

УДК 631.4

<https://doi.org/10.31251/pos.v8i3.338>



Внутрипольное зонирование почвенного покрова по данным геофизических методов

© 2025 Е. В. Балков ¹, П. А. Барсуков ², А. Е. Шалагинов ¹, Ю. Г. Карин ¹, А. В. Прокопьев³,
О. А. Русалимова ²

¹ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, проспект Академика Коптюга 3, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: Karinyg@ipgg.sbras.ru

²ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: barsukov.issa-siberia@mail.ru

³ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», ул. Пирогова, 1, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: a.prokopev2@ngsu.ru

Цель исследования. Апробация применения методов малоглубинной электроразведки для решения задач внутрипольного зонирования почвенного покрова сельскохозяйственных угодий.

Место и время проведения. Исследования выполнены на полях ООО «Рубин» в Краснозерском районе Новосибирской области (53,81° с.ш., 79,29° в.д.) в мае 2025 года.

Методы. Методы исследования включали аэрофотосъемку с применением квадрокоптера Dji Mavic Air, электромагнитное профилирование аппаратурой ЭМС, электротомографию аппаратурой Скала, георадиолокацию аппаратурой Око, анализ гранулометрического состава и влажности почвы.

Основные результаты. Получена карта распределения удельного электрического сопротивления (УЭС) путем трансформации сигнала аппаратуры ЭМС, на которой выделены зоны высокого и низкого сопротивления. Зонам более высокого сопротивления соответствуют повышенные элементы рельефа, а также «красные» зоны на карте среднемноголетнего вегетационного ASF-индекса, то есть участки с относительно низкими плодородием почвы и урожайностью. Зоны низкого сопротивления приурочены к пониженным элементам рельефа с повышенной влажностью почв. Данный эффект обусловлен перераспределением влаги после весеннего снеготаяния и интенсивных осадков по поверхности почвы из областей с повышенными высотными отметками в сторону понижения рельефа, а также водоудерживающей способностью почв, связанной с их различным гранулометрическим составом в «красной» и «зеленой» зонах по ASF-индексу. Обнаружена сильная прямая корреляционная связь между УЭС и содержанием песчаной фракции и обратная зависимость с содержанием тонкодисперсных фракций. По данным методов электротомографии и георадиолокации на профиле, проходящем из «зеленой» в «красную» зону по ASF-индексу, выявлено постепенное увеличение значений УЭС и появление слоистой структуры отложений, подстилающих гумусово-аккумулятивный (А) и переходный (АВ) почвенные горизонты. Это наиболее вероятно свидетельствует о резком снижении содержания почвенного органического вещества и увеличении песчаной фракции в гранулометрическом составе почв, подстилающих А+АВ горизонты.

Заключение. Применение малоглубинных методов электроразведки и аэрофотосъемки позволяет проводить зонирование исследуемых почв по УЭС в горизонтальном и вертикальном направлениях. Геофизические методы могут уточнить внутрипольное зонирование почвенного покрова, полученного на основе вегетационных индексов, а также сократить объем полевых и лабораторных (химико-аналитических) исследований свойств почв, от которых, тем не менее, невозможно полностью отказаться для выявления истинных причин снижения плодородия почв и, соответственно, урожайности сельскохозяйственных культур в «красных» зонах по ASF-индексу.

Ключевые слова: почвенный покров; внутрипольное зонирование; электромагнитное профилирование; георадиолокация; электротомография; аэрофотосъемка; вегетационные индексы; ASF-индекс; гранулометрический состав; влажность почвы.

Цитирование: Балков Е.В., Барсуков П.А., Шалагинов А.Е., Карин Ю.Г., Прокопьев А.В., Русалимова О.А. Внутрипольное зонирование почвенного покрова по данным геофизических методов // Почвы и окружающая среда. 2025. Том 8. № 3. е338. DOI: [10.31251/pos.v8i3.338](https://doi.org/10.31251/pos.v8i3.338)

ВВЕДЕНИЕ

Сельское хозяйство имеет решающее значение для продовольственной безопасности и устойчивого развития национальной экономики, обеспечивая население продовольствием, сырьем для химической и легкой промышленности, рабочими местами (Otsuka, 2013; Pawlak, Kołodziejczak, 2020),

но часто сталкивается с проблемами низкой урожайности и рентабельности, особенно в зонах рискованного земледелия, например, в Сибири. Решение этих проблем возможно благодаря применению точного земледелия, важнейшим элементом которого является управление продуктивностью возделываемых культур с учетом внутривидовой вариативности почвенного покрова (Бикбулатова, 2008; Abobatta, 2021; Sanyaolu, Sadowski, 2024). Вариативность свойств почв в пределах поля может быть зафиксирована как наземными методами (полевые почвенные, агрофизические, агрохимическими), так и разнообразными методами дистанционного зондирования (Шаповалов и др., 2020; Якушев, 2024; Abobatta, 2021). Однако, как мы полагаем, наиболее полную информацию о распределении различных параметров и свойств почв в пространстве, которая необходима для разработки стратегии проведения агротехнологических операций на каждом поле, можно получить лишь при комплексировании различных методов исследования.

