
МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА
ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 550.837.76:911.52

ГЕОРАДАР В ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ПРИ
ИСКУССТВЕННОМ ОБВОДНЕНИИ ТОРФЯНИКОВ

© 2017 г. С. С. Бричёва*, В. М. Матасов**, П. М. Шилов**

*МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, каф. сейсмометрии и геоакустики;
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1. E-mail: svebrich@gmail.com;

**МГУ им. М.В. Ломоносова, Географический факультет, каф. физ. геогр. и ландшафтоведения;
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1.

Поступила в редакцию 04.04.2016 г.

Описывается опыт применения георадиолокации в составе ландшафтно-геоэкологических работ в национальном парке “Мещёра”, где производится обводнение бывших торфоразработок в целях снижения пожароопасности и восстановления болотных экосистем. Цель ландшафтных исследований в данном районе – обоснование размещения сети точек мониторинга последствий обводнения. Георадар использовался для получения данных о мощности торфяной залежи, глубинах отложений, уровне грунтовых вод. Для этого была заложена сеть георадарных профилей с точками независимого определения мощности и характеристик торфа, ландшафтными описаниями, замерами мощности снега и глубины промерзания почвы. Полученные методом георадиолокации сведения о литологии района работ использовались при описании межкомпонентных связей экосистемы.

Ключевые слова: георадар, георадиолокация, обводнение торфяников, геоэкология, национальный парк “Мещёра”.

ВВЕДЕНИЕ

Важную роль в функционировании болотной экосистемы играет торфяная залежь. Торф регулирует круговорот воды и углерода, поддерживает баланс воды и органики в почве, влияет на биоразнообразие, депонирует углерод, смягчая “парниковый эффект”. Однако все сказанное выше относится к естественным или грамотно рекультивированным торфяникам. В заброшенных торфоразработках естественное функционирование нарушено, и оставленные без рекультивации сухие поля фрезерной добычи торфа являются источником высокой опасности возгораний. Сейчас в России не используются и находятся в заброшенном неудовлетворительном состоянии свыше 1/3 осушенных сельскохозяйственных угодий, практически не проводятся реконструкции лесоосушительных сетей. Приходят в негодность и противопожарные системы [4, 7]. В жаркие засушливые годы заброшенные поля торфоразработок подвержены различным негативным геоэкологическим процессам: интенсивному разложению торфа, водной и ветровой эрозии, эмиссии диоксида углерода в атмосферу. Для предотвращения указанных процессов необходимо искусственное подтопление таких территорий

для восстановления гидрологического режима болотных экосистем с последующим мониторингом изменений. Мощность остаточной торфяной залежи – один из ключевых параметров, которые принимаются во внимание при решении дальнейшей судьбы болота: его обводнения, восстановления или продолжения разработки. Кроме того, мощность остаточной залежи в осушенном торфянике необходимо учитывать при расчете выбросов диоксида углерода в атмосферу.

Поскольку универсальной стратегии по восстановлению заброшенных торфяников не существует [13], требуется тщательный геоэкологический анализ каждого торфяника, особенно в отношении гидрологических условий. В зависимости от климатических условий, типа питания, физических свойств залежи, ее мощности, рельефа и других характеристик выбирается стратегия обводнения. Однако неиспользуемые торфоразработки имеют значительные размеры, мозаичную и густую растительность, труднопроходимы и сложны для наземного картографирования. Поэтому для такого рода работ требуется привлечение данных спутниковых наблюдений. Пока нет реальных возможностей прямого определения даже наличия, не говоря уже о мощности,

торфяной залежи дистанционным путем. Кроме этого, перекрытие спектральных характеристик с характеристиками других угодий исключает возможность достоверной интерпретации материалов, особенно для облесенных болот и заболоченных земель [8]. Существует проблема неоднозначности дешифрирования снимков. Для ее разрешения требуется помимо дистанционных работ проводить также наземные исследования, к которым, кроме классических геоботанических и ландшафтных работ, предлагается в рамках внедрения современных методик инженерной геофизики привлечь метод георадиолокации. Этот метод, позволяющий оперативно получать информацию о строении геологического разреза, успешно применяется в геологоразведке, инженерных изысканиях и археологии, но пока мало используется в отечественном и зарубежном ландшафтоведении, хотя в ряде работ [2, 10–12] убедительно демонстрируются возможности георадиолокации в различных геоэкологических исследованиях.

