

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»
(СГУГиТ)

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ

XIV Международный научный конгресс

Международная научная конференция

**«НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ. ГОРНОЕ ДЕЛО. НАПРАВЛЕНИЯ
И ТЕХНОЛОГИИ ПОИСКА, РАЗВЕДКИ И РАЗРАБОТКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.
ЭКОНОМИКА. ГЕОЭКОЛОГИЯ»**

Т. 3

Сборник материалов

Новосибирск
СГУГиТ
2018

Ответственные за выпуск:

Доктор геолого-минералогических наук, академик РАН,
главный научный сотрудник Института нефтегазовой геологии
и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск
А. Э. Конторович

Доктор технических наук, академик РАН, академик РАН,
главный научный сотрудник Института нефтегазовой геологии
и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск
М. И. Энов

Доктор технических наук, директор Института нефтегазовой геологии
и геофизики СО РАН, Новосибирск
И. Н. Ельцов

Кандидат технических наук, директор Института горного дела
им. Н. А. Чинакала СО РАН, Новосибирск
А. С. Кондратенко

Кандидат геолого-минералогических наук, исполнительный директор
Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики
и минерального сырья, г. Новосибирск
М. Ю. Смирнов

Начальник департамента по недропользованию по Сибирскому федеральному округу
Федерального агентства по недропользованию «Роснедра», Новосибирск
А. И. Неволько

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля
2018 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное
дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторож-
дений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : сб. материалов
в 6 т. Т. 3. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – 318 с.

В сборнике опубликованы материалы XIV Международного научного конгресса
«Интерэкспо ГЕО-Сибирь», представленные на Международной научной конференции
«Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разра-
ботки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» (секция «Гео-
логическое, геофизическое и геохимическое обеспечение поиска и разведки полезных
ископаемых. Геотехнологии. Геоэкология»).

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

Материалы публикуются в авторской редакции

ОЦЕНКА ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ

Анна Алексеевна Заплавнова

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, лаборант, тел. (952)935-90-08, e-mail: ZaplavnovaAA@ipgg.sbras.ru

Владимир Владимирович Оленченко

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник; Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, доцент кафедры геофизики, тел. (383)330-79-08, e-mail: OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru

Леонид Валерьевич Цибизов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, научный сотрудник, тел. (383)363-59-82, e-mail: TsibizovLV@ipgg.sbras.ru

Павел Анатольевич Барсуков

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 8/2, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, тел. (383)363-90-11, e-mail: go2siberia@gmail.com

Работа посвящена развитию методики определения актуального плодородия почвы геофизическими методами на примере сельскохозяйственных участков в Новосибирской области. Установлено, что в местах с низкой урожайностью величина модуля вектора магнитной индукции уменьшается. Предположено, что увеличенная амплитуда георадарного сигнала отражает повышенное содержание органического вещества в почве. Сделан вывод, что геофизические методы дают возможность повысить качество оценки плодородия территории в сравнении с точечным опробованием почв.

Ключевые слова: урожайность, плодородие, почва, магниторазведка, электротомография, георадар.

ASSESSMENT OF SOIL FERTILITY BASED ON INTEGRATED GEOPHYSICAL MAPPING

Anna A. Zaplavnova

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Laboratory Assistant, phone: (952)935-90-08, e-mail: ZaplavnovaAA@ipgg.sbras.ru

Vladimir V. Olenchenko

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Leading Researcher; Novosibirsk National Research State University, 2, Pirogova St., Novosibirsk, 630073, Russia, Associate Professor, Department of Geophysics, phone: (383)330-79-08, e-mail: OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru

Leonid V. Tsibizov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Researcher, phone: (383)363-59-82, e-mail: TsibizovLV@ipgg.sbras.ru

Pavel A. Barsukov

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, 8/2, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Leading Researcher, phone: (383)363-90-1, e-mail: go2siberia@gmail.com

The work is devoted to the development of methods for determining the actual soil fertility by geophysical methods using the example of agricultural areas in the Novosibirsk region. It is established that in places with low harvest the magnitude of the modulus of the anomalous total magnetic field decreases. It is assumed that the increased amplitude of the GPR signal reflects the enlarged content of organic matter in the soil. It is concluded that geophysical methods make it possible to improve the quality of assessing the fertility of the territory in comparison with the pointwise testing of soils.