В рамках этой публикации представлены первые результаты совместного применения аэрофотосъемки, электромагнитного профилирования, электротомографии, георадиолокационных изысканий, анализа базовых физических свойств почв (гранулометрический состав и влажность) и данных дистанционного зондирования – вегетационного индекса ASF. В качестве объекта исследования было выбрано одно из полей сельскохозяйственного предприятия ООО «Рубин», расположенного в Краснозёрском районе Новосибирской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальная работа проведена в южной лесостепи Западной Сибири на территории сельскохозяйственного предприятия ООО «Рубин». Территория хозяйства с геоморфологической точки зрения расположена в пределах размытой аллювиальной аккумулятивной равнины (древние междуречья). Это обуславливает очень сложный («пестрый») состав почвообразующих пород в минералогическом отношении и гранулометрическом составе. Почвообразующие породы и, соответственно, почвы на территории хозяйства по своему гранулометрическому составу очень разнообразны и включают средние (реже тяжелые) суглинки песчано-иловатые и иловато-песчаные, легкие суглинки и супеси иловато-песчаные (Почвенно-климатический ..., 1978). Даже в пределах одного поля часто встречаются почвы разного генезиса, которые различаются по своему гранулометрическому составу, морфологическому строению почвенного профиля, степени засоления и другим свойствам. Это обуславливает большую «пестроту» почвенного плодородия и, соответственно, различную урожайность сельскохозяйственных культур в пределах одного поля, что существенно затрудняет анализ почвенного покрова с точки зрения его физико-химических и агрохимических свойств.

В пределах хозяйства в конце мая 2025 г. проведено обследование поля № 3-6, имеющего площадь 150,5 га. Центральная часть этого поля имеет следующие географические координаты: 53,81° с.ш., 79,29° в.д. На всех полях хозяйства, включая поле № 3-6, более 10 лет практикуется технология No-Till (система земледелия, предусматривающая полный отказ от обработки почвы, оставление стерни и других растительных остатков на ее поверхности и прямой посев семян специальными сеялками в необработанную почву). Посевной культурой в предшествующий год (2024 г.) был горох, а в 2025 г. – рапс. В соответствии с последним почвенным обследованием территории, куда в настоящее время входит поле № 3-6, почвенный покров этого поля представлен следующими почвенными разностями, расположенными в порядке убывания занимаемой ими площади: лугово-черноземные обыкновенные среднесуглинистые, черноземы выщелоченные й р-н среднегумусные среднесуглинистые, черноземы выщелоченные среднемошные среднегумусные легкосуглинистые, солончаки луговые тяжелосуглинистые, лугово-черноземные солонцеватые тяжелосуглинистые (Почвенная ..., 1971). Названия вышеуказанных почв приведены в соответствии с классификаций почв СССР (Классификация ..., 1977).

Обследование почвенного покрова поля № 3-6 было выполнено следующими методами.

Аэрофотосъемка. Развитие гражданских версий беспилотных летательных аппаратов позволяет получать информацию высокой точности и детальности об объектах на поверхности Земли без физического контакта с ними. С помощью установленной на беспилотный летательный аппарат камеры можно проводить фотографирование территории с различных ракурсов по плотной сетке с высоким процентом перекрытия (Балков и др., 2020). Аэрофотосъемка (АФС) поля проводилась с высоты 100 м с помощью дрона DJI Mavic Air. Фотограмметрическая обработка данных аэрофотосъемки проводилась в ПО Agisoft Metashape. Визуализация карт высот по данным аэрофотосъемки выполнялась в ПО Surfer.

Электромагнитное профилирование. Профилирование выполняли на частоте 100 кГц, трехкатушечной электромагнитной аппаратурой ЭМС (Балков, 2011), которая, в том числе, содержит генераторную и две приемные катушки. Регистрируемый приемными катушками сигнал от вторичного электромагнитного поля, возбуждаемого в исследуемой среде генераторной катушкой прибора, трансформируется в удельное электрическое сопротивление. Привязку измеренных данных к местности осуществляли с помощью GPS приемника, обеспечивающего точность позиционирования не хуже 10 см. Аппаратуру транспортировали на токонепроводящей тележке за гусеничным транспортером (рис. 1) со скоростью 10 км/ч по системе параллельных профилей, расстояние между которыми составляло 50 м.



Рисунок 1. Аппаратура ЭМС, буксируемая гусеничным транспортером (Фото Ю. Г. Карина).

