

Д.А. Иванов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
 О.В. Карасева, кандидат сельскохозяйственных наук
 М.В. Рублюк, кандидат сельскохозяйственных наук
 ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»
 РФ, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2
 E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

УДК 631.5;631.6;911.2

DOI: 10.30850/vrsn/2022/3/ 61-64, EDN: bexzlj

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА УРОЖАЙНОСТЬ ПОСЕВОВ ОВСА В ПРЕДЕЛАХ АГРОЛАНДШАФТА МОРЕННОГО ХОЛМА

В работе представлены результаты статистической обработки данных многолетнего мониторинга урожайности овса в чистых посевах и с подсевом многолетних трав. Исследования проводили в 1998–2021 годах на агроэкологической трансекте в пределах полигона, расположенного на моренном холме в 4 км к востоку от города Тверь. В каждой из 120 точек опробования определяли коэффициент корреляции урожайности овса от среднемесячной температуры в различные сроки жизни фитоценоза (май – август). Корреляционный анализ – мощный статистический инструмент исследования адаптивных реакций растений на ландшафтные и агроклиматические условия, с помощью которого можно выявить особенности воздействия температур на урожайность культуры в различных технологических и ландшафтных условиях. Выявлено, что среднемесячные температуры не оказывают значительного воздействия на урожайность чистых посевов овса – многие коэффициенты корреляции недостоверны. Выращивание овса совместно с травами приводит к еще большему снижению зависимости урожая от температур, что объясняется лучшей термо- и гидрорегуляцией в сложных посевах. На верхних гипсометрических отметках ландшафта с наиболее пестрым почвенным покровом в чистых посевах наблюдается угнетение растений в июне-июле, а в сложных фитоценозах это местоположение наиболее благоприятно для всходов. Установлено, что фитоценоз овса с подсевом трав обладает большей пластичностью по сравнению с чистыми посевами. Он может быть распространен в агроландшафте практически повсеместно, тогда как чистые посевы более рационально размещать на нижних частях склонов и в межхолмных депрессиях.

Ключевые слова: агроландшафт, мониторинг, температура, статистический анализ, овес.

D.A. Ivanov, *Grand PhD in Agricultural Sciences, Professor*
 O.V. Karaseva, *PhD in Agricultural Sciences*
 M.V. Rublyuk, *PhD in Agricultural Sciences*
 FRC «V.V. Dokuchaev Soil Science Institute»
 RF, 119017, g. Moskva, Pyzhevskij per., 7, str. 2
 E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

INFLUENCE OF AIR TEMPERATURE ON OAT SOWINGS YIELD IN MORAINIC HILL AGROLANDSCAPE

The paper presents the results of statistical processing of data from long-term monitoring of oat yields, both in clean crops and with sowing of perennial grasses. Studies were conducted in 1998–2021 on an agroecological transect within a polygon located on a moraine hill 4 km east of the city of Tver. In each of the 120 test points located on the transect, the correlation coefficient of oat yield from the average monthly temperature at different stages of phytocenosis life (May, June, July and August) was determined. Studies show that correlation analysis is a powerful statistical research tool adaptive reactions of plants to landscape and agroclimatic conditions, with the help of which it is possible to identify the features of the impact of temperatures on crop yields in various technological and landscape conditions. It was revealed that the average monthly temperatures do not have a significant impact on the yield of net oat crops - many correlation coefficients are not reliable. Growing oats together with grasses leads to an even greater reduction in the dependence of the crop on temperatures, which can be explained by better thermal and hydoregulation in complex crops. It is established that on the upper hypsometric elevations of the landscape with the most variegated soil cover in clean crops there is an inhibition of plants in June-July, and in complex phytocenoses these locations are most favorable for seedlings. It is concluded that the phytocenosis of oats with grass seeding has greater plasticity compared to its pure crops. It can be distributed in the agrolandscape almost everywhere, while clean crops are more rationally placed on the lower parts of the slopes and in depressions.

Keywords: agrolandscape, monitoring, temperature, statistical analysis, oats.

