Н.

6. Пат. РФ № 2108566 с приоритетом от 29 декабря 1994 г. Способ исследования объектов КВЧ воздействием / Петросян В.И., Сеницын Н.И., Ёлкин В.А., Житенёва Э.А., Гуляев Ю.В., Девятков Н.Д., Проскурнов В.И.

7. Пат. РФ № 2108058 с приоритетом от 10 февраля 1995 г. Устройство для исследования объектов КВЧ-воздействием / Петросян В.И., Сеницын Н.И., Ёлкин В.А., Житенёва Э.А., Гуляев Ю.В., Девятков Н.Д., Проскурнов В.И.

Статьи

1. Ёлкин В.А., Веселов А.Г., Курдюков Ю.Ф., Либерман Б.М. Методы СВЧ влагометрии в наземном метрологическом обеспечении дистанционных измерений влажности // Тезисы докладов и сообщений на 1-м Всесоюзном симпозиуме "Исследование сельскохозяйственных полей радиометодами" (Иркутск, 1985 г.). М.: Радио и связь, 1985. С.109-110.
2. Мосиенко Н.А., Ёлкин В.А., Лавренко С.Н. Природно-мелиоративный мониторинг Саратовского Заволжья // Тезисы докладов 5-й научно-технической конференции "Охрана и рациональное использование водных ресурсов и геологической среды в Нижнем Поволжье". Саратов, 1988. С.33-34.
3. Ёлкин В.А., Леонидов В.А., Шитов В.Д., Хорев С.А. Математическая обработка результатов самолётной СВЧ-радиометрической съёмки влажности почв с учётом влияния растительного покрова поверхности // Сб. научн. тр. по материалам Всесоюзной конференции "Математические методы в мелиорации и гидрогеологии". Днепропетровск: ДГУ, 1988: С.93-107.
4. Ёлкин В.А., Леонидов В.А., Хорев С.А., Шитов В.Д. Расчёт диэлектрической проницаемости увлажнённых сред по результатам измерений методом активной СВЧ – радиометрии // Использование современных технических средств в практике обеспечения сельскохозяйственного производства. Л.: Гидрометеиздат, 1989. С.19-24.
5. Ёлкин В.А., Леонидов В.А., Хорев С.А., Шитов В.Д. Определение излучательной способности почвогрунтов при наличии растительного покрова // Использование современных технических средств в практике обеспечения сельскохозяйственного производства. Л.: Гидрометеиздат, 1989. С.24-34.
6. Семиволос А.М., Ёлкин В.А., Петросян В.И., Чумаков Б.И., Кузьмин Ю.С. Определение беременности у коров радиотермометрическим способом // Рациональные методы профилактики, диагностики и терапии незаразных болезней животных: Межвуз. научн. сб. Казань: Казанский ветеринарный институт, 1993. С. 50 - 57.
7. Петросян В.И., Сеницын Н.И., Ёлкин В.А., Гуляев Ю.В., Житенёва Э.А. Взаимодействие миллиметровых волн с биологическими объектами // Сб. докл. 10 Международного симпозиума "Миллиметровые волны в медицине и биологии". М., 1995. С.16-18.