Электротомография. Метод электротомографии представляет собой один из вариантов метода сопротивлений, в котором применяется многоэлектродная система с автоматическим переключением питающих и измерительных электродов по заранее заданному протоколу (Балков и др., 2023). В исследовании использовали аппаратуру «Скала-32К4» и измерительную установку типа «Шлюмберже». Шаг между электродами – 0,3 и 0,5 м. Исследования проводили в областях максимального и минимального значений ASF индекса, а также в области его наибольшего градиента.

Георадиолокация. Метод георадиолокации основан на явлении отражения электромагнитной волны от границ неоднородностей в изучаемой среде, на которых скачкообразно изменяются электрические свойства – электропроводность и диэлектрическая проницаемость (Оленченко и др., 2019). Георадиолокационные исследования выполняли с использованием георадара «ОКО-3» и двухчастотного антенного блока с центральной частотой 150/400 МГц. Георадиолокационные измерения выполнены в области максимального градиента значений ASF-индекса вдоль того же профиля, где проводили измерения методом электротомографии. Для сопоставления с данными электротомографии рассматривали радарограмму, зарегистрированную антенной 400 МГц, с лучшей детализацией верхней части разреза.

Вегетационный индекс ASF по данным дистанционного зондирования. ASF-индекс (Agronote soil fertility index) представляет собой разновидность среднегодовых вегетационных индексов, основанных на обработке больших массивов данных дистанционного зондирования – Satellite Big Data, Remote Sensing Big Data. Обязательная для расчетов нормализация данных дистанционного зондирования проводится на основе спектральной окрестности линии почв (spectral neighborhood of soil line). С биологической точки зрения ASF-индекс авторы интерпретируют как показатель различных уровней плодородия почв в пределах одного сельскохозяйственного поля и, таким образом, этот индекс является основой для составления карты устойчивой внутриполевой неоднородности почвенного плодородия (Шаповалов и др., 2020).

Гранулометрический состав почвенных образцов определяли разделяя мелкозем (< 2 мм) на три фракции: sand (песок) с размерами частиц > 63 мкм – ≤ 2 мм, silt (пыль) с размерами частиц > 2 мкм – ≤ 63 мкм и clay (глина) с размерами частиц ≤ 2 мкм, в соответствии с классами размеров частиц, принятыми в международной классификации почв WRB (IUSS Working Group WRB, 2022). В ходе выполнения анализа взвешивали фракции песка и пыли, а фракцию глины рассчитывали по разности.

Влажность почвы определяли стандартным термостатно-весовым методом, высушивая навеску почвы до постоянного веса при температуре 105°C (ГОСТ 28268-89).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По данным аэрофотосъемки была построена карта высот (рис. 2). В юго-западной части поля № 3-6 отчетливо выделяется повышение рельефа, в то время как его восточная часть, особенно северные и южные оконечности, характеризуются пониженным рельефом.

