

## ОСОБЕННОСТИ ГЕОРАДАРНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ АЭРОДРОМОВ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ КРЫМА

Д. Е. Барабаш, Д. А. Миронюк

*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и  
Ю. А. Гагарина», г. Воронеж*

Поступила в редакцию 21 сентября 2017 г.

**Аннотация:** в статье представлены выборочные результаты георадарного обследования аэродромной сети Крыма. Приведена последовательность проведения радиолокационных исследований. Установлены особенности процессов деформации оснований искусственных покрытий в климатических и геологических условиях Крыма. Указанные особенности обусловлены наличием лессовых грунтов оснований, при увлажнении которых возможны ошибки интерпретации радарограмм. По результатам обследования обоснован сезонный георадиолокационный мониторинг состояния искусственных покрытий аэродромов государственной авиации для исключения влияния сезонного колебания влажности грунтов на трактовку радарограмм.

**Ключевые слова:** георадар, аэродром, основание, деформация, лёсс.

### FEATURES OF GEORADAR INSPECTION OF AIRDROMES OF A CLIMATIC ZONE OF CRIMEA

**Abstract:** in article selective results of georadar inspection of an air field network of Crimea are presented. The sequence of carrying out of radar-tracking researches is resulted. Features of processes of deformation of the bases of artificial coverings in climatic and geological conditions of Crimea are established. The specified features are caused by presence loess ground the bases at which humidifying interpretation errors wave profile are possible. By results of inspection seasonal georadar-tracking monitoring of a condition of artificial coverings of airdromes of the state aircraft for an exception of influence of seasonal fluctuation of humidity ground on treatment wave profile is proved.

**Keywords:** georadar, airdrome, the basis, deformation, loess ground.

#### Введение

Развитие транспортной инфраструктуры Крыма помимо реконструкции автодорожной сети включает в себя и восстановление аэродромов. Несмотря на благоприятные климатические условия, отсутствие надлежащей системы эксплуатационного содержания со стороны прежних владельцев привело к потере годности ряда аэродромов государственной авиации. Учитывая стратегическое значение полуострова, как с экономической, так и военно-политической точки зрения важность аэродромной сети трудно переоценить.

В связи с этим нами, в рамках научно-исследовательских работ, направленных на выработку стратегии восстановления аэродромов различного назначения, проведены обследования их состояния.

Обобщенные результаты указанных мероприятий позволили выявить ключевые проблемы состояния аэродромов Крыма.

Во-первых, практически все аэродромы построены в период с 1950 по 1970 годы, с последующей реконструкцией в 80-е годы путем усиления существующего покрытия преимущественно армобетоном.

Во-вторых, в подавляющем большинстве случаев грунты приаэродромной территории представлены четвертичными отложениями с верхним растительным слоем – черноземом, мощность которого сравнительно постоянна и колеблется в пределах 0,3–0,5 м. Чернозем подстилается лессовидным суглинком с глубиной залегания в 12–15 м. Ниже расположены галечники и другие песчано-глинистые породы. Материнской породой повсеместно является пылеватый лессовидный суглинок, отличающийся высокой влагоемкостью и склонностью к просадочности.

В-третьих, при общем удовлетворительном состоянии бетонного покрытия имеют место локальные подвижки отдельных плит, как по вертикали, так и в горизонтальном направлении.

Учитывая тот факт, что за последние 10–15 лет интенсивность летной работы была крайне низкой, влияние эксплуатационных факторов на устойчивость плит покрытия минимально.

Кроме того, в большинстве случаев проектная документация на исходную конструкцию покрытия и после реконструкции отсутствовала.

В связи с этим для оценки состояния аэродромной сети Крыма и последующей выработки предложений по ее развитию и реконструкции нами были проведены георадиолокационные обследования искусственных покрытий и оснований аэродромов государственной авиации.

Георадиолокационное зондирование конструктивных слоев искусственного покрытия и подстилающего грунта позволяет изучить их внутреннюю структуру и физическое состояние, реализовать оперативный контроль эксплуатационного состояния [1, 2]. Георадиолокационное обследование подтвердило свою высокую эффективность при определении геометрических параметров и скрытых дефектов авто-

мобильных дорог и других объектов [3–6].

#### Методика эксперимента

При проведении георадиолокационных исследований использовали георадар серии «ОКО» (ООО «ЛОГИС», г. Жуковский).

В состав оборудования входила высокочастотная антенна, используемая для детального обследования строения аэродромного покрытия с разрешающей способностью по вертикали до сантиметров и низкочастотная антенна для обследования слоев подстилающего грунта ниже покрытия.

