

АГРОНОМИЯ

УДК 631.58:005.745(06)

Н.В. Овчарова, М.М. Силантьева, В.И. Беляев, Ю.А. Гулянов,
Л.В. Соколова, Т.Г. Плуталова, И.Ю. Ботвич, Д.В. ЕмельяновDOI: 10.53083/1996-4277-2023-227-9-5-13 N.V. Ovcharova, M.M. Silanteva, V.I. Belyaev, Yu.A. Gulyanov,
L.V. Sokolova, T.G. Plutalova, I.Yu. Botvich, D.V. Emelyanov

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ И ПОДХОДОВ БИОЛОГИЗАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ И ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ УРОЖАЙНОСТИ В УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ И ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОН АЛТАЙСКОГО КРАЯ

APPLICATION OF METHODS AND APPROACHES OF FARMING BIOLOGIZATION FOR EVALUATION OF SOIL FERTILITY AND POTENTIAL YIELD UNDER THE CONDITIONS OF STEPPE AND FOREST-STEPPE ZONES OF THE ALTAI REGION

Ключевые слова: Алтайский край, биоклиматический потенциал, агроценозы, почвенные и вегетационные индексы, точное земледелие.

Представлены результаты комплексного подхода к подготовке карт-заданий для дифференцированного высева семян и внесения минеральных удобрений на опытно-экспериментальных полях в 2 хозяйствах Алтайского края по разным системам обработки почвы (классическая плоскорезная обработка и система «No-Till»). Хозяйства расположены в Приалейской почвенно-климатической зоне. Алгоритм построения карт подготовлен на основе мониторинга 2 лет полевых исследований. Произведено агрохимическое обследование полей путём отбора почвенных проб, а также использовались многолетние данные об урожайности полевых культур. Выявлена пространственная специфичность агрегатного состава почвы и её водопрочности, характеризующаяся вариабельностью фракционного состава, коэффициента структурности и содержания водопрочных агрегатов, а также определённая зависимость послынного агрегатного состава почвы от приёмов её обработки и биологии возделываемой культуры. Вариация влажность почвы по слоям была высокой (11,4-25,3%), что указывает на высокую значимость влияния участков почвенного плодородия полей и приёмов осенней обработки почвы на влагонакопление и распределение влаги по слоям в весенний период, как следствие, на водный режим почвы по вегетации и формирование урожая. Алгоритмы для выделения зон плодородия почвы, подлежащих дифференциации норм высева семян и доз внесения минеральных удоб-

рений, были разработаны в соответствии с региональной спецификой.

Keywords: Altai Region, bioclimatic potential, agroecosystems, soil and vegetation indices, precision farming.

This paper discusses the results of a comprehensive approach to the preparation of task maps for differentiated sowing and mineral fertilizer application in experimental fields on two farms of the Altai Region under different tillage systems (classical V-chisel tillage and No-Till system). The farms are located in the Aley River soil-climatic zone. The algorithm of map construction was prepared on the basis of monitoring of 2 year-long field studies. Agrochemical survey of the fields by soil sampling was carried out, and long-term data on the field crop yields were used. Spatial specificity of soil aggregate composition and its water holding capacity characterized by variability of fractional composition, coefficient of structure and content of water-holding aggregates was revealed. Certain dependence of layer-by-layer aggregate composition of soil on tillage methods and biology of cultivated crop was revealed. The variation of soil moisture by layers was high (11.4-25.3%) which was indicative of the high significance of the influence of soil fertility zones and autumn tillage methods on moisture accumulation and moisture distribution by layers in spring, and, as a consequence, on soil water regime during growing season and yield formation. The algorithms to identify soil fertility zones subject to differentiation of sowing rates and mineral fertilizer application rates were developed in accordance with the regional specifics.

Овчарова Наталья Владимировна, к.б.н., доцент, Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: ovcharova_n_w@mail.ru.

Силантьева Марина Михайловна, д.б.н., профессор, Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: msilan@mail.ru.

Беляев Владимир Иванович, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: prof-Belyaev@yandex.ru.

Гулянов Юрий Александрович, д.с.-х.н., профессор, вед. науч. сотр., Институт степи УрО РАН, г. Оренбург, Российская Федерация, e-mail: iury.gulynov@yandex.ru.

Соколова Людмила Валерьевна, к.с.-х.н., доцент, Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: l.v.sokol@mail.ru.

Плуталова Татьяна Геннадьевна, к.г.н., науч. сотр., Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: plutalova.tg@gmail.com.

Ботвич Ирина Юрьевна, мл. науч. сотр., Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, Российская Федерация, e-mail: irina.pugacheva@mail.ru.

Емельянов Дмитрий Владимирович, вед. инженер, Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, e-mail: dima9526@gmail.com.

Оvcharova Natalya Vladimirovna, Cand. Bio. Sci., Assoc. Prof., Altai State University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: ovcharova_n_w@mail.ru.