8. Петросян В.И., Гуляев Ю.В., Житенёва Э.А., Ёлкин В.А., Синицын Н.И., Взаимодействие физических и биологических объектов с электромагнитным излучением КВЧ-диапазона // Радиотехника и электроника. 1995. Вып.1. С. 127-134.
9. Гуляев А.И., Лисенкова Л.А., Киричук В.Ф., Чернова Е.В., Федоров В.В., Петросян В.И., Синицын Н.И., Житенёва Э.А., Ёлкин В.А. СВЧ - диагностика и КВЧ - терапия в оздоровлении детей спортсменов // Тез. докл. IV Международной научно-практической конференции "Традиционные и нетрадиционные методы оздоровления детей". М.: НИИП, 1995. С.50-51.
10. Petrosyan V.I., Gulyaev Y.U., Krysko V.A., Zhitenyova E.A., Yelkin V.A., Sinitin N.I., Krysko D.V. Theory of resonant transmission wave propagation in a medium of coupled harmonic oscillator // Tez. International Conference on Nonlinearity, Sifureation and Chaos: The Doors to the Future. Proceedings of the ICNBS, 96. Loaz-Dobieszkow, 1996. P.208-211.
11. Петросян В.И., Гуляев Ю.В., Ёлкин В.А., Житенёва Э.А., Девятков Н.Д., Синицын Н.И. Физика взаимодействия миллиметровых волн с объектами различной природы // Радиотехника. 1996. № 9. Журнал в журнале. Биомедицинская радиозлектроника. 1996. №3, С.20-31.
12. Гуляев А.И., Петросян В.И., Лисенкова Л.А., Синицын Н.И., Киричук В.Ф., Девятков Н.Д., Гуляев Ю.В., Житенёва Э.А., Ёлкин В.А. Теория и практика спектрально-волновой диагностики и прецизионно-волновой терапии // Радиотехника. 1996. № 9. Журнал в журнале. Биомедицинская радиозлектроника. 1996. №3. С. 35-43.
13. Петросян В.И., Брилли Г.Е., Житенёва Э.А., Гуляев Ю.В., Девятков Н.Д., Ёлкин В.А., Мартынов Л.А., Синицын Н.И. Метод исследования изменений структур биологических жидкостей под воздействием низкоинтенсивного лазерного излучения // Радиотехника. 1996. № 9. Журнал в журнале. Биомедицинская радиозлектроника. 1996. № 3. С.32-34.
14. Гуляев А.И., Лисенкова Л.А., Киричук В.Ф., Захаров И.А., Петросян В.И., Синицын Н.И., Федоров В.В., Ёлкин В.А., Чернова Е.В., Житенёва Э.А., Макарова Е.И., Маркина Н.А. КВЧ - диагностика и КВЧ - терапия как способ реабилитации и повышения работоспособности студентов // Тр. Межрег. учебно-методической конференции. Пермь: ПГМУ, 1996. С.56-57.
15. Гуляев А.И., Лисенкова Л.А., Петросян В.И., Синицын Н.И., Киричук В.Ф., Захаров И.А., Ёлкин В.А., Маркина Н.А., Чернова Е.В. Применение прецизионно-волновой терапии при бронхиальной астме // Сб. тр. Международного конгресса "Современные методы профилактики, диагностики и лечения бронхиальной астмы", посвящённого 850-летию Москвы // International Journal on Immunorehabilitation. 1997. N7. P.151.
16. Гуляев А.И., Лисенкова Л.А., Петросян В.И., Ёлкин В.А., Синицын Н.И., Киричук В.Ф., Захаров И.А., Маркина Н.А., Чернова Е.В. Концепция спектрально-волновой диагностики и прецизионно-волновой терапии и их применение при заболеваниях щитовидной железы у детей // Материалы Республиканского совещания - семинара "Актуальные вопросы детской эндокринологии". Саратов, 1997. С.11-13.
17. Петросян В.И., Житенёва Э.А., Ёлкин В.А., Девятков Н.Д., Гуляев Ю.В., Синицын Н.И., Петросян А.И. Трансмиссионно-резонансная КВЧ/СВЧ радиоспектроскопия // Матер. Всероссийской межвузовской конференции "Современные проблемы электроники и радиофизики СВЧ". Саратов, 1997. С.77-79.