Технические характеристики и параметры применяемых антенных блоков приведены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики и параметры антенных блоков

Антенный блок	Центральная частота, МГц	Амплитуда импульса антенны, В	Максимальная глубина зондирования, м*	Разрешающая способность по глубине, м
АБ-700	700	70	3,0	0,1
АБ-1700	1700	70	1,0	0,03

\* Для сред с малым затуханием: песок, лед и т.д.

С помощью указанного оборудования предстояло решить следующие задачи:

1. Обнаружение разнообразных коммуникаций и трубопроводов (теплотрасс, водопроводов, электрических кабелей, коллекторов) на приаэродромной территории.

2. Установление уровня грунтовых вод или верховодки и участков локального повышенного увлажнения.

3. Изучение геологических особенностей верхней части разреза с высокой разрешающей способностью.

4. Поиск ослабленных зон в верхней части разреза (просадки грунта и деформации искусственного основания).

5. Изучение толщин конструктивных слоев аэродромных покрытий с целью их соответствия проектной документации или для оценки их фактических размеров.

В зависимости от выполняемой задачи подбиралась соответствующая частота. С повышением частоты улучшается разрешающая способность, но одновременно снижается глубина исследований. Поскольку толщина армобетонных покрытий в среднем не превышала 50 см, то повышение частоты до предельных величин вполне оправданно.

Работы проводили в режиме пешеходной съемки с использованием специальных антенн с отрывом от поверхности земли (рупорные).

Глубина исследования искусственного и естественного оснований изменялась в зависимости от литологии, то есть присутствия в разрезе глин, плотных суглинков и засоленных грунтов. Наличие перечисленных грунтов резко уменьшает глубину исследования, вплоть до нуля.

В этой связи желательно подтверждение структуры разреза бурением скважин. Однако в условиях аэродрома подобное не представлялось возможным. Указанное условие обусловило дублирование измерений в определенных закрепленных точках в течение года: в летний (сухой) и зимний (влажный) периоды, для получения сравнительной картины состояния подстилающих грунтов.

Работы по радиолокационному обследованию аэродромного покрытия проводили в следующей последовательности:

1. Анализ имеющейся рабочей документации на аэродром, чертежей, дающей представление о конструкции покрытия, расположении арматуры.

2. Составление плана работ, определение последовательности проведения зондирования конструкции.

3. Георадарное обследование дефектных участков искусственных покрытий летного поля.

4. Составление краткого дефектовочного плана обследуемых участков с искусственным покрытием, определение наличия различных дефектов и повреждений с выставлением меток на радарограмме.

5. Обработка полевых материалов и интерпретация данных георадиолокации.

#### Обсуждение результатов

При обработке георадиолокационных данных, ключавшихся в выделении полезных сигналов (отраженных сигналов от искомых объектов) на фоне других сигналов (сигнала прямого прохождения, сигналов-помех и т.д.), использовали процедуры, позволяющие распознать, удалить или ослабить влияние «неполезных» волн.

Эти процедуры входят в состав программы «Geo-

Scan32», которая применялась нами для записи, обработки и интерпретации данных георадара «ОКО».

Обработку данных производили в следующей последовательности:

- привязка к плану по характерным точкам;
- удаление возможной синфазной помехи;
- задание параметров усиления (для получения записи, контрастной по всей длине);
- задание параметров визуализации данных;
- полосовая фильтрация (улучшение соотношения сигнал-шум);
- выделение отражающих горизонтов, участков радарограмм с различным типом записи;
- локализация объектов и аномальных зон.

Выделение различных по структуре и плотности комплексов на георадиолокационных профилях проводили без наличия первичной геологической информации, анализируя только физические взаимоотношения между осями синфазности отраженных волн и различия в волновой картине.

При георадиолокационных работах использовался в основном визуальный анализ [1, 2], при котором исследовали следующее:

- конфигурацию осей синфазности отраженных волн;
- интенсивность осей синфазности (амплитуда отражений);
- частотный состав записи;
- протяженность осей синфазности.

Каждый из указанных параметров обеспечивал определенную информацию о строении данной части конструктивного слоя. Конфигурация осей синфазности в нашем случае являлась наиболее очевидной и поддающейся прямому анализу характеристикой волновой картины при георадиолокационных исследованиях.

Кроме вышеперечисленного, георадиолокация является средством мониторинга состояния ИВПП. В этом случае задача состоит в обнаружении нарушений в составе конструкции покрытия. Наиболее вероятной причиной деформаций ИВПП является развитие суффозии (выноса материала) с образованием зон разуплотнения и просадок грунта. Это происходит

при попадании воды с образованием участков локального переувлажнения, которые успешно выделяются с помощью метода георадиолокации.

