

КОРМОПРОИЗВОДСТВО /
FODDER PRODUCTION<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.221-229>

УДК 631.5:631.6:911.2

**Исследование динамики урожайности трав в пределах агроландшафта на основе долговременного мониторинга**

© 2022. Д. А. Иванов, О. В. Карасева, М. В. Рублюк, О. Н. Анциферова✉

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», г. Москва, Российская Федерация

Проведен мониторинг урожайности (2003-2018 гг.) пятикомпонентного травостоя на выводном поле в пределах моренного холма с целью нахождения закономерностей ее динамики в агроландшафте. Травостой эксплуатировался в условиях Тверской области без удобрений в одноукосном режиме на поле, пересекающем все микроландшафтные позиции холма (трансекте) и разбитом на 30 делянок. Ежегодные данные по продуктивности травосмеси на каждой делянке представлены в виде: 1) абсолютной урожайности (конкретная урожайность сена); 2) относительной урожайности (выраженной в процентах от максимальной урожайности на трансекте в конкретном году). Выявлено, что урожайность трав максимальна в центральных частях ($\approx 6,5$ т/га) и минимальна в верхних частях склонов холма и на вершине ($\approx 5,2$ т/га). Временная вариабельность урожайности зависит от геологического строения почв – возрастает при переходе от мощных двучленов (≈ 40 %) к маломощным (≈ 65 %). Корреляционный анализ показал, что переход на относительные единицы (% урожайности) позволяет на порядок уменьшить влияние климата на вариабельность данных. Максимальное совпадение временных динамик разных показателей урожайности отмечено на верхних высотных отметках – здесь климатические условия не оказывают значительного влияния на урожай, как на склонах. Наибольшее воздействие на урожайность оказывают изменения суммы активных температур. Усредненные показатели коэффициентов корреляции урожайности и сумм температур отрицательны в местах распространения почв на мощных и среднемощных двучленах и положительны – на маломощных двучленах. Обнаружена обратно пропорциональная зависимость абсолютной урожайности трав от сумм активных температур в предукосные периоды и в сентябре и прямо пропорциональная во второй половине лета. Увеличение суммы температур способствует снижению относительной урожайности на песчаных почвах и оптимизирует продукционный процесс на супесях и легких суглинках. Дисперсионный анализ показал, что основное влияние температур на абсолютную урожайность оказывает гидроморфизм почв. Степень воздействия температур на относительную урожайность зависит от характера водообмена в агроландшафте, экспозиции склонов (энергетики) и гранулометрического состава почв. Результаты позволяют адаптировать к условиям хозяйств мероприятия по размещению травостоев, регулированию водного и теплового режимов почв.

Ключевые слова: травостой, трансекта, статистический анализ, земледелие, агроклимат**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В. В. Докучаева» (тема №0651-2019-0005).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.**Для цитирования:** Иванов Д. А., Карасева О. В., Рублюк М. В., Анциферова О. Н. Исследование динамики урожайности трав в пределах агроландшафта на основе долговременного мониторинга. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(2):221-229. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.221-229>

Поступила: 17.01.2022

Принята к публикации: 01.03.2022

Опубликована онлайн: 20.04.2022

Study of the dynamics of grass yield within the agricultural landscape based on long-term monitoring

© 2022. Dmitry A. Ivanov, Olga V. Karaseva, Maria V. Rublyuk,

Olga N. Antsiferova✉

Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russian Federation

Yield monitoring of a five-component grass stand in a breeding field within a moraine hill was carried out in 2003-2018 in order to find patterns of its dynamics in the agrolandscape. The grass was used in the conditions of the Tver region without fertilizers in a single-cut mode in a field crossing all microlandscape positions of the hill (transect) and divided into 30 plots. Annual data on productivity of grass mixture on each plot are presented in the form of: 1) absolute yield (specific hay yield); 2) relative yield (expressed as a percentage to maximum yield on a transect in a definite year). It was revealed that the yield of grasses is maximum in the central parts (≈ 6.5 t/ha) and minimal in the upper parts of the hillsides and at the top (≈ 5.2 t/ha). Time variability of yield depends on the geological structure of the soils – increases with the transition from