РАЙОН РАБОТ И ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в январе 2015 г. в Национальном парке (НП) “Мещёра”, расположенном в Мещёрской провинции физико-географической страны Русской равнины. Здесь широко представлены дерново-подзолисто-глеевые и болотные почвы, развитые на древнеаллювиальных и флювиогляциальных песках, подстилаемых местами мореной. По геоботаническому районированию парк относится к северной полосе Восточно-Европейского варианта подзоны подтайги таежной зоны. Болотная растительность до начала активного освоения занимала около четверти территории парка [6].

В южной части НП “Мещёра” располагается Орловско-Курловский болотный массив (55°27'N40°19'E). На плоском рельефе с незначительным уклоном поверхности, довольно высоким уровнем грунтовых вод (УГВ) и при достаточном минеральном питании здесь сформировалось болото низинного типа с травяно-моховой и древесной растительностью. Минеральное дно представлено в основном флювиогляциальными песками с редкими включениями супеси и моренного суглинка. Болото разделяется на две части: южную, незатронутую торфоразработками, и северную, где в 1960-х годах производилась торфодобыча, и которая подлежит обводнению. Торфоразработки сопровождались мероприятиями по понижению УГВ, для чего были выкопаны магистральные и валовые каналы и спрямлено

русло р. Караслицы [5]. Именно в северной части было заложено несколько ключевых участков, где и проводились исследования, освещенные в статье.

МЕТОД ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗУЧАЕМОЙ СРЕДЫ

Принцип действия георадара состоит в следующем: в изучаемую среду с помощью передающей антенны излучается короткий электромагнитный импульс с диапазоном частот от 50 до 3000 МГц (выбор обусловлен задачей исследования). Излученный импульс отражается от границ и включений в среде, различных по электрическим свойствам. Отраженный сигнал фиксируется приемной антенной и записывается для последующей обработки на компьютере. Зависимость амплитуды принимаемого сигнала от времени его прихода называется *георадарной трассой*. При перемещении радара в пространстве получают совокупность трасс, называемую радарограммой.

Радарограмма – это своеобразный временной разрез. Радарограмма не является точной копией среды, но временной разрез может быть с достаточной точностью переведен в глубинный, в результате чего видимые границы будут соответствовать геологическим. Процедура перехода от временного разреза к глубинному хорошо известна [9].

На торфяниках при помощи георадара наиболее достоверно могут быть зафиксированы границы торфа и подстилающих его отложений, т.е. граница минерального дна болотного массива, а также границы раздела других отложений и зон разной влагонасыщенности, в том числе УГВ. Торф, как и другие среды, в электромагнитном поле характеризуется *диэлектрической проницаемостью ϵ , скоростью распространения волн V , затуханием электромагнитных волн и коэффициентами поглощения и отражения*. Все перечисленные параметры зависят от степени разложения, химического состава торфа, влаго содержания, плотности, температуры и частоты приложенного поля. Для определения реального положения границ на радарной записи по глубине необходимо знать скорость распространения электромагнитной волны в среде. В георадиолокации она связана с вещественной частью диэлектрической проницаемости через скорость света C приближенной формулой

$$V = \frac{C}{\sqrt{\epsilon}}$$

Существует несколько способов определения скорости V [9], наиболее надежный из которых — прямое определение скорости непосредственно *in situ* (“на месте”). В нашей работе для этого были выполнены следующие измерения. На расстоянии 1 м друг от друга в торфе были выкопаны два шурфа. Антенный блок георадара помещался вплотную к боковой стенке одного из шурфов, запись велась в непрерывном режиме через торф в сторону 2-го шурфа. На радарограммах отражались достоверные границы торф-воздух и воздух-торф. Зная по радарограмме время пробега волны до границы, нетрудно было определить, что скорость в торфе порядка 3.5 см/нс, что соответствует диэлектрической проницаемости 65–70 (см. формулу). Образец торфа, взятый непосредственно в месте проведения эксперимента, имел весовую влажность 67% и зольность 3.6%. Скорости для подстилающих пород (флювиогляциальных песков и суглинков) были определены по гиперболам дифракции [1, 9] там, где это возможно, и по данным буровых скважин.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

На предполевом этапе на основе данных по обоснованию мелиоративных работ 1960 г. ОАО “ГИПРОТОРФ” [5] составлены цифровые модели рельефа (ЦМР) болотного массива до его выработки, его минерального дна и мощности торфа (она достигала 3–4 м), а также карты свойств торфяной толщи (влажность, зольность, ботанический состав и т.п.). Затем была проведена классификация ландшафтного покрова по снимку съемочной системы OLI спутника Landsat 8 с разрешением 30 м в мультиспектральном диапазоне. Один из ключевых участков размером 240 × 240 м, выбранный на основе предварительной классификации, располагался недалеко от д. Мокрое в краевой зоне болотного массива. Участок представляет собой слабоволнистую поверхность с перепадом высот не более 3 м. Здесь с шагом 30 м выполнялись комплексные ландшафтные описания. На каждой точке описания фиксировали ряд ключевых параметров, характеризующих компоненты геосистемы: глубину снежной толщи, ее внутреннее строение и плотность снега, глубину промерзания, видовой состав, обилие и высоту древесного и кустарникового ярусов. Съемка рельефа выполнена при помощи тахеометра Leica с нерегулярным шагом около 10 м, привязка к абсолютной системе координат проведена при помощи геодезического GPS-приемника Topcon GRS-1. По результатам съемки составлена ЦМР с разрешением 1 м.

