

6. Prishchepa O.M. Zony neftegazonakople-niya – metodicheskie podkhody k ikh vydeleniyu, obespechivayushchie sovremennoe reshenie zadach otrasli // Neftegazovaya

geologiya. Teoriya i praktika. – 2008. – № 2. – http://www.ngtp.ru/rub/12/14_2008/pdf.

Работа выполнена при поддержке РФФИ. Проекты № 12-04-01297, 13-04-01475.



УДК 631.421.1:633.16

С.В. Железова, В.П. Самсонова
S.V. Zhelezova, V.P. Samsonova

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЧВЫ
И ЕЕ СВЯЗЬ С УРОЖАЙНОСТЬЮ ЯЧМЕНЯ
В ПОЛЕВОМ ОПЫТЕ ЦЕНТРА ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

**SPATIAL VARIABILITY OF SOIL ELECTRICAL RESISTIVITY AND BARLEY YIELD MAP
IN A FIELD TRIAL AT THE SCIENTIFIC CENTER OF PRECISION AGRICULTURE**

Ключевые слова: пространственная неоднородность почвы, точное земледелие, карта электрического сопротивления почвы, ячмень, карта урожайности, карта биомассы, индекс NDVI.

Keywords: soil spatial variability, precision agriculture, electrical resistivity map, barley, yield mapping, biomass mapping, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Для целей точного земледелия обследование почвы является одним из ключевых моментов. Составление карт электрического сопротивления почвы на поле позволяет оперативно оценить неоднородность почвы и оптимизировать маршрутные агрохимические обследования. Карта электрического сопротивления является устойчивой от года к году, что позволяет планировать почвенные исследования и корректировать имеющиеся почвенные карты. Составление карт биомассы культуры по индексу NDVI и урожайности позволяет оценить эффективность тех или иных агрономических приемов на фоне пестроты почвенного плодородия.

The research of soil electrical resistivity is one of the key points for the purposes of precision agriculture. Mapping of soil electrical resistance in the field enables to quickly evaluate soil variability and to optimize route agrochemical surveys. The map of soil electrical resistance of a field is stable from year to year, thus the planning and adjusting of soil agrochemical surveys is possible on the basis of soil electrical resistivity map. Mapping of crop biomass by NDVI and crop yield enables evaluating the effectiveness of various agronomic practices under the conditions of patchy soil fertility.

Железова Софья Владиславовна, к.б.н., с.н.с., Научный центр точного земледелия, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева; н.с., каф. физики и мелиорации почв, фак-т почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. E-mail: soferrum@mail.ru.

Zhelezova Sofya Vladislavovna, Cand. Bio. Sci., Senior Staff Scientist, Scientific Center of Precision Agriculture, Russian State Agricultural University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy; Staff Scientist, Soil Physics and Reclamation Dept., Soil Science Faculty, Lomonosov Moscow State University. E-mail: soferrum@mail.ru.

Самсонова Вера Петровна, д.б.н., доцент, каф. общего земледелия и агроэкологии, фак-т почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. E-mail: vkbun@mail.ru.

Samsonova Vera Petrovna, Dr. Bio. Sci., Assoc. Prof., General Agriculture and Agroecology Dept., Soil Science Faculty, Lomonosov Moscow State University. E-mail: vkbun@mail.ru.

Введение

Свойства почвы в пределах одного поля всегда в той или иной степени неоднородны, что приводит к неравномерности развития биомассы посевов и, в конце концов, отражается на урожайности. Концепция точного земледелия подразумевает использование дифференцированного подхода к обработке и удобрению почвы неоднородных участков, а также возможность применять разные сце-

нарии уходов за посевами в разных частях поля. Наиболее простым способом отражения неоднородности почвы на поле является составление карты электропроводности (ЭП) или удельного электрического сопротивления (ЭС), что нашло широкое применение не только в детальном картировании почвы, но и в практике точного земледелия [1-3]. В зарубежных странах, где технологии точного земледелия активно развиваются с 1990-х го-