powerful binomials ($\approx 40\%$) to low-powerful ones ($\approx 65\%$). Correlation analysis showed that the transition to relative units (% of the yield) can significantly reduce the impact of climate on data variability. The maximum coincidence of temporal dynamics of different yield indicators is noted at the upper elevations – here climatic conditions do not have a significant impact on the yield, as on slopes. Changes in the sum of the active temperatures have the greatest influence on the yield. Average indicators of correlation coefficients of yield and temperature sums are negative on the plots of soil distribution on powerful and medium-powerful binomials and positive on soils of low-powerful binomials. There has been found an inversely proportional dependence of the absolute yield of grasses on the sums of active temperatures in the pre-cut periods and in September and directly proportional in the second half of summer. Increasing the sum of temperatures contributes to a decrease in relative yields on sandy soils and optimizes the production process on loams and light loams. Dispersion analysis has shown that the main influence of temperatures on absolute yield is exerted by soil hydromorphism. The degree of impact of temperatures on relative yield depends on the nature of water exchange in the agrolandscape, the exposure of slopes (energy) and granulometric composition of soils. The results will make it possible to adapt measures for the placement of grass stands, regulation of water and thermal regimes of soils to farm conditions.

Keywords: grass stand, transect, statistical analysis, agriculture, agroclimate

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (theme No. 0651-2019-0005).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citations: Ivanov D. A., Karaseva O. V., Rublyuk M. V., Antsiferova O. N. Study of the dynamics of grass yield within the agricultural landscape based on long-term monitoring. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(2):221-229. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.221-229>

Received: 17.01.2022

Accepted for publication: 01.03.2022

Published online: 20.04.2022

Развитие методологии адаптивно-ландшафтного земледелия, частью которого является земледелие прецизионное [1], требует углубленного изучения динамических процессов в агроландшафте, являющихся основой его метаболизма и определяющих особенности его современных и будущих состояний. Следует различать два вида динамических проявлений в агрогеосистемах (АГС) – пространственную и временную динамику состояний ее компонентов, которые являются двумя сторонами единого процесса развития сельскохозяйственно-преобразованного природно-территориального комплекса.

Пространственно-временная динамика состояний присуща всем компонентам АГС [2], однако наиболее сильно она проявляется в ее растительном ярусе, особенно представленном многолетними многокомпонентными травостоями [3]. Знание характеристик пространственно-временной изменчивости урожайности культур позволяет прогнозировать не только продуктивность агроландшафтов, но и корректно планировать сроки и особенности проведения агротехнологических мероприятий в их различных частях, что является основным атрибутом адаптивно-ландшафтного земледелия [4, 5]. Системы ландшафтного земледелия позволяют контролировать состояние растительного покрова агрогеосистем и их основных компонентов в различных частях хозяйства при разной интенсификации производства

и оперативно вносить необходимые коррективы в процесс выращивания культур [6, 7, 8].

Цель исследований – выявление основных факторов, влияющих на характер пространственной и временной динамики урожайности многолетних трав в пределах конечно-моренного холма для получения новых знаний о процессах функционирования агроландшафта.

Научная новизна. В ходе исследований получены новые знания в области адаптивно-ландшафтного кормопроизводства, основывающегося на понимании закономерностей формирования травостоев в различных ландшафтных условиях и агроклиматических обстановках.

Материал и методы. Для достижения поставленной цели осуществляли мониторинг урожайности сена пятикомпонентного (люцерна синегибридная, райграс пастбищный, клевер красный, тимофеевка луговая и овсяница луговая) злакобобового травостоя в 2003-2018 гг. в условиях конечно-моренной гряды на агроэкологическом стационаре Всероссийского НИИ мелиорируемых земель.

Стационар расположен в 4 км к востоку от г. Тверь, на моренном холме с относительной высотой 15 м, состоящем из плоской вершины, северного пологого склона крутизной 2-3°, южных склонов (3-5°) и межхолмных депрессий (северной и южной). Почвообразующие породы на территории стационара – двучленные отложения. В его южной части мощность кроющего песчано-супесчаного наноса местами

превышает 1,5 м. На вершине и северном склоне холма пахотные горизонты сложены супесью и легким суглинком, мощность легкого кроющего наноса здесь колеблется около 1 м, а в межхолмной депрессии морена местами выходит на поверхность. Почвенный покров представлен вариацией-мозаикой дерново-подзолистых глееватых и глеевых почв, развивающихся на двучленных отложениях различной мощности [9, 10]. Характерной особенностью объекта исследований является определенная 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.

