

УДК 631.3.072

РАЗВИТИЕ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ С УЧЕТОМ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

П. А. Ковриго

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, Pavel_Kauryha@tut.by*

Точное земледелие — комплексная высокотехнологичная система ведения сельского хозяйства с использованием компьютерных и спутниковых информационных технологий. Существенным резервом повышения эффективности метода точного земледелия является учет микроклиматических вариаций агроклиматических ресурсов. В результате многолетних микроклиматических наблюдений получены поправки, представляющие разницу между данными натурных наблюдений и опорной метеостанцией. Эти поправки рекомендуется использовать при проведении агротехнических и мелиоративных мероприятий в осуществлении программы точного земледелия.

Ключевые слова: точное земледелие; микроклимат; агроклиматические ресурсы; микроклиматические наблюдения; поправочные коэффициенты; информационные технологии.

DEVELOPMENT OF PRECISION AGRICULTURE IN THE REPUBLIC OF BELARUS CONSIDERING MICROCLIMATIC HETEROGENEITY OF AGROCLIMATIC RESOURCES

P. A. Kauryha

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, belrus@bsmu.by*

Precision farming is a complex high-tech farming system using computer and satellite information technologies. This method is based on the idea of the existence of soil, agroclimatic and microclimatic heterogeneities. A significant reserve for increasing the efficiency of the precision farming method is taking into account microclimatic variations of agroclimatic resources. As a result of long-term microclimatic observations, corrections were obtained that represent the difference between the data of field observations and the reference weather station. These amendments are recommended for use when carrying out agrotechnical and reclamation measures in the implementation of a precision agriculture program.

Keywords: precision agriculture; microclimate; agroclimatic resources; microclimatic observations; correction factors; information technology.

Точное земледелие. В настоящее время перед человечеством остро стоит проблема дефицита продуктов питания. Одним из путей решения этой проблемы является внедрение инновационных технологий в сельскохозяйственное производство, в частности, технологии точного земледелия (precision agriculture) [1].

Точное (координатное, цифровое) земледелие — комплексная система управления плодородием почвы и урожайностью с учетом физико-химических свойств каждого выдела элементарной агрогеосистемы с использованием компьютерных и спутниковых информационных технологий: GPS-навигации, технологии «интернет вещей» (IoT), GIS-технологии, технологии оценки урожайности (Yield Monitor Technologies), технологии ДЗЗ, технологии переменного нормирования (Variable Rate Technology), цифровых карт сельскохозяйственных полей и др. [2].

Необходимые данные, полученные из разных информационных источников, используются для расчета оптимальных сроков и норм сева, внесения удобрений и средств защиты растений, прогнозирования урожайности и финансовых расходов на протяжении всего вегетационного периода для каждой культуры. Эффективность использования цифровых технологий и автоматизации агропроизводственных процессов достигается на основе учета локального разнообразия агроклиматических и микроклиматических ресурсов конкретного поля [3, 15, 16].

Система точного земледелия развивается на современных достижениях электроники. На тракторах устанавливаются многоканальные микропроцессоры, а на машинах используются датчики, контролирующие расход ресурсов. Так, внесение в почву удобрений и средств защиты растений обеспечивается электронными регуляторами, которые дают экономию расходных материалов до 20 %. Для точного высева семян зерновых культур сеялки оборудованы датчиками, которые обеспечивают необходимую глубину заделки и, более того, регулируют расстояние между семенами в рядке [5, 7].

Создание высокоточных и производительных машин, их автоматизация и компьютеризация в странах ЕС, США и Канады обеспечивает урожайность зерновых культур до 90 ц/га.

В Беларуси внедряются элементы системы точного земледелия (параллельного вождения, GPS-навигации, системы учета расхода топлива и др.). Так, весенний сев яровых зерновых и зернобобовых культур с использованием элементов системы точного земледелия проводится на 16 % площади, сев озимых зерновых — на 10 %. Осуществляется оперативное

управление технологическими процессами, обеспечивается информационное сопровождение, планирование и ведение хозяйственной деятельности в растениеводстве [6, 8].

