

# Analysis of georadar data to estimate the distributions of snow cover and peat deposits within the wetlands

<sup>1</sup>Sinyutkina A., <sup>2</sup>Rochev V.

<sup>1</sup> Siberian Research Institute of Agricultural and Peat – branch of Siberian Federal Scientific Centre of Agricultural Biotechnology, Tomsk, Russia

<sup>2</sup> National Research Tomsk State University, Russia

E-mail: ankalaeva@yandex.ru

The Ground Penetrating Radar (GPR) is a promising method for studying of mire systems. GPR is able to give accurate estimates of depth and features of genetic peat layer deposits, depth of mineral subsoil, mean snow depth (Orlov TV et al., 2016, Karpov, DV Semenov, SP 2012, Lowry C. et al, 2009, Godio A., Rege RB, 2016, Mironchev AS et al., 2016). Georadar sounding makes it possible to isolate boundaries that are well interpretable (for example, between the peat and the mineral bottom of the mire), but in addition there is a number of difficult interpretation boundaries that determine the need to improve the GPR data processing methods. The goal of the work is the development and approbation of algorithms for interpretation of GPR data in conditions of wetlands, in particular, the marginal parts of the bogs with the contrast structure of the peat deposit.

The study area is located within the southeast West Siberia plain in the interfluvium of Bakchar River and Iksa River (Middle Ob River watershed). GPR survey was conducted in the north-eastern part of the Great Vasyugan mire near Polynyanika village in Tomsk region of Russia (N56°58' E82°36'). The study area include typical Western Siberia pine-shrub-sphagnum, pine-shrub sedge- sphagnum ombrotrophic mires and swamp forest with birch, aspen, Siberian cedar and spruce in the margin part of bog massive. The GPR surveys, which covered a total distance of 2 kilometers, were conducted in March 2017. We employed GPR system “OKO-2” (“Logical systems”, Russia) with 250 MHz and 700 MHz shielded antenna and displacement sensor. Measurements were collected with a step size of 50 mm and the receiver set at a 24 ns (700 MHz) and 100 ns (250 MHz) time window. We placed marks visual as vertical lines on radiograms every 50-100 m during the GPR surveys to measure of snow depth, collected peat core and to binding high-altitude data. The marks, beginning and end of GPR transect were located with GPS. Field data were collected in June 2017 to validate GPR data the depth and properties of peat deposits. The data processing was carried out with the GeoScan32 V.2.6 software (Logical Systems, 2016) and assumed the following main steps: background removal by applying an average subtraction, using gain function to compensate for signal decay, zeroing of depth scale in accordance with the snow and peat surface, identification of reflector depth representing the peat and mineral subsoil (clay) interface and interface between the classes of peat, determination of dielectric permittivity and depth of peat layers.

Data processing was carry out on example of GPR transect within the pine-shrub-sphagnum mire from margins to centre. The length of the transect is 450 m, the number of profile tracks is 9067. Contact measurements are made at 6 points located 100 m along the GPR transect.

The survey results with the 700 MHz antenna were used to estimate the spatial distribution of snow cover depth. Statistical analysis of GPR and contact measurements data of the snow depth within the main types of bog microlandscapes using nonparametric criteria for comparing mean values did not reveal significant differences between the two independent data groups. The difference in the mean values for all survey objects between GPR and manual measurements data does not exceed 1 cm. This is much less than the error specified by the manufacturer (10 cm). Four separate georadar complexes with a characteristic wave field distribution are confidently distinguished on the radargram obtained with the 250 MHz antenna: snow; sphagnum and grass-sphagnum fibric peat; hemic and sapric peat; mineral subsoil (clay and clay loam).