Исследования проводили на агроэкологической трансекте (физико-географическом профиле) – узком поле, пересекающем все микроландшафтные позиции конечно-моренной гряды: транзитно-аккумулятивные (Т-А) агроландшафты (АМЛ) нижних частей склонов и межхолмных депрессий, характеризующиеся аккумуляцией элементов питания из намывных и грунтовых вод; транзитные (Т) АМЛ, расположенные в центральных частях склонов, в которых господствует латеральный ток влаги; элювиально-транзитные (Э-Т) местоположения верхних частей склонов, где, наряду с латеральным током влаги, происходит ее вертикальное перемещение по почвенному профилю и элювиально-аккумулятивный (Э-А) ландшафт вершины, в пределах которого вертикальное промывание почвенного профиля чередуется с локальной аккумуляцией влаги в микропонижениях (блюдцах)¹.

Выводное поле, где проводились наблюдения, располагалось вдоль трансекты на полосе шириной 7,2 м и длиной 1300 м. Травостой, который был посеян в 1997 году, эксплуатировался в одноукосном режиме без внесения удобрений. Поле разбито на 30 одинаковых делянок, где определялась урожайность трав сплошным методом. Учетная площадь делянки 23,3 м², повторность 4-кратная. Для нахождения наиболее информативного способа определения

факторов ландшафтной среды, влияющих на урожайность сена, данные по продуктивности травостоя за каждый год представлены в двух видах: 1) абсолютная урожайность (конкретная урожайность сена), т/га; 2) относительная урожайность (выражается в процентах от максимальной урожайности на трансекте в конкретном году).

В ходе исследований на основе корреляционного анализа, выполненного в среде Excel, рассчитывалось влияние параметров агроклиматических обстановок за вегетационные периоды в годы исследований (мая и июня года укоса, а также июля-сентября предыдущего года) на урожайность травостоя, которое во многом определяет характер динамических процессов в геокомплексе [11]. Агроклиматические показатели: 1) сумма активных температур – $\Sigma t > 10^{\circ}$; 2) сумма осадков, мм; 3) ГТК по Селянинову – заимствованы из базы данных Тверской метеостанции.

На основе трехфакторного дисперсионного анализа, выполненного в среде STATISTICA 7, где фактором А являлись склоны разной экспозиции (южный и северный), фактором В – агроландшафты (Т-Аю², Тю, Э-Тю, Э-А, Э-Тс, Тс, Т-Ас), а фактором С – почвы (глееватая и глеевая), определялось влияние условий различных структурных элементов агроландшафта на пространственную вариабельность коэффициентов корреляции. Степень влияния ландшафтных факторов на коэффициенты корреляции вычисляли методом Н. А. Плохинского путем деления частной факториальной суммы квадратов на общую³.

Результаты и их обсуждение. Средне-многолетняя (2003-2018 гг.) урожайность сена на агроэкологическом полигоне составила 5,8 т/га. Максимальная урожайность наблюдалась на транзитах (средних частях склонов) – 6,4 т/га на южном склоне и 6,5 т/га на северном. Минимальная урожайность отмечена на верхних высотных отметках агроландшафта – здесь она колеблется от 5,2 до 5,8 т/га. Отмечен закономерный рост коэффициентов временной вариации урожайности сена при переходе от мощных двучленов ($\approx 40\%$) к маломощным ($\approx 65\%$).

¹Иванов Д. А., Корнеева Е. М., Салихов Р. А., Петрова Л. И., Пугачева Л. В., Рублюк М. В. Создание ландшафтного полигона нового поколения. Земледелие. 1999;(6):15-16. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-dinamiki-produktivnosti-trav-na-osnove-dannyh-mnogoletnego-monitoringa>

²Малыми буквами обозначена экспозиция: ю – южная, с – северная.

³Плохинский Н. А. Биометрия. М.: МГУ, 1970. 367 с.

