

РУБРИКА: ИНЖЕНЕРНАЯ И РУДНАЯ ГЕОФИЗИКА

Зонирование сельскохозяйственных полей по данным электромагнитного профилирования

Ю. Г. Карин (ИНГГ СО РАН), Е. В. Балков (ИНГГ СО РАН), П. А. Барсуков (ИПА СО РАН), А. В. Прокопьев (ИНГГ СО РАН)

На примере исследования полей в Краснозерском районе Новосибирской области показана эффективность выбранного метода и аппаратуры «АЭМП-14». Данные площадного электромагнитного исследования дополнены геоэлектрическими разрезами, полученными методом электротомографии, благодаря чему в совокупности с результатами почвенного опробования удалось определить некоторые причины снижения потенциала урожайности. Однако, как показано в результатах исследования, не всегда причины угнетения растительности связаны со структурными особенностями верхней части разреза, и особенности эксплуатации полей аграриями могут оказывать большее влияние.

Ключевые слова: электромагнитное профилирование, зонирование сельскохозяйственных полей, причины угнетения растительности.

Zoning of agricultural fields using electromagnetic profiling data

Yu. G. Karin (IPGG SB RAS), E. V. Balkov (IPGG SB RAS), P. A. Barsukov (ISSA SB RAS), A. V. Prokopyev (IPGG SB RAS)

A field study in the Krasnozersky District of the Novosibirsk Region demonstrates the effectiveness of the selected method and the AEMP-14 equipment. The areal electromagnetic survey data was supplemented by geoelectric sections obtained using electrical resistivity tomography. This, combined with soil testing results, made it possible to identify some of the causes of the decline in yield potential. However, as the study demonstrates, the causes of vegetation suppression are not always related to the structural features of the upper section of the section, and the way farmers manage their fields may have a greater impact.

Keywords: electromagnetic profiling, zoning of agricultural fields, causes of vegetation suppression.

Введение

Одним из наиболее эффективных приемов повышения продуктивности посевных площадей является учет variability агрохимических, физико-химических и агрофизических свойств почвы в пределах массива пахотных угодий, а при применении точного земледелия — также учет внутрипольной variability [1]. Гетерогенность почвенного покрова внутри массива полей или одного поля может быть выявлена посредством как наземных методов (анализ агрохимических, агрофизических свойств почвы), так и с использованием дистанционного зондирования Земли [2]. Кроме того, для исследования особенностей структурных и подповерхностных характеристик сельскохозяйственных полей могут применяться различные геофизические методы [5]. В нашей работе основное внимание было уделено методам электроразведки, поскольку удельное электрическое сопротивление (УЭС) зависит от множества факторов, в том числе влияющих на плодородие почв. Среди таких факторов можно выделить влажность, гранулометрический состав и общую минерализацию (засоленность).

Метод электромагнитного профилирования успешно применяется для решения поисковых задач археологии [3]. Аппаратура «АЭМП-14» [4], реализующая этот метод, вполне подходит по своим техническим параметрам для решения задач зонирования сельскохозяйственных полей.

Методы исследования

Электромагнитное профилирование (ЭМП). Метод был выбран в качестве основного для проведения зонирования полей по кажущимся УЭС из-за своей высокой производительности. Профилирование выполнялось на частоте 100 кГц аппаратурой «АЭМП-14». Прибор транспортировался на санях за гусеничным транспортером (рис. 1) со скоростью 15–20 км/ч по системе профилей, расстояние между которыми было около 50 м.



Рисунок 1. Аппаратура ЭМС, буксируемая гусеничным транспортером

Электротомография. Для оценки изменения УЭС по глубине применялся метод электротомографии (вариант метода сопротивлений) — многоэлектродная система с автоматическим переключением питающих и измерительных электродов по заранее заданному протоколу [3]. В исследовании использовалась аппаратура «Скала-32», установка Шлюмберже при шаге между электродами 30 см. Профили электротомографии располагались в областях с наименьшими и наибольшими УЭС по данным электромагнитного профилирования (ЭМП).

Данные спутниковой съемки: ASF-индекс. В качестве априорной информации для последующей интерпретации электроразведочных данных был использован ASF-индекс — Agronote soil fertility index, или индекс почвенного плодородия, — разработка компании «Агроноут». Технология ASF-индекса позволяет при помощи искусственного интеллекта обрабатывать и отфильтровывать космоснимки за предыдущие 36 лет (<https://agronote.ru>). На картах распределения ASF-индекса цветом обозначаются области дневной поверхности, покрытые растительностью с разной продуктивностью.