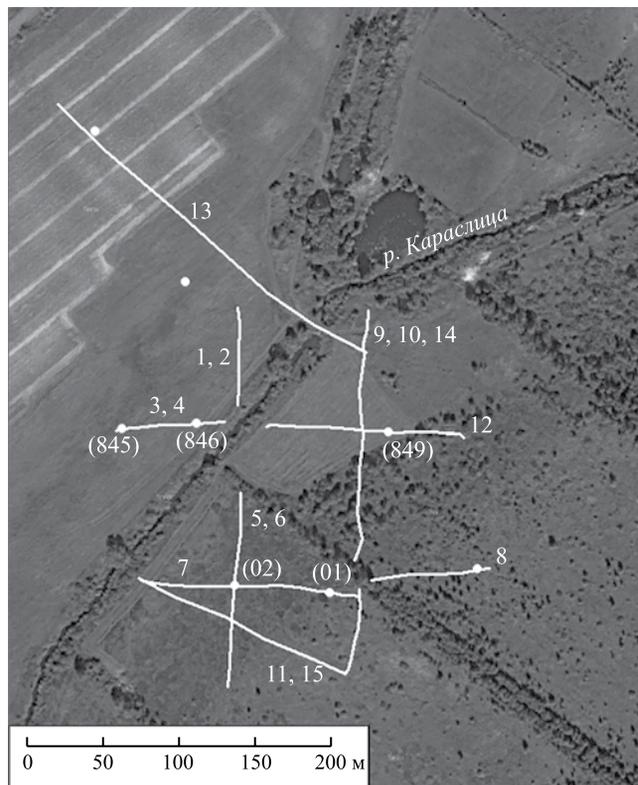


Рис. 1. Схема расположения георадарных профилей на ключевом участке. Цифрами обозначены номера профилей, цифрами в скобках — номера буровых скважин, упоминаемых в тексте статьи. Прочие буровые скважины отмечены кружками.

Для метода георадиолокации применялся двухканальный георадар ОКО-2 (ООО “Логис”, Россия), центральная частота экранированных антенных блоков (АБ250 и АБ700) составляла 250 и 700 МГц. Длина электромагнитной волны в торфе при таких частотах при средней скорости волны 3–5 см/нс составляет от 4 до 20 см, а разрешающая способность метода по глубине — от 2 до 10 см в идеальных условиях (ровная поверхность, однородная среда). Если же рассматривать не только торф, а весь массив в целом, содержащий пески и суглинки, то средняя скорость волны может быть принята равной 10 см/нс, тогда разрешающая способность по глубине составит 15–20 см для выбранных антенн при глубине зондирования до 4 м, что вполне достаточно для решения поставленной задачи. Разрешающая способность метода по глубине является ограничением точности, детальности результатов. То есть погрешность в определении глубин границ в нашем случае не превысит 15–20 см. Это означает, что две границы, расстояние по глубине между которыми менее 15 см, на радарограмме будут неразличимы, станут как бы одной границей!

Запись велась в непрерывном режиме, в умеренном темпе, все особенности профиля и точки пересечения профилей фиксировались. Для выбора оптимальных разверток по времени для обеих антенн пройдено несколько пробных профилей. Для антенного блока АБ250 полезный сигнал содержался в первых 120 нс записи, для антенного блока АБ700 – в первых 30 нс. На более поздних временах наблюдался шум. Местоположение профилей в реальном времени фиксировалось GPS-приемником (рис. 1). Длина профилей также контролировалась при помощи геодезической рулетки. В точках пересечения профилей и на их концах проводились контрольное бурение на глубину до 2 м, описание отложений, контроль положения УГВ.

Обработка радарограмм производилась в программе RadExplorer и включала в себя ряд стандартных процедур: корректировка положения нуля, вычитание среднего, регулировка контрастности, яркости и усиления. Данные буровых скважин и информация о свойствах торфа в дальнейшем использовались при интерпретации границ на радарограммах, оценке скоростей в выделенных слоях и при переводе временного разреза в глубинный.