18. Гуляев А.И., Лисенкова Л.А., Киричук В.Ф., Петросян В.И., Девятков Н.Д., Гуляев Ю.В., Сеницын Н.И., Ёлкин В.А., Федоров В.В., Ликашина О.П., Чернова Е.В., Маркина Н.А. Решенные и нерешенные проблемы спектрально-волновой диагностики и прецизионно-волновой терапии // Сб. докл. 11 Российского симпозиума с международным участием "Миллиметровые волны в медицине и биологии". 1997. С.92-95.
19. Петросян В.И., Девятков Н.Д., Гуляев Ю.В., Сеницын Н.И., Житенёва Э.А., Ёлкин В.А., Крысько Д.В., Крысько В.Д., Скобелев М.В. Эффекты резонансно-взаимодействия ММ волн с водными и биологическими средами // Сб. докл. 11 Российского симпозиума с международным участием "Миллиметровые волны в медицине и биологии". 1997. С.139-142.
20. Петросян В.И., Сеницын Н.И., Ёлкин В.А. Особая роль системы "миллиметровые волны – вода" в жизнедеятельности // Биомедицинская радиоэлектроника. 1998. №1. С. 5-23.
21. Семиволос А.М., Петросян В.И., Ёлкин В.А. Глубинная радиотермометрия в диагностике беременности у коров // Сб. научн. тр. "Актуальные проблемы и достижения в области репродукции и биотехнологии размножения животных". Ставрополь: Ставропольская ГСХА, 1998. С. 172 - 173.
22. Россосанский А.В., Петросян В.И., Сеницын Н.И., Ёлкин В.А., Скобелев М.В. Принципы и устройства приема собственного и стимулированного СВЧ радиоизлучения органов человека в резонансно-волновых технологиях диагностики и терапии // Материалы Международной научно-технической конференции "Актуальные проблемы электронного приборостроения. АПЭП - 98". Саратов: СГТУ, 1998. Т.III. С.72-76.
23. Гуляев А.И., Лисенкова Л.А., Петросян В.И., Киричук В.Ф., Сеницын Н.И., Ёлкин В.А., Захаров И.А., Максимова Е.А., Ликашина О.П., Федоров В.В., Чернова Е.В., Маркина Н.А. Применение молекулярно-волновой терапии в комплексном лечении больных с сочетанной патологией // Биомедицинская радиоэлектроника. 1998. №3. С.26-33.
24. Петросян В.И., Сеницын Н.И., Ёлкин В.А. Особая роль системы "миллиметровые волны – вода" в жизнедеятельности // Биомедицинская радиоэлектроника, 1999. №1. С. 3-21.
25. Гуляев А.И., Киричук В.Ф., Лисенкова Л.А., Сеницын Н.И., Петросян В.И., Ёлкин В.А., Швецова Е.В., Карабашева С.К. Перспективы применения спектрально-волновой диагностики и молекулярно-волновой терапии в саногентрической медицине и практике физической культуры и спорта // ММ волны в биологии и медицине. 1999. №2. С.3-19.
26. Петросян В.И., Сеницын Н.И., Ёлкин В.А., Башкатов О.В., Гречкин В.С., Разумник Д.А. Аппликаторные антенны для резонансно-волновой КВЧ/СВЧ радиоспектроскопии природных образований // Биомедицинская радиоэлектроника. 1999. №8. С. 36-42.
27. Петросян В.И., Сеницын Н.И., Ёлкин В.А., Майбородин А.В., Тупикин В.Д., Надёжкин Ю.М. Проблемы косвенного и прямого наблюдения резонансной прозрачности водных сред в миллиметровом диапазоне // Биомедицинская радиоэлектроника. 2000. №1. С. 34-40.
28. Петросян В.И., Сеницын Н.И., Ёлкин В.А., Девятков Н.Д., Бецкий О.В. Вода, парадоксы и величие малых величин // Биомедицинская радиоэлектроника. 2000. №2. С. 4-9.

- 29.Петросян В.И., Сеницын Н.И, Ёлкин В.А, Башкатов О.В. Взаимодействие вододержащих сред с магнитными полями // Биомедицинская радиоэлектроника. 2000. №2. С.10–17.
- 30.Брилль Г.Е., Петросян В.И., Сеницын Н.И, Ёлкин В.А. Поддержание структуры водного матрикса – важнейший механизм гомеостатической регуляции в живых системах (концептуальная модель и её базовое экспериментальное обоснование). // Биомедицинская радиоэлектроника. 2000. №2. С.18–23.
- 31.Петросян В.И., Сеницын Н.И; Ёлкин В.А, Брилль Г.Е., Разумник Д.А. Лазеро-стимулированные радиоизлучения биотканей и водных сред // Биомедицинская радиоэлектроника. 2000. №2. С. 52-57.
- 32.Шуб Г.М.,Петросян В.И., Сеницын Н.И, Ёлкин В.А, Аронс Р.М. Собственные электромагнитные излучения микроорганизмов // Биомедицинская радиоэлектроника. 2000. №2. С. 58–60.
- 33.Петросян В.И., Сеницын Н.И, Ёлкин В.А., Майбородин А.В., Тупикин В.Д., Креницкий А.П., Надёжкин Ю.М. Проблемы косвенного и прямого наблюдения резонансной прозрачности водных сред в миллиметровом диапазоне // Электронная промышленность. 2000. №1. С. 99-103.

Ёлкин Владимир Александрович

РАДИОВОЛНОВЫЕ ПРИБОРЫ СВЧ И КВЧ ДИАПАЗОНОВ
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Автореферат

Ответственный за выпуск Ю.С. Архангельский

Корректор Л.А. Скворцова

Лицензия ИР № 020271 от 15.11.96

Подписано в печать 26.05.00

Формат 60×84 1/16

Бум. тип.

Усл.-печ.л 1,16

Уч.-изд.л. 1,0

Тираж 100 экз.

Заказ 247

Бесплатно

Саратовский государственный технический университет
410054 г.Саратов, ул. Политехническая, 77

Копипринтер СГТУ, 410054 г.Саратов, ул. Политехническая, 77