

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Новосибирский государственный аграрный университет
Общество почвоведов имени В.В. Докучаева

ПОЧВЫ В БИОСФЕРЕ

**Сборник материалов Всероссийской научной конференции
с международным участием, посвященной 50-летию
Института почвоведения и агрохимии СО РАН**

10–14 сентября 2018 г., г. Новосибирск

ЧАСТЬ II

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2018

ОСОБЕННОСТИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЕМКИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЛЕСОБОЛОТНЫХ ЭКОТОНОВ

М.А. Каширо¹, А.А. Синюткина², Л.П. Гашкова^{1,2}

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, mkashiro@yandex.ru

² Сибирский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агроботехнологий РАН, Томск, ankalaeva@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены результаты георадиолокационных исследований, проведенных в условиях мелкозалежных участков болот и заболоченных лесов в пределах окраинной части Бакчарского болотного массива (северо-восточная часть Большого Васюганского болота). Разработаны и апробированы алгоритмы интерпретации георадарных данных на основе выявления закономерностей затухания волны в зависимости от смены характеристик торфа с глубиной.

Ключевые слова: георадар, заболачивание, послойная интерпретация, осциллограмма, Васюганское болото, торфяные почвы.

Гидроморфная трансформация прилегающих к болотам территорий является актуальной проблемой для таежной зоны Западной Сибири. Для оценки тренда заболачивания в пределах лесоболотных экотонов и выявления зон потенциального заболачивания необходимо проведение комплексных исследований с использованием современных методов и подходов сбора фактического материала и обработки полученных данных, в том числе с применением метода георадиолокации. Необходимость использования методов неразрушающего контроля обусловлена недостаточностью информации, получаемой с использованием наблюдений на выбранных репрезентативных участках для набора массива статистических данных [1]. Недостатком традиционных методов исследования почвенного покрова и торфяной залежи является низкое пространственное разрешение получаемых данных при обследовании обширных по площади территорий в связи с их высокой трудоемкостью и часто трудной доступностью объектов исследования [2, 3]. С использованием метода георадиолокации возможно получение информации о глубине и стратиграфии торфяной залежи. Точность и детальность полученной информации будет соответствовать данным, собранным с помощью контактных исследований, но со значительно большим пространственным разрешением (до нескольких см вдоль линии профиля). В результате интерпретации данных георадиолокации могут быть выделены слои, имеющие различия в плотности, степени разложения и влажности торфа [4, 5]. Торфяная залежь отличается низкой электропроводностью слоев, что обеспечивает большую глубину проникновения волн и резкое изменение плотности торфа в сравнении с минеральными отложениями, что обеспечивает четкое отражение и хорошую визуализацию на радарограмме [6]. Проведенные ранее исследования [7] показали наличие сложно интерпретируемых границ между горизонтами торфяной залежи, а также торфом и отложениями минерального дна болота при высокой степени разложения и малой мощности торфяной залежи. Часто сложно интерпретируемые участки радарограмм территориально соответствуют окраинным частям болотных массивов и окружающих их заболоченным лесам. Целью исследования является разработка алгоритмов интерпретации данных георадиолокации в условиях мелкозалежных участков болот и заболоченных лесов, в частности в пределах лесоболотных экотонов.

Объектом георадиолокационной съемки является окраинная часть Бакчарского болотного массива (южно-таежная зона Западной Сибири). Георадарная съемка проведена с использованием георадара ОКО-2 в комплекте с двумя экранированными антенными блоками АБ-250 МГц и АБ-700 МГц. Параметры съемки приведены в таблице. С использованием антенного блока АБ-250 получен основной массив данных о глубине торфяной залежи в пределах лесоболотного экотона. Радарограмма, полученная с использованием антенного блока АБ-700 в

пределах сосново-кустарничкового осоково-сфагнового болота, применялась для разработки алгоритмов интерпретации данных и выявления закономерностей затухания волны в зависимости от смены характеристик торфа с глубиной. Георадарный профиль включает в себя 20 георадарных трасс, имеющих высотную привязку к средней поверхности болота и уровню болотных вод.