дов, традиционно использование карт ЭП является первым шагом к обследованию любого поля, т.к. такая карта отражает неоднородность свойств почвы, от которой зависит урожайность сельскохозяйственных культур [4, 5]. ЭС и ЭП почвы – интегральные характеристики, зависящие от многих факторов, в первую очередь, от влажности и содержания легкорастворимых солей. В условиях России ЭС почвы изучали в большей степени для засоленных почв, а в настоящее время наряду с развитием концепции точного земледелия в нашей стране появились работы по изучению связи ЭС с теми свойствами почвы, которые прямо и косвенно влияют на урожайность культур: гранулометрическим составом, рН, емкостью катионного обмена, содержанием органического вещества и основных элементов минерального питания растений [6-8]. В условиях высоких значений влажности почвы на поле ЭС может быть использовано как обобщенный показатель неоднородности качества почвенного субстрата. ЭП и ЭС определяются в полевых условиях с помощью приборов легко, что позволяет быстро оценить размеры неоднородных пятен и уточнить границы их контуров. Сопоставление подробных карт ЭС и урожайности за несколько сезонов наблюдения дает наиболее объективную картину неоднородности почвы на поле.

Цель работы – выделение стабильных зон неоднородности в пределах одного поля по данным карт электрического сопротивления почвы, агрохимических свойств и урожайности ячменя.

Объекты и методы

Комплексные исследования проводились в условиях 4-польного севооборота Центра точного земледелия на поле площадью 1,4 га в течение нескольких вегетационных сезонов (2008-2010, 2011, 2013 гг.). Изучали некоторые агрохимические свойства почвы (108 образцов, отбор по случайной сетке, 2008 г.), удельное электрическое сопротивление почвы (по регулярной сетке 135 точек – в 2010 г., 226 точек – в 2011 г., 736 точек – в 2013 г.), биомассу и урожайность ячменя (по регулярной сетке – 2009, 2013 гг.). Биомасса ячменя оценивалась 1-2 раза за сезон оптическими датчиками GreenSeeker®RT200 и N-sensor ALS®Yara (число точек площадного обследования поля соответствует настройкам приборов [9], зависит от траектории и скорости движения и составляет для одного обследования 2-3 тыс.), урожайность учитывалась методом дробного учета (число точек учета 368). Все измерения на поле проводились с фиксированием в географических координатах и в локальной системе координат в границах поля (рис. 1). Для всех показателей были построены карты. Определения проводились в несовпадающих для разных групп

показателей точках, однако большая повторяемость измерений и привязка точек внутри локальной сети к деланкам дробного учета урожайности позволили не нарушить принцип сопряженности измерений и провести корреляционный анализ между исследуемыми показателями.

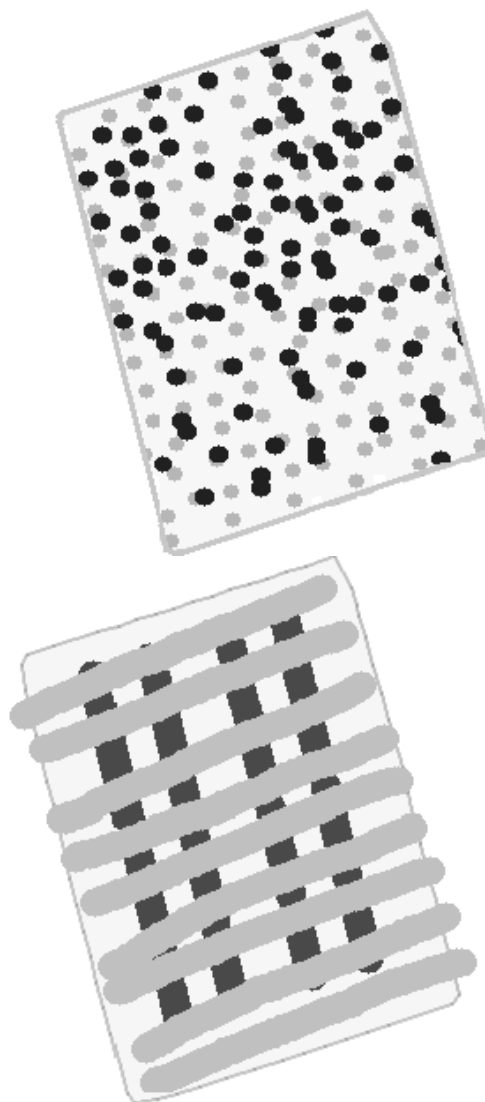


Рис. 1. Расположение точек опробования на поле ячменя (2008-2009 гг.). Слева точки опробования: ● – ЭС; ● – почвенные пробы. Справа часто расположенные точки на схеме сливаются в полосы: ■ – урожайность; ■ – биомасса

Измерения ЭС почвы прибором LandMapper™ ERM-02 проводились ранней весной 2010 и 2011 гг. и поздней осенью 2013 г. Влажность почвы в момент обследования соответствовала наименьшей влагоемкости, поэтому ее влияние на измерения было минимальным, так что им можно было пренебречь.