Учет погодных условий – неотъемлемая часть процедуры программирования урожая. Необходимо изучать феномен воздействия температуры воздуха на рост и развитие культур для создания работоспособных моделей прогнозирования их урожайности. [1] Особенности ландшафта влияют на характер пространственного перераспределения термических ресурсов и сложность взаимодействия энергии и пространства в процессе образования растительной биомассы. [2, 8]

Проблема зависимости продуктивности ландшафтов от климата приобретает экономическое значение, так как глобальное потепление существенно влияет на динамику урожайности. [4, 6] Для Центрального федерального округа вероятно в будущем положительная динамика валового сбора зерновых и зернобобовых культур, к концу столетия она может возрасти с 14 до 17 %. [7] Отрицательное влияние температуры на урожайность основных мировых сельскохозяйственных культур – причина для

разработки стратегий их адаптации к условиям различных регионов для обеспечения будущего снабжения растущего населения мира продовольствием. [5] В Великобритании анализ общей урожайности биомассы озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) и лугов среди различных погодных кластеров показал, что условия, типичные для XX-го века, по сравнению с началом XXI-го, обеспечили большую отдачу, но воздействие климата на пастбища было меньшим, чем на зерновые культуры. [9]

Полевые исследования влияния погодных условий на урожайность культур позволяют выявить многие закономерности процесса формирования растительной биомассы. Наибольшая чувствительность растений к влаге и теплу проявляется на ранних стадиях развития и в период активного роста. [4] Для зерновых культур большое значение имеют показатели среднесуточной температуры воздуха в первой половине вегетации (апрель-июнь), когда формируется фитоценоз посева. [11] Сербскими учеными доказано, что в условиях Воеводины урожайность кукурузы, сахарной свеклы и подсолнечника сильно коррелировала с осадками и температурой в период роста и зависела от колебания температур в марте, августе и сентябре. [12]

Влияние температуры на урожайность культур проявляется в сложной системе временных, пространственных и агротехнических факторов, которые во многом определяют характер динамических процессов в геоконплексе. [10] Наиболее удобный и информативный инструмент изучения воздействия климата на сельскохозяйственные растения — многолетний мониторинг показателей их жизнедеятельности в условиях агроэкологических стационаров (полигоны), в пределах которых представлены основные ландшафтные позиции региона.

Цель работы — выявление на основе результатов многолетних наблюдений особенностей влияния теплового режима на урожайность овса посевного в различных ландшафтных и агротехнических условиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на агроэкологическом полигоне ВНИИМЗ (филиал ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева), заложенном в 1998 году, площадью 50 га, в 4-х км к востоку от г. Тверь, на моренном холме высотой 15 м, с четко выраженными геоморфологическими элементами: плоской вершиной, северным пологим (2...3°) и южным склоном (3...5°), межхолмными депрессиями. [3]

Почвообразующие породы на территории стационара — двучленные отложения (геологическое образование), состоящие из верхнего слоя, образованного относительно легкими породами, и подстилающего его, моренного завалуненного суглинка. В южной части стационара мощность кроющего песчано-супесчаного наноса местами превышает 1,5 м (мощный двучлен). На вершине и северном склоне холма пахотные горизонты сложены супесью и легким суглинком, мощность верхнего облегченного слоя около 1 м (средне- и маломощный двучлены), а в межхолмной депрессии морена местами выходит на поверхность. Особенность объекта ис-

следований — зависимость гранулометрического состава пахотных горизонтов почв от мощности кроющего наноса. Как правило, почвы на мощных двучленах характеризуются пахотными горизонтами более легкого гранулометрического состава, чем в местах с близким к поверхности залеганием морены.

Почвенный покров (ПП) полигона представлен вариацией-мозаикой дерново-подзолистых глееватых и глеевых почв. Многокомпонентность ПП обусловлена литологической неоднородностью почвообразующих пород по горизонтали и вертикали. В пределах полигона выделены три типа элементарных почвенных структур (ЭПС): подзолисто-гидроморфные вариации-ташеты плоской вершины и верхних частей склонов; подзолисто-эрозионно-гидроморфные вариации-ташеты средних частей склонов; подзолисто-гидроморфные пятнистоститашеты межхолмных депрессий. Каждая из них имеет свой набор элементарных почвенных разновидностей, что обуславливает пространственную вариативность сложности почвенного покрова. Полигон осушен гончарным дренажем со средним междренним расстоянием 30 м.