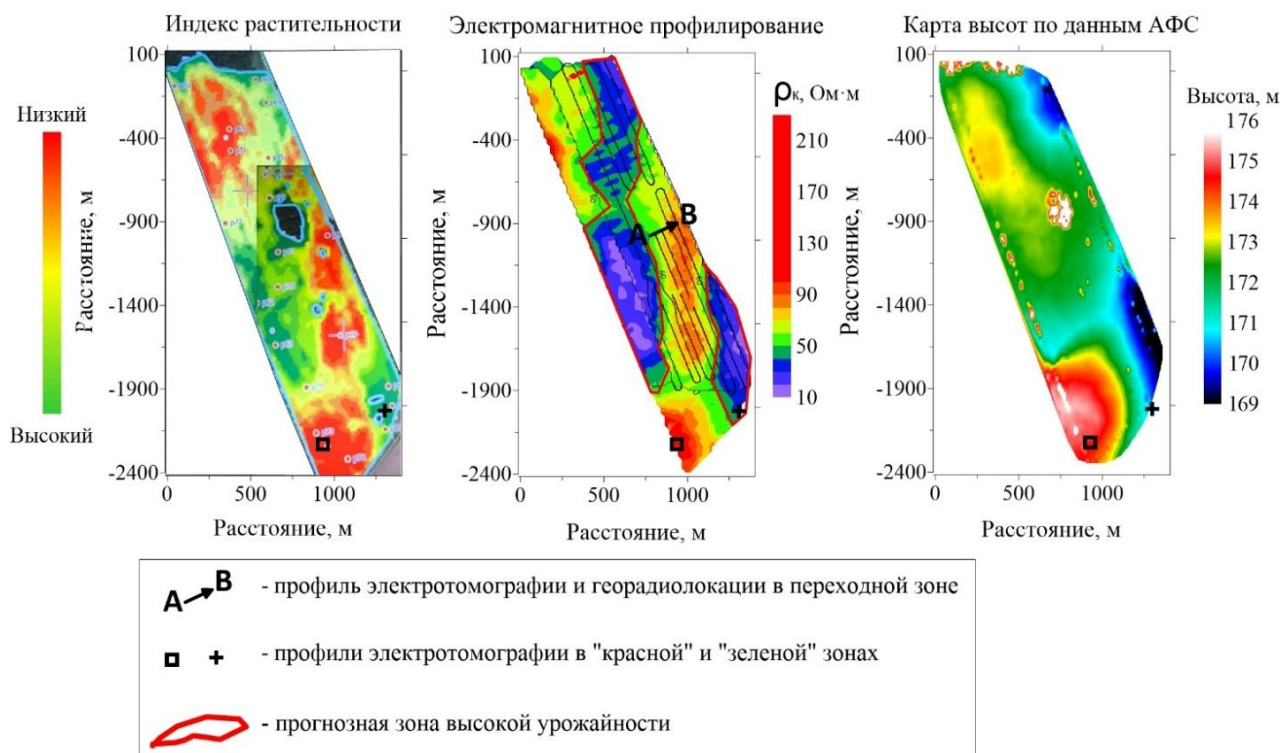


Рисунок 2. Результаты исследования почвенного покрова экспериментального участка различными геофизическими методами.

На карте распределения удельного электрического сопротивления (УЭС), полученного путем трансформации сигнала аппаратуры ЭМС, выделяются зоны высокого и низкого сопротивления (рис. 2). Зоны повышенного сопротивления прямо коррелируют с повышениями рельефа и обратно с влажностью почвы. Зоны низкого сопротивления приурочены к областям пониженного рельефа и повышенной влажности. Коэффициенты корреляции (R) между УЭС и влажностью почвы во всех исследуемых слоях почвы 0–30, 30–60 и 60–100 см оказались очень высокими и были равны -0,815, -0,858 и -0,689, соответственно. Очевидно, что влага после весеннего снеготаяния и интенсивных осадков мигрирует по поверхности почвы из областей с повышенными высотными отметками в сторону понижения рельефа. Кроме того, более высокое содержание влаги в почве обусловлено ее водоудерживающей способностью, которая в значительной степени определяется гранулометрическим составом почв: водоудерживающая способность почв значительно выше в почвах с преобладанием тонкодисперсных фракций (глина и пыль). Была установлена сильная корреляционная связь между УЭС и гранулометрическим составом почв в слое 0–30 см: положительная («прямая») для фракции sand (песок) ($R = 0,865$) и отрицательная («обратная») для фракций silt (пыль) и clay (глина) ($R = -0,864$ и $-0,857$, соответственно). Аналогичные сильные корреляционные связи были получены и для двух других анализируемых слоев почвы (30–60 см и 60–100 см).

По данным ASF-индекса (рис. 2), на поле № 3-6 выделяются «зеленая», «желтая» и «красная» зоны с повышенным, средним и низким плодородием почвы, соответственно. Высокое плодородие приурочено к зонам с повышенным содержанием почвенной влаги, почвам с более тяжелым гранулометрическим составом (т.е. с относительно более высокой долей тонкодисперсных фракций), пониженным рельефом и более низкими значениями удельного электрического сопротивления.

По профилю, проходящему из «зеленой» в «красную» зону в области максимального градиента ASF-индекса, выполнены измерения методами электротомографии и георадиолокации (рис. 3). По данным электротомографии, на геоэлектрическом разрезе по мере перехода из «зеленой» в «красную» зону происходит значительное повышение удельного электрического сопротивления на глубине 0,8–1,6 м. По данным георадарной съемки, отчетливо выделяется георадарный комплекс, соответствующий верхнему слою почвы мощностью до 60 см, с более высоким содержанием почвенного органического вещества, включающего в себя гумусово-аккумулятивный (A) и переходный к иллювиальному (AB) горизонты почв. В нижней части разреза (0,8–1,6 м) выделяется георадарный комплекс, в котором по мере перехода из «зеленой» в «красную» зону начинает проявляться выраженная косослоистая текстура, что характерно для аллювиальных отложений. Перспективность использования метода георадиолокации в почвенных исследованиях подтверждается применением этого метода при решении ряда специфических задач, таких, например, как исследование архитектуры корневой системы деревьев в толще почвы до глубины 4 м (Рязанцев и др., 2020). Таким образом, повышение значений удельного электрического сопротивления и появление косослоистой структуры в «красной» зоне по ASF-индексу свидетельствует о снижении содержания почвенного органического вещества в горизонтах A+AB, мощности этого слоя и, возможно, о некотором увеличении доли песчаной фракции в гранулометрическом составе почв.