Key words: productivity of land, soil fertility, topsoil, magnetic survey, electric tomography, georadar.

Введение

Новосибирская область является крупнейшим производителем сельхозпродукции в РФ, обладает обширной площадью пахотных угодий и большой долей населения области, занятого в сельском хозяйстве. Однако урожайность культур остается весьма низкой, и высокие показатели урожайности достигаются за счет больших посевных площадей.

Одной из главных причин низкой урожайности (Y) является истощение естественного плодородия почв в результате их длительного сельскохозяйственного использования при недостаточном применении удобрений. В дальнейшем поддержание уровня продуктивности культур даже на прежнем уровне невозможно без внесения обоснованных доз удобрений (рассчитанных на основе фактических величин содержания элементов питания в почве). Вследствие естественной гетерогенности почвенного покрова, корректное определение запаса питательных элементов в почве, даже в пределах одного поля, представляется непростой задачей.

В соответствии с действующими рекомендациями по отбору образцов при агрохимическом обследовании [ГОСТ 28168-89, Методические..., 2003], рекомендуется отбирать 1 смешанный образец с одного элементарного участка прямоугольной формы площадью, составляющей, например, для степной зоны 40 га, а для лесостепной – 20 га. Таким образом, отбор образцов требует большого количества времени, а результаты почвенного анализа не дают достаточного представления о плодородии территории.

Основной целью наших исследований был поиск взаимосвязи между плодородием почв НСО и их геофизическими характеристиками – УЭС, диэлектрическая проницаемость, магнитная восприимчивость. Мировой опыт последних десятилетий показывает эффективность применения магнитометрии и гео-

радиолокации для решения задач почвенного картирования [Воронин 2015; Золотая, Калишева, Хмелевской, 2004; Algeo et al., 2016; Allred et al., 2008; Mathe, Leveque, 2003; Menshov, 2016; Rogers et al. 2009; Shi, Cioppa, 2006].

В качестве задачи выступила отработка методики оценки, учитывающей естественную пространственную неоднородность свойств почв на основе комплексных геофизических исследований. В пределах Новосибирской области нами было выбрано два тестовых полигона на территориях с контрастно различающимися свойствами почв и урожайностью. На выбранных участках была проведена магнитная, георадиолокационная съемка и зондирование методом электротомографии (ЭТ). Там же была заложена серия почвенных разрезов и прикопок, проведено описание морфологических признаков почв, установлена их классификационная принадлежность, определены базовые свойства почв, характеризующие их плодородие.

Участки исследований расположены в Колыванском районе НСО на полях хозяйства ООО «Соколово». Почвенный покров этих полей представлен широко распространенными в Новосибирской области (и в целом в лесостепи Западной Сибири) почвами – агрочерноземами средневыщелоченными тяжелосуглинстыми. Для выбранных полей № 6 и № 14 в распоряжении имелись карты урожайности (полученные с помощью датчиков непрерывного учета урожайности, установленных на комбайнах John Deere), построенные с помощью программы Арех.

Методы и материалы

Изучаемая область в обоих случаях представляет собой прямоугольник со сторонами 40 м и 250 м. На основании карт урожайности были определены ключевые участки с различной урожайностью по латеральному коэффициенту, где отобраны почвенные образцы как по генетическим горизонтам, так и дополнительно из слоя 0–30 см. В дальнейшем образцы были проанализированы на ряд базовых свойств почв.

Вдоль профиля, проходящего через центр изучаемой области, были заложены почвенные разрезы (шурфы) глубиной до 1.5 м, 12 на поле № 6 и 4 на поле № 14. Кроме того, в промежутках между шурфами отбирали почвенные образцы из пахотного слоя 0–30 см. В лабораторных условиях на сухих образцах были сделаны измерения значений магнитной восприимчивости.

Магнитная съемка выполнялась с помощью калиевого магнитометра GSMP-35g и протонного магнитометра GEM-19T. Профили были выбраны согласно карте урожайности таким образом, чтобы захватить наибольшее количество условно выделенных зон с различной урожайностью в их пределах, и располагались параллельно пахотным бороздам.