Учет микроклимата. Проблема внедрения технологии точного земледелия связана с эффективным использованием агроклиматических ресурсов, с их микроклиматическим разнообразием не только в пределах хозяйства, но и отдельного поля. Информация о разнообразии микроклиматических условий может быть получена в результате проведения полевых наблюдений.

Под *микроклиматом* понимается климат приземного слоя воздуха и верхнего слоя почвы, который формируется под влиянием неоднородностей физических свойств подстилающей поверхности и существенно изменяется на относительно небольших расстояниях.

Микроклимат — это свойство атмосферных процессов, развивающихся в приземных слоях воздуха и почвы под влиянием микрообразующих факторов: рельефа (экспозиция и крутизна склонов), растительности (лес, суша, болото, поле), механического состава почвы (песок, супесь, суглинок, глина, торф) и ее влажности, водоемов, мелиорации и др.¹

Изучая агроклиматические ресурсы холмистой местности и оценивая их пространственную микроклиматическую изменчивость, проводят микроклиматические наблюдения, пункты которых располагаются в пределах элементарных агрогеосистем.

В выбранных пунктах экспериментального участка проводятся параллельные (синхронные) наблюдения с помощью метеорологических приборов или дистанционного измерительного комплекса с автоматической регистрацией физических характеристик. В качестве опорного пункта выбирается ближайшая метеостанция, данные наблюдений которой репрезентативны и позволяют восстанавливать показатели эпизодических микроклиматических наблюдений и определять микроклиматические поправки для каждого пункта, представляющие разницу между данными микроклиматических наблюдений и опорной метеостанцией. Большим разнообразием микроклиматического распределения характеризуется температура почвы.

¹*Ковриго П. А.* Методика организации и проведения микроклиматических исследований природных и природно-антропогенных геосистем. Минск, 1987. почвы близлежащей метеостанции (табл. 1). Поправочные коэффициенты — отклонение температуры почв различного механического состава от температуры, характерной для среднесуглинистых почв на глубине 10 см.

Таблица 1

Поправочные коэффициенты к тепловым ресурсам разных типов почв

Почва	Средняя температура почвы за май, °С	Даты перехода среднесуточной температуры почвы через		Сумма температуры выше 10 °С	Продолжительность периода с температурой выше	
		5 °С, дни	10 °С, дни		15 °С, дни	10 °С, дни
Песчаная, супесчаная	+1,0...+2,0	- 6... -10	-10... -15	+200... +300	+15... +25	+20... +25
Легкосуглинистая	+0,5... +1,0	-3... -5	-5... -10	+100... +150	+5... +10	+10... +15
Тяжелосуглинистая, глинистая	-0,5... -1,0	+3... +5	+5... +10	-50... -100	-5... -10	+5... -5

Примечание. Поправочные коэффициенты (в днях: + добавляем, а – вычитаем) определены относительно среднесуглинистой почвы в ровной местности на глубине 10 см.

Это связано с неоднородностью факторов ее формирования — механического состава, влажности, рельефа. Так, самые теплые почвы — легкие суглинистые и супесчаные, холоднейшие — суглинистые, более холодные — глинистые, самые холодные — осушенные торфяники. Например, давно осушенные торфяники холоднее на 1 °С, чем новоосушенные, на 3-4 °С, чем суглинистые и на 4-5 °С, чем супесчаные и песчаные.

Для учета микроклиматической неоднородности тепловых ресурсов почвы используют поправочные коэффициенты, корректирующие температуру

Для оценки микроклиматической неоднородности запасов влаги в почве холмистой агрогеосистемы используют данные агрометеорологических станций с учетом коэффициентов увлажнения, которые представляют собой отношение запасов влаги в почвенном слое на склоне к запасам влаги в этом же слое на ровном месте (табл. 2).

Развитие точного земледелия основывается на применении различного рода крупномасштабных карт. Одним из многих видов таких карт являются *микроклиматические карты*, на которых подробно показано распределение метеорологических элементов и явлений в приземном слое воздуха и верхнем слое почвы. Микроклиматические карты различаются по своему содержанию и назначению. Они бывают аналитическими и синтетическими. *Аналитические карты* отражают распределение одного микроклиматического показателя, такого как минимальные температуры, ветровой режим, температура и влажность почвы, солнечная радиация и др.