Silanteva Marina Mikhaylovna, Dr. Bio. Sci., Prof., Altai State University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: msilan@mail.ru.

Belyaev Vladimir Ivanovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: prof-belyaev@yandex.ru.

Gulyanov Yuriy Aleksandrovich, Dr. Agr. Sci., Prof., Leading Researcher, Institute of Steppe, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian Federation, e-mail: iury.gulynov@yandex.ru.

Sokolova Lyudmila Valerevna, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Altai State University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: l.v.sokol@mail.ru.

Plutalova Tatyana Gennadevna, Cand. Geo. Sci., Researcher, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russian Federation, e-mail: plutalova.tg@gmail.com.

Botvich Irina Yurevna, Researcher, Institute of Biophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: irina.pugacheva@mail.ru.

Emelyanov Dmitriy Vladimirovich, Leading Engineer, Institute of Biophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: dima9526@gmail.com.

Введение

В настоящее время дифференцированное внесение минеральных удобрений входит в число важнейших экономических и экологических аспектов точного земледелия. Применение этой технологии при возделывании сельскохозяйственных культур позволяет существенно повысить эффективность использования агроклиматического потенциала участков полей с различным уровнем естественного плодородия [1-4].

В науке теоретические принципы биологического подхода в земледелии разработаны с 60-70-х годов прошлого века, однако их практическая реализация обусловлена множеством факторов – климатические условия, технологический уровень земледелия, традиции севооборотов и пр. По своей сути, переход к биологизированному земледелию направлен на внедрение и адаптацию энергосберегающих и природосберегающих технологий. К числу технологических процессов, применяемых в биологизированном земледелии, относятся технологии точного высева семян, внесения удобрений, уборки. Важными в данном направлении являются методики ландшафтного и точного земледелия [5].

Цель работы – разработка алгоритмов и методик для выделения зон плодородия почвы и картирования потенциальной урожайности полевых агроценозов в условиях степной и лесостепной зон Алтайского края.

Объекты,

методика проведения исследований

Исследования проводились на землях сельскохозяйственного назначения, расположенных в Алейском (ООО «Золотая осень») и Поспелихинском (СПК «Знамя Родины») районах Алтайского края. Хозяйства находятся в Приалейской почвенно-климатической зоне [6]. В каждом было выделено по 2 поля площадью до 100 га. Изучаемые культуры – подсолнечник и кукуруза. Годы исследования – 2022-2023.

Схемы выделенных участков различного уровня естественного плодородия почвы по полям хозяйств для наблюдений по вегетации и реализуемые варианты сочетаний норм высева семян и доз внесения удобрений приведены в таблице 1.

**Реализуемые варианты дифференцированного внесения удобрений
и высева семян подсолнечника и кукурузы на экспериментальных полях**

Зона	СПК «Знамя Родины», Поспелихинский район		ООО «Золотая осень», Алейский район	
	норма высева семян, тыс. шт/га	доза удобрения (диам- мофоска – N ₁₀ :P ₂₆ :K ₂₆), /(КАС-32), кг/га	норма высева семян, тыс. шт/га	доза удобрения (суль- фат аммония – N ₂₁ S ₂₄), кг/га
Культура – подсолнечник на зерно				
I	50	70/112	55	70
II	40	50/112	45	50
III	30	30/112	35	30
Культура – кукуруза на силос				
I	70	70/112	60	100
II	60	50/112	50	80
III	50	30/112	40	60

В СПК «Знамя Родины» технологии возделывания подсолнечника и кукурузы на опытных полях были следующие: предшественники – яровая пшеница и горчица соответственно; осенняя обработка почвы не проводилась, весной выполнялось закрытие влаги на полях боронами. Высевались гибриды ЛГ-5462 и Реген сеялкой прямого посева EDX 12000 ТС 16 и 22 мая. По вегетации (20 и 12 июня) проводилась химическая обработка посевов препаратами «Глобал» (1,2 л/га) и «Октава» (1,0 л/га) соответственно.

В ООО «Золотая осень» предшественниками возделываемых культур (подсолнечник и кукуруза) являлись овес и яровая пшеница. Осенью проводилась плоскорезная обработка почвы КПШ и КПГ на глубину 15-17 и 25-27 см. Высевались гибриды Пионер ЛЕ 10 и КВС Корифей сеялкой «Horsch Maestro» 10 и 19 мая. В период вегетации (23 июня – подсолнечник и 27 июня – кукуруза) выполнялись междурядные обработки посевов культиватором КРМ-6. Химическая обработка посевов подсолнечника проводилась 7 июля баковой смесью (трибенурон-метил (50 г/га) + клетодим (250 г/га) + галоксифоп (250 г/га) + альфа-циперметрин (50 г/га)) и 21 июля инсектицидом альфа-циперметрин (50 г/га). Посевы кукурузы обрабатывались препаратами «Никосульфурон» (80 г/га) + «Флорасулам» (200 г/га).