Thus, four georadar complexes are identified, corresponding to media with different values of the dielectric permittivity as a result of the layer-by-layer interpretation of survey data using the 250 MHz antenna. The 700 MHz antenna was used to estimate the snow cover during the period of maximum snow accumulation. It showed more accurate data in comparison with the 250 MHz antenna. The 700 MHz use is advisable for survey of a peat deposit only in summer on shallow and complex structure peat deposits due to the low depth of sounding and high accuracy. The boundaries of the selected georadar complexes with the data of contact measurements are compared; a profile of the structure of the peat deposit and the mineral bottom of the mire is constructed. The high accuracy of the data obtained with the use of a georadar, confirmed by the convergence with the data of contact measurements is revealed. As a result of the study, it was concluded that GPR methods can be used in conjunction with contact measurements to estimate the snow cover depth distribution, to estimate the thickness of the peat deposit and its genetic layers.

# Интерпретация данных георадиолокационной съемки снежного покрова и торфяной залежи в пределах болот и лесоболотных экотонов

<sup>1</sup>Синюткина А.А., <sup>2</sup>Рочев В.В.

<sup>1</sup> Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агrobiотехнологий РАН, Томск, Россия

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия  
E-mail: ankalaeva@yandex.ru

Георадарное профилирование является перспективным методом изучения болотных систем, в первую очередь для выявления дна болота и вертикальных особенностей торфяной залежи (Орлов Т.В. и др., 2016, Карпов Д.В. Семенов С.П. 2012), определения гидрогеологических параметров (гидростратиграфии) (Lowry C. et al, 2009), глубины снега (Godio A., Rege R.V., 2016, Мироньчев А.С. и др., 2016) и др. Георадарное зондирование позволяет выделять границы, которые хорошо поддаются интерпретации (например, между торфом и минеральным дном болота), но кроме этого существует ряд сложно интерпретируемых границ, что определяет необходимость усовершенствования методов обработки георадарных данных. Целью работы является разработка и апробация алгоритмов интерпретации данных георадиолокации в условиях заболоченных территорий, в частности окраинных частей верховых болот с контрастным строением торфяной залежи.

Георадарная съемка проведена в марте 2017 в период максимального снегонакопления в пределах окраинной части Бакчарского болотного массива (подзона южной тайги, Западная Сибирь) с использованием георадара ОКО-2. В полевой комплект георадара ОКО-2 входит блок управления и обработки, экранированные антенные блоки АБ-250 МГц с максимальной глубиной зондирования 8 м и разрешающей способностью 0,25 см и АБ-700 МГц с глубиной зондирования 3 м и разрешающей способностью 0,10 м. Общая протяженность георадарных профилей составила 2 км для каждого антенного блока. При зондировании использовался шаг сканирования 50 мм для обоих антенных блоков, что обеспечило сравнимость результатов интерпретации полученных радарограмм. Развертка по глубине составляла 24 нс и 100 нс при использовании АБ-700 для АБ-250 соответственно. Во время зондирования устанавливались метки, отображающиеся как вертикальные линии на радарограммах. Каждой метке присваивалось числовое значение в соответствии с порядком простановки. В пределах каждого профиля устанавливается 4-6 промежуточных меток через 50-100 м в зависимости от протяженности профиля и неоднородности торфяной залежи. Для точной привязки результатов георадиолокации использовался датчик движения ДП-32, кроме того, пространственная привязка начала, конца профиля и промежуточных меток проведена с использованием GPS приемника.

Контактные измерения глубины снега и зондировка торфяной залежи выполнены в соответствии с метками георадарного профиля для проверки данных, полученных с использованием георадара. Высотная привязка профиля проведена по данным нивелирной съемки поверхности болота с определением высот поверхности на точках контактных измерений.