Пространственно-временная динамика урожайности травостоев зависит от множества причин: пестроты природных свойств геокомплекса, флуктуации агроклиматической обстановки, трансформации (со временем) видового состава травостоя и агрохимических свойств почв, предыдущего состояния растительного сообщества и т. д. На характере пространственно-временной вариабельности показателей абсолютной урожайности отражается воздействие всего этого комплекса факторов, тогда как ее процентные показатели меньше зависят от флуктуации агроклиматических условий, так как рассчитаны отдельно для каждого года. Сравнение этих двух видов данных урожайности позволяет выявить места в агроландшафте, в которых травостой по-разному реагирует на изменчивость агроклимата. При сравнении относительных (выраженных в процентах) единиц урожайности разных лет можно определять места на трансекте, стабильно оптимальные для произрастания культуры.

Максимальные совпадения временных динамик абсолютных и относительных показателей урожайности отмечены на вершине холма и верхних частях его склонов ($r \approx 0,7$). Это говорит о том, что здесь вариабельность климатических условий не оказывает столь значительного влияния на урожай, как на центральных и нижних частях склонов, где коэффициенты корреляции между ними минимальны ($r \approx 0,3$).

Корреляционный анализ одиннадцати-летних данных показал, что воздействие различных параметров агроклимата на абсолютные показатели урожая в разные месяцы не одинаково – меняются не только значения коэффициентов, но и их знак. Поэтому значения коэффициентов корреляции, усредненные в пространстве и во времени, невелики: между урожайностью и суммой активных температур = -0,20, урожайностью и ГТК = -0,02, урожайностью и осадками = 0,03. Подобные процедуры, совершенные с относительными показателями урожайности трав, позволили получить соответственно такие результаты: -0,012, 0,007 и -0,0008. При их сравнении видно, что, во-первых, наиболее существенное воздействие на урожайность оказывают изменения суммы активных температур, а, во-вторых, переход на относительные единицы измерения урожайности позволяет на порядок уменьшить

влияние климата на вариабельность массива данных и проявить другие аспекты его структуры.

На рисунке 1 показаны значения коэффициентов корреляции абсолютных (А) и относительных (Б) показателей урожайности и суммы активных температур в каждой точке опробования. Следует отметить, что определенная часть коэффициентов корреляции (рис. 1) недостоверна вследствие значительной ландшафтно-почвенной пестроты объекта исследования и влияния на урожайность большого количества факторов. Однако в данной работе поставлена задача выявления основных тенденций воздействия температур на урожай трав в различных ландшафтных условиях и периодах вегетации, что позволяет использовать весь набор результатов, полученных в ходе статистического анализа.

Необходимо отметить, что, во-первых, пространственная динамика средних значений коэффициентов корреляции принципиально не меняется при переходе от абсолютных к относительным единицам измерения урожайности – они отрицательны в местах распространения мощных и среднемощных двучленов и положительны на маломощных двучленах, однако на графике “Б” эта закономерность более контрастна.

Во-вторых, коэффициенты корреляции температур с абсолютными значениями плавно уменьшаются по мере утяжеления гранулометрического состава почв, тогда как на графике “Б” этого не наблюдается.

Между абсолютным урожаем трав и суммами температур в предукосные периоды (май, июнь) практически повсеместно наблюдается обратно пропорциональная зависимость, вследствие ускорения бутонизации и интенсификации оттока пластических веществ в генеративные органы растений. Негативные воздействия оказывают также и высокие температуры в сентябре, при которых травостой сильно отрастает, что затрудняет его перезимовку; положительное влияние высоких температур середины и конца лета объясняется быстрым восстановлением травостоя после укоса. График “Б” показывает, что увеличение температур практически во все периоды вегетации приводит к снижению относительных показателей урожайности трав в местах с господством мощных двучленов и оптимизирует продукционный процесс в местах с близким залеганием морены.