Для достижения поставленной цели осуществляли мониторинг урожайности овса посевного с 1998 по 2021 год на агроэкологической трансекте (физико-географический профиль) — узком массиве, состоящим из десяти продольных полей, пересекающим все микроландшафтные позиции конечного-моренной гряды. Опытные поля (ширина — 7,2 м, длина — 1300 м) располагались вдоль трансекты, на каждом по 120 одинаковых делянок площадью 20 м². Урожайность овса определяли прямым комбайнированием.

Массив полученных данных состоит из результатов наблюдений за урожайностью чистых посевов овса (1998–2006 годы) и с подсевом многолетних трав (клевер, тимофеевка) (2007–2021 годы). Достоверные различия температурных условий этих периодов не найдены.

На основе корреляционного анализа, выполненного в программе Excel, рассчитывали воздействие среднемесячной температуры воздуха в различные фазы вегетационного периода (май — август) на урожайность культуры разных посевов в каждой точке опробования (первичный анализ) и определяли характер влияния высоты местоположения и сложности почвенного покрова на степень зависимости урожайности овса от температуры воздуха в разное время (вторичный анализ).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 (2-я стр. обл.) приведены результаты первичного корреляционного анализа. На нем показана информация о пространственной вариативности некоторых ландшафтных факторов — тренда изменения высоты местоположения и характера сложности почвенного покрова, выраженного через число почвенных разновидностей в точке опробования, а также коэффициентов корреляции урожайности овса и температуры воздуха в разное время и различных посевов.

Коэффициент корреляции между высотой местоположения и сложностью почвенного покрова

равен 0,75, то есть статистически достоверно (степень свободы 118, достоверны коэффициенты $> 0,16$) подтверждается факт, отображенный на рисунке 1А (2-я стр. обл.). Это объясняется тем, что в районе вершины наблюдается смена мощных двучленов на средне- и маломощные, что обуславливает здесь максимальную пестроту литолого-геологических условий и, как следствие, относительно высокую сложность почвенного покрова. Вниз по склонам обеих экспозиций геологическая обстановка упрощается.

Урожайность чистых посевов овса, как правило, положительно зависит от майских температур и отрицательно от июньских (рис. 1Б, 2-я стр. обл.). Коэффициенты корреляции урожайности с июльскими и августовскими температурами недостоверны (степень свободы 7, достоверны коэффициенты $> 0,65$).

Во время всходов отмечается слабая прямо пропорциональная зависимость урожая от температуры воздуха, что можно объяснить некоторой переувлажненностью почв после снеготаяния. В июне (фаза кущения) растения ощутимо страдают от избытка тепла, особенно на южном склоне. В фазы формирования генеративных органов и налива зерна заметного влияния температуры на урожай овса не было.

Характер воздействия температур на урожайность овса в сложном посеве отличается от такового в чистом (рис. 1В, 2-я стр. обл.). Во-первых, большинство коэффициентов корреляции недостоверно (степень свободы 13, достоверны коэффициенты $> 0,48$).

Во-вторых, максимальная зависимость урожая от температур — в мае и августе, когда овес имеет некоторое конкурентное преимущество перед травами.

То есть, в фазе всходов повсеместно наблюдается слабая прямо пропорциональная зависимость урожая от температуры воздуха, и это можно объяснить некоторой переувлажненностью почв после снеготаяния. В июне (фаза кущения) растения подвержены действию избытка тепла, особенно на южном склоне. Во время формирования генеративных органов и налива зерна заметного влияния температуры на урожай овса не было.

Сравнение трех частей рисунка позволяет сделать заключение о некоторой зависимости пространственного распределения коэффициентов корреляции температуры и урожайности от характера рельефа и почвенного покрова. Результаты статистического исследования влияния этих элементов ландшафта на изучаемые нами коэффициенты корреляции показаны на рисунке 2 (2-я стр. обл.).

