

Копейкин В.

**Рассказы про георадар, и не только.**

Издание 3-е, испр. и дополн.

Троицк, "Тровант", 2012. – 128 с.

ISBN 978-5-89513-288-3

© Копейкин В., 2012

# Оглавление

Предисловие	5
Эпизод 1. Как мы обнаружили шпиона	13
Эпизод 2. Как мы работали в Кремле	15
Эпизод 3. Как мы заработали первые деньги с помощью георадара	18
Эпизод 4. Как мы начинали работать с Газпромом	21
Эпизод 5. Как мы начинали работать с археологами	24
Эпизод 6. О самом древнем георадаре — лозе	28
Эпизод 7. К вопросу о «теплых полах»	34
Эпизод 8. Как нас морально поддержал милиционер	35
Эпизод 9. Как я участвовал в международной конференции по георадарам в Японии	37
Эпизод 10. Как мы искали сокровища японского банка	44
Эпизод 11. Как мы удивили финского инженера	49
Эпизод 12. Как мы посетили Англию с георадаром	51
Эпизод 13. О пользе рясы	57
Эпизод 14. Как мы искали подземные ходы в Троице-Лыково	60
Эпизод 15. Как мы искали колокола на Соловках	62
Эпизод 16. О полтергейсте	67
Эпизод 17. О Барабашке	71
Эпизод 18. О Волнах Ужаса	75
Эпизод 19. Как мы работали на Куликовом поле	78
Эпизод 20. Как мы работали в Египте	84
Эпизод 21. Как мы искали Тунгусский метеорит	90
Эпизод 22. Как мы нашли Тунгусский метеорит	98
Эпизод 23. Как мы искали могилу Казимира Малевича	107
	3

Эпизод 24. О собачьих ошейниках	110
Эпизод 25. Морской георадар	112
Эпизод 26. Деревня Мякинино	116
Эпизод 27. Георадар воздушного базирования	119
Эпизод 28. Генеральские методы	122
Эпизод 29. Храм Христа-Спасителя	124
Эпизод 30. Водопровод для товарища Сталина	126

# Предисловие

Первое упоминание о подземной радиолокации я нашел в фантастической повести Владимира Немцова «Тень под землей».

*«Проникнув в глубь земли целым спектром различных частот, послушный луч отразит на экране все, что скрыто в ее недрах: угольные пласты, нефть, подземные реки и пещеры, кости вымерших животных. Может быть, мы откроем исчезнувшие города, запряженные клады... Ничто не скроется от наших глаз!»*

Так представлял себе в 1948 году радиолокацию подземных объектов автор повести, радиоинженер по профессии, разработчик радиостанций для армии, известнейший советский фантаст.

Он очертил круг задач, которые, частично, уже по силам современной георадиолокации, хотя основную их часть еще только предстоит решить. Более того, он предвидел и технический способ решения этих задач, говоря о «целом спектре частот».

Георадиолокация — так сейчас называют радиолокацию подземных или подповерхностных объектов — возникла из обычной радиолокации самолетов, кораблей, поверхности Земли, моря и т.д., окруженных воздушным пространством.

Сама идея «посмотреть» под землю, как неоднократно упоминали разработчики радиолокационной техники 50-х годов прошлого века, приходила в голову многим. Но попытки направить антенну радиолокатора в землю ничем не заканчивались — сигналы из-под земли не регистрировались.

Первое зафиксированное радиоотражение от подповерхностных структур было получено случайно на ледовом аэродроме в Антарктиде А. Уэйтом в 1957 г. Он обратил внимание на то, что радиовысотомер показывал высоту 900 футов еще до момента отрыва самолета от взлетной полосы. Оказалось, что радиовысотомер, который представлял собой импульсный радиолокатор, фиксировал отражение от нижней границы ледника.

Это послужило началом исследований вопроса об использовании радиолокации в геофизике. Вскоре было выяснено, что применение стандартных радиолокаторов возможно только в очень ограниченном количестве случаев, когда затухание радиоволн в среде мало, например, для льда, сухих песчаников, каменной соли. Для подавляющего большинства земных пород затухание радиоволн очень велико и отраженные от самых близких объектов сигналы затухают столь

быстро, что накладываются на зондирующий импульс, который к этому моменту еще не успел закончиться. По этой причине они не могут быть зарегистрированы.