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 и изменении рельефа профиля. Определение нуля шкалы глубин проводилось в два этапа. На первом этапе ноль шкалы глубин устанавливался в соответствии с поверхностью снежного покрова в месте осциллограммы, где амплитуда в первый раз принимает нулевое значение. На втором этапе ноль шкалы глубин переносился на поверхность торфяной залежи по резкому увеличению амплитуды сигнала при переходе в другую среду. Изменение рельефа профиля выполнялось путем ввода координаты Z для каждой трассы с известными значениями высот в соответствии с данными нивелирной съемки вдоль линии профиля. 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 и мощности слоев снега и горизонтов торфа проведено путем сопоставления глубин расположения границ между выделенными георадарными комплексами во временной шкале с данными контактных измерений на опорных точках.

Послойная интерпретация георадарных профилей рассмотрена на примере результатов георадарной съемки, проведенной по направлению от окраины к центральной части Бакчарского болотного массива в пределах сосново-кустарничково-сфагнового микроландшафта. Длина профиля составляет 450 м, количество трасс профиля 9067. Контактные измерения выполнены на 6 точках, расположенных через 100 м вдоль георадарного профиля.

На радарограмме, полученной с использованием АБ-250, уверенно выделяются четыре отдельных георадарных комплекса, имеющих характерное распределение волнового поля (рисунки 1, 2). Первый комплекс соответствует слою снежного покрова. Для него характерны вытянутые параллельные оси синфазности, низкоамплитудные колебания прямого сигнала с постепенным уменьшением амплитуды с нижней части слоя.

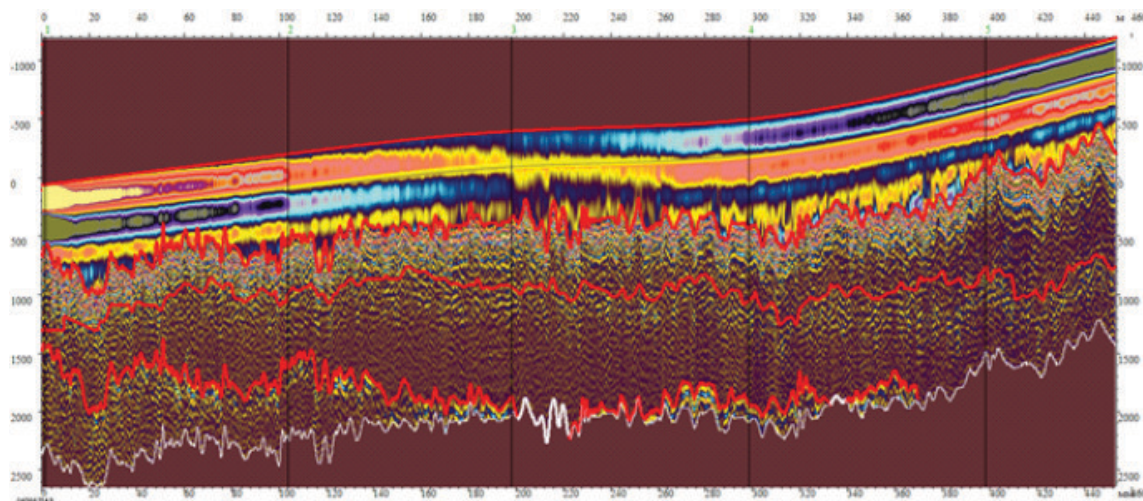


Рис. 1. Границы георадарных комплексов.

Верхняя граница второго георадарного комплекса соответствует поверхности болота и достаточно уверенно выделяется по границе между осями синфазности белого и черного цвета при резком увеличении амплитуды сигнала. В пределах георадарного комплекса наблюдается практически полное затухание сигнала у его нижней границы. В соответствии с данными ручного зондирования торфяной залежи второй георадарный комплекс соответствуют слою сфагнового и травяно-сфагнового верхового торфа с низкой степенью разложения. Граница между вторым и третьим георадарными комплексами не четкая и выражена не на всем протяжении радарограммы. Комплекс выделяется по незначительному увеличению амплитуды сигнала при переходе в более плотный слой торфяной залежи с высокой степенью разложения. Четвертый георадарный комплекс соответствует отложениям минерального дна болота, сложенного на данном участке глинами и суглинками. Граница выделяется по резкому увеличению амплитуды сигнала и изменению рисунка осей синфазности на радарограмме. Кроме анализа изменения рисунка осей синфазности и анализа изменения амплитуд прямого сигнала на осциллограмме для уточнения границ на сложно интерпретируемых участках профиля использован инструмент «выделение огибающей», с помощью которого выполняется визуализация изменения амплитуд при отсутствии в разрезе четких отражающих границ.