Отмечая внешнюю схожесть динамик воздействия ландшафтных условий на характер влияния температуры на урожай овса в разных посевах, необходимо констатировать и их существенные различия. Во-первых, высота местоположения и пестрота почвенного покрова способствуют росту положительного воздействия температур на урожай овса в сложных посевах и усилению негативного их влияния в чистых; во-вторых, достоверно (степень свободы 118, достоверны коэффициенты $> 0,16$) изучаемые факторы ландшафтной среды влияли на коэффициенты корреляции урожай/температура в сложных посевах (фаза всходов), чистых (кущение и цветение).

Всходы овса в сложных посевах интенсивнее развиваются в пределах высоких гипсометрических

отметок. В другие фазы развития культуры ландшафтные условия не играют особой роли в процессе воздействия температуры на урожай. Чистые посевы во время кущения, трубкования и цветения страдают от избытка тепла на вершинах и верхних частях склонов холмов, вследствие дефицита влаги в пахотных горизонтах.

Выводы. Среднемесячные температуры не оказывают значительного воздействия на урожайность чистых посевов овса — многие коэффициенты корреляции недостоверны. Выращивание овса совместно с травами приводит к еще большему снижению зависимости урожая от температур, что может быть связано с лучшей термо- и гидрорегуляцией в сложных посевах. Исследование влияния агроклимата на урожайность необходимо проводить на основе комплекса его основных параметров, описывающего динамику не только температур, но и влажности, а также их связывающих показателей.

На верхних гипсометрических отметках ландшафта с наиболее пестрым почвенным покровом в чистых посевах наблюдается угнетение растений в июне-июле, а в сложных фитоценозах это местоположение наиболее благоприятно для всходов.

Фитоценоз овса с подсевом трав обладает большей пластичностью по сравнению с чистыми его посевами. Он может быть распространен в агроландшафте практически повсеместно, тогда как чистые посевы более рационально размещать на нижних частях склонов и в межхолмных депрессиях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баденко, В.Л. Перспективы использования динамических моделей агроэкосистем в задачах средне и долгосрочного планирования сельскохозяйственного производства и землеустройства / В.Л. Баденко, В.В. Гарманов, Д.А. Иванов и др. // Доклады РАСХН. — 2015. — № 1–2. — С. 72–76.
2. Беручашвили, Н.Л. Геофизика ландшафта / Н.Л. Беручашвили — М.: Высшая школа, 1990. — 287 с.
3. Иванов, Д.А. Создание ландшафтного полигона нового поколения / Д.А. Иванов, Е.М. Корнеева, Р.А. Салихов и др. // Земледелие. — 1999. — № 6. — С. 15–16.
4. Клочков, А. В. Влияние погодных условий на урожайность сельскохозяйственных культур / А.В. Клочков, О.Б. Соломко, О.С. Клочкова // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. — 2019. — № 2. — С. 101–105.
5. Ксенофонтов, М.Ю. К вопросу о влиянии климатических изменений на развитие сельского хозяйства России в долгосрочной перспективе / М.Ю. Ксенофонтов, Д.А. Ползиков // Проблемы прогнозирования. — 2020. — № 3(180). — С. 82–92.
6. Порфирьев, Б.Н. Устойчивое развитие, климат и экономический рост: стратегические вызовы и решения для России / Б.Н. Порфирьев — СПб: СПбГрупп, 2020. — 40 с.
7. Сиптиц, С.О. Модельные оценки влияния климата на урожайность зерновых и зернобобовых культур в регионах России / С.О. Сиптиц, И.А. Романенко, Н.Е. Евдокимова // Проблемы прогнозирования. — 2021. — № 2. — С. 75–86.
8. Шашко, Д.И. Внутриобластное природно-сельскохозяйственное районирование как форма учета биоклиматического потенциала / Д.И. Шашко, Н.Н. Розов // Земледелие. — 1989. — № 3. — С. 18–22.