В качестве примера приведем данные обследования одного из аэродромов Крыма. По имеющейся проектной и эксплуатационной документации дата постройки искусственной взлетно-посадочной полосы (ИВПП) 1953 г., размеры в плане – 2500x80 м. Исходная конструкция – армобетон толщиной 0,26 м.

В 1984 г. проведена реконструкция путем удлинения на 500 м с устройством нового покрытия из армобетона в два слоя толщинами: верхний – 0,3 и нижний – 0,26 м.

Указанная конструкция ИВПП обеспечивает круглогодично классификационное число PCN 35R/B/X/T. Визуальным осмотром установлено, что состояние покрытия – удовлетворительное.

Тем не менее, в течение ряда лет отмечалось прогрессирующее расширение деформационных швов со ступенчатым подъемом и опусканием плит.

Как ранее указывалось, связать указанные деформации с эксплуатационными воздействиями нельзя, поскольку летная работа на указанной ИВПП не осуществлялась, по крайней мере, в последние 10 лет.

Характерные дефекты швов представлены на рис. 1 и 2.

В связи с этим, одной из задач обследования являлось установление причины развития указанных деформаций при помощи радарограмм.

С этой целью было проведено обследование ИВПП в продольном направлении с захватом дефектных участков.

Полученная радарограмма продольного профиля представлена на рис. 3.

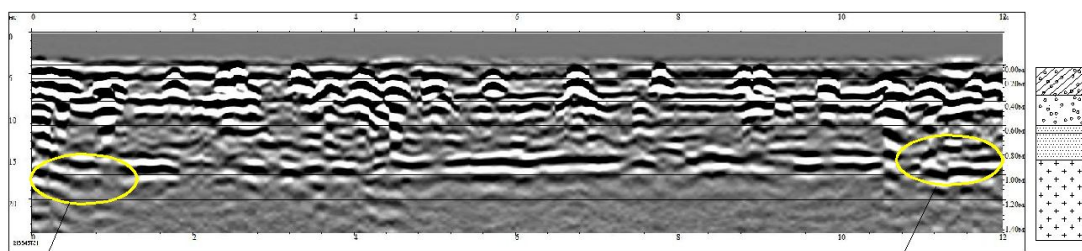
Затем проводили обследование в поперечном направлении участков с наиболее выраженными дефектами. Для получения как можно более достоверной информации о процессах, происходящих в основании, наблюдения проводили неоднократно. Наиболее характерные радарограммы, соответствующие измерениям в сухой ( $f_{42}$ ) сезон, в начале выпадения регулярных осадков ( $f_{43}$ ) и с наступлением весны ( $f_{44}$ ) представлены на рис. 4.



Рис. 1. Уширение шва с разрушением герметика.



Рис. 2. Разрушение ремонтного материала при уширении шва.

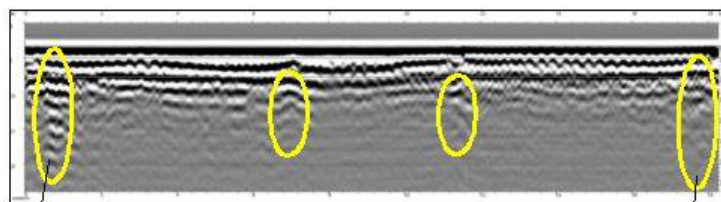


Области переувлажнения  
искусственного и  
естественного основания

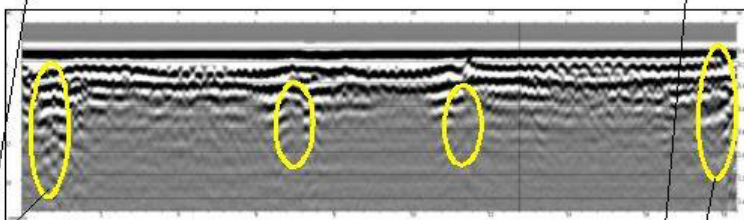
Области переувлажнения  
искусственного и  
естественного основания

Рис. 3. Радарограмма продольного профиля по оси ИВП.