Для увеличения разрешения и потенциала радиолокатора предпринимались и до сих пор предпринимаются попытки использовать широкополосные сигналы с линейной частотной модуляцией или шумоподобные с фазовой модуляцией. Но эти попытки могут быть удачными тоже в ограниченном числе случаев, когда база сигнала меньше, чем расстояние между отражающими границами. Такая ситуация для подземной среды практически никогда не выполняется, кроме, возможно, ледников. Корреляционная обработка широкополосных сигналов приводит к тому, что соседние сигналы плохо разрешаются на фоне боковых лепестков зондирующего сигнала.

Выход из положения был найден, когда вместо обычного радиолокационного импульса с высокочастотным заполнением стали применять импульс без несущей, который представляет собой одно или несколько колебаний тока в антенне и имеет относительную полосу спектра частот, близкую к единице. Такой сверхширокополосный сигнал обладает наилучшими характеристиками для подповерхностного радиолокатора, поскольку обеспечивает, одновременно, максимальную глубину зондирования и максимальное разрешение. Его можно рассматривать как предельный случай трансформации обычного радиосигнала, когда мы начинаем уменьшать частоту несущей, чтобы увеличить глубину зондирования, и одновременно уменьшать длительность огибающей, чтобы иметь максимальное разрешение.

Способ формирования такого импульса был предложен в 1960 г. И. Куком и до сих пор используется в георадиолокации. В этом способе, получившем название «метода ударного возбуждения антенны», на передающую антенну подается перепад напряжения, который и формирует сверхширокополосный импульс. Оптимальный частотный диапазон подповерхностного локатора лежит в пределах 50-500 МГц, что является компромиссом между глубиной зондирования в единицы-десятки метров и разрешением в единицы-десятки сантиметров для реальных геологических структур.

Для регистрации сигналов в первых конструкциях радаров использовался стробоскопический осциллограф, поскольку в то время не было других доступных способов регистрации на таких высоких частотах.

Реально георадиолокация начинает свою историю с 1960 г., когда переход на предложенный И. Куком зондирующий импульс позволил создать прибор, способный работать не только на ледниках.

Наше знакомство с подповерхностной радиолокацией произошло в начале 90-х годов после того, как наш коллектив стал участником проекта «Марс-94», который предполагал полет и посадку на поверхность Марса межпланетной автоматической станции.

В соответствии с проектом по марсианской поверхности должен двигаться марсоход, на борту которого должен быть установлен наш прибор — подповерхностный радар — который позволял бы зондировать марсианскую почву на глубину до 500 метров и определил бы на этих глубинах наличие или отсутствие льда.

Это позволило бы, как задумывали разработчики проекта, приблизиться к решению проблемы: «есть ли жизнь на Марсе».

Половина килограмма массы и половина ватта потребления от бортовой сети марсохода — это условия эксплуатации будущего прибора — привели к тому, что кафедра радиолокации Рижского института инженеров гражданской авиации (РИИГА) — признанный лидер по георадиолокации в Советском Союзе — отказалась участвовать в проекте.

К тому времени уже многие фирмы, включая РИИГА, выпускали малыми партиями наземные локаторы — георадары — и понимали, что поставленную для Марса задачу невозможно решить, по крайней мере, в области известных всем схемных решениях георадара. Наш анализ показал то же самое — общепринятое решение конструкции радиолокатора для подповерхностного зондирования невозможно уместить в заданные параметры по весу и потреблению электроэнергии и что надо искать другое решение.

Такое решение, которое можно назвать «принципом фотовспышки», удалось найти.

Теория радиолокации говорит о том, что дальность действия прибора зависит от энергии принятого сигнала. В общеизвестных схемах георадаров используется транзисторный передатчик мощностью около 100 ватт и приемник с накоплением энергии принятого сигнала.

По нашему схемному решению, накопление энергии сигнала происходит не в приемнике, а в передатчике. Такой метод накопления энергии проще по технической конструкции, а конструкция легче по весу и более приспособлена к нестабильной бортовой сети. Через маломощный высоковольтный источник питания заряжается конденсатор до нескольких тысяч вольт и замыкается через разрядник на антенну.

Мощность передатчика, в нашем случае, выросла примерно в 10000 раз и составила 1 мегаватт, что позволило использовать простой и легкий приемник без накопления энергии принятого сигнала. Здесь мы, фактически, реализовали «принцип фотовспышки», известный всем фотолюбителям: в течение длительного времени от маломощной батарейки копится энергия, которая превращается в короткую мощную вспышку света.