Рис. 2. Схема измерений и внешний вид прибора LandMapper

Из рисунке 2 можно видеть, что напряжение подается на электроды А и В, а измерение снимается с электродов М и N. При прочих равных условиях чем больше расстояние между электродами, тем большая глубина охватывается измерением [10]. Принято, что глубина слоя, который влияет на конечную величину ЭС, примерно соответствует расстоянию между электродами MN. Мы проводили измерения датчиками с расстоянием между электродами MN, равным 30 см, что охватывает глубину пахотного слоя.

В почвенных образцах из пахотного горизонта (0-20 см) были определены рН_{KCl}, гидrolитическая кислотность (HG), емкость катионного обмена (ЕКО), содержание подвижных фосфора (P₂O₅) и калия (K₂O).

Результаты и обсуждение

Наиболее подробные исследования взаимосвязей между свойствами почвы, биомас-

сой и урожайностью были проведены в 2008-2010 гг. (табл. 1). Из исследованных свойств небольшие, но значимые корреляции отмечаются между электрическим сопротивлением и величинами рН, емкостью катионного обмена и содержанием подвижного калия. Это не противоречит ранее полученным данным [6], однако слабая степень связи может быть обусловлена влиянием других неучтенных факторов. Биомасса ячменя и его урожайность оказываются достаточно тесно связанными, однако степень взаимообусловленности (R²) не превышает 50%. Это означает, что на отдельных участках большая урожайность формируется при низкой биомассе, и наоборот. Снижение урожайности может быть обусловлено в первую очередь склонностью к полеганию ячменя при формировании большой биомассы, что было отмечено и на нашем опыте.

Пространственные исследования электрического сопротивления почвы на поле в течение последующих годов показывают достаточно высокую сходимость (табл. 2) и совпадение контуров неоднородности (рис. 3). Следовательно, показатель пространственного распределения удельного электрического сопротивления почвы, измеренный в условиях наименьшей влагоемкости на поле без всходов (поздней осенью или ранней весной), может служить достаточно объективным показателем распределения контуров неоднородности почвенных свойств на поле. Такие сведения о контурах используются для оптимизации маршрутов отбора почвенных проб в точном земледелии и корректировки почвенных карт.

Таблица 1

Связь электрического сопротивления почвы с некоторыми агрохимическими свойствами почвы, биомассой и урожайностью ячменя в полевом опыте Центра точного земледелия

	ЭС-2010	рН	HG	ЕКО	P ₂ O ₅	K ₂ O	Биомасса 2009 г.	Урож-ть 2009 г.
ЭС-2010	1	-0,24	0,14	-0,23	0,12	-0,21	-0,5	-0,34
рН		1	-0,74	-0,06	0,37	-0,15	0,38	0,57
HG			1	0,48	-0,69	0,37	-0,02	-0,33
ЕКО				1	-0,78	0,61	0,68	0,45
P ₂ O ₅					1	-0,48	-0,6	-0,24
K ₂ O						1	0,41	0,31
Биомасса 2009 г.							1	0,73
Урож-ть 2009 г.								1

Примечание. Жирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты корреляции ($\alpha < 0,05$).

Таблица 2

Корреляционные связи электрического сопротивления почвы на одном поле в разные годы обследования

	ЭС-2010	ЭС-2011	ЭС-2013
ЭС-2010	1	0,47	0,66
ЭС-2011		1	0,67
ЭС-2013			1

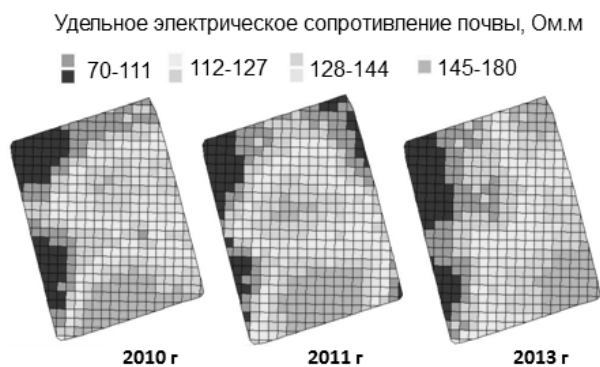


Рис. 3. Карты пространственного распределения удельного электрического сопротивления на одном поле Центра точного земледелия в разные годы