Были подготовлены электронные карты дифференцированного высева семян и внесения удобрений с учетом агрохимического обследования полей и многолетних данных об урожайности выращиваемых культур. Агрохимический анализ почвы проведён аккредитованной

лабораторией (ФГБУ ЦАС «Алтайский») на основе почвенных образцов, отобранных до начала проведения весенне-полевых работ. Отбор почвенных проб в заданной точке осуществлялся ручным буром с верхнего горизонта (0-20 см). Анализ почвы включал определение следующих показателей: содержание нитратного азота, массовая доля подвижных соединений фосфора и калия, содержание органического вещества.

Для определения структурно-агрегатного состава почв пользовались методом Н.И. Савинова, заключающимся в определении количества агрегатов разного размера посредством «сухого» просеивания [7]. Определение водопрочности почвенных агрегатов проводили по методу Н.Н. Никольского.

Для оценки состояния растительности использовался определённый в период вегетации полевых культур (май-август) интегральный показатель величины NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), признанный многими исследователями [8] как показатель, имеющий высокую степень корреляции с урожайностью [9]. Карты задания подготовлены на основе наземного и космического мониторинга 2022-2023 гг.

Расчет вегетационного индекса NDVI и индекса влажности S2WI (soil moisture index) [10] основывался на данных спутника Sentinel-2 с пространственным разрешением 10 и 20 м, Landsat 8 OLI – 30 м. Цифровые модели рельефа полей построены по данным SRTM (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) с пространственным разрешением 30 м. Программные продукты ArcGIS и QGIS использовались как основные средства для работы с картографическим материалом, визуализации заданий и схем работы,

данных агрохимического обследования, изучения характеристик полей (рельеф, склоны и т.д.).

Результаты и их обсуждение

Выделение зон с разной степенью плодородия на исследуемых полях Алейского района осуществлено по данным архивных съемок. В качестве основы при оценке внутривольной неоднородности в посеве кукурузы на поле № 47 использовали данные спектрального отражения почв и растительности за 2020 г., когда на этом поле также размещалась кукуруза. Для оценки внутривольной неоднородности в посеве подсолнечника на поле № 14 использовались спектральные данные предыдущего 2022 г., поскольку в период предшествующего размещения подсолнечника на этом же поле (2011 г.) съёмка Sentinel-2 ещё не производилась.

В результате проведенной работы построены карты-задания для дифференцированного посева кукурузы и подсолнечника (рис. 1, 2).

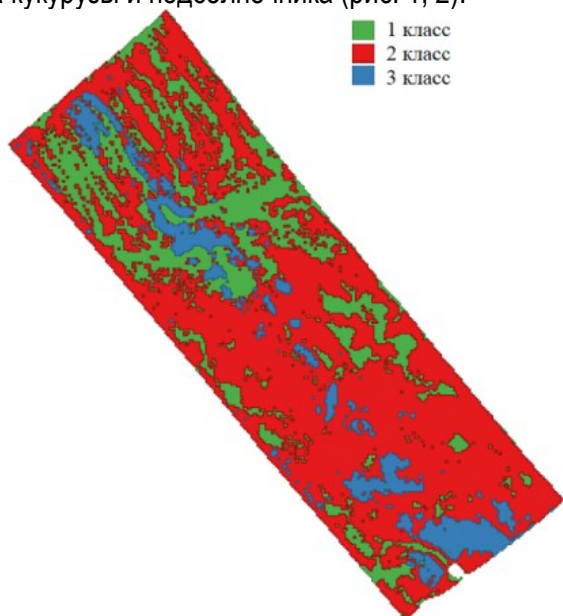


Рис. 1. Карта-задание для дифференциации норм семян кукурузы на поле № 47

При построении карт полей хозяйства Поспелихинского района для анализа были отобраны снимки со спутников Landsat 8 OLI за период с мая по сентябрь 2021 г., для которых был рассчитан атмосфероустойчивый вегетационный индекс ARVI и получено цветное синтезированное изображение (рис. 3, 4).

Для определения точности построения карт и выделенных зон почвенного плодородия были проведены комплексные исследования почвы.

При определении агрегатного состава почвы и её водопрочности выявлена их пространственная специфичность, характеризующаяся вариабельностью фракционного состава, коэффициентом структурности и содержания водопрочных агрегатов.