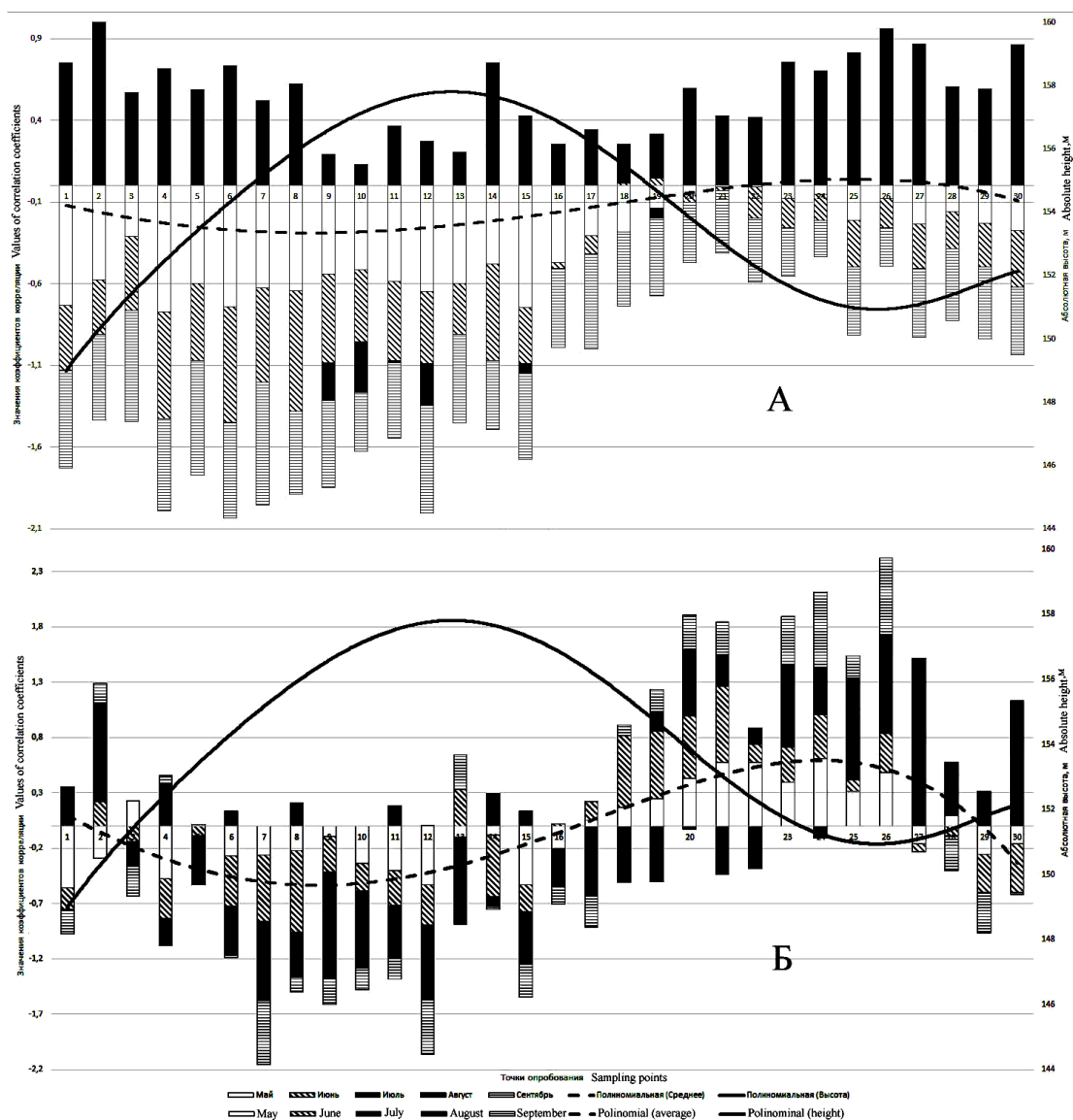


Рис.1. Результаты корреляционного анализа влияния сумм активных температур на абсолютные (А) и относительные (Б) показатели урожайности пятикомпонентной травосмеси в пределах агроландшафта /
Fig. 1. Results of correlation analysis of the influence of the sums of active temperatures on absolute (A) and relative (Б) yield indicators of a five-component grass mixture within the agrolandscape

Результаты трехфакторного дисперсионного анализа влияния природных условий различных элементов ландшафта на пространственную вариабельность коэффициентов корреляции урожая и температур в разные периоды показаны на рисунке 2. Сравнение усредненных по времени значений по абсолютным (график “А”) и относительным (график “Б”) данным показало, что элиминирование погодных условий приводит к исчезновению достоверного влияния на вариабельность коэффициентов корреляции таких эффектов, как взаимодействия почвенных и экспозиционных, а также почвенных и микроландшафтных факторов, что свидетельствует об исключении блока почвенной памяти из фак-

торного пространства эксперимента при переходе на относительные единицы измерения урожайности [11].