Измерения методом электротомографии выполнены на поле № 6 на двух профилях. Первый профиль располагался в южной части участка, где урожайность доходит до 4–5 т/га. Второй профиль находился в северной части участка, где урожайность несколько ниже, и достигает 3,5–4,5 т/га. В качестве измери-

тельного прибора применялась многоэлектродная электроразведочная станция Скала-48. Последовательность подключения электродов соответствовала дипольно-осевой и симметричной (Шлюмберже) установкам. Расстояние между электродами – 0,3 м, количество электродов – 48. С помощью нагоняющей (roll-a-long) длина профиля ЭТ увеличена до 21,3 м.

Георадиолокационные (ГРЛ) зондирования выполнены на профиле, пересекающем весь участок с юга на север. Кроме этого, измерения георадаром сделаны вдоль профилей электротомографии для сопоставления данных двух методов.

Результаты

Проведенные исследования на ключевом участке поля № 6 показали, что аномальное магнитное поле на этой территории представляет собой чередование полосовых аномалий, значения которых изменяются от –12 до 14 нТл (рис. 1). На участке поля № 14 значения аномального поля плавно увеличиваются в направлении на юго-восток (рис. 2).

Геоэлектрические разрезы были построены по результатам двумерной инверсии данных, полученных дипольно-осевой установкой. Пересчет временного георадиолокационного разреза в глубинный проводился для средней диэлектрической проницаемости (ДП) пород, равной 15. Такая ДП была определена по гиперболе дифракции от локального объекта, обнаруженной на одном из ГРЛ профилей.

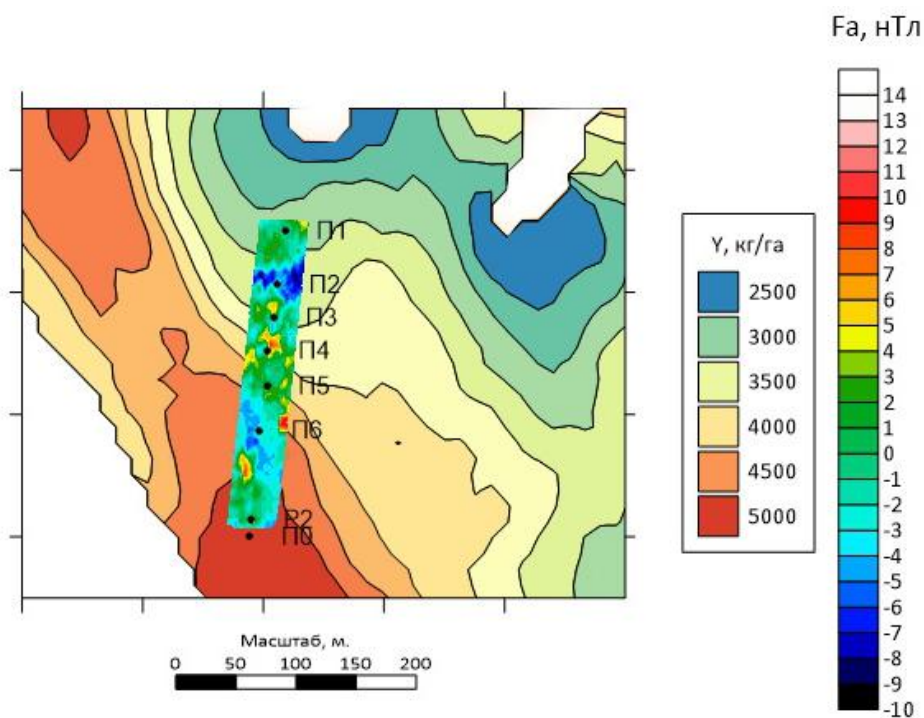


Рис. 1. Карта урожайности (Y) поля № 6 и аномальных значений модуля вектора магнитной индукции