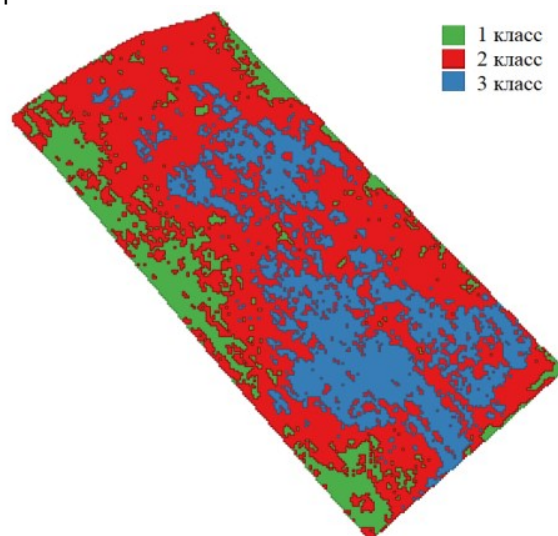


Рис. 2. Карта-задание для дифференцированного посева подсолнечника на поле № 14

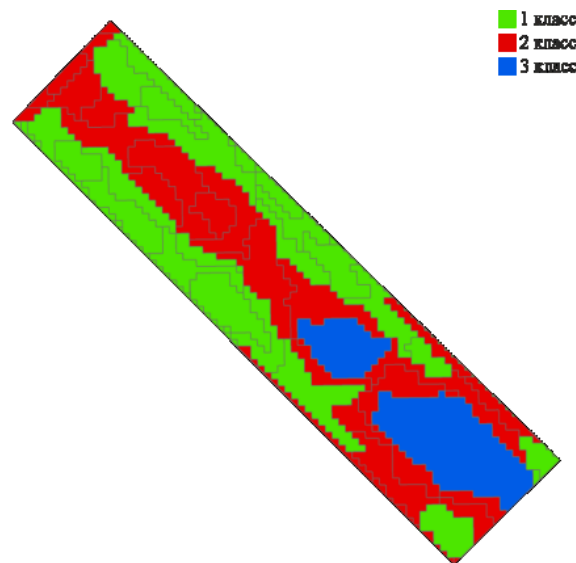


Рис. 3. Карта-задание для дифференциации норм семян кукурузы на поле № 6-4

Выявлено, что экспериментальные поля хозяйств Поспелихинского района характеризовались большей средней величиной коэффициента структурности почвы, оказавшегося равным 2,2, при этом в агроценозе кукурузы отмечены самые низкие из четырёх полей его значения в слое 0-10 см (1,5), а в посеве подсолнечника – самые высокие в обоих слоях – 2,9 (0-10 см) и 3,5 (10-20 см) (рис. 5-7).

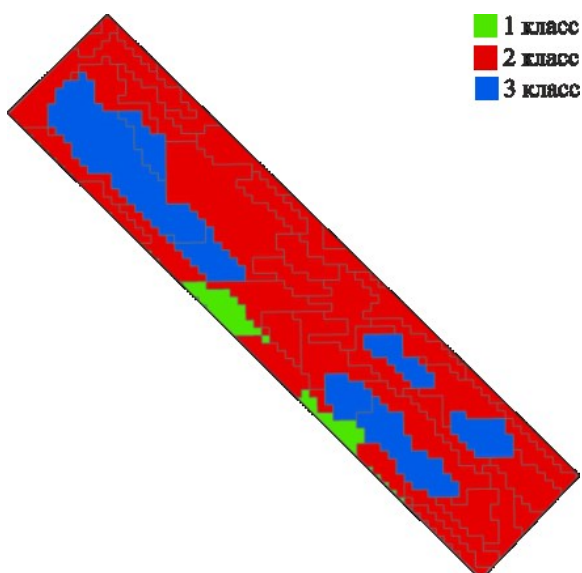


Рис. 4. Карта-задание для дифференциации норм семян подсолнечника на поле № 7-1

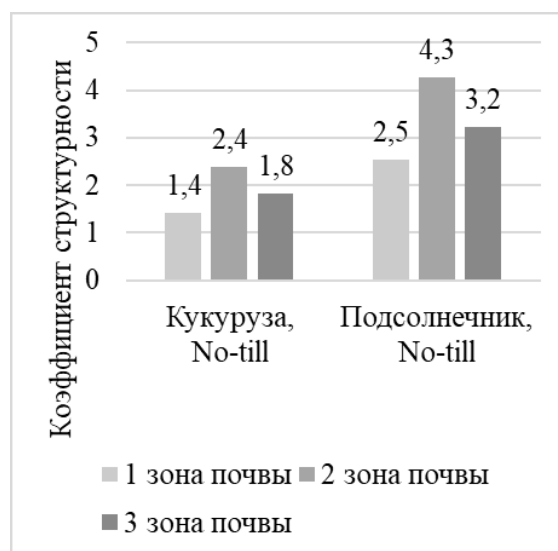


Рис. 5. Коэффициент структурности почвы в слое 0-20 см в зависимости от зоны поля при технологии No-till