Параметры георадарной съемки с использованием георадара ОКО-2

Антенный блок	АБ-250	АБ-700
Дата съемки	20.03.2018	25.07.2107
Развертка по глубине, нс	200	24
Глубина зондирования, м	4	1
Шаг сканирования, см	5	25
Режим съемки	«по расстоянию»	«по шагам»
Количество профилей	15	1
Протяженность профилей, м	2300	5
Количество точек контактных измерений	18	1

Контактные измерения мощности торфяной залежи и ее стратиграфических горизонтов, отбор образцов торфа для определения ботанического состава, степени разложения и влажности проведены в течение 2017–2018 гг. Пространственное совмещение данных контактных измерений и георадиолокации проведено с использованием GPS навигатора (точность 5 м) и датчика перемещения (в режиме съемки «по перемещению»). Съемка в режиме «по шагам» проведена непосредственно во время отбора проб торфа, при этом скважина соответствовала одной из георадарных трасс профиля. Образцы торфа отобраны и проанализированы с шагом 10 см до глубины 1 м. В лабораторных условиях проведено определение ботанического состава, степени разложения и влажности торфа.

Обработка и интерпретация данных георадиолокации проведена с использованием программы GeoScan32. Подготовка данных к интерпретации заключалась в удалении постоянной составляющей сигнала (инструмент «удаление среднего»), усиление сигнала в нижней части профиля, определении нуля шкалы глубин. Выделение основных элементов георадарного профиля (георадарных комплексов) выполнено по конфигурации, интенсивности и протяженности осей синфазности, частотного состава записи, скорости распространения волны. Определение диэлектрической проницаемости и расчет глубин залегания горизонтов торфа проведено путем сопоставления глубин расположения границ между выделенными георадарными комплексами во временной шкале с данными контактных измерений на опорных точках [7].

Выделение границы между георадарными комплексами, соответствующими торфяной залежи и отложениям минерального дна болота проводится по резкому увеличению амплитуды сигнала и изменению рисунка осей синфазности на радарограмме. При интерпретации радарограмм, полученных с использованием антенного блока АБ-250 в режиме съемки «по перемещению» в пределах заболоченного леса выделены сложно интерпретируемые участки радарограмм. В связи с отсутствием четкой отражающей границы между древесным торфом со степенью разложения 50 % и более и отложениями минерального дна, увеличение амплитуды сигнала на большинстве георадарных трасс оказалось незначительным и не всегда визуально отображалось на радарограмме. Кроме того, в сравнении с радарограммами, полученными в пределах болот, в заболоченном лесу отмечена большая доля помех в связи с наличием множества поваленных стволов и выворотней корней деревьев, большей расчлененностью микрорельефа поверхности. Для устранения ошибки в определении мощности торфа на таких участках использовался инструмент «выделение огибающей» (преобразование Гилберта) с помощью которого выполняется визуализация изменения амплитуд при отсутствии в разрезе четких отражающих границ (рисунок 1). Кроме того, при определении мощности торфяной залежи для исключения ошибки, связанной с высокой расчлененностью поверхно-

сти, проводилось усреднение значений мощности торфа с использованием значения 100 георадарных трасс на участке профиля протяженностью 5 м. Сравнение данных георадиолокации и контактных измерений на точках показало высокую сходимость результатов, расхождения в значениях мощности торфа не превышают 3 см.



Рис. 1. Осциллограмма георадарной трассы после преобразования Гилберта (окно «визирка» GeoScan 32), горизонтальной линией показана граница торфяной залежи и минерального дна

Обработка и интерпретации данных георадарной съемки, проведенной с использованием антенного блока АБ-700, заключалась в анализе осциллограммы георадарной трассы, соответствующей скважине ручного зондирования. Анализ амплитуд сигнала георадарной трассы позволил выделить три участка осциллограммы, соответствующих залеганию отдельных видов торфа. Верхняя часть георадарной трассы до глубины 33 см характеризуется высокими значениями амплитуды сигнала при некотором затухании сигнала на глубине 27 см, что соответствует смене сфагнового торфа на древесно-сфагновый. При этом граница перехода нечеткая, что не позволило выделить верхнюю границу слоя древесно-сфагнового верхового торфа (рис. 2).