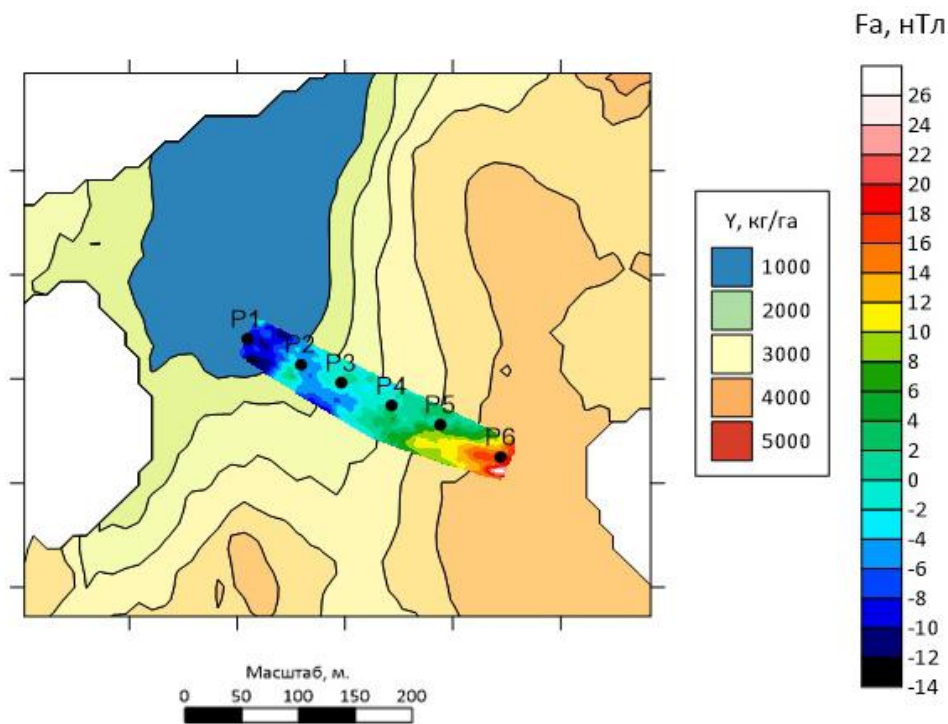


Рис. 2. Карта урожайности (Y) поля № 14 и аномальных значений модуля вектора магнитной индукции

На рис. 3 приведены графики аномального магнитного поля, геоэлектрический разрез и радарограмма по профилю № 2, поле № 6.

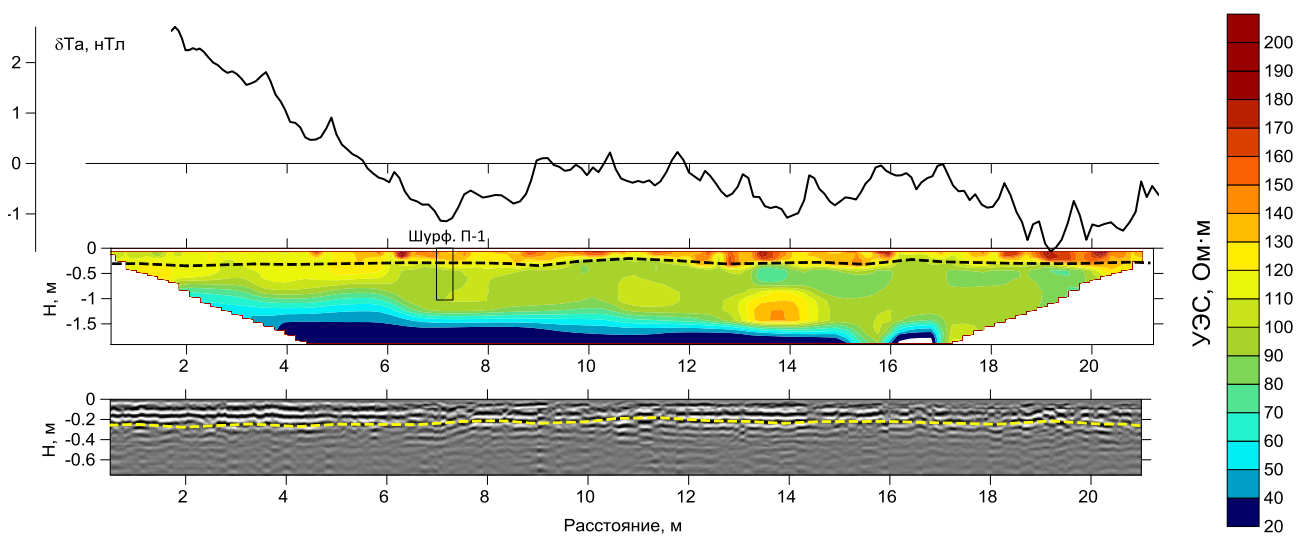


Рис. 3. График аномалий модуля вектора магнитной индукции, геоэлектрический разрез и радарограмма по профилю № 2 (на разрезах пунктиром показана граница гумусового слоя А)