Синтетические микроклиматические карты характеризуют распределение ряда взаимосвязанных характеристик с учетом многих факторов, формирующих микроклимат. Они отражают ландшафтные условия формирования микроклимата

Таблица 2

Коэффициенты увлажнения почвы в холмистом рельефе

Форма рельефа	Южный склон	Северный склон
Склоны:		
верхняя часть	0,40	0,95
средняя часть	0,55	1,00
нижняя часть	0,95	1,30
подножье	1,00	1,70
Ровное место	1,00	1,00

Примечание. Для вершины холма коэффициент увлажнения 0,45.

Для сельского хозяйства крупномасштабное картографирование микроклимата проводится на основе карт распределения природных факторов, обуславливающих микроклиматическую неоднородность агроклиматических ресурсов, а также на основе количественных характеристик, полученных при полевых наблюдениях.

Данные о факторах, создающих микроклиматические различия, приведены на крупномасштабных картах (1:10 000) почв, землеустройства, растительности и др. Влияние различных форм рельефа на микроклимат выявляется на основании топографической карты или глазомерной съемки местности. С помощью картографической основы территория разделена по степени выраженности каждого микроклиматообразующего фактора. При этом создаются отдельные карты распределения механического состава почвы, степени их увлажнения, а также экспозиции и крутизны склонов. Комбинируя отдельные карты, отражающие степень влияния микро-климатических факторов, выделяются *элементарные агрогеосистемы*, внутри которых формируются однородные микроклиматические условия.

Элементарные агрогеосистемы, характеризующиеся количественными показателями микроклимата, называются микроклиматическими системами. Под микроклиматической системой понимается простейшая территориальная единица, отличающаяся совокупным действием природных факторов, создающих однородные микроклиматические условия за счет одинаковой интенсивности тепло- и влагообмена в системе «почва – растительность – приземный слой воздух».

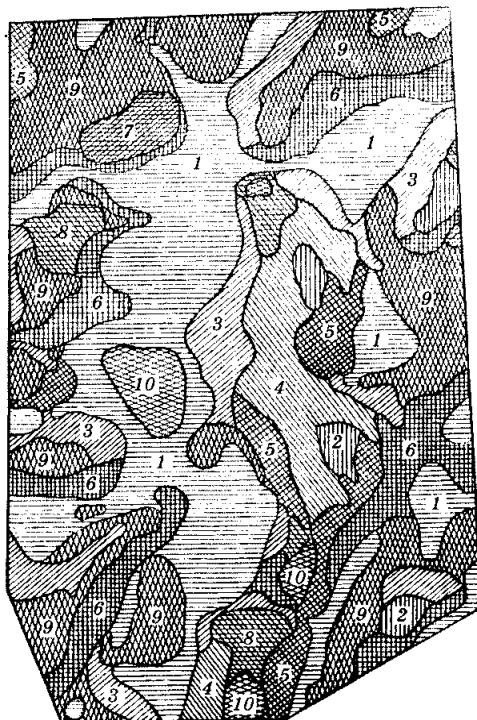
На рисунке представлена синтетическая микроклиматическая карта, составленная для холмистой местности Браславской возвышенности. На карте выделено 10 элементарных микроагрогеосистем, которые характеризуются количественными показателями радиационных и тепловых ресурсов микроклимата (табл. 3).

Факторами микроклиматического разнообразия холмистого ландшафта являются экспозиция склонов и их крутизна. На склонах разной ориентации и их крутизны происходит перераспределение солнечной радиации и атмосферных осадков, что определяет разнообразие микроклимата. Например, в Беларуси в апреле и сентябре на южных склонах с уклоном 10° суммарная радиация на 5 и 9 % больше, а на северных — на 7 и 11 % меньше, чем на горизонтальной поверхности. Летом температура воздуха на вершинах холмов и на их южных склонах в среднем на 2°C выше, чем на северных склонах и в долинах.