Основные этапы интерпретации данных георадиолокации – выделение разных типов *волновых картин* и *осей синфазности*. Радарограмма представляет собой совокупность разных типов волновых картин. Тип волновой картины – совокупность фрагментов трасс, близких по частотному составу, одинаковых “на глаз”. *Оси синфазности* – одинаковые фазы колебаний, т.е. максимумы и минимумы на записи (черные и белые тона), характеризующиеся одинаковой устойчивой формой и амплитудой на соседних трассах. Привязка осей синфазности к геологическим границам, подтвержденным по буровым, осуществлялась по стандартной методике [9]. Также проводилось контрольное бурение для верификации оцененной по радарограммам глубины положения УГВ.

По итогам интерпретации данных георадиолокации получены сведения о пространственном распространении остаточной торфяной залежи и уровне грунтовых вод. В программном пакете SAGA данные георадиолокации и ландшафтных описаний приведены к единому пространственному разрешению в 30 м, соответствующему разрешению снимка и классификации на его основе. Для верификации классифицированного снимка проведены дополнительные маршруты с описанием типов земельных угодий (ландшафтного покрова). Последующая тематическая обработка

снимка осуществлена автоматизированной классификацией с обучением [3]. Для выделенных типов ландшафтного покрова статистически оценивалась степень взаимосвязанности свойств природных компонентов. В качестве показателя наличия или отсутствия связи использован непараметрический коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим основные результаты, полученные методом георадиолокации. В качестве примеров рассмотрим радарограммы профилей № 3, 7 и 12 (см. рис. 1). На всех представленных далее радарограммах и буровых колонках ноль на шкале глубин обозначает поверхность земли, выше него лежат 20–30 см снега, ниже – непосредственно геологические отложения.

Профиль № 3 длиной 70 м был пройден в направлении с востока на запад (см. рис. 1). За 10 м от начала профиля пролегает русло р. Караслицы, на 62 м профиля в ходе ландшафтных описаний выявлена смена фитоценоза с разнотравного луга на клеверово-разнотравный.

На рис. 2 представлена обработанная радарограмма (глубинный разрез) профиля № 3, полученная с антенной 250 МГц. По данным скважин уровень грунтовых вод в левой части радарограммы (скв. 846, ближе к реке) расположен на 150 см, в правой части (скв. 845) на 65 см. На радарограмме выделяются четыре типа волновой картины. Волновая картина в верхней части радарограммы сформирована отражениями в снежной толще. Та часть радарограммы, где оси синфазности прерывистые и трудноразличимые, представляет собой область переслаивания песков и суглинков. Эти отложения близки по электрическим свойствам, поэтому на радарограмме они выделены в единый комплекс без четкой границы между составляющими. По данным бурения, торф присутствует только в одной из скважин. Ярко выраженные оси синфазности в средней части радарограммы, заканчивающиеся угловым несогласием вблизи 55-го м профиля, формируют комплекс торфа. Ниже торфа залегают заиленные пески, отделенные маломощным (по данным бурения 5–7 см) прослоем суглинка, который является водоупором, по нему проходит УГВ.

Основной признак, по которому УГВ выделяется на фоне других границ, – контрастность этой границы. Резкое увеличение влажности в почве (вплоть до стояния воды в скважине) приводит к появлению в разрезе резкой, контрастной

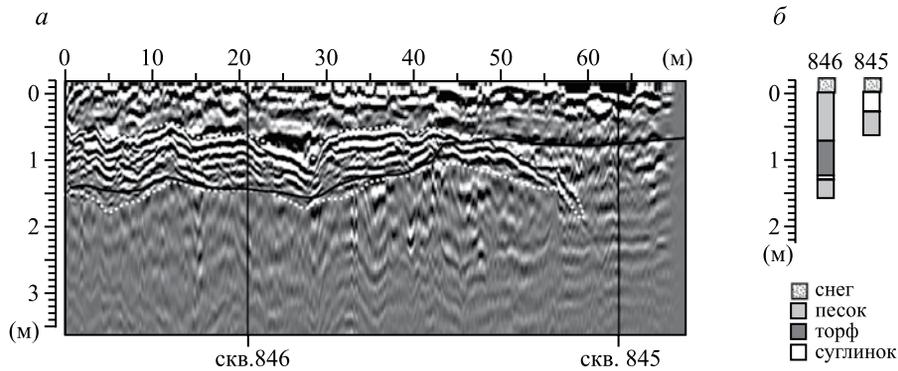


Рис. 2. Глубинный разрез вдоль профиля № 3. (а) – вдоль осей синфазности: белый пунктир – линии, разделяющие комплексы различных отложений, черная линия – УГВ. Буровые скважины с легендой к ним (б).