На глубине 33–51 см уверенно выделяется слой с резким затуханием сигнала, соответствующий залеганию древесно-пушицевого верхового торфа. Ниже при смене торфа на древесно-травяной низинный и понижении влажности торфа амплитуда сигнала резко увеличивается с последующим постепенным затуханием до границы минерального дна болота. Анализ отклонений фактических значений глубин, полученных по осциллограмме, и расчетных по уравнению экспоненциальной кривой в зависимости от значений амплитуд сигнала, позволил выделить слой на глубине 38–49 см, соответствующий слою с более высокими значениями степени разложения торфа (45%) в сравнении с соседними слоями (35 и 40%) при общем равномерном снижении значений с 5 до 50% с глубиной.

В результате сопоставления георадарных данных (АБ-700) и материалов контактных измерений выявлены следующие особенности интерпретации осциллограмм георадарных трасс по изменению амплитуд сигнала. В большинстве случаев уверенной интерпретации путем визуального анализа осциллограмм поддаются слои торфа, мощностью более 10 см. В верхнем слое торфяной залежи выделение границ возможно с глубины 25–30 см и более. Наиболее точно происходит выделение границ между торфами разных типов и при резкой смене значений влажности и степени разложения торфа (на 5% и более), а также слоев торфа, содержащих в значительном количестве остатки пушицы (более 40–50%), характеризующиеся

резким затуханием сигнала и отсутствием выраженных осей синфазности на радарограмме. В понижениях микрорельефа затухание сигнала происходит медленнее в сравнении с повышенными формами, поэтому для послойной интерпретации оптимально использовать георадарные трассы, соответствующие выровненным пониженным участкам поверхности болота.