9. Addy, J. Changes in agricultural climate in South-Eastern England from 1892 to 2016 and differences in cereal and permanent grassland yield/ J. Addy, R.H. Ellis, A.J. Macdonald et al.// *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2021. – P. 308–309.
10. Bulgakov, D.S. The application of the soil-agroclimatic index for assessing the agronomic potential of arable lands in the forest-steppe zone of Russia / D.S. Bulgakov, D.I. Rukhovich, E.A. Shishkonakova et al. // *Eurasian Soil Science*. – 2018. – 51(4). – P. 448–459.
11. Chuang, Zhaoa. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates/Zhaoa Chuang, Liub Bing, Piao Shilong et al. // *PNAS*. – August 29. – 2017. – V. 114. – № 35. – P. 9326–9331.
12. Milošević, Dragan D. Effects of precipitation and temperatures on crop yield variability in Vojvodina (Serbia)/ Dragan D. Milošević, Stevan M. Savić, Vladimir Stojanović, Jovanka Popov-Raljić//*Italian Journal of Agrometeorology*. – № 3. – December 2015. – P. 35–46.
5. Ksenofontov, M.Yu. K voprosu o vliyaniy klimaticheskikh izmeneniy na razvitie sel'skogo hozyajstva Rossii v dolgosrochnoj perspektive / M.Yu. Ksenofontov, D.A. Polzikov // *Problemy prognozirovaniya*. – 2020. – № 3(180). – S. 82–92.
6. Porfir'ev, B.N. Uстойчивое развитие, климат и экономический рост: стратегические вызовы и решения для России / B.N. Porfir'ev – SPb: SPBgup, 2020. – 40 s.
7. Siptic, S.O. Model'nye ocenki vliyaniya klimata na urozhajnost' zer-novyh i zernobobovyh kul'tur v regionah Rossii / S.O. Siptic, I.A. Romanenko, N.E. Evdokimova // *Problemy prognozirovaniya*. – 2021. – № 2. – S. 75–86.
8. Shashko, D.I. Vnutrioblastnoeprirodno-sel'skohozyajstvennoe rajo-nirovanie kak forma ucheta bioklimaticheskogo potenciala / D.I. Shashko, N.N. Rozov // *Zemledelie*. – 1989. – № 3. – S. 18–22.
9. Addy, J. Changes in agricultural climate in South-Eastern England from 1892 to 2016 and differences in cereal and permanent grassland yield/ J. Addy, R.H. Ellis, A.J. Macdonald et al.// *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2021. – P. 308–309.
10. Bulgakov, D.S. The application of the soil-agroclimatic index for as-sessing the agronomic potential of arable lands in the forest-steppe zone of Russia / D.S. Bulgakov, D.I. Rukhovich, E.A. Shishkonakova et al. // *Eurasian Soil Science*. – 2018. – 51(4). – P. 448–459.
11. Chuang, Zhaoa. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates/Zhaoa Chuang, Liub Bing, Piao Shilong et al. // *PNAS*. – August 29. – 2017. – V. 114. – № 35. – P. 9326–9331.
12. Milošević, Dragan D. Effects of precipitation and temperatures on crop yield variability in Vojvodina (Serbia)/ Dragan D. Milošević, Stevan M. Savić, Vladimir Stojanović, Jovanka Popov-Raljić//*Italian Journal of Agrometeorology*. – № 3. – December 2015. – P. 35–46.

LIST OF SOURCES

1. Badenko, V.L. Perspektivy ispol'zovaniya dinamicheskikh modelej ag-roekosistem v zadachah sredne i dolgosrochnogo planirovaniya sel'skohozyajstvennogo proizvodstva i zemleustrojstva / V.L. Badenko, V.V. Garmanov, D.A. Ivanov i dr. // *Doklady RASKHN*. – 2015. – № 1–2. – S. 72–76.
2. Beruchashvili, N.L. Geofizika landshafta / N.L. Beruchashvili – M.: Vysshaya shkola, 1990. – 287 s.
3. Ivanov, D.A. Sozdanie landshaftnogo poligona novogo pokoleniya / D.A. Ivanov, E.M. Korneeva, R.A. Salihov i dr. // *Zemledelie*. – 1999. – № 6. – S. 15–16.
4. Klochkov, A. V. Vliyanie pogodnyh uslovij na urozhajnost' sel'skoho-zyajstvennyh kul'tur / A.V. Klochkov, O.B. Solomko, O.S. Klochkova // *Vestnik Belorusskoj gosudarst-*