В результате анализа геофизических данных с площадки поля № 6 установлено следующее. Почвенный горизонт характеризуется повышенным УЭС 90–120 на фоне подстилающих суглинков, что согласуется с данными других исследователей [Коснырева, 2007; Allred et al., 2008]. По интерпретации радарограмм толщина почвенного слоя составляет 20–30 см, а диэлектрическая проницаемость равна 14–15. Аномальное магнитное поле изменяется от -8 до $+5$ нТл, встречаются локальные интенсивные аномалии до -15 и $+19$ нТл. Выделены участки прямой корреляции повышенного магнитного поля, низкого УЭС и повышенной амплитуды отраженного георадарного сигнала.

Однако на примере сопоставления радарограммы и графика магнитного поля через весь экспериментальной участок показано отсутствие корреляции геофизических аномалий. По профилям на поле № 14 были также построены геоэлектрические разрезы и радарограммы. Почвенные горизонты отчетливо выделяются как на разрезах УЭС, так и на радарограммах. УЭС меняется от первых сотен до первых тысяч Ом·м. Высокие значения УЭС вызваны сезонным промерзанием и охлаждением разреза, так как измерения выполнялись 2 ноября, в период утренних заморозков. Связь электрических характеристик с урожайностью или содержанием гумуса установить достаточно сложно, так как точечное опробование в шурфах показало примерно одинаковое содержание органического вещества в почвенном слое в точках Р6 на профиле 1 и Р1 на профиле № 2.

На рис. 4 показана радарограмма и график магнитного поля по профилю, пересекающему весь участок исследований на поле № 14 с юго-востока на северо-запад. Хорошо заметно, что постепенное понижение значений аномального магнитного поля сопровождается возрастанием амплитуд отраженного сигнала в почвенном слое. Изменение энергии отраженного сигнала лучше визуализируется после преобразования Гильберта (рис. 4 в).

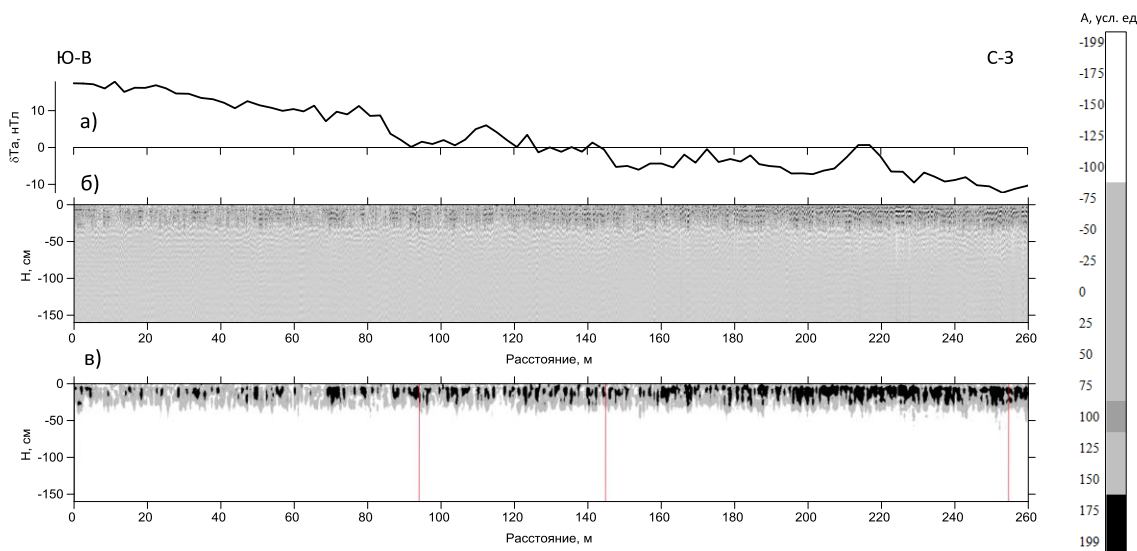


Рис. 4. График аномального магнитного поля (а), радарограмма (б) и амплитудный разрез после преобразования гильберта (в) по профилю через участок исследований поля № 14