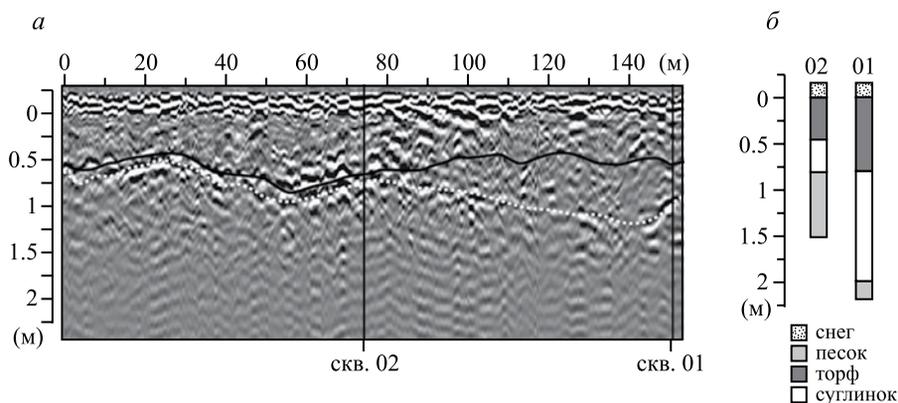


Рис. 3. Глубинный разрез вдоль профиля № 7. (а) – вдоль осей синфазности белым пунктиром проведены линии, разделяющие комплексы различных отложений. Чёрной линией обозначен УГВ. Буровые скважины с легендой к ним (б).

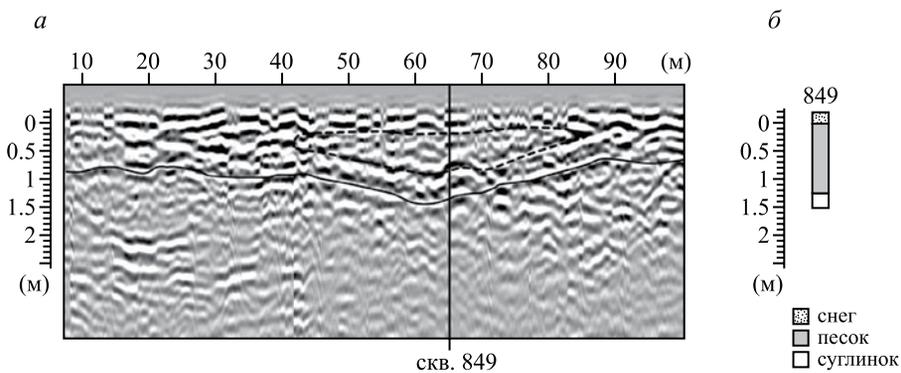


Рис. 4. Фрагмент глубинного разреза вдоль профиля № 12. (а) – черным пунктиром обведена линза песка, предположительно в понижении старого русла реки; черная линия – УГВ. Буровая скважина с легендой к ней (б).

границы электрических свойств между сухой и мокрой почвой. Именно такую границу можно различить в правой части записи на уровне 60 см. В левой части, где УГВ проходит ниже торфяной залежи, эта граница не столь яркая, что связано с водонасыщением торфа. Можно также отметить, что уменьшение до нуля мощности

торфа происходит примерно на 60 м профиля, где на поверхности наблюдается изменение фитоценоза. Здесь же по ЦМР зафиксировано понижение относительной высотой не более 40 см. Кроме того, на весенних снимках разных лет (например, рис. 1) это вытянутое перпендикулярно линии радарного профиля понижение имеет

более темный оттенок, что явно говорит о повышенной влажности. Таким образом, при помощи георадиолокации мы не только оконтурили торфяную залежь, но и получили дополнительную информацию о связи литогенной основы с другими компонентами геосистемы (растительностью, рельефом).

Профиль № 7 пройден в направлении с запада на восток от р. Караслицы к валовой канаве. Этот участок представляет собой плоскую поверхность поля торфоразработок, почти полностью выработанного до минерального дна. Перепад высот не превышает 30 см, а уклон менее 1 градуса. В середине и конце профиля расположены буровые скважины.

На рис. 3 изображен фрагмент обработанной радарограммы профиля № 7. Оси синфазности в верхней части радарограммы соответствуют подошве снега, мощность которого на данном участке составляла 20–30 см. Наиболее яркое отражение, наблюдаемое между 25 и 90 метрами профиля, соответствует УГВ, идущему по кровле суглинков. Далее четкость границы снижается, поскольку УГВ проходит уже не по кровле суглинков, а внутри торфяного тела (см. схему скважин на рис. 3), которое впитывает грунтовые воды как губка. Мощность торфяной залежи увеличивается с продвижением от реки в глубь торфяного поля: вблизи валовой канавы (скв. 01) торфа почти вдвое больше, чем возле реки (скв. 02). Проведение подобных наблюдений в разные сезоны позволит проследить за сезонными изменениями положения УГВ при помощи георадара.