Наибольшую (60,7 %) долю пространственной неоднородности усредненных коэффициентов корреляции, рассчитанных на основе абсолютных значений, определяют особенности гидроморфизма почв в различных микроландшафтных условиях. В наиболее сырых местах трансекты – нижней трети южного склона, на вершине и в верхней части северного склона на глеевых почвах наблюдается усиление негативного влияния сумм температур на урожайность трав, а в других, менее увлажненных, частях агроландшафта это воздействие в пределах гидроморфных почв становится менее заметным.

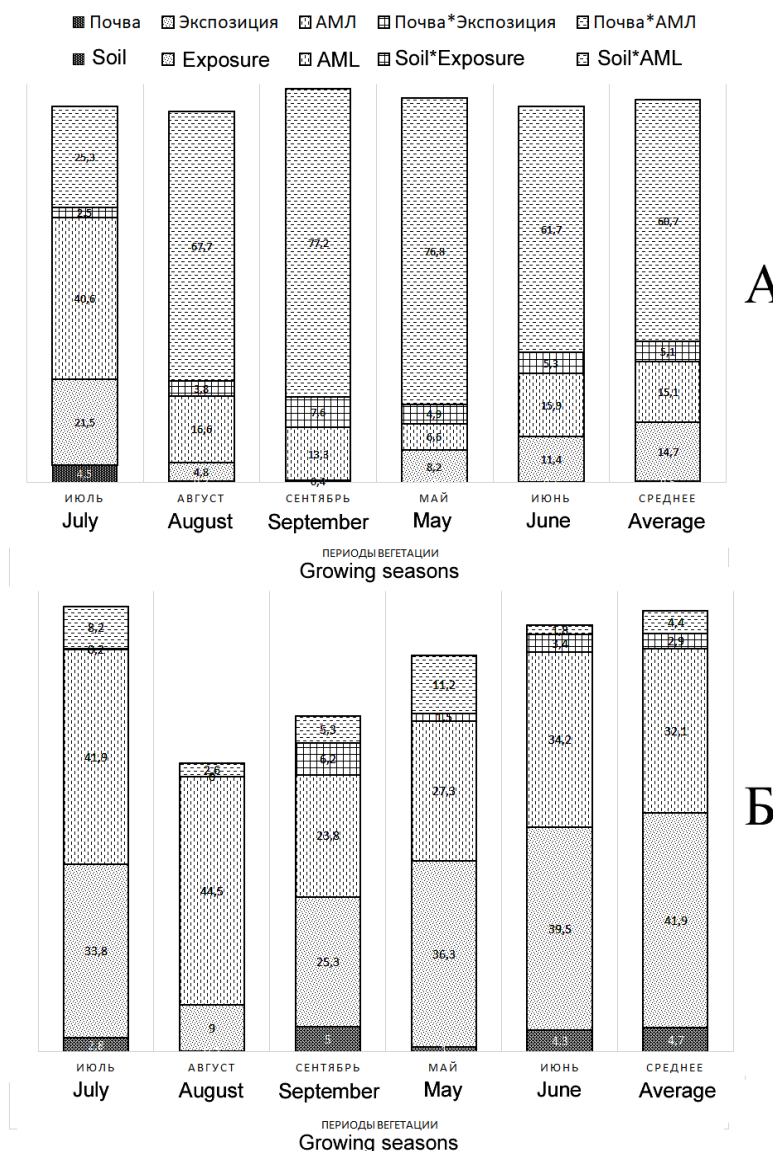


Рис. 2. Результаты дисперсионного анализа воздействия ландшафтных условий стационара на вариабельность значений коэффициентов корреляции абсолютной (А) и относительной (Б) урожайности трав и сумм активных температур /

Fig. 2. Results of dispersion analysis of the impact of landscape conditions of the permanent study area on the variability of the values of the correlation coefficients of absolute (A) and relative (Б) yield of grasses and the sums of active temperatures

Гораздо меньшее, хоть и достоверное, влияние на изменчивость коэффициентов корреляции оказывает взаимодействие почвенных и экспозиционных факторов. В нашем опыте различия в экспозиции склонов определяют не только разницу в прогреве территории, но и неоднородность гранулометрического состава почв, что во многом обусловлено генезисом конечно-моренных образований⁴. Эти особенности, по-видимому, объясняют незначительную “силу” влияния как экспозиции склонов

(14,7 %), так и ее взаимодействия с почвой (5,1 %) на вариабельность коэффициентов корреляции. Исследования показали, что на южном склоне усредненное по месяцам значение коэффициентов корреляции в два раза превышает таковое на северном. На глеевых почвах в пределах южного склона негативное влияние температур проявляется заметно сильнее, чем на глееватых, а на северном склоне трава на более сухих почвах страдает от излишков тепла несколько больше, чем на переувлажненных.