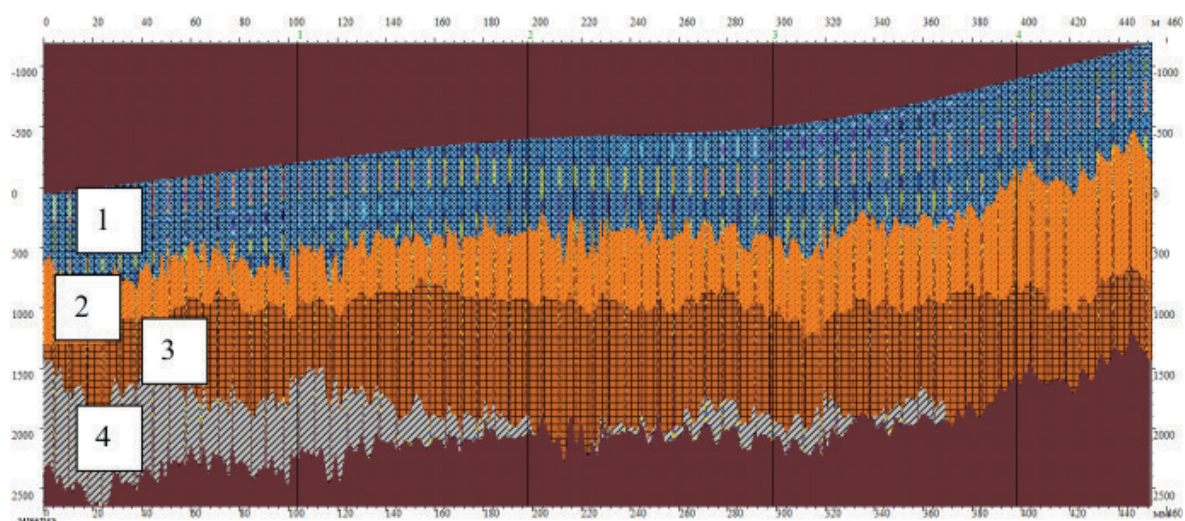
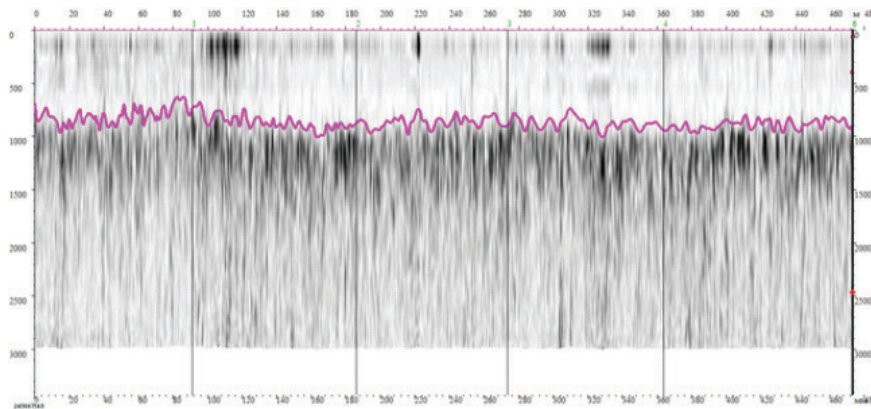


Рис. 2. Результаты послойной интерпретации георадиограммы: 1 – снег; 2 – верховой торф с низкой степенью разложения; 3 – переходный и низинный торф с высокой степенью разложения; 4 – минеральное дно болота (глина).