Сопоставление данных об урожайности (У) и физических полей показало следующее. Для ключевого участка поля № 6 установлено, что изменение аномальных значений модуля вектора магнитной индукции ориентировано согласно градиенту У. При этом на данном участке нельзя однозначно связать уровень магнитных аномалий с показателем урожайности. Отрицательная аномалия в северной части участка пространственно соотносится с локальным понижением в рельефе (около 1 м). На ключевом участке поля № 14 наблюдается более четкое согласие распределения магнитных аномалий с величиной урожайности: величина модуля вектора магнитной индукции падает в том же направлении, в котором снижается значение У. Это позволяет предположить наличие связи урожайности с количеством ферромагнитных минералов в почве.

Обсуждение

Полевые исследования показали, что природа взаимосвязи характера изменения магнитного поля и георадарного сигнала на данный момент неоднозначная. Например, были выделены участки прямой корреляции повышенного магнитного поля, низкого УЭС и повышенной амплитуды отраженного георадарного сигнала. Однако на примере сопоставления радарограммы и графика магнитного поля через весь экспериментальный участок показано отсутствие четкой корреляции геофизических аномалий.

Известно, что, как правило, повышение амплитуды георадарного сигнала отмечается во влажных грунтах. Мы установили корреляционную связь влажности и содержания органического вещества ($K = 0.8$). Таким образом, можно предположить, что георадарный сигнал отражает повышенное содержание органического вещества в почве. При этом на данных участках отмечается понижение значений магнитного поля. Отрицательные магнитные аномалии на поле № 6 могут объясняться особенностями микрорельефа: в случае локальных повышений рельефа ферромагнитные вещества могут вымываться в результате внутрипочвенного стока. В случае понижений создаются неблагоприятные условия для высокой урожайности из-за слишком высокого уровня влажности в случае обильных осадков. Между магнитными аномалиями и магнитной восприимчивостью отсутствует значимая связь, что говорит, вероятнее всего, о недостаточности выборки для данных условий. Вероятно, разрез имеет весьма неоднородное распределение Fe-содержащих минералов.

Заключение

В результате исследований установлена корреляционная зависимость влажности почвы и содержания в ней органического вещества ($K = 0.8$). В свою очередь, влажность влияет на амплитуду георадарного сигнала, что можно использовать для оценки содержания органического вещества в почве по данным георадиолокации. Возможно, это справедливо лишь в ранневесенний или осенний периоды (при отсутствии вегетирующих растений), поскольку растения,

интенсивно поглощая почвенную влагу, могут снижать полученную корреляционную зависимость с почвенным органическим веществом. Отрицательные аномалии модуля вектора магнитной индукции зарегистрированы на участках с пониженной урожайностью, а также на участках, связанных с небольшими понижениями или повышениями рельефа, что может являться следствием неоднородного распределения Fe-содержащих минералов, участвующих в процессах переноса.