Фрагмент радарограммы f42  
после обработки (поперечный профиль)

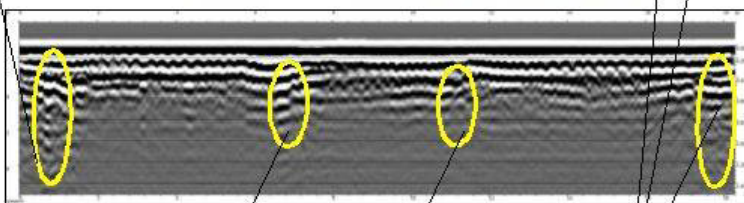


Фрагмент радарограммы f43  
после обработки (поперечный профиль)



Области переувлажнения  
искусственного и  
естественного основания

Фрагмент радарограммы f44  
после обработки (поперечный профиль)



Проникновение воды через швы покрытия  
(частичное отсутствие герметика,  
переувлажнение основания)

Области разуплотнения  
искусственного и  
естественного основания

Рис.4. Радарограммы поперечных профилей ИВП в местах характерных дефектов.

На радарограммах выделенные участки записи характеризуются интенсивными отражениями в сравнении с соседними, и нарушенными осями синфазности (границами). Такой тип записи характерен для неоднородного строения участка грунта с возможным наличием пустот. Участок проинтерпретирован как область разуплотнения и переувлажнения слоев основания.

После обработки радарограмм на выделенном участке записи прослеживаются границы слоя, отличающиеся большей интенсивностью отражения и пониженной частотой. Такой тип записи характерен для повышенного содержания воды в основании. Переувлажнение искусственного и грунтового основания вызвано проникновением воды через швы аэродромного покрытия, вследствие частичного отсутствия в

них герметизирующего материала.

Кроме того, в процессе длительной эксплуатации и систематического воздействия воды произошло смешение конструктивного слоя основания и подстилающего слоя среднетернистого грунтогрунта с одновременным заиливанием указанных слоев в дефектных местах покрытия. Указанное обстоятельство снизило дренажные способности основания практически до нуля, что вызвало местное вымывание подстилающего слоя под деформационными швами.

#### Заключение

Изменение характера радарограмм в летний и зимний периоды напрямую связано с увлажнением основания вследствие проникновения атмосферных осадков в разгерметизированные швы. Поскольку увлажнение заметно увеличивает диэлектрическую проницаемость грунтов (как гигроскопических диэлектриков), профиль радарограмм заметно изменился. Это, в первую очередь, касается зон разуплотнения. Особенностью указанного процесса является то, что подстилающие грунты, частично засоленные и при интерпретации радарограмм таких участков возможны ошибки трактовки результатов.

В силу климатических особенностей Крыма промерзания основания не наблюдается, но при сезонном

колебании влажности подстилающих засоленных грунтов происходит пучение аналогично зимнему.

В связи с этим при отсутствии возможности контрольного бурения целесообразно систематическое наблюдение таких участков для повышения достоверности трактовки радарограмм.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Владов, М. Л. Введение в георадиолокацию / М. Л. Владов, А. В. Старовойтов. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 153 с.
2. Старовойтов, А. В. Интерпретация данных георадиолокационных данных / А. В. Старовойтов. – М.: Изд-во МГУ, 2008. – 187 с.
3. Анур, А. В. Опыт применения георадиолокации для выявления зон развития провалов в городе / А. В. Анур, А. В. Старовойтов, М. Л. Владов // Вестник МГУ. Сер. Геология. – 1999. – С. 55–57.
4. Аузин, А. А. Георадиолокационное обследование проблемных участков дорожно-транспортной сети / А. А. Аузин, С. А. Зацепин // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер.: Геология. – 2012. – №2. – С. 242–247.
5. Аузин, А. А. Георадиолокационное исследование на археологических объектах / А. А. Аузин, С. А. Зацепин // Вестник ВГУ. Сер. Геология. – 2017. – №1. – С. 119–122.
6. Кулижников, А. М. Оценка состояния грунтов георадиолокационными методами / А. М. Кулижников // Дороги и мосты. – 2016. – Вып. 36/2. – С. 113–129.

*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж*

*Барабаш Дмитрий Евгеньевич, начальник кафедры изыскания и проектирования аэродромов, доктор технических наук, профессор  
E-mail: barabash60170@yandex.ru; Тел.: 8-908-146-94-66*

*Миронюк Дмитрий Александрович, доцент кафедры изыскания и проектирования аэродромов, кандидат технических наук  
E-mail: dimir78@yandex.ru; Тел.: 8-919-234-49-60*

*Military educational center of science of Military-air forces «Military-air academy of prof. N.E. Zhukovsky and J.U.A. Gagarin», Voronezh*

*Barabash D. E., Chief of department of research and design of airfields, Doctor of Technical Sciences, Professor  
E-mail: barabash60170@yandex.ru  
Tel.: 8-908-146-94-66*

*Mironyuk D. A., Associate professor of research and design of airfields, Candidate of Technical Sciences  
E-mail: dimir78@yandex.ru  
Tel.: 8-919-234-49-60*