⁴Борзов А. А. Геоморфология Калининской области. Ученые записки МГУ. 1938;(23):16-54.

Природные условия агромикрорландшафтов оказывают практически такое же влияние (15,1 %) на вариабельность коэффициентов корреляции, как и экспозиция склонов. Максимальное отрицательное влияние температур на продуктивность трав наблюдается в середине и верхней части южного склона, а также на вершине холма ($r = -0,24, -0,30, -0,28$ соответственно).

Анализ динамики коэффициентов корреляции, рассчитанных для разных периодов вегетации трав, показал, что наибольшее влияние на нее совокупности микрорландшафтных и почвенных факторов приходится на самые холодные месяцы, что говорит о максимальной уязвимости агроценоза в периоды, связанные с перезимовкой. В разгар лета влияние почвенных условий уменьшается, так как контрастность почв по влажности снижается.

Данные графика “Б” показывают, что максимальное воздействие (41,9 %) на вариабельность усредненных по месяцам коэффициентов корреляции температур и относительных показателей урожайности оказывает экспозиция склонов. Южный склон наименее оптимален для произрастания трав ($r = -0,35$), тогда как на северном коэффициент корреляции несколько больше нуля. Достоверное влияние (32,1 %) на пространственную изменчивость коэффициентов корреляции оказывают и природные условия агромикрорландшафтов. Негативное влияние температур на урожай трав наблюдается в центральных и верхних частях южного склона, на вершине холма и в верхней части северного склона ($r = -0,36, -0,52, -0,36$ и $-0,35$ соответственно). Центральные и нижние части северного склона характеризуются положительными воздействиями температур на урожай ($r = 0,41$ и $0,51$ соответственно).

Минимальное влияние температур на урожайность трав отмечено в августе – месяце окончания релаксации травостоя от укуса и спокойного перехода его в осень. Максимальную роль в пространственной пестроте влияния температур на биоценоз в это время играют условия АМЛ. Далее по мере приближения к укусу наблюдается рост влияния агроландшафтных условий на продуктивность травостоя, при этом увеличивается роль как экспозиции, так и микрорландшафтов. В июле при интенсивном отрастании трав

после укуса наблюдается максимальное влияние ландшафтных условий на дифференциацию коэффициентов корреляции температуры и степени оптимальности произрастания культуры.

Заключение. Урожайность трав весьма существенно колеблется в пространстве агроландшафта. Максимальный выход сена с 1 га отмечен в центральных частях склонов (6,4 т/га), а минимальный – на вершине и в верхних частях склонов холма (5,2 т/га). Временная вариабельность урожайности трав во многом зависит от геологического строения почв – она возрастает при переходе от мощных двучленов к маломощным с 40 до 65 %.

Долговременный мониторинг состояния компонентов агроландшафта (в данном случае агроклимата и растительности) позволяет выявить основные черты его внутренней динамики. Различные подходы к формированию банка данных по урожайности культур дают возможность выявить разные аспекты протекания динамических процессов в АГС во времени и в пространстве. При сравнении в разных точках пространства временных рядов урожайности, выраженной разными способами, выявлено, что на склонах холмов воздействие агроклимата на урожай максимально.

Абсолютные показатели урожайности трав значительно сильнее зависят от изменчивости агроклимата, чем относительные, однако в обоих случаях максимальное влияние на урожайность оказывает изменчивость сумм активных температур. Основное воздействие на характер влияния температуры на абсолютный урожай оказывает гидроморфизм почв в различных ландшафтных условиях, который является проявлением феномена почвенной памяти в агроландшафте. Степень воздействия температур на урожайность, выраженную в относительных единицах, в основном зависит от характера водообмена (особенности АМЛ) в различных частях агроландшафта, а также от его энергетики (экспозиции склонов) и гранулометрического состава почв.