Согласно результатам проведенного исследования, связь параметров почвы, определяющих плодородие, с геофизическими полями позволяет дополнить стандартную методику оценки урожайности комплексом геофизических методов. Одним из наиболее эффективных методов для этой цели представляется магнитная съемка вследствие ее высокой оперативности и наличия связи с урожайностью. Методы георадиолокации и электротомографии результативны на этапе детализации выявленных аномалий при сопоставлении с почвенными разрезами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области: грант № 17-44-540892 p_a.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронин А. Я. Критерии идентификации строения и функциональных свойств почвенного профиля в георадиолокационных исследованиях с использованием георадара «Лоза-В» // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. – 2015. – № 80.
2. ГОСТ 28168-89. ПОЧВЫ. Отбор проб. Утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26.06.89 № 2004. – М. : Издательство стандартов, 1989. – 8 с.
3. Золотая Л. А., Калишева М. В., Хмелевской В. К. Возможности геофизических методов при изучении состава и структуры почвенного покрова // Разведка и охрана недр. – 2004. – № 5. – С. 47–50.
4. Коснырева М. В. Разработка комплекса геофизических методов для решения прикладных задач почвенного картирования: диссертация ... кандидата геол.-мин. наук: 25.00.10; [Место защиты: МГУ] – Москва, 2007 – 135 с. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М. : ФГНУ «Росинформагротех». – 2003. – 240 с.
5. Algeo J., Van Dam R. L., Slater L. Early-Time GPR: A Method to Monitor Spatial Variations in Soil Water Content during Irrigation in Clay Soils // Vadose Zone Journal. – 2016. – Vol. 15. – № 11.
6. Allred B. J., Daniels J., Ehsani R., Collins M. E., Grejner-Brezinska D. A., Merry C. J. Handbook of Agricultural Geophysics. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC. CRC Press, 2008. – 410 p.
7. Mathe V., Leveque F. High resolution magnetic survey for soil monitoring: detection of drainage and soil tillage effects. Earth and Planetary Science Letters. – 2003. – Vol. 212. – P. 241–251.
8. Rogers C. D. F. Chapman D. N., Entwisle D., Jones L., Kessler H., Metje N., Mica L., Morey M., Pospisil P., Price S., Raclavsky J., Raines M., Scott H., Thomas A. M. Predictive mapping of soil geophysical properties for GPR utility location surveys. In: 5th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar, Granada, Spain. 2009. – P. 60–67.

9. Shi R., Cioppa M. T. Magnetic survey of topsoils in Windsor – Essex County, Canada. *Journal of Applied Geophysics*. – 2006 – Vol. 60. – P. 201–212.

REFERENCES

1. Voronin A. Ya. Kriterii identifikacii stroeniya i funkcional'nyh svojstv pochvennogo profilya v georadiolokacionnyh issledovaniyah s ispol'zovaniem georadara “Loza-V” // *Byulleten' Pochvennogo instituta im. VV Dokuchaeva*. – 2015. – № 80.

2. GOST 28168-89. POChVY. Otkor prob. Utverzhden i vveden v dejstvie postanovleniem Gosudarstvennogo komiteta SSSR po standartam ot 26.06.89 № 2004. M. : Izdatel'stvo standartov, 1989. – 8 s.

3. Zolotaya L. A., Kalisheva M. V., Hmelevskoj V. K. Vozmozhnosti geofizicheskikh metodov pri izuchenii sostava i struktury pochvennogo pokrova // *Razvedka i ohrana neдр.* – 2004. – № 5. – S. 47–50.

4. Kosnyreva M. V. Razrabotka kompleksa geofizicheskikh metodov dlya resheniya prikladnyh zadach pochvennogo kartirovaniya: dissertaciya ... kandidata geol.-min. nauk: 25.00.10; [Mesto zashchity: MGU] – Moskva, 2007 – 135 s. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo monitoringa plodorodiya pochv zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya. M. : FGNU «Rosinformagrotekh». – 2003. – 240 s.

5. Algeo J., Van Dam R. L., Slater L. Early-Time GPR: A Method to Monitor Spatial Variations in Soil Water Content during Irrigation in Clay Soils // *Vadose Zone Journal*. – 2016. – Vol. 15. – № . 11.

6. Allred B. J., Daniels J., Ehsani R., Collins M. E., Grejner-Brezinska D. A., Merry C. J. *Handbook of Agricultural Geophysics*. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC. CRC Press, 2008. – 410 p.

7. Mathe V, Leveque F. High resolution magnetic survey for soil monitoring: detection of drainage and soil tillage effects. *Earth and Planetary Science Letters*. – 2003. – Vol. 212. – P. 241–251.

8. Rogers C. D. F. Chapman D. N., Entwisle D., Jones L., Kessler H., Metje N., Mica L., Morey M., Pospisil P., Price S., Raclavsky J., Raines M., Scott H., Thomas A. M. Predictive mapping of soil geophysical properties for GPR utility location surveys. In: *5th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar, Granada, Spain. 2009.* – P. 60–67.

9. Shi R., Cioppa M. T. Magnetic survey of topsoils in Windsor – Essex County, Canada. *Journal of Applied Geophysics*. – 2006 – Vol. 60. – P. 201–212.

© А. А. Заплавнова, В. В. Оленченко, Л. В. Цибизов, П. А. Барсуков, 2018