Особый интерес представляет участок между 50 и 100 метрами радарограммы, где отчетливо видна наклонная “граница”. Чтобы определить природу этого отражения мы обратились к спутниковым снимкам. На снимках заметна протяженная структура шириной 50–80 м, характеризующаяся более темным по сравнению с окружающей территорией оттенком. Эта зона может быть участком старого русла р. Караслицы, которая была спрямлена во время торфоразработок. Георадарный профиль № 7 пересекает эту структуру (см. рис. 1). Таким образом, наклонная граница на радарограмме может соответствовать бывшему береговому склону. Ответный правый склон выделяется небольшим поднятием границы в районе 25 м профиля. Таким образом, на радарограмме присутствует чашеобразное понижение размером 75 м, совпадающее со структурой на снимке. Как видно, УГВ повторяет это понижение, что также может свидетельствовать о том, что раньше здесь протекала река.

Аналогичная картина наблюдалась и на профиле № 12, где в центральной части также видно характерное чашеобразное понижение размером около 50 м. На рис. 4 приведена обработанная радарограмма профиля № 12. В середине этого профиля после проведения георадарных работ была заложена буровая скважина 849 для верификации значения глубины уровня грунтовых вод, полученного по результатам георадиолокации, и для определения природы понижения этой границы. УГВ на радарограмме выделяется на глубине 140 ± 15 см. Появление грунтовых вод в скв. 849 отмечено с глубины 135 см, что позволяет заявить о подтверждении точности георадарного метода в данных условиях. Скважина, приходящаяся на середину понижения УГВ, практически вся заполнена песком, что характерно для донных отложений реки.

В ходе работ использована также антенна с центральной частотой 700 МГц. На полученных радарограммах отчетливо видны снежная толща и глубина промерзания (она составляла от 10 до 50 см), которая на радарограммах, полученных антенной 250 МГц, практически не различима из-за недостаточной разрешающей способности.

Уровень грунтовых вод не на всех радарограммах выделяется отчетливо, причиной чего является влагонасыщение торфа, граница между торфом и УГВ “размывается”, однако при наличии информации об УГВ даже в небольшом количестве скважин удается достаточно точно провести линию УГВ между этими точками по радарограммам. Такое уточнение экстраполяции данных скважин необходимо при контроле водного режима, слежении за УГВ в разные сезоны, например при детальном мониторинге последствий обводнения болота.

К методическим результатам работы стоит отнести положительный опыт работы в зимнее время, когда упрощается перемещение по болотам и выравнивается микрорельеф поверхности. Промерзание верхних десятков сантиметров почвы также благотворно сказывается на получаемых данных, так как во влажных отложениях электромагнитный сигнал быстро затухает, в мерзлых же глубина зондирования несколько увеличивается.

Хочется особо отметить перспективы использования метода георадиолокации в ландшафтно-геоэкологических исследованиях. В нашей работе при помощи георадара удалось зафиксировать старое русло реки, а также выявить связь между изменениями в приповерхностных геологических структурах и поверхностными характеристиками геосистем. Известно, какую важную роль в дифференциации ландшафта играет литогенная

основа. Использование георадара позволяет определять распространение отложений и точно проследить геологические границы между точками контрольного бурения, а зачастую и сберечь время и силы.

ВЫВОДЫ

Знание распределения мощности торфяной залежи позволяет выбрать оптимальную стратегию обводнения болота. Применение георадиолокации в ряду стандартных методик картографирования торфяной залежи позволяет получить данные об отложениях с точностью 15–20 см при мощности залежи до 4 м (при использовании антенн с центральными частотами 700–250 МГц) в сложных условиях торфяников с редким контрольным бурением. По данным георадиолокации построены карты пространственного распределения мощности торфа и положения УГВ на исследуемой территории. На основе анализа связей между литогенной основой и современной растительностью, которая была дешифрована по данным космической съемки, организована сеть мониторинговых наблюдений за последствиями обводнения в 7 различных типах геосистем, характерных для данного массива торфоразработок. Георадиолокация позволяет оперативно определять УГВ, что может быть использовано для контроля водного режима при дальнейшем мониторинге.