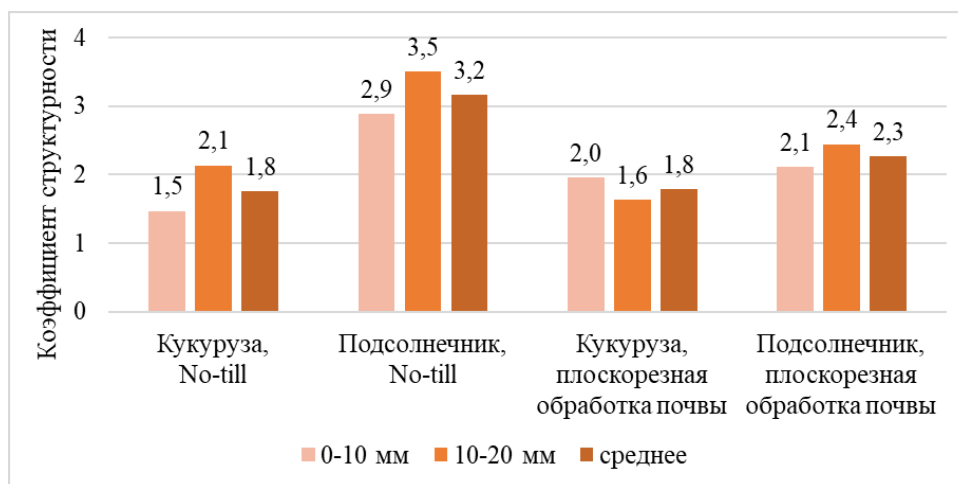


Рис. 6. Коэффициент структурности почвы в слоях почвы 0-10 и 10-20 см в зависимости от технологии обработки почвы и возделываемой культуры

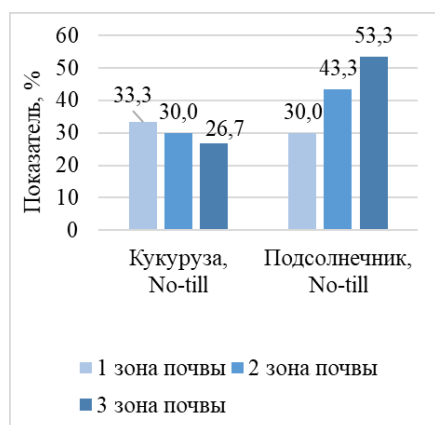


Рис. 7. Количество водопрочных почвенных агрегатов размером 1-5 мм в слое 0-20 см в зависимости от зоны поля при технологии No-till

В отношении динамики коэффициента структурности почвы по слоям отмечена та же зависимость, что и в отношении содержания агрономически ценных агрегатов 0,25-10,0 мм – в слое почвы 10-20 см коэффициент структурности выше как в поле кукурузы, так и в поле подсолнечника.

В поле подсолнечника коэффициент структурности почвы в слое 10-20 см был на 0,2-0,5 единиц выше (рис. 8-10).

Почвенный покров экспериментальных участков характеризовался пространственной вариабельностью фракционного состава, коэффициента структурности и содержания водопрочных агрегатов. Его агрофизические свойства зависели от приёмов обработки почвы и биологии возделываемой культуры. При отсут-

ствии ярко выраженной связи зон плодородия с агрегатным составом почвы просматривается тенденция увеличения доли почвенных агрегатов 0,25-10,0 мм в слое 10-20 см по сравнению с верхним слоем (0-10 см), что, очевидно, является следствием применяемых в течение длительного периода (в т.ч. предшествующего внедрению технологии No-till в хозяйстве Поспелихинского района) приёмов активной обработки почвы, распыляющих верхний слой.

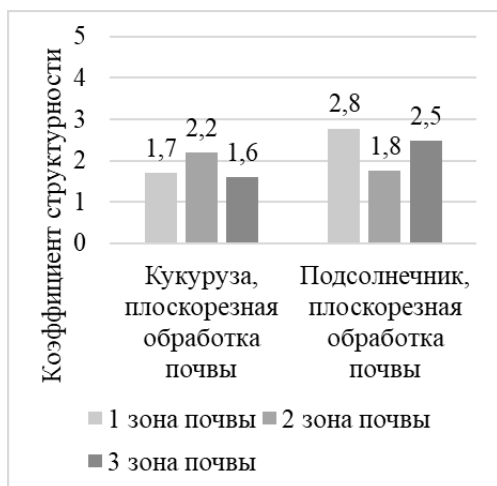


Рис. 8. Коэффициент структурности почвы в слое 0-20 см в зависимости от зоны поля при плоскорезной обработке почвы

Ежегодные глубокие плоскорезные основные обработки почвы и предпосевные поверхностные обработки (покровное боронование, предпосевная культивация) сопровождаются формированием неводопрочной структуры, с критиче-

ски низким содержанием водопрочных агрегатов в верхнем 0-10 см слое, на уровне 0,0-6,7%.