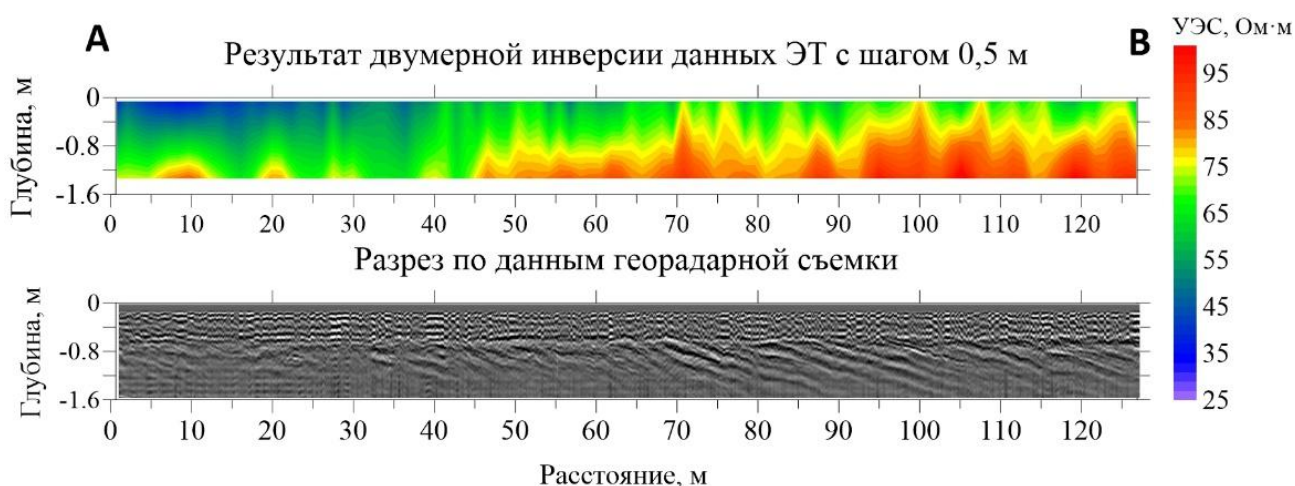


Рисунок 3. Результаты исследований почвенного покрова методами электротомографии и георадиолокации в переходной зоне (от «зеленой» к «красной») по ASF-индексу.

На двух участках в «зеленой» и «красной» зонах почвенный покров исследовали методом электротомографии (рис. 4). В результате на геоэлектрических разрезах в «зеленой» зоне отмечаются более низкие значения сопротивления по сравнению с «красной» зоной, которые с глубиной (ниже 1,0 м) уменьшаются, что, вероятно, обусловлено изменением гранулометрического состава от легко- или среднесуглинистого к тяжелосуглинистому. На профиле в «красной» зоне можно отметить сильную латеральную изменчивость УЭС от 55 до 120 Ом·м. С глубиной (ниже 1,0 м) сопротивление значительно увеличивается, что может быть вызвано повышением доли песчаной фракции в гранулометрическом составе почв и обусловленным этим снижением содержания влаги.

Представленные результаты являются частью выполненной нами работы и в дальнейшем будут дополнены корреляционными связями данных, полученных с помощью геофизических методов, и рядом почвенных параметров и свойств, таких как общее содержание почвенного органического вещества, его термолabileльных и термостабильных фракций, а также содержание подвижных пулов основных макро- и микроэлементов.