Этот, и целый ряд других схемных решений позволил сконструировать в рамках ограниченной массы и потребления прибор с требуемыми характеристиками. Более того, у нас еще оставался некоторый запас по потреблению электроэнергии, который мы предложили израсходовать для зондирования ионосферы Марса. Для этой цели предполагалось использовать один и тот же импульс передатчика. На малых временных интервалах принимались сигналы из-под поверхности Марса, на больших — от ионосферы Марса.

Политические и экономические события начала 90-х годов в нашей стране привели к отмене проекта «Марс-94».

После отмены проекта и общего ухудшения экономической обстановки встал вопрос о выживании коллектива как научного подразделения. В это время мы решили попробовать свои «марсианские» наработки в земных условиях. У нас было принципиально новое схемное решение подповерхностного радиолокатора, и следовало выяснить, будет ли оно полезным в условиях Земли.

В Москве мы нашли владельцев рижского и ряда других зарубежных приборов и провели совместно с ними целый ряд экспериментов.

Мы выяснили, что все георадары построены по практически одной и той же схеме, опубликованной в литературе еще в 1960 г. И. Куком. С тех пор основные изменения претерпела только элементная база, способы запоминания и вывода регистрируемой информации. Их основные характеристики почти ни чем не отличаются от первых образцов. Реальный потенциал этих приборов лежит в пределах 20-40 дБ. Это означает, что прибор обнаруживает подземный объект только тогда, когда сигнал затухает не более чем в 10-100 раз по амплитуде. Такое затухание позволяет зондировать высокоомные среды до глубин в несколько десятков сантиметров. К таким средам относится сухой песок, вечная мерзлота, снег, лед. Причем и в них хорошо регистрируются только металлические трубы; границы между слоями почвы, как правило, не видны. Во влажных глинах, которые преобладают в Московской области и вообще в средней полосе России, эти приборы не работают.

У производителей и владельцев георадаров существует твердое убеждение, что «георадары в глинистых почвах принципиально работать не могут, поскольку радиоволны в глине не распространяются».

Проведенные эксперименты показали, что наш подход к конструкции прибора может оказаться полезным, и мы приступили к разработке собственного георадара повышенной мощности, исходя из простого принципа, что сильное затухание сигнала в среде можно компенсировать большой мощностью зондирующего импульса.

Георадары серии «Лоза» основаны на схемах, разработанных в свое время для программы «Марс-94».

Первые же испытания макета мощного георадара показали, что новый подход к его схемному решению не только полезен, но переводит прибор в совершенно другой класс по своим возможностям. Реальный потенциал более 120 дБ, который мы измерили экспериментально, означает, что прибор может регистрировать сигналы, уровень которых падает более чем в миллион раз.

Глинистые почвы Подмосковья стали доступны георадиолокации. Георадар из дорогой и бесполезной игрушки превратился в измерительный прибор, который позволяет решать задачи практически в любых низкоомных средах на глубину первого десятка метров.

Здесь следует особо подчеркнуть, что значительное увеличение возможностей наших радаров по сравнению с аналогами заключается не только в наращивании мощности передатчика, но и в целом ряде других технических решений, основное из которых заключается в способе регистрации сигнала без трансформации его в низкочастотную область, т.е. без стробоскопического преобразования, которое присутствует во всех известных нам отечественных и зарубежных аналогах.

Малый динамический диапазон стробоскопического преобразования — вот то самое «узкое место», которое лимитирует возможности радаров. Специалисты говорят, что динамический диапазон 38 дБ — это предел стробоскопической головки, а значит, и предел динамического диапазона радара, который эти головки использует. Попытки, о которых мы знаем, наших коллег просто увеличить мощность передатчика, не меняя структуру приемника, к успеху не привели, а привели к целому ряду статей, мнений, докладов на конференциях, в которых утверждается, что от мощности передатчика в георадиолокации ничего не зависит.

Появился целый ряд теоретических работ, объясняющих подобные эксперименты, в которых «показывается», что увеличение мощности передатчика хотя и увеличивает сигнал, но во столько же раз



увеличивает и помеху, которая почему-то создается зондирующим импульсом при распространении в среде из-за ее «специфической структуры». В них называют мощность в 100 ватт предельной, выше которой соотношение сигнал-шум уже не меняется. Отсюда делается вывод — повышать мощность передатчика не имеет смысла.