Георадиолокация – современный недорогой геофизический метод, который может эффективно применяться для решения подобных геоэкологических задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. Уч. пос. М.: Изд-во МГУ, 2004. 153 с.
2. Зверев Е.О., Клепикова С.М., Моныхов В.В. Картирование торфяных залежей методом георадиолокации // Электронное издание: http://www.geotech.ru/about/stati/kartirovanie_torfyanyh_zalezhej_metodom_georadiolokacii/ (дата обращения 24.02.2015).
3. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований. М.: Академия, 2004. 336 с.
4. Минаева Т.Ю., Сирин А.А. Торфяные пожары – причины и пути предотвращения // Наука и промышленность России. 2002. № 9. С. 3–8.
5. Материалы дополнительной разведки торфяного месторождения Орловского и Курловского Владимирской области. Ч. 2. Технологическое описание торфяной залежи. М.: ГИПРОТОРФ, 1960. 157 с.
6. Серёгин А.П. Новая флора национального парка “Мещёра” (Владимирская область): конспект, атлас, характерные черты, динамика в распространении видов за десять лет (2002–2012). Тула: АСТРА, 2013. 296 с.
7. Сирин А., Минаева Т., Возбранная А., Барталев С. Как избежать торфяных пожаров? // Наука в России. 2011. № 2. С. 13–21.
8. Сирин А.А., Маслов А.А., Валяева Н.А., Цыганова О.П., Глухова Т.В. Картографирование торфяных болот Московской области по данным космической съемки высокого разрешения // Лесоведение. 2014. № 5. С. 65–71.
9. Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных. М.: Изд-во МГУ, 2008. 190 с.
10. Сысеев В.В. Георадарные исследования полимасштабных структур в ландшафтах на примере Смоленско-Московской возвышенности // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2014. № 4. С. 26–33.
11. Сысеев В., Шевченко Б. Георадарное зондирование структуры почв и пород // Геохимия ландшафтов и география почв (к 100-летию М.А. Глазовской). Доклады Всерос. науч. конф. М.: Географический факультет МГУ, 2012. С. 310–313.
12. Lowry Ch.S., Fratta D., Anderson M.P. Ground penetrating radar and spring formation in a groundwater dominated peat wetland // Journal of Hydrology. 2009. V. 373. P. 68–79.
13. Susanne Abel, Andreas Haberl, Hans Joosten. Система поддержки принятия решений в отношении деградировавших заброшенных торфяников на примере торфяников в Российской Федерации. Перевод на русский язык: Андрей Сирин, Татьяна Минаева, Алексей Горин. Фонд Михаэля Зукко для защиты природы. 2011 // Электронное издание: http://www.succow-stiftung.de/tl_files/pdfs_downloads/Buecher%20und%20Broschueren/DSS-Brochure.pdf (дата обращения 12.05.2016).

REFERENCES

1. Vladov, M.L., Starovoitov, A.V. *Vvedenie v georadiolokatsiyu* [Introduction to the GPR]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 2004, 153 p. (in Russian).
2. Zverev, E.O., Klepikova, S.M., Monakhov, V.V. *Kartirovanie torfyanykh zalezhei metodom georadiolokatsii* [Mapping of peat deposits by GPR]. Available at: http://www.geotech.ru/about/stati/kartirovanie_torfyanyh_zalezhej_metodom_georadiolokacii/ (accessed 24.02.2015).
3. Knizhnikov, Yu.F., Kravtsova, V.I., Tutubalina, O.V. *Aerokosmicheskie metody geograficheskikh issledovaniy* [Aerospace methods in geographical research]. Moscow, Akademia Publ., 2004, 336 p. (in Russian).
4. Minaeva T.Yu., Sirin, A.A. *Torfyanye pozhary – prichiny i puti predotvrashheniya*. [Peat fires – causes and ways to prevent]. *Nauka i promyshlennost' Rossii*, 2002, no. 9, pp. 3–8 (in Russian).