Рис. 9. Количество водопрочных почвенных агрегатов размером 1-5 мм в слое 0-20 см в зависимости от зоны поля при плоскорезной обработке почвы

Отмечена тенденция к росту содержания нитратного азота при глубокой плоскорезной обработке почвы (табл. 2, 3). По содержанию подвижного фосфора и обменного калия обеспеченность почв экспериментальных участков оценивается как повышенная и высокая. Более высокой обеспеченности почвы подвижным фосфором и обменным калием способствует реализация технологии прямого посева в необработанную почву (No-till).

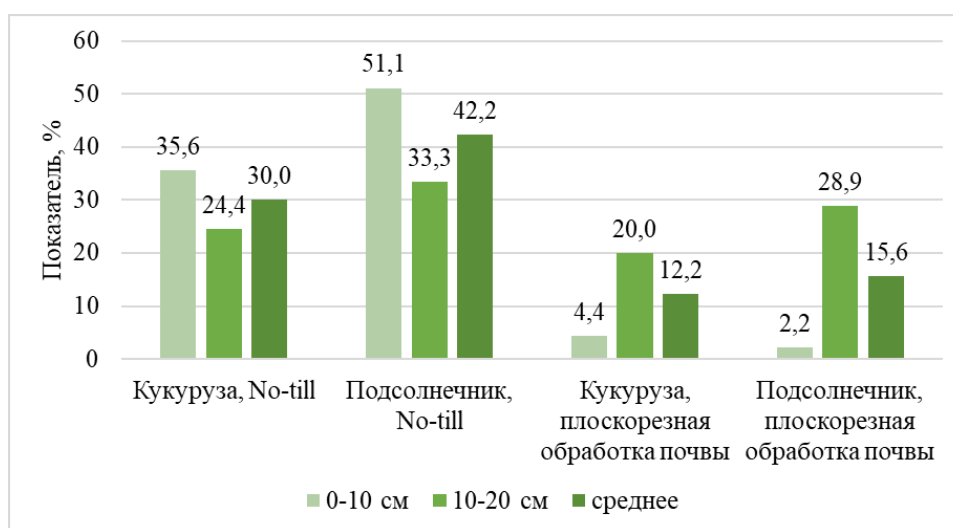


Рис. 10. Количество водопрочных почвенных агрегатов размером 1-5 мм в слоях почвы 0-10 и 10-20 см в зависимости от технологии обработки почвы и возделываемой культуры

Таблица 2

Агрoхимическая характеристика экспериментальных полей Пoспелихинского района

Культура	Точка отбора образца/класс плодородия	Горизонт (слой) почвы, см	Содержание нитратного азота, мг/кг	Содержание P ₂ O ₅ , мг/кг	Содержание K ₂ O, мг/кг	Гумус, %
Кукуруза	1	0-10	2,1	140,2	195,8	4,1
		10-20	1,5	135,0	107,8	4,0
	2	0-10	2,5	135,0	227,2	4,8
		10-20	1,9	117,2	87,9	3,8
	3	0-10	2,1	142,7	124,5	4,1
		10-20	1,4	168,8	156,3	3,9
Подсолнечник	1	0-10	1,9	221,5	284,9	4,3
		10-20	1,7	163,3	94,0	3,6
	2	0-10	2,0	175,6	236,0	4,2
		10-20	1,8	221,7	107,2	4,1
	3	0-10	2,4	145,5	114,1	3,9
		10-20	2,0	129,4	94,2	3,9

Примечание. Точка отбора образца/класс плодородия в таблицах 2-4 соответствуют классам плодородия, обозначенным на рисунках 1-4: 1-й класс – повышенное, 2-й класс – нормальное (умеренное), 3-й класс – пониженное плодородие.

Таблица 3

Агрoхимическая характеристика экспериментальных полей Алейского района

Культура	Точка отбора образца/класс плодородия	Горизонт (слой) почвы, см	Содержание нитратного азота, мг/кг	Содержание P ₂ O ₅ , мг/кг	Содержание K ₂ O, мг/кг	Гумус, %
Подсолнечник	1	0-10	1,6	151,5	122,6	3,8
		10-20	1,8	149,4	102,2	3,4
	2	0-10	2,1	128,9	114,7	3,3
		10-20	2,1	129,1	120,5	3,5
	3	0-10	3,0	150,4	161,7	3,1
		10-20	1,9	155,8	101,3	3,9
Кукуруза	1	0-10	1,7	126,9	205,8	3,7
		10-20	1,3	116,6	144,1	3,4
	2	0-10	1,5	135,7	174,2	3,5
		10-20	1,6	127,1	153,7	3,2
	3	0-10	2,2	64,8	154,3	3,4
		10-20	2,7	62,4	101,3	3,1

Наиболее заметная сопряженность с пространственной дифференциацией зон плодородия, в сравнении с обеспеченностью почв элементами минерального питания (NPK), наблюдается в отношении содержания гумуса.

Определение влажности почвы по участкам почвенного плодородия полей и запасов влаги в метровом слое проводилось по состоянию на 3-4 мая и 10-11 июня 2023 г. Результаты приведены в таблице 4.