Таблица 3

Количественные показатели микроклиматических систем холмистого рельефа Браславской возвышенности

Микроклиматическая система (в соответствии с рисунком)	Суммарная радиация, МДж/м ² ·год	Радиационный баланс, МДж/м ² ·год	Продолжительность беззаморозкового периода, дни	Суммы температур воздуха $>5^\circ\text{C}$
1	3685	1543	110	2285
2	3685	1543	123	2534
3	3574	1435	113	2385
4	3464	1366	113	2385
5	3869	1612	117	2442
6	3796	1574	117	2442
7	3796	1574	119	2465
8	3574	1435	115	2405
9	3685	1543	114	2400
10	3685	1543	117	2423



Синтетическая микроклиматическая карта Браславской возвышенности
 Легенда к микроклиматической карте

1	Холодные торфяно-болотные и заболоченные почвы
2	Умеренно теплые суглинистые почвы недостаточного увлажнения на вершинах холмов
3	Умеренно холодные северные склоны крутизной 3–7° с суглинистыми почвами нормального увлажнения
4	Холодные северные склоны крутизной более 7° с суглинистыми почвами нормального увлажнения
5	Холодноватые южные склоны крутизной более 7° с суглинистыми почвами нормального увлажнения
6	Холодноватые южные склоны крутизной 3–7° с суглинистыми почвами нормального увлажнения
7	Теплые южные склоны 3–7° с супесчаными почвами нормального увлажнения
8	Умеренно холодные северные склоны крутизной 3–7° с супесчаными почвами нормального увлажнения
9	Умеренно теплые междухолмистые равные участки с суглинистыми почвами нормального увлажнения
10	Теплые междухолмистые равные участки с супесчаными почвами нормального увлажнения

Библиографические ссылки

1. Мыслыва Т. Н., Куцаева О. А. Внедрение точного земледелия в Республике Беларусь в контексте национальных земельных отношений: проблемы и перспективы. <https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-tochnogo-zemledeliya-v-respublike-belarus-v-kontekste-natsionalnyh-zemelnyh-otnosheniy-problemy-i-perspektivy>

2. <https://ru.agriculture.trimble.com/blog/что-такое-точное-земледелие/>
3. <https://sasagro.com/ru/novye-tehnologii/что-такое-точное-земледелие/>
4. Вацула А. В., Антошук С. А. Точное земледелие в Республике Беларусь: состояние и перспективы / А. В. Вацула, С. А. Антошук // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2019;(52). С. 19-24.
5. Клебанович Н. В. Геопространственная характеристика неоднородности свойств почв / Н. В. Клебанович, С. Н. Прокопович, А. Л. Киндеев // Земля Беларуси. № 3, 2018. С. 33-34.
6. <https://www.belta.by/economics/view/tsifrovizatsija-i-tochnoe-zemledelie-belarus-vnedrjaet-novye-tehnologii-v-selskoe-hozjajstvo>.
7. <https://sasagro.com/ru/novye-tehnologii/что-такое-точное-земледелие/>
8. <https://sasagro.com/sas-powered-by-cropio/>
9. NDVI (Normalized difference vegetation index, нормализованный вегетационный индекс).
10. <https://forms.gle/9chjmoaHSZ8by9aS9>
11. Якушев В. В. Точное земледелие: теория и практика. Монография. СПб, АФИ. 2016. 364 с.
12. Gebbers, R. Precision agriculture and food security / R Gebbers, V.I. Adamchuk // Science. 2010. Vol. 327. P. 828-831.
13. Fountas S. Precision agriculture / S. Fountas, K. Aggelopoulou, T.A. Gemtos / In: Supply Chain Management for Sustainable Food Networks. Chichester, UK: John Wiley and Sons, 2015. P. 41-65.
14. Ковриго П. А. Микроклимат болотных экосистем и его оптимизация / П.А. Ковриго. Минск : Университетское, 1995. – 153 с.
15. Ковриго П. А. Микроклимат / П.А. Ковриго // Метеорология и климатология. Минск : Вышэйшая школа. 2022. С. 273-288.
16. Ковриго П. А. Изменение локального климата в условиях глобального потепления / П. А. Ковриго // Вестник Белорус-го гос. ун-та. Сер. 2. 2010. № 2. С. 86-91.
17. Романова Е. Н. Микроклиматология / Е. Н. Романова, Г. И. Мосолова, И. А. Береснева // Л., ГМИ. 1983. С. 245.