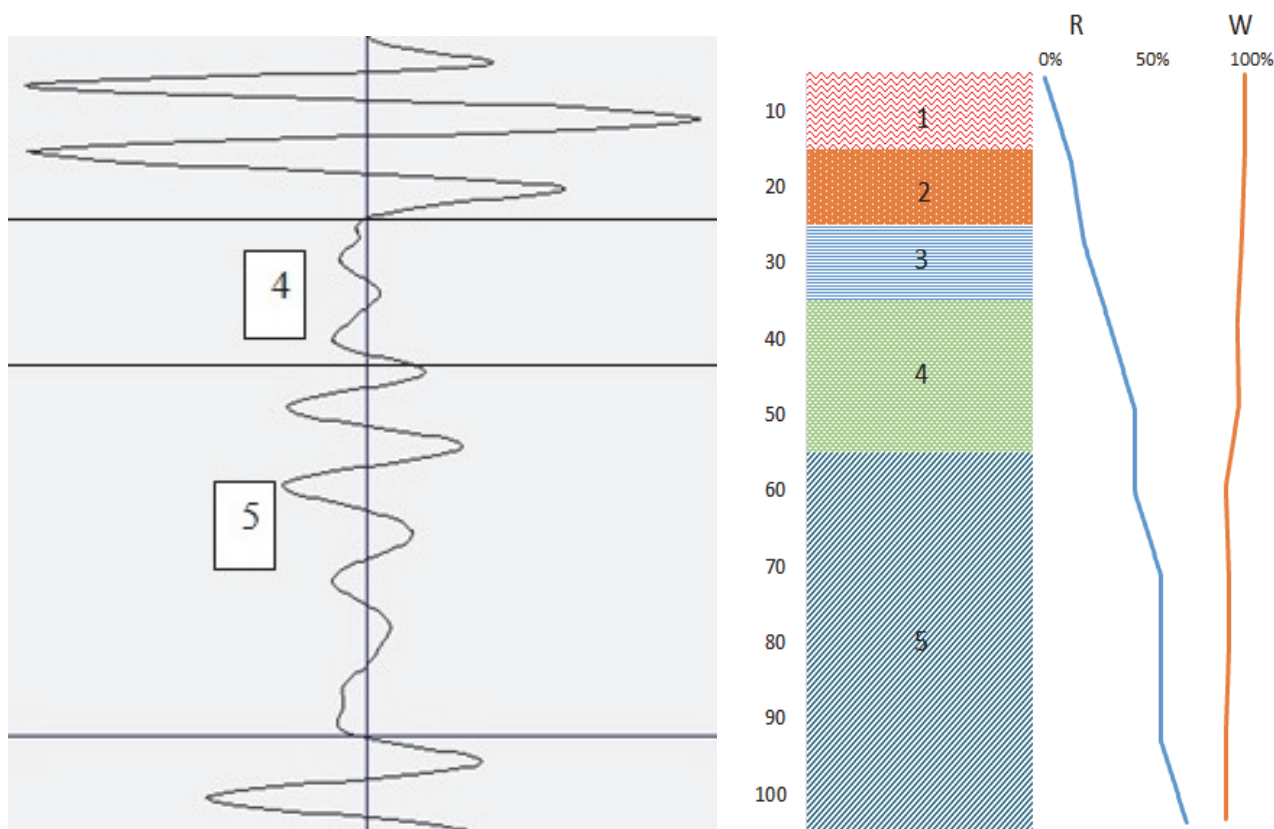


Рис. 2. Соотношение осциллограммы георадарной трассы и стратиграфической колонки торфяной залежи сосново-кустарничкового травяно-сфагнового болота. Виды торфа: 1 – магелланикум верховой; 2 – комплексный верховой; 3 – древесно-сфагновый верховой; 4 – древесно-пушицевый переходный; 5 – древесно-травяной низинный

Таким образом, в результате исследования показаны возможности применения данных георадарной съемки для изучения состояния лесоболотных экотон. Рассмотрены особенности проведения съемки и интерпретации георадарных данных совместно с использованием георадара ОКО-2 в комплекте с двумя экранированными антенными блоками с частотой зондирования 250 МГц и 700 МГц. Отмечена высокая сходимость георадарных данных в сравнении с контактными измерениями и обоснована возможность применения данного комплекта георадара для изучения стратиграфии торфа мелкозалежных участков болот и заболоченных лесов.

Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме «Разработка методики эколого-мелиоративного мониторинга и геоинформационного моделирования состояния и динамики ландшафтного покрова заболоченных территорий» и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00387–мол_a (проведение и интерпретация данных площадной георадарной съемки в пределах лесоболотного экотона).

Литература

1. Дьяконов К.Н., Линник В.Г. Некоторые проблемы науки о ландшафте XXI века // Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов: материалы XIII Международной ландшафтной конференции, посвященной столетию со дня рождения Ф.Н. Милькова, Воронеж, 14–17 мая, 2018 г. Воронеж: ИСТОКИ, 2018. Т. 1. С. 19–24.

2. Ulriksen P. Investigation of peat thickness with radar // Proc. of 6th Int. Peat Congress, Duluth, Minnesota, August 1980. PP. 126-129.
3. Walter J., Hamann G., Luck E., Klingenfuss C., Zeitz J. Stratigraphy and soil properties of fens: Geophysical case studies from northeastern Germany // Catena. 2016. № 142. PP. 112–125.
4. Worsfold R.D., Parashar S.K., Perrot T. Depth profiling of peat deposits with impulse radar. Can. Geotech. Journal. 1986. № 23(2). PP. 142-145.
5. Daniels, D.J. Ground Penetrating Radar, second ed. London: The Institution of Electrical Engineers, 2004. 796 p.
6. Lowry C. Fratta D. Anderson M.P. Ground penetrating radar and spring formation in a groundwater dominated peat wetland // Journal of Hydrology. 2009. № 373. P. 68–79.
7. Синюткина А.А., Рочев В.В. Интерпретация данных георадиолокационной съемки снежного покрова и торфяной залежи в пределах болот и лесоболотных экотонов // Материалы Международной конференции и школы молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: ENVIROMIS–2018. С. 398–401.

PECULIARITIES OF DATA INTERPRETATION GPR SURVEY OF SOIL COVER OF FOREST-BOG ECOTONES

M.A. Kashiro¹, A.A. Sinyutkina², L.P. Gashkova^{1,2}

¹National Research Tomsk state university, Tomsk, mkashiro@yandex.ru

²Siberian Research Institute of Agricultural and Peat – branch of Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Biotechnologies, Tomsk, ankalaeva@yandex.ru

Summary. *The article presents the results of georadar-tracking studies conducted in the conditions of shallow peat deposits sites within the marginal part of the Bakchar Bog (the northeastern part of the Greater Vasyugan bog). Algorithms for the interpretation of georadar data are developed and tested based on the detection of patterns of wave attenuation as a function of the change in peat characteristics with depth.*

Keywords: *GPR, paludification, GPR data interpretation, oscillogram, Vasyugan mire, peat soil.*