Возрастание помех действительно может наблюдаться, только не в среде распространения сигнала, а в самом стробоскопическом приемнике, что и наблюдали экспериментаторы и авторы новой теории.

Еще одним обязательным условием конструкции георадара с большим реальным потенциалом являются специальные антенны. Они должны быть демпфированными, как, например, резистивно-нагруженные диполи (антенны Ву-Кинга). Дело в том, что «бабочка» без дополнительного искусственного поглощения — а это наиболее распространенный вид антенны — на большинстве даже низкоомных почв Подмосковья недопустимо долго «звонит». Если мы, например, вместо штатных резистивных диполей подключим «бабочку», георадар «Лоза» покажет реальный потенциал не более 40 дБ вместо 120 дБ. Для обычных мало-мощных георадаров такая «звонкая» структура сигналов от «бабочек» чаще всего не замечается, поскольку она того же порядка, что и «звон» всех остальных узлов стробоскопического приемника.

Интересно отметить, что некоторые экспериментаторы «звон» аппаратуры опять же связывают со «специфической структурой почвы, которую глазом увидеть невозможно, ее чувствуют только радиоволны».

Еще один, очень мощный источник собственных помех от передатчика в стробоскопических радарх — это кабель синхронизации. Правда, сейчас все чаще для этой цели используется оптоволокну вместо коаксиального кабеля, что способствует уменьшению этого рода помех.

Отметим, что в георадаре «Лоза» вообще нет ни электрической, ни оптической линии связи между приемником и передатчиком — для синхронизации используется воздушная радиоволна зондирующего импульса передатчика. Но, например, использование проводящей металлической рамы, фиксирующей приемник и передатчик, как это можно видеть у некоторых конструкций, полностью исключает возможность работы георадара «Лоза» из-за сильнейшей наводки от передатчика.

Возвращаясь к повести Владимира Немцова, мы можем уверенно сказать, что все, о чем он писал — вполне реально. Даже возможность обнаруживать нефть, лежащую на километровых глубинах. Так, георадар «Лоза-В», имеющий полосу частот 50-500 МГц, и передатчик мощностью 1 МВт обеспечивают обнаружение слоев и объектов на единицах, а в высокоомных грунтах на десятках метров. Георадар «Лоза-Н» частот-

ного диапазона 1-50 МГц и передатчик мощностью 10 МВт способны фиксировать геологические структуры уже на глубинах в несколько сотен метров. До километровых глубин остается не так уж и много, учитывая, что ресурсы по частоте и по мощности еще не все исчерпаны.

Сейчас подавляющее большинство рынка георадаров составляют обычные маломощные приборы со стробоскопическим преобразованием. В США производят георадар SIR, в Канаде — PULSE ЕККО, в Швеции — RAMAC, в Японии — OYO и KODEN, в России — ОКО. Латвия, продолжая традиции и наработки РИИГА в области георадаров, выпускает прибор под названием ZONDAS, прежние модификации которого назывались ЗОНД.

Но постепенно, несмотря на скептическую позицию большинства производителей георадаров, подкрепленную собственными экспериментами с повышением мощности передатчика и новой «теорией распространения радиоволн в среде», наши приборы становятся известными на рынке.

Нашим коллективом были разработаны и продавались георадары: «Грот-5», «Грот-6», «Грот-7», «Грот-10», «Грот-11».

Начиная с 2000 года, по целому ряду экономических и технических причин, серия георадаров «Грот» была переименована в серию «Лоза». Новое название рекомендовал сменившийся спонсор. Из технических причин — это почти полный переход на западную элементную базу, поскольку к тому времени исчезли практически все отечественные комплектующие. До сих пор незаменимым по своим характеристикам остается только водородный разрядник высокого давления, производимый в Рязани.

С некоторыми нашими покупателями случаются любопытные истории. Те, кто купил георадар «Лоза», обычно уверены, что все остальные георадары примерно того же класса, несмотря на наши разъяснения, которые мы проводим в процессе обучения. Накопив денег, они решают, что настало время купить «настоящий западный радар».