Как показывает анализ, средняя влажность почвы по слоям до 1 м в весенний период (3 мая) на участках с различным уровнем поч-

венного плодородия опытных полей существенно различалась и находилась в пределах 19,2-37,4%. Вариация ее была высокой и составляла 11,4-25,3%. В результате различия в общих влагозапасах в метровом слое почвы по участкам почвенного плодородия полей изменялись от 28,4 до 181,5 мм. Это указывает на высокую значимость влияния участков почвенного плодородия полей на влагонакопление и распределение влаги по слоям в весенний период и, как следствие, в последующем на водный режим почвы по вегетации и на формирование урожая.

Сводные данные влажности почвы и запасов влаги по участкам почвенного плодородия опытных полей (03.05.2023 г.)

Зона поля/класс плодородия	Объемная влажность почвы по слоям, см в %										W0-100, мм
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	
СПК «Знамя Родины». Культура – подсолнечник											
1	41,7	26,7	29,5	34,3	41,5	37,9	36,1	37,3	44,2	44,2	373,4
2	22,9	22,7	26,3	20,3	16,4	15,2	19,4	15,7	15,7	17,3	191,9
3	23,8	20,6	25,1	17,1	21,6	22,7	19,1	18,8	21,3	20,4	210,5
СПК «Знамя Родины». Культура – кукуруза											
1	28,2	23,4	23,5	25,1	18,6	23,3	22,2	21,0	19,8	17,9	223,0
2	27,3	22,2	19,8	20,3	16,9	16,2	10,8	19,5	22,1	19,5	194,6
3	23,1	22,5	22,6	19,9	25,1	18,9	19,1	17,3	22,0	16,7	207,2
ООО «Золотая осень». Культура – подсолнечник											
1	20,5	24,7	26,8	26,0	26,8	24,0	17,4	18,0	17,0	15,9	217,1
2	25,4	23,2	31,7	29,0	30,9	30,6	31,9	33,6	31,8	29,4	297,5
3	20,3	25,7	26,3	27,3	25,6	24,2	22,2	19,1	17,3	16,4	224,4
ООО «Золотая осень». Культура – кукуруза											
1	27,0	27,1	30,8	32,4	35,5	37,9	33,2	29,8	28,3	28,7	310,7
2	26,6	31,6	30,4	30,3	26,3	24,3	18,8	16,5	15,9	18,5	239,2
3	19,4	30,2	29,8	29,3	29,2	31,1	28,1	24,9	31,2	26,4	279,6

По состоянию на 10 июня средняя влажность почвы по слоям до 1 м на участках с различным уровнем почвенного плодородия опытных полей значительно снизилась и составила 14,5-21,6%. Вариация ее по слоям по-прежнему была высокой (6,2-29,5%), а различия в общих влагозапасах в метровом слое почвы по участкам почвенного плодородия полей снизились до 46,8-59,8 мм, т.е. наблюдалось выравнивание влажности почвы по слоям на участках с различным уровнем плодородия.

Заключение

На основе анализа многолетних данных выявлены основные факторы, оказывающие влияние на уровень естественного почвенного плодородия участков полей (содержание гумуса, влагозапасы, агротехника). Результаты полевого опыта позволили дать количественную оценку изменчивости содержания элементов питания, структурного состава почвы, ее влажности по слоям и т.д. по вариантам технологий возделывания культур. Предложена методика построения карт-заданий для дифференцированного посева семян и внесения минеральных удобрений. Построенные карты полностью подтверждают выделенные зоны плодородия и четкость их границ репрезентативным массивом многолетних полевых данных.

Библиографический список

- Schellberg, J., Hill, M., Gerhards, R., Rothmund, M., Braun, M. (2008). Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. *European Journal of Agronomy*. 29. 59-71. DOI: 10.1016/j.eja.2008.05.005.
- Электронная карта урожайности как информационная основа прецизионного внесения удобрений / В. П. Якушев, В. В. Якушев, Л. Н. Якушева, В.М. Буре. – Текст: непосредственный // *Земледелие*. – 2009. – № 3. – С. 16-19.
- Афанасьев, Р. А. Методика полевых опытов по дифференцированному применению удобрений в условиях точного земледелия / Р. А. Афанасьев. – Текст: непосредственный // *Проблемы агрохимии и экологии*. – 2010. – № 1. – С. 38-44.
- Элементы технологии точного земледелия в полевом опыте РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева / А. И. Беленков, С. В. Железова, Е. В. Березовский, М. А. Мазиров. – Текст: непосредственный // *Известия ТСХА*. – 2011. – Вып. 6. – С. 90-100.
- Ovcharova, N. V., Silantjeva, M. M., Zhukova, E. Y., Sokolova, L. V., Elesova, N. V., Riabtsev, V. I., & Zakrevskiy, A. K. (2022). The state of agrocenoses and hayfield meadows in farm units of Prialeisk soil and climate zone (Altai Krai). *Acta Bio-*

logica Sibirica, 8, 733–748.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7750948>.