Заключение

Для целей точного земледелия обследование почвы является одним из ключевых моментов. Составление карт электрического сопротивления почвы на поле позволяет оперативно оценить неоднородность почвы и оптимизировать маршрутные агрохимические обследования. В условиях наименьшей полевой влагоемкости и отсутствия вегетирующих растений на поле карта электрического сопротивления является устойчивой от года к году, что позволяет планировать почвенные исследования и корректировать имеющиеся почвенные карты. Составление карт биомассы культуры по индексу NDVI и урожайности позволяет оценить эффективность тех или иных агрономических приемов на фоне пестроты почвенного плодородия.

Библиографический список

1. Субботина М.Г., Хорхе Батье-Салес. Об электропроводности почв в современных исследованиях // Пермский аграрный вестник. – 2013. – № 3 (3). – С. 28-33.
2. Hinck S., Mueller K., Emeis N. Geoelectric measurements combined with traditional field mapping enable sample reduced site mapping. Геоэлектрические измерения в сочетании с традиционной полевой картографией как средство снижения трудоемкости при картографировании земельных участков // Вестник Алтайского ГАУ. – 2014. – № 3 (113). – С. 23-28.
3. Балабанов В.И., Железова С.В., Березовский Е.В. и др. Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие: учеб. пособие. – М.: Изд-во РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2013. – 148 с.
4. Wertz D.F. Prediction soil moisture and dynamics and crop yield using electrical geophysical methods // Boston College, 2002. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=5274352> (дата обращения: 15.03.2014).

5. Lund E.D., Christy C.D., Drummond P.E. Using yield and soil electrical conductivity (EC) map to derive crop production performance information // Presented at the fifth International Conference on Precision Agriculture 2000, Veris technologies. URL: www.veristech.com (дата обращения: 15.03.2014).

6. Поздняков А.И., Позднякова Л.А., Позднякова А.Д. Стационарные электрические поля в почвах. – М.: КМК SIENTIFIC PRESS, 1996. – 358 с.

7. Поздняков А.И., Елисеев П.И. Зависимости удельного электрического сопротивления от некоторых свойств антропогенно преобразованных легких почв агроландшафтов гумидной зоны // Вестник ОГУ. – 2012. – № 10 (146). – С. 98-104.

8. Тойгамбаев С.К., Ногай А.С., Нукушев С.О., Проводимость почвенного слоя в Акмолинской области // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2008. – № 1. – С. 86-89.

9. Железова С.В., Березовский Е.В., Аброськин Д.П. Использование прибора GreenSeeker® RT200 для мониторинга посевов озимой пшеницы при разных технологиях возделывания // Проблемы агрохимии и экологии. – 2013. – № 1. – С. 56-60.

10. Шваров А.П., Смагин А.В., Дембовецкий А.В., Умарова А.Б., Поздняков А.И., Фаустова Е.В. Полевые методы определения физических свойств и режимов торфяных и минеральных почв. – М.: Гриф и К, 2012. – 144 с.

References

1. Subbotina M.G., Khorkhe Bat'e-Sales. Ob elektroprovodnosti pochv v sovremennykh issledovaniyakh // Permskii agrarnyi vestnik. – 2013. – № 3 (3). – S. 28-33.
2. Hinck S., Mueller K., Emeis N. Geoelectric measurements combined with traditional field mapping enable sample reduced site mapping. Geoelektricheskie izmereniya v sochetanii s traditsionnoi polevoi kartografiei kak sredstvo snizheniya trudnoemkosti pri kartografirovanii zemel'nykh uchastkov // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – № 3 (113). – S. 23-28.
3. Balabanov V.I., Zhelezova S.V., Berезovskii E.V. i dr. Navigatsionnye tekhnologii v sel'skom khozyaistve. Koordinatnoe zemledelie: uchebnoe posobie. – М.: Izd-vo RGAU – MSKhA im. K.A.Timiryazeva, 2013. – 148 s.
4. Wertz D.F. Prediction soil moisture and dynamics and crop yield using electrical geophysical methods // Boston College, 2002. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=5274352>.
5. Lund E.D., Christy C.D., Drummond P.E. Using yield and soil electrical conductivity (EC) map to derive crop production performance information // Presented at the fifth Interna-

tional Conference on Precision Agriculture 2000, Veris technologies. URL: www.veristech.com.