5. *Materialy dopolnitel'noi razvedki torfyanogo mestorozhdeniya Orlovskogo i Kurlovskogo Vladimirskoi oblasti. Chast' 2. Tekhnologicheskoe opisanie torfyanoi zalezhi* [Materials of additional exploration of Kurlovsky and Orlovsky peat deposits (Vladimir region). Part 2. Technical description of peat deposits]. Moscow, GIPROTORG Publ., 1960, 157 p. (in Russian).
6. Seryogin, A.P. *Novaya flora natsional'nogo parka "Meshchyora" (Vladimirskaya oblast'): konspekt, atlas, kharakternye cherty, dinamika v rasprostraneni vidov za desyat' let (2002–2012)*. [The new flora of the Meshchyora National Park (Vladimir region): synopsis, atlas, characteristic features, dynamics of species distribution in ten years (2002–2012)]. Tula, ASTRA Publ., 2013, 296 p. (in Russian).
7. Sirin, A., Minaeva, T., Vozbrannaya, A., Bartalev, S. *Kak izbezhat' torfyanikh pozharov?* [How to avoid peat fires?]. *Nauka v Rossii*, 2011, no. 2, pp. 13–21 (in Russian).
8. Sirin, A.A., Maslov, A.A., Valyaeva, N.A., Tsyganova, O.P., Glukhova, T.V. *Kartografirovaniye torfyanikh bolot Moskovskoi oblasti po dannym kosmicheskoi s'emki vysokogo razresheniya* [Peatlands mapping in Moscow region based on high resolution satellite imagery]. *Lesovedenie*, 2014, no. 5, pp. 65–71 (in Russian).
9. Starovoitov, A.V. *Interpretatsiya georadiolokatsionnykh dannykh*. [The GPR data interpretation]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 2008, 190 p. (in Russian).
10. Sysuev, V.V. *Georadarnye issledovaniya polimasshtabnykh struktur v landshaftakh na primere Smolensko-Moskovskoi vozvysheynosti*. [GPR investigation of the poly-scale structures in landscapes (case study of the Smolensk-Moscow highland)]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*, 2014, no. 4, pp. 26–33 (in Russian).
11. Sysuev, V., Shevchenko, B. *Georadarnoe zondirovaniye struktury pochv i porod* [GPR sounding of soil and rock structure]. *Doklady Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii Geokhimiya landshaftov i geografiya pochv* [Proc. of All-Russian scientific conference Geochemistry of landscapes and soil geography]. 2012, pp. 310–313 (in Russian).
12. Lowry, Ch. S., Fratta, D., Anderson, M. P. Ground penetrating radar and spring formation in a groundwater dominated peat wetland. *Journal of Hydrology*, 2009, vol. 373, p. 68–79.
13. Susanne, Abel, Andreas, Haberl, Hans, Joosten. *Sistema podderzhki prinyatiya reshenii v otnoshenii degradirovavshikh zabroshennykh torfyanikov na primere torfyanikov v Rossiiskoi Federatsii* [Decision-making system for degraded abandoned peatbogs in Russian Federation]. Translated into Russian: Sirin, A., Minaeva, T., Gorin, A. Available at: http://www.succow-stiftung.de/tl_files/pdfs_downloads/Buecher%20und%20Broschueren/DSS-Brochure.pdf (accessed 12.05.2016).

GROUND PENETRATING RADAR (GPR) AS A PART OF INTEGRATED LANDSCAPE STUDIES ON PEATLANDS

S. S. Bricheva*, V. M. Matasov, P. M. Shilov****

**Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology, Seismics and geoaoustics Department, 119991, Moscow, Leninskie gory, 1. E-mail: svebrich@gmail.com.*

***Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Physical Geography and Landscape Science, 119991, Moscow, Leninskie gory, 1.*

Nowadays the watering of old peat extraction sites takes place in Meshchera National park (Meshchera Lowlands on the East European Plain in Vladimir Oblast, Russia). The aim is to reduce the fire risk and to restore wetland ecosystem. The integrated landscape studies include cartography of landscape and geological surveys for evaluation of thickness and structure of soil layers. GPR is one of the geophysical methods allowing us to get information about the soil structure quickly and efficiently. It is an important factor for working in impassable areas like peatlands. The aim of this work is application of GPR to the studies in specific peatland conditions. GPR was used for collecting data on the peat depth, sediments, groundwater level and freezing depth. The points were placed along the GPR profiles for independent measurements of peat and snow depth and characteristics, soil freezing depth and landscape observations. This information was used in GPR data processing and interpretation.

The main parameter used in the GPR method is the velocity of electromagnetic wave in the geological layers. The velocities in peat and sediments were calculated according to the data of boreholes and by direct observations on peat. As a result of direct measurement, the average GPR signal velocity in peat is about 0.035 m/ns, the corresponding dielectric constant is about 65–70. The peat was sampled directly on the study site. Moisture was calculated as a weight loss on drying and it was 67%, with ash content being 3.6%. The underlying rocks were represented by sand and loam. The velocities in underlying rocks were calculated from diffraction hyperbolas (as usually applied in GPR), where it was possible and from the boreholes data in other cases. The series of soil interfaces bedding depths were obtained from radar patterns according to the velocity values. The spatial dynamics of these interfaces were monitored by radar profiling. Thus, GPR provide information on the lithology of the work area. Subsequently, these data were used in the description of cross-component relations in wetland ecosystem.

Key words: GPR, ground penetrating radar, landscape ecology, integrated landscape studies, watering of peatlands, Meshchera national park.