6. Мониторинг плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения Алтайского края: справочник / Н. С. Халин, И. В. Назарова, С. А. Симакова [и др.]. – Барнаул: Параграф, 2018. – 382 с. – Текст: непосредственный.

7. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Агропромиздат, 1986. – 416 с. – Текст: непосредственный.

8. Информативность спектральных вегетационных индексов для дешифрирования сельскохозяйственных полей / Т. И. Письман, А. П. Шевырнов, А. А. Ларько [и др.]. – Текст: непосредственный // *Биофизика*. – 2019. – Т. 64, № 4. – С. 740–746.

9. Раннее прогнозирование урожайности зерновых культур на основе спутниковых данных Dove (PlanetScope) / А. П. Шевырнов, Д. В. Емельянов, Н. О. Мальчиков [и др.]. – Текст: непосредственный // *Биофизика*. – 2021. – Т. 66, № 6. – С. 1164–1170.

10. Vaudour, E., Gomez, C., Loiseau, T., et al. (2019). The Impact of Acquisition Date on the Prediction Performance of Topsoil Organic Carbon from Sentinel-2 for Croplands. *Remote Sensing*. DOI: 10.3390/rs11182143.

References

1. Schellberg, J., Hill, M., Gerhards, R., Rothmund, M., Braun, M. (2008). Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. *European Journal of Agronomy*. 29. 59–71. DOI: 10.1016/j.eja.2008.05.005.

2. Iakushev V.P., Iakushev V.V., Iakusheva L.N., Bure V.M. Elektronnaia karta urozhainosti kak informatsionnaia osnova pretsizionnogo vneseniia udobrenii // *Zemledelie*. – 2009. – No. 3. – S. 16–19.

3. Afanasev R.A. Metodika polevykh opytov po differentsirovannomu primeneniiu udobrenii v usloviakh tochnogo zemledelii // *Problemy agrokhemii i ekologii*. – 2010. – No. 1. – S. 38–44.

4. Belenkov A.I., Zhelezova S.V., Berezovskii E.V., Mazirov M.A. Elementy tekhnologii tochnogo zemledelii v polevom opyte RGAU-

MSKhA imeni K.A. Timiriازهva // *Izvestiia TSKhA*. – 2011. – Vyp. 6. – S. 90–100.

5. Ovcharova, N. V., Silantieva, M. M., Zhukova, E. Y., Sokolova, L. V., Elesova, N. V., Riabtsev, V. I., & Zakrevskiy, A. K. (2022). The state of agrocenoses and hayfield meadows in farm units of Prialeisk soil and climate zone (Altai Krai). *Acta Biologica Sibirica*, 8, 733–748. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7750948>.

6. Khalin N.S., Nazarova I.V., Simakova S.A., Dymova L.V., Marinenko E.A. Monitoring plodorodiia pochv zemel selskokhoziaistvennogo naznacheniiia Altaiskogo kraia. Spravochnik. – Barnaul: Paragraf, 2018. – 382 s.

7. Vadiunina A.F., Korchagina Z.A. Metody issledovaniia fizicheskikh svoistv pochv. 3-e izd., pererab. i dop. – Moskva: Agropromizdat, 1986. – 416 s.

8. Pisman T.I., Shevyrnov A.P., Larko A.A., Botvich I.Iu., Emelianov D.V., Shpedt A.A., Trubnikov Iu.N. Informativnost spektralnykh vegetatsionnykh indeksov dlia deshifirovaniia selskokhoziaistvennykh polei // *Biofizika*. – 2019. – Т. 64. – No. 4. – S. 740–746.

9. Shevyrnov A.P., Emelianov D.V., Malchikov N.O., Demianenko T.N., Ivchenko V.K., Botvich I.Iu. Rannee prognozirovaniie urozhainosti zernovykh kultur na osnove sputnikovyykh dannyykh Dove (PlanetScope) // *Biofizika*. – 2021. – Т. 66. – No. 6. – S. 1164–1170.

10. Vaudour, E., Gomez, C., Loiseau, T., et al. (2019). The Impact of Acquisition Date on the Prediction Performance of Topsoil Organic Carbon from Sentinel-2 for Croplands. *Remote Sensing*. DOI: 10.3390/rs11182143.

Работа поддержана средствами программы развития ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет» "Приоритет-2030".

Особая благодарность за сотрудничество и сопровождение научных работ руководителю фермерского хозяйства ООО «Золотая осень» (Алейский район Алтайского края) Вадиму Ивановичу Рябцеву и агроному Александру Константиновичу Закревскому, главному агроному СПК «Знамя Родины» (Поспелихинский район Алтайского края) Николаю Петровичу Белову.