Новые знания, полученные при анализе результатов мониторинга, позволят разработать мероприятия по адаптивному размещению выведенных полей в пределах хозяйств, а также по планированию мероприятий двойного регулирования водного режима почв и тепловых мелиораций.

Список литературы

1. Yakushev V. P., Yakushev V. V. Prospects for "smart agriculture" in Russia. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2018;88(5):330-340. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1019331618040135>
2. Иванов Д. А. Виды динамики состояния мелиорированных агроландшафтов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;(4):14-18. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.65.4.04-18>
3. Иванова Н. Н., Капсамун А. Д., Амбросимова Н. Н. Кормовая и средообразующая роль пастбищных травостоев в условиях осушаемых почв Центрального Нечерноземья. Кормопроизводство. 2019;(4):14-17. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37275406>
4. Кирюшин В. И. Концепция развития земледелия в Нечерноземье. СПб.: ООО «Квадро», 2020. 276 с.
5. Kiryushin V. I. The Management of Soil Fertility and Productivity of Agroecosystems in Adaptive-Landscape Farming Systems. Eurasian Soil Science. 2019;52(9):1137-1145. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229319070068>
6. Иванов А. И., Иванова Ж. А., Цыганова Н. А. Влияние ландшафтных условий на эффективность точной системы удобрения в звене полевого севооборота. Агрохимия. 2020;(2):69-76. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188120020040>
7. Heil K., Heinemann P., Schmidhalter U. Modeling the effects of soil variability, topography, and management on the yield of barley. Frontier in Environmental. 2018;6:146. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00146>
8. Komissarov M. A., Klik A. The impact of no-till, conservation, and conventional tillage systems on erosion and soil properties in Lower Austria. Eurasian soil science. 2020;53:503-511. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229320040079>
9. Эседуллаев С. Т., Нода Н. Б. Динамика агрохимических показателей дерново-подзолистых почв в агроландшафтах Верхневолжья и приемы воспроизводства их плодородия. Земледелие. 2020;(2):12-16. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10203>
10. Ivanov A. L., Shein E. V., Skvortsova E. B. Tomography of soil pores: from morphological characteristics to structural-functional assessment of pore space. Eurasian Soil Science. 2019;52(1):50-57. DOI: <https://doi.org/10.1134/S106422931901006X>
11. Bulgakov D. S., Rukhovich D. I., Shishkonakova E. A., Vil'chevskaya E. V. The application of soil-agroclimatic index for assessing the agronomic potential of arable lands in the forest-steppe zone of Russia. Eurasian Soil Science. 2018;51(4):448-459. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229318040038>

References

1. Yakushev V. P., Yakushev V. V. Prospects for "smart agriculture" in Russia. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2018;88(5):330-340. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1019331618040135>
2. Ivanov D. A. *Vidy dinamiki sostoyaniya meliorirovannykh agrolandshaftov*. [Types of dynamics of the state of meliorated agrolandscapes]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;(4):14-18. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.65.4.04-18>
3. Ivanova N. N., Kapsamun A. D., Ambrosimova N. N. *Kormovaya i sredoobrazuyushchaya rol' pastbishnykh travostoev v usloviyakh osushaemykh pochv Tsentral'nogo Nечернозем'ya*. [Forage and environment-forming potential of pasture grasses on the drainage land of the Central Non-chernozem region]. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2019;(4):14-17. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37275406>
4. Kiryushin V. I. *Kontseptsiya razvitiya zemledeliya v Nечернозем'e*. [The concept of the development of agriculture in the Non-Chernozem region]. Saint-Petersburg: ООО «Квадро», 2020. 276 p.
5. Kiryushin V. I. The Management of Soil Fertility and Productivity of Agroecosystems in Adaptive-Landscape Farming Systems. Eurasian Soil Science. 2019;52(9):1137-1145. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229319070068>
6. Ivanov A. I., Ivanova Zh. A., Tsyganova N. A. *Vliyanie landshaftnykh usloviy na effektivnost' tochnoy sistemy udobreniya v zvene polevogo sevooborota*. [Influence of landscape conditions on efficiency of precision fertilizer system in crop rotation link]. *Agrokhimiya*. 2020;(2):69-76. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188120020040>
7. Heil K., Heinemann P., Schmidhalter U