После неудачных попыток получить с его помощью какой-либо результат, который они уже считают само собой разумеющимся, вызывают с фирмы-производителя инженеров, утверждая, что прибор не работает. Те, в свою очередь, утверждая, что прибор работает не хуже, чем все остальные, отказываются возвращать деньги.

Многие из покупателей, которые знакомы и с нашими, и с маломощными стробоскопическими приборами, рекомендуют не называть «Лозу» георадаром, поскольку это название ставит наши приборы в один ряд со всеми остальными. Название, например, геосканер или ге-

озонд подсказало бы покупателю, что речь идет о приборе, который существенно отличается от обычного георадара по своим возможностям.

Мы не рассматриваем эти предложения, считая, что в скором времени все георадары приблизятся к единому уровню, перейдя на новую идеологию построения, вне зависимости от нашей или чьей-то еще позиции или желания.

Убедиться в перспективности нашего подхода не сложно — необходимо просто сравнить результаты, полученные разными радарными на одном и том же профиле.

Особо стоит вопрос о влиянии мощного импульса передатчика на оператора. Противники высоких мощностей даже в шутку обещали жаловаться «Партии Зеленых» на ущемление прав червяков, которых мы якобы «жарим» в земле.

Медицинские исследования говорят о том, что влияние радиоволн на организм заключается в их тепловом воздействии, которое характеризуется средней мощностью излучения.

Но, как бы это ни показалось странным, средняя мощность излучаемых нашим передатчиком импульсов значительно ниже, чем у маломощного стробоскопического радара. Там, где мы излучаем мощный, но очень короткий импульс один раз в секунду, стробоскопический способ регистрации требует излучать импульсы десятками или сотнями тысяч раз в секунду.

Но ни наши, ни стробоскопические передатчики не способны «изжарить» червяка, поскольку речь идет о тысячных долях ватта средней мощности.

Воздействие сотового телефона на оператора, которым он, как показывает практика, часто пользуется во время работы с георадаром, в тысячи раз больше.

Можно привести еще один пример, который должен окончательно успокоить читателя. Система зажигания автомобиля излучает во внешнее пространство намного больше энергии, чем георадар «Лоза», причем импульсы зажигания очень похожи на импульсы передатчика как по форме, так и по способу возбуждения. Напряжение зажигания составляет 25 кВ, в то время как наш передатчик вырабатывает всего 5 кВ. Частота повторения импульсов зажигания зависит от количества цилиндров и числа оборотов двигателя, но это заведомо больше, чем один раз в секунду.

Тем не менее, нам не известно ни одного факта возбуждения судебного дела об ущербе здоровью, нанесенному кому-либо системой зажигания автомобиля за всю историю его существования.

Отметим также то, что во время получения европейского медицинского сертификата на георадар «Лоза» сотрудники института стандартов Чешской республики на основе измерений самой современной американской аппаратурой не только не обнаружили превышение медицинских норм, они так и не смогли измерить уровень излучения передатчика, поскольку он оказался ниже порога чувствительности принятой в Европе методики.

В этой книжке приведены некоторые эпизоды из практики георадарных работ, которые мне по какой-либо причине запомнились, кажутся интересными, и могут быть полезными для тех, кто осваивает радар. Те, кто с радаром работает давно, сами могут рассказать массу не менее интересных случаев.

## Эпизод 1.

### Как мы обнаружили шпиона

Весной 1995 года к нам обратилось посольство Южной Кореи с вопросом: можем ли мы обнаруживать подземные ходы. Пояснили, что их северные соседи прокопали под границей сеть тоннелей, которые угрожают безопасности страны и которые необходимо обнаружить. Мы подтвердили такую возможность, поскольку как раз и отработывали макет георадара по подземным ходам, частично сохранившимся в усадьбе Вороново, которая находится в нескольких десятках километров от нашего института.

Утром возле институтских ворот остановилось несколько машин с флажками. Приехавшим во главе с послом гостям мы рассказали о своей аппаратуре, а потом предложили проехать в усадьбу Вороново, чтобы показать ее в действии по реальным подземным ходам, правда, давно переоборудованным под хозяйственные нужды.

К тому времени у нас еще не было радара «Грот-5» — первого, подготовленного для мелкосерийного промышленного выпуска, а был сделанный «на коленях» макет, который мы называли «Грот-нуль». Из-за несовершенства конструкции даже просто его включение и, тем более, дальнейшая работа воспринимались уже как некоторый