6. Pozdnyakov A.I., Pozdnyakova L.A., Pozdnyakova A.D. Stacionarnye elektricheskie polya v pochvakh. – M.: KMK SIENTIFIC PRESS, 1996. – 358 с.

7. Pozdnyakov A.I., Eliseev P.I. Zavisimosti udel'nogo elektricheskogo soprotivleniya ot nekotorykh svoistv antropogenno preobrazovannykh legkikh pochv agrolandshaftov gumidnoi zony // Vestnik OGU. – 2012. – № 10 (146). – S. 98-104.

8. Toigambaev S.K., Nogai A.S., Nukeshiev S.O., Provodimost' pochvennogo sloya v

Akmolinskoi oblasti // Vestnik FGOU VPO MGAU. – 2008. – № 1. – S. 86-89.

9. Zhelezova S.V., Berezovskii E.V., Abros'kin D.P. Ispol'zovanie pribora GreenSeeker® RT200 dlya monitoringa posevov ozimoi pshenitsy pri raznykh tekhnologiyakh vozdeleyvaniya // Problemy agrokhemii i ekologii. – 2013. – № 1. – S. 56-60.

10. Shvarov A.P., Smagin A.V., Dembovetskii A.V., Umarova A.B., Pozdnyakov A.I., Faustova E.V. Polevye metody opredeleniya fizicheskikh svoistv i rezhimov torfyanykh i mineral'nykh pochv. – M.: Grif i K, 2012. – 144 s.



УДК 631.95+502.53+502.56/568+636.08

Н.М. Мудрых, И.А. Самофалова
N.M. Mudrykh, I.A. Samofalova

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ «СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ЖИВОТНЫЕ – КОРМОВЫЕ УГОДЬЯ – ПАШНЯ»

ECOLOGICAL ORGANIZATION OF THE SYSTEM "FARM ANIMAL – FORAGE LANDS – ARABLE LAND"

Ключевые слова: экологическая устойчивость, оценка, структура угодий, сельскохозяйственные животные, кормовые угодья, пашня, органические удобрения, баланс гумуса, насыщенность, агроландшафт.

В современных условиях только АЛСЗ может обеспечить экологическую устойчивость агроландшафтов, поэтому возникает необходимость в оценке экологической ситуации в хозяйствах. Цель исследований – провести оценку существующей организации системы «сельскохозяйственные животные – кормовые угодья – пашня» на примере СПК «Россия» Кунгурского района Пермского края и определить пути экологической организации системы хозяйства. Землепользование хозяйства составляет 11243 га. Состав и структура земельных угодий свидетельствуют о достаточно высоком использовании земель. Установлено, что отсутствует экологическое равновесие территории: активность растительного покрова равна 0,446 (< 0,618); К лесоаграрностинизкий – 0,486, К лесистости территории – 0,244, К распаханности – 0,501. Количество сельхозугодий на одну голову КРС варьирует по годам от 4,5 до 5,2 га, то есть сельскохозяйственные угодья ис-

пользуют на 38-45%. Определено, что животные испытывают острый дефицит в белке, так как удельный вес зернобобовых культур от общего производства зерна составляет всего 0,26%. В настоящее время насыщенность органическим веществом пашни всего 2,90-3,16 т/га, что говорит о низком уровне применения отходов животноводства. Расчеты по определению оптимального количества поголовья КРС показали, что увеличение его в 2,2 раза также не обеспечит минимальной насыщенности пашни органическими удобрениями и составит 6,96-7,42 т/га. Таким образом, для экологической организации системы «сельскохозяйственные животные – кормовые угодья – пашня» необходимо создать экологически устойчивый агроландшафт с оптимальным сочетанием угодий, увеличить удельный вес зернобобовых культур и для обеспечения бездефицитного баланса гумуса увеличить норму внесения органических удобрений, использовать дополнительные резервы поступления органического вещества в почву. Такой комплексный подход и обеспечивает рациональное использование земельных ресурсов, что отражается на экологическом равновесии и стабильности территории в целом.