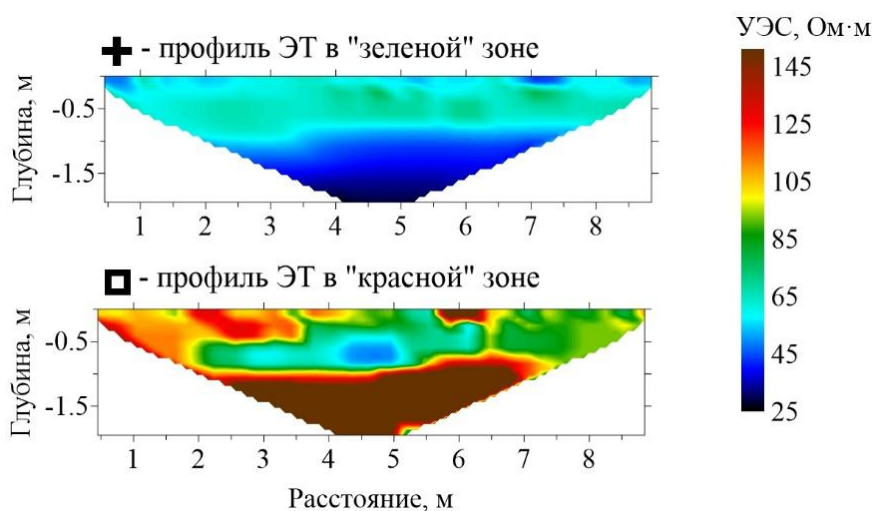


Рисунок 4. Результаты исследования двух локальных участков в «зеленой» и «красной» зонах методом электротомографии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексное использование малоглубинных методов электроразведки, аэрофотосъемки с определением таких базовых физических свойств почв, как гранулометрический состав и влажность, способствовало повышению уровня информативности и эффективности при решении задач внутрипольного зонирования почвенного покрова сельскохозяйственных угодий. По результатам проведенных исследований можно отметить, что методы малоглубинной электроразведки позволяют уточнять внутрипольное зонирование почвенного покрова, полученного на основе вегетационных индексов (ASF, NDVI и другие), проводить зонирование исследуемых почв в горизонтальном и вертикальном направлениях. Это способствует сокращению времени и объема полевых и лабораторных (химико-аналитических) исследований свойств почв, от которых, тем не менее, нецелесообразно отказываться полностью при выявлении истинных причин снижения плодородия почв в «красных» зонах и, соответственно, урожайности сельскохозяйственных культур.

Очевидно, что применение этих методов должно найти широкое применение при почвенно-агрохимическом обследовании земельных угодий сельскохозяйственных предприятий, однако для усиления практической компоненты такой работы требуются проведение дальнейших исследований.

БЛАГОДАРНОСТИ

Коллектив авторов благодарит директора ООО «Рубин» Александра Николаевича Гросуля за возможность выполнения данной экспериментальной работы на территории этого сельскохозяйственного предприятия и помощь при ее проведении.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проекты № 121031700309-1 и № FWZZ-2022-0025). Геофизические полевые исследования выполнены при технической поддержке ООО «КБ Электротометрии».

ЛИТЕРАТУРА

- Балков Е.В. Технология малоглубинного частотного зондирования // Геофизика. 2011. № 6. С. 42–47.
- Балков Е.В., Карин Ю.Г., Позднякова О.А., Шапаренко И.О., Гоглев Д.А. Аэрофотосъемка с БПЛА в поисковых задачах археологии: обзор и практические примеры // Геофизические технологии. 2020. № 3. С. 38–47. <https://doi.org/10.18303/2619-1563-2020-3-38>
- Балков Е.В., Карин Ю.Г., Позднякова О.А., Фадеев Д.И., Шапаренко И.О. Комплексирование аэрофотосъемки, электромагнитного профилирования и электротомографии для изучения древних археологических поселений и городищ Новосибирской области // Геофизика. 2023. № 1. С. 26–33. <https://doi.org/10.34926/geo.2023.33.75.004>
- Бикбулатова Г.Г. Технология точного земледелия // Омский научный вестник. 2008. № 2(71). С. 45–49.
- ГОСТ 28268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. Москва. Стандартинформ, 2006. 6 с.

Классификация и диагностика почв СССР / Составители: В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова, Н.Н. Розова, В.А. Носин, Т.А. Фриев. Москва: Колос, 1977. 224 с.

Оленченко В.В., Смоленцева Е.Н., Заплавнова А.А., Русалимова О.А., Барсуков П.А. Применение геофизических методов для оценки строения и свойств почв черноземного ряда // Почвы и окружающая среда. 2019. Том 2. № 1. с57. <https://doi.org/10.31251/pos.v2i1.57>

Почвенная карта совхоза «Хабаровский» Краснозерского района Новосибирской области (масштаб 1:25000) / Составлена Н. Ефименко и В. Филимоновой. Сибирский филиал «Росгипрозем», 1971.

Рязанцев П.А., Кабонен А.В., Родионов А.И. Определение архитектуры корневой системы деревьев методом георадиолокации // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2020. № 51. С. 179–204. <https://doi.org/10.17223/19988591/51/10>

Шاپовалов Д.А., Королева П.В., Калинина Н.В., Вильчевская Е.В., Куляница А.Л., Рухович Д.И. ASF-index - карта устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почвенного покрова, построенная на основе больших спутниковых данных для задач точного земледелия // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 1. С. 9–15. <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-11002>

Якушев В.В. Перспективы комплексной оценки почвенного плодородия на основе интерпретации данных дистанционного зондирования Земли // Плодородие. 2024. № 5. С. 5–8. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2024.140.01>

Abobatta W.F. Precision Agriculture. Cambridge, MA, USA: Academic Press, 2021. P. 23–45.

IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria, 2022. 236 p.

Otsuka K. Food insecurity, income inequality, and the changing comparative advantage in world agriculture // Agricultural Economics. 2013. Vol. 44. No. s1. P. 7–18. <https://doi.org/10.1111/agec.12046>

Pawlak K., Kołodziejczak M. The Role of Agriculture in Ensuring Food Security in Developing Countries: Considerations in the Context of the Problem of Sustainable Food Production // Sustainability. 2020. Vol. 12. No. 13. P. 5488. <https://doi.org/10.3390/su12135488>

Sanyaolu M., Sadowski A. The Role of Precision Agriculture Technologies in Enhancing Sustainable Agriculture // Sustainability. 2024. Vol. 16. No. 15. P. 6668. <https://doi.org/10.3390/su16156668>

Поступила в редакцию 29.09.2025

Принята 07.10.2025

Опубликована 13.10.2025

Сведения об авторах:

Балков Евгений Вячеславович – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории электромагнитных полей ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН (г. Новосибирск, Россия); BalkovEV@ipgg.sbras.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3712-6585>

Барсуков Павел Анатольевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); barsukov.issa-siberia@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6554-9721>

Шалагинов Александр Евгеньевич – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией электромагнитных полей ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН (г. Новосибирск, Россия); ShalaginovAE@ipgg.sbras.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3556-731X>

Карин Юрий Григорьевич – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории электромагнитных полей ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН (г. Новосибирск, Россия); KarinYG@ipgg.sbras.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1469-5336>

Прокопьев Александр Валерьевич – студент геолого-географического факультета ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», (г. Новосибирск, Россия); a.prokopev2@ng.su.ru

Русалимова Ольга Александровна – младший научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); rusalimova.issa-siberia@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9802-2595>

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



Intra-field zoning of soil cover based on geophysical methods

© 2025 E. V. Balkov ¹, P. A. Barsukov ², A. E. Shalaginov ¹, Yu. G. Karin ¹,
A. V. Prokopyev³, O. A. Rusalimova ²

¹Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Akademika Koptyuga, 3, Novosibirsk, Russia. E-mail: Karinyg@ipgg.sbras.ru

²Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Lavrentieva, 8/2, Novosibirsk, Russia. E-mail: barsukov.issa-siberia@mail.ru

³Novosibirsk State University, st. Pirogova, 1, Novosibirsk, Russia. E-mail: a.prokopev2@g.nsu.ru

The aim of the study was to test the application of shallow electrical prospecting methods for intra-field zoning of soil cover of agricultural land.

Location and time of the study. The research was conducted on the fields of Rubin LLC in the Krasnozersky District of the Novosibirsk Region in May 2025.

Methods. The research methods included aerial photography using a Dji Mavic Air quadcopter, electromagnetic profiling using EMS equipment, electrical tomography using Skala equipment, ground-penetrating radar using Oke equipment and analysis of soil particle size distribution and moisture content.

Results. The map of electrical resistivity (ER) distribution, obtained by transforming the EMS signal, showed areas of high and low resistivity. The higher resistivity zones corresponded to elevated relief features, as well as the “red” zones on the map of the average annual vegetation ASF index, i.e. zones with relatively low soil fertility and crop yields. Areas of low resistivity were associated with lower relief features and higher soil moisture. This effect was due to the moisture redistribution on the soil surface after spring snowmelt and heavy precipitation from areas with higher elevations towards lower elevations, as well as the water retention capacity of soils due to their different granulometric composition in the “red” and “green” zones according to the ASF index. There was a strong direct correlation between the ER and the sand fraction content and an inverse relationship with the content of fine-grained fractions. According to the electrical tomography and ground-penetrating radar data for the transitional profile from the “green” to the “red” zone according to the ASF index, there was a gradual increase in ER values and the appearance of a layered structure of sediments underlying the humus-accumulative (A) and transitional (AB) horizons. The latter most likely indicated a sharp decrease in soil organic matter content and an increase in the sand fraction in the granulometric composition of the soils underlying the A+AB horizons.

Conclusions. The use of shallow electrical prospecting and aerial photography methods allows performing the zoning of the soils under ER investigation both horizontally and vertically. Geophysical methods can refine the intra-field zoning of soil cover based on vegetation indices, as well as reduce the field and laboratory (chemical analyzes) studies of soil properties, which, nevertheless, cannot be completely abandoned in order to identify the true causes of soil fertility and, accordingly, crop yields decline in the “red” zones according to the ASF index.

Keywords: soil cover; intra-field zoning; electromagnetic profiling; ground-penetrating radar; electrical tomography; aerial photography; vegetation indices; ASF index; granulometric composition; soil moisture.

How to cite: Balkov E.V., Barsukov P.A., Shalaginov A.E., Karin Yu. G., Prokopyev A.V., Rusalimova O.A. Intra-field zoning of soil cover based on geophysical methods. *The Journal of Soils and Environment*. 2025. 8(3). e338. DOI: [10.31251/pos.v8i3.338](https://doi.org/10.31251/pos.v8i3.338) (in Russian with English abstract).

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are very thankful to Alexander Nikolaevich Grosul, Director of Rubin LLC, for allowing us to conduct our experimental work on the territory of this agricultural enterprise and for his assistance in carrying it out.

FUNDING

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (projects No. 121031700309-1 and No. FWZZ-2022-0025). Geophysical field studies were performed with technical support from KB Elektrometriya L

REFERENCES

Balkov E.V. Technology shallow frequency sounding. *Journal of Geophysics*. 2011. No. 6. P. 42–47. (in Russian).

- Balkov E.V., Karin Yu.G., Pozdnyakova O.A., Shaparenko I.O., Goglev D.A. UAV photography in search problems of archeology: overview and practical examples. Russian Journal of Geophysical Technologies. 2020. No. 3. P. 38–47. (in Russian). <https://doi.org/10.18303/2619-1563-2020-3-38>
- Balkov E.V., Karin Yu.G., Pozdnyakova O.A., Fadeev D.I., Shaparenko I.O. Application of UAV photography, electromagnetic profiling and electrical resistivity tomography in ancient settlements and city-sites of the Novosibirsk region. Journal of Geophysics. 2023. No. 1. P. 26–33. (in Russian). <https://doi.org/10.34926/geo.2023.33.75.004>
- Bikbulatova G.G. Technology for precise agriculture. Omsk Scientific Bulletin. 2008. No. 2(71). P. 45–49. (in Russian).
- GOST 28268-89. Soils. Methods of determination of moisture, maximum hygroscopic moisture and moisture of steady plant fading. Moscow. Standartinform. 2006. 6 c. (in Russian).
- Classification and diagnostics of soils of the USSR / Compiled by: V.V. Egorov, V.M. Friedland, E.N. Ivanova, N.N. Rozova, V.A. Nosin, T.A. Frieв. Moscow: Kolos Publ., 1977. 224 p. (in Russian).
- Olenchenko V.V., Smolentseva E.N., Zaplavnova A.A., Rusalimova O.A., Barsukov P.A. Using geophysical methods to assess the structure and properties of Chernozemic soils. The Journal of Soils and Environment 2019. Vol. 2. No. 1. e57. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v2i1.57>
- Soil map of the Khabarovsk state farm, Krasnozersky district, Novosibirsk region (scale 1:25000) / Compiled by N. Efimenko and V. Filimonova. Siberian Branch of Rosgiprozem, 1971. (in Russian).
- Ryazantsev PA, Kabonen AV, Rodionov AI. Detection of the tree root system architecture using Ground penetrating radar. Tomsk State University Journal of Biology. 2020. No. 51. P. 179–204. (in Russian). <https://doi.org/10.17223/19988591/51/10>
- Shapovalov D.A., Koroleva P.V., Kalinina N.V., Vilchevskaya E.V., Kulyanitsa A.L., Rukhovich D.I. ASF-index - a map of stable intra-field heterogeneity of soil cover fertility, based on big satellite data for precision agriculture tasks. International Agricultural Journal. 2020. No. 1. C. 9–15. (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-11002>
- Yakushev V.V. Prospects for a comprehensive assessment of soil fertility based on the interpretation of remote sensing data. Plodorodie. 2024. No. 5. C. 5–8. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2024.140.01>
- Abobatta W.F. Precision Agriculture. Cambridge, MA, USA: Academic Press, 2021. P. 23–45.
- IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria, 2022. 236 p.
- Otsuka K. Food insecurity, income inequality, and the changing comparative advantage in world agriculture. Agricultural Economics. 2013. Vol. 44. No. s1. P. 7–18. <https://doi.org/10.1111/agec.12046>
- Pawlak K., Kołodziejczak M. The Role of Agriculture in Ensuring Food Security in Developing Countries: Considerations in the Context of the Problem of Sustainable Food Production. Sustainability. 2020. Vol. 12. No. 13. P. 5488. <https://doi.org/10.3390/su12135488>
- Sanyaolu M., Sadowski A. The Role of Precision Agriculture Technologies in Enhancing Sustainable Agriculture. Sustainability. 2024. Vol. 16. No. 15. P. 6668. <https://doi.org/10.3390/su16156668>

Received 29 September 2025

Accepted 07 October 2025

Published 13 October 2025

About the authors:

Evgeny V. Balkov – Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher in the Electromagnetic Fields Laboratory in the Institute of Petroleum Geology and Geophysics, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); BalkovEV@ipgg.sbras.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3712-6585>

Pavel A. Barsukov – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Agrochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); barsukov.issa-siberia@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6554-9721>

Alexander E. Shalaginov – Candidate of Geology and Mineralogy, Head of the Electromagnetic Fields Laboratory in the Institute of Petroleum Geology and Geophysics, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); ShalaginovAE@ipgg.sbras.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3556-731X>

Yuri G. Karin – Candidate of Technical Sciences, Researcher in the Electromagnetic Fields Laboratory in the Institute of Petroleum Geology and Geophysics, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); KarinYG@ipgg.sbras.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1469-5336>

Alexander V. Prokopyev – Student at the Faculty of Geology and Geophysics, Novosibirsk State University (Novosibirsk, Russia); a.prokopyev2@g.nsu.ru

Olga A. Rusalimova – Junior Researcher in the Laboratory of Agrochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); rusalimova.issa-siberia@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9802-2595>

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)