Для оценки пространственного распределения высоты снежного покрова использованы результаты съемки с применением антенного блока АБ-700. В процессе интерпретации радарограмм отмечено,

что развитие моховой и кустарничковой растительности на болотах делает границу между снегом и поверхностью болота на радарограмме менее четкой в сравнении с травяными сообществами на минеральных почвах, что может привести к неверному определению границ между георадарными комплексами. Для исключения подобных ошибок при отрисовке нижней границы слоя снега необходимо совместное использование осциллограмм и радарограмм после преобразования Гилберта, с помощью которого наглядно отображается граница увеличения амплитуды сигнала при переходе с белой зоны на черную (рисунок 3).

Статистический анализ данных георадарной съемки и контактных измерений снежного покрова в основных видах болотных микроландшафтов с использованием непараметрических критериев сравнения средних значений не выявил значимых различий между двумя независимыми группами данных. Разница средних значений по всем объектам исследования между данными георадиолокации и ручных измерений не превышает 1 см, что значительно меньше погрешности, указанной производителем (10 см).



**Рис. 3.** Слой снега на радарограмме после выделения огибающей (АБ-700, заболоченный лес, дата съемки 21.03.2017).

Таким образом, в результате послойной интерпретации данных съемки с использованием антенного блока АБ-250 выделены четыре георадарных комплекса, соответствующие средам с различными значениями диэлектрической проницаемости. Для оценки высоты снежного покрова в период максимального снегонакопления использован антенный блок АБ-700, показавший более точные данные в сравнении с АБ-250. При этом в связи с низкой глубиной зондирования и высокой точностью, его использование для съемки торфяной залежи целесообразно только в летний период на мелкозалежных участках болот. Проведено сопоставление границ выделенных георадарных комплексов с данными контактных измерений, построен профиль строения торфяной залежи и минерального дна болота. Выявлена высокая точность данных, полученных с использованием георадара, подтвержденная сходимостью с данными контактных измерений. В результате исследования сделан вывод о возможности применения методов георадиолокации совместно с контактными измерениями для оценки распределения высоты снежного покрова, а также для оценки мощности торфяной залежи и ее отдельных горизонтов.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме «Разработка методики эколого-мелиоративного мониторинга и геоинформационного моделирования состояния и динамики ландшафтного покрова заболоченных территорий» (разработка алгоритмов интерпретации данных георадиолокации в условиях заболоченных территорий) и при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00387 – мол\_а (анализ георадарных комплексов в пределах окраинной части болотного массива).*

#### **Литература:**

1. Карпов Д.В. Семенов С.П. Георадиолокационные измерения на заболоченных территориях // Вестник Югорского государственного университета. – 2012. Выпуск 3(26). С. 66-70.
2. Мироньчев А.С., Клоков А.В., Запасной А.С., Дюкарев Е.А., Смирнов С.В. Исследование высоты снежного покрова и толщины торфяной залежи олиготрофного болота методом геолокации // Известия Высших учебных заведений. Физика. №12-3. Том 59. 2016. С. 108-112
3. Орлов Т.В. Садков С.А., Зверев А.В., Викторов А.С., Калашиников А.Ю., Заров Е.А., Филиппов И.В. Использование георадарных и дистанционных методов и математического моделирования при изучении торфяных отложений для решения геоэкологических задач // Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи. – М.: Российский университет дружбы народов. – С. 679-683.
4. Godio A., Rege R.B. Analysis of georadar data to estimate the snow depth distribution // Journal of Applied Geophysics 129 (2016). 92-100
5. Lowry C. Fratta D. Anderson M.P. Ground penetrating radar and spring formation in a groundwater dominated peat wetland // Journal of Hydrology 373(2009) 68-79.