Данные спутниковой съемки: NDVI. Normalized Difference Vegetation Index — относительно нормализованный вегетационный индекс, значения которого лежат в диапазоне от -1 до 1. Для повышения наглядности полученных данных используется изменение диапазона отображаемых данных. Значение NDVI отражает уровень фотосинтетической активности фитомассы на конкретном участке.

Относительная доступность и большая площадь покрытия спутниковых данных делают их востребованным инструментом для изучения сельскохозяйственных полей. Однако выявить причины различной урожайности по данным этих индексов не представляется возможным.

Результаты

На рисунке 2 показаны карты по данным ЭМП, GPS и результат интерпретации спутниковых снимков — ASF-индекс для полей № 24 и № 25, расположенных в Краснозерском районе Новосибирской области. Области, на которых продуктивность сельскохозяйственных растений ниже, обозначены цветами от желтого до красного на карте почвенного плодородия. Эти области расположены на возвышенностях или же, наоборот, в наиболее пониженных элементах рельефа. Карта распределения кажущегося УЭС дополняет полученную информацию о рельефе дневной поверхности и почвенном плодородии.

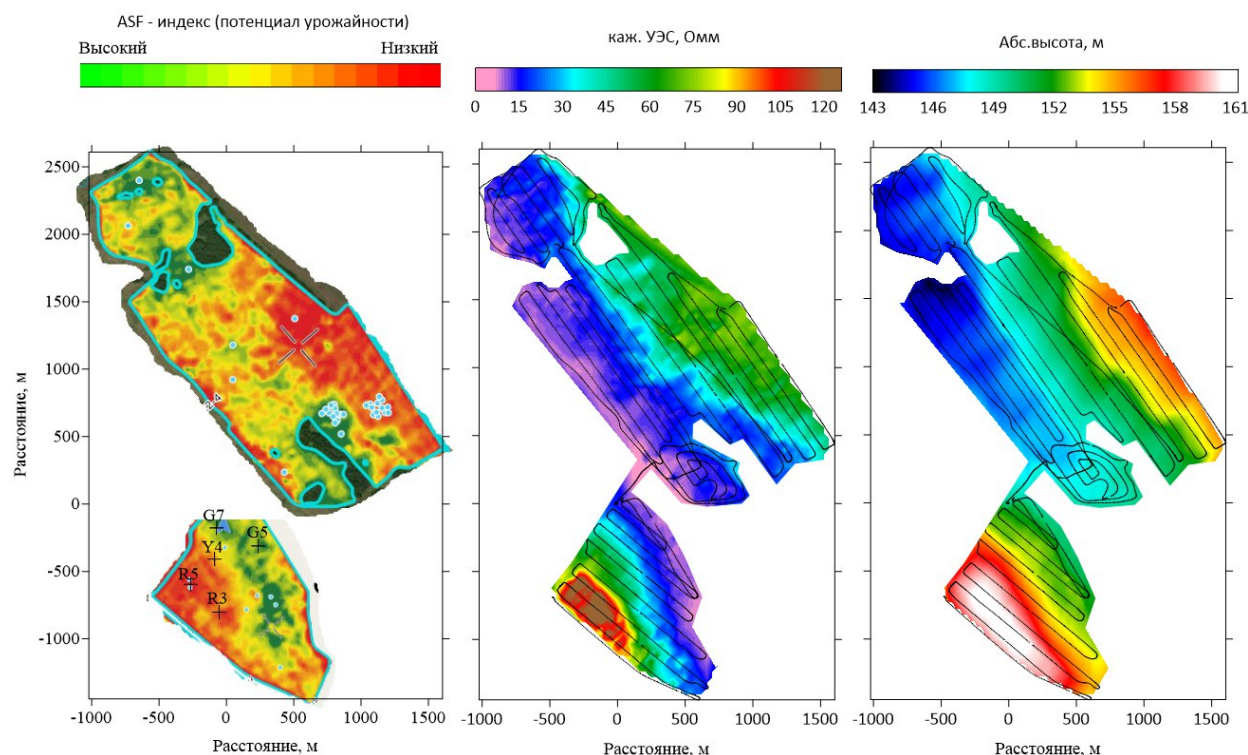


Рисунок 2. Карты распределения почвенного плодородия (слева), кажущегося удельного электрического сопротивления (в центре), карта высот (справа)

Так, в понижениях, характеризующихся более высокой продуктивностью культур, обнаружена повышенная влажность почвы, что отражается на более низких значениях кажущегося УЭС. Однако на уровне абсолютных высот ниже 150 м кажущееся УЭС ниже 20 Ом·м. В этих

блюдцеобразных понижениях после весеннего снеготаяния и ливневых осадков в летний период скапливается вода, а почвенный покров представлен разнообразными засоленными почвами, для которых характерно высокое содержание токсичных для растений легкорастворимых солей, мигрирующих по почвенному профилю в зависимости от содержания влаги в почве. Для этих мест характерно снижение почвенного плодородия, несмотря на высокое содержание влаги.

На рисунке 3 представлены геоэлектрические разрезы по профилям, расположенным в районе точек R5 и G5 (рис. 2, слева). Наличие слоя с УЭС менее 20 Ом·м на разрезе в районе точки G5 (зеленая зона по ASF-индексу), вероятно, связано с большими запасами влаги на глубине, превышающей 0,5 м. По всей вероятности, большая водоудерживающая способность почв этой локации за счет их более тяжелого гранулометрического состава обуславливает более высокий запас влаги, что, в свою очередь, обеспечивает большую продуктивность растений по сравнению с красной областью по данным ASF-индекса. В красной зоне на разрезе R5 геоэлектрическое строение отличается: диапазон УЭС в целом для этой области выше 70 Ом·м, стоит ожидать здесь меньшего количества влаги.

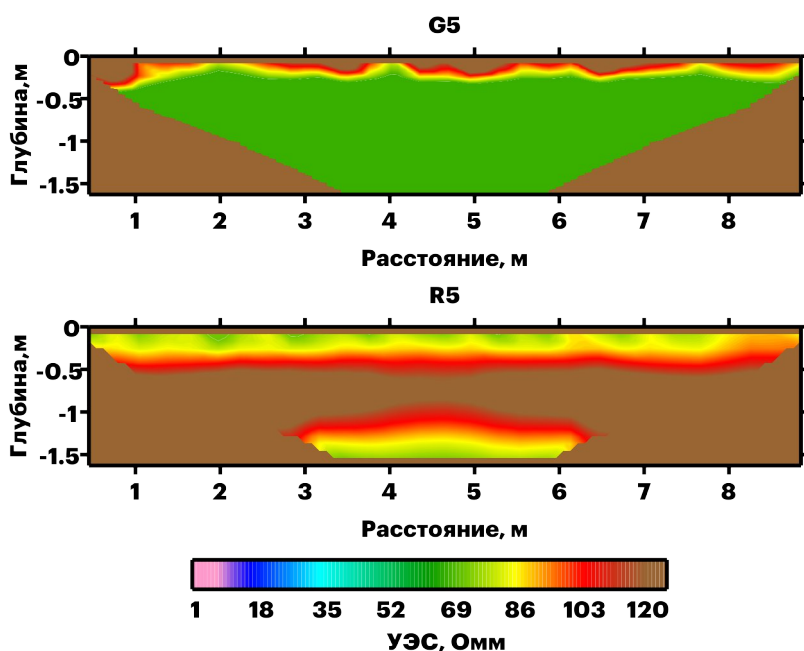


Рисунок 3. Геоэлектрические разрезы в красной (снизу) и в зеленой (сверху) зонах ASF-индекса

На рисунке 4 представлены результаты исследования поля № 26, расположенного в Краснозерском районе Новосибирской области вблизи населенного пункта Мохнатый Лог. Здесь можно наблюдать обратную в сравнении с полями № 24 и № 25 картину. УЭС имеет положительную

корреляцию с влажностью на уровне 0,57 по Пирсону, при этом NDVI не имеет однозначной зависимости с УЭС. В области красных значений NDVI, где наблюдается снижение активности растений, можно выделить скопление отдельных аномалий низкого УЭС на уровне менее 30 Ом·м, что может быть связано с локальными очагами засоления. Однако в целом урожайность этого поля не обусловлена структурными особенностями, которые влияют на УЭС.

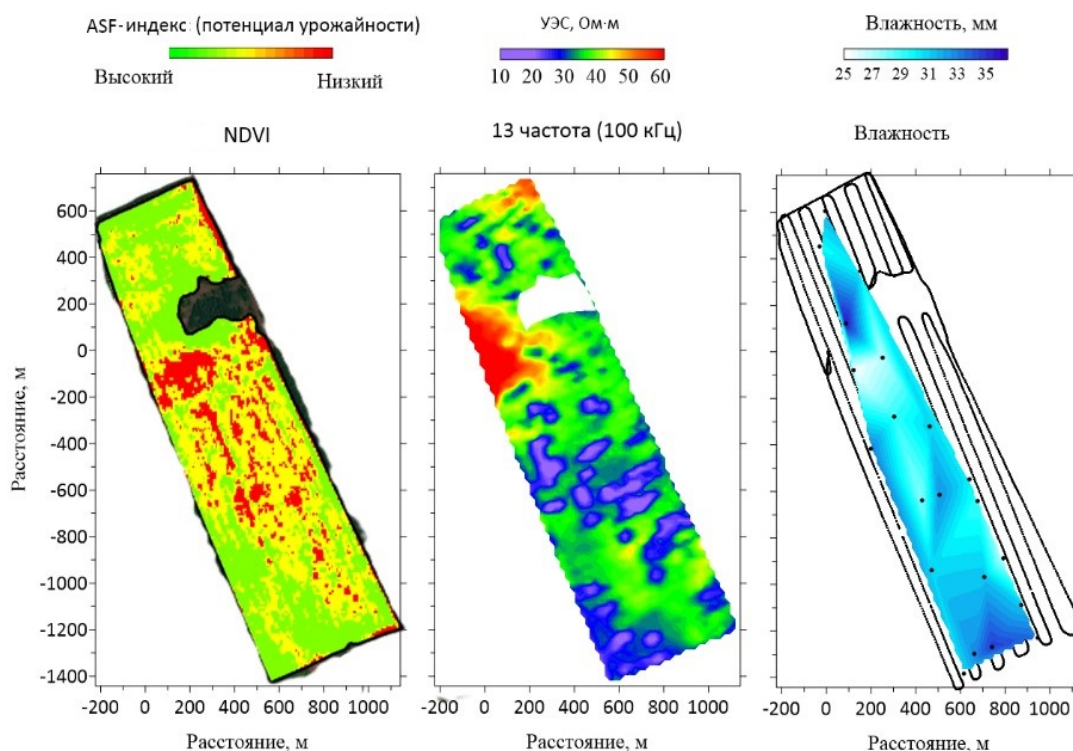


Рисунок 4. *Карты распределения почвенного плодородия (слева), кажущегося удельного сопротивления (в центре), карта распределения влажности почвы (справа)*

На рисунке 5 показаны геоэлектрические разрезы по данным электротомографии, полученные в различных зонах по NDVI. Несмотря на некоторые различия по УЭС в верхней части разреза (до глубины 0,5 м), общая структура поля остается неизменной.

Таким образом, рассмотрены две ситуации, в которых индекс растительности, связанный с урожайностью, может иметь устойчивую значимую связь с УЭС или, наоборот, эта связь при прямом сравнении не очевидна. В любом случае геофизические методы дают дополнительную информацию о структурных особенностях изучаемых полей, которая может быть использована для рационального планирования сельскохозяйственных работ.

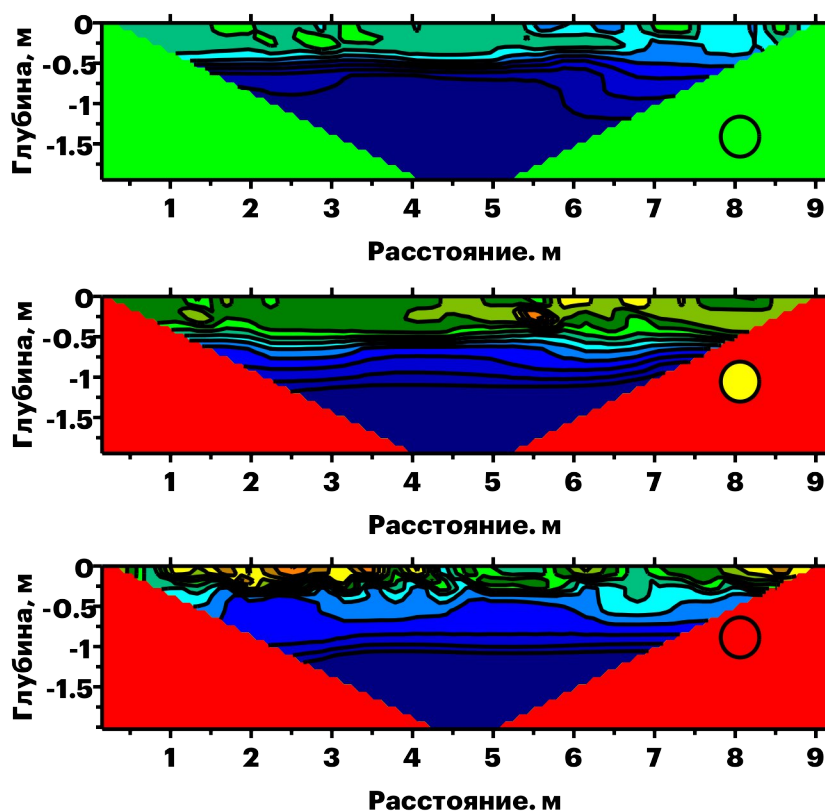


Рисунок 5. Геоэлектрические разрезы в красной, желтой и в зеленой зонах NDVI

Выводы

Комплексирование результатов анализа почвенного плодородия, данных электроразведки и сведений о рельефе исследуемой местности дает возможность перейти от качественной оценки почвенного плодородия и уровня урожайности сельскохозяйственных растений к причинам ее снижения.

Однако, как показано в результатах исследования, не всегда причины угнетения растительности связаны со структурными особенностями верхней части разреза, и особенности эксплуатации полей аграриями могут оказывать большее влияние.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проекты № 126032419122-9 и № FWZZ-2026-0049). Геофизические полевые исследования выполнены при технической поддержке ООО «КБ Электрометрии».

Список литературы

1. Бикбулатова Г. Г. Технология точного земледелия / Бикбулатова Г. Г. // Омский научный вестник. — 2008. — № 2 (71). — С. 45–49.
2. Шаповалов Д. А. ASF-index — карта устойчивой внутривидовой неоднородности плодородия почвенного покрова, построенная на основе больших спутниковых данных для задач точного земледелия / Шаповалов Д. А., Королева П. В., Калинина Н. В., Вильчевская Е. В., Куляница А. Л., Рухович Д. И. // Международный сельскохозяйственный журнал. — 2020. — № 1. — С. 9–15. — <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020>.
3. Балков Е. В. Комплексование аэрофотосъемки, электромагнитного профилирования и электротомографии для изучения древних археологических поселений и городищ Новосибирской области / Балков Е. В., Карин Ю. Г., Позднякова О. А., Фадеев Д. И., Шапаренко И. О. // Геофизика. — 2023. — № 1. — С. 26–33. — <https://doi.org/10.34926/geo.2023.33.75.004>.
4. Балков Е. В. Технология малоглубинного частотного зондирования / Балков Е. В. // Геофизика. — 2011. — № 6. — С. 42–47.5.
5. Shin B.-C. Chapter 6. Geophysical methods to assess soil characteristics / Shin B.-C., Blanchy G., Shield I., Fruen P., Barraclough T., Watts C. W., Binley A., Whalley W. R. // Advances in measuring soil health. 1st Edition. — Burleigh Dodds Science Publishing. — London, 2021. — P. 139–174.

References

1. Bikbulatova G. G. Precision farming technology / Bikbulatova G. G. // Omsk Scientific Bulletin. — 2008. — No. 2 (71). — P. 45–49.
2. Shapovalov D. A. ASF-index — a map of sustainable intra-field heterogeneity of soil fertility, constructed on the basis of big satellite data for precision farming tasks / Shapovalov D. A., Koroleva P. V., Kalinina N. V., Vilchevskaya E. V., Kulyanitsa A. L., Rukhovich D. I. // International Agricultural Journal. — 2020. — No. 1. — P. 9–15. — <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020>.
3. Balkov E. V. Integration of aerial photography, electromagnetic profiling and electrical resistivity tomography for the study of ancient archaeological settlements and hillforts of the Novosibirsk region / Balkov E. V., Karin Yu.

- G., Pozdnyakova O. A., Fadeev D. I., Shaparenko I. O. // Geophysics. — 2023. — No. 1. — Pp. 26–33. — <https://doi.org/10.34926/geo.2023.33.75.004>.
4. Balkov E. V. Technology of shallow frequency sounding / Balkov E. V. // Geophysics. — 2011. — No. 6. — Pp. 42–47.5.
 5. Shin B.-C. Chapter 6. Geophysical methods to assess soil characteristics / Shin B.-C., Blanchy G., Shield I., Fruen P., Barraclough T., Watts C. W., Binley A., Whalley W. R. // Advances in measuring soil health. 1st Edition. — Burleigh Dodds Science Publishing. — London, 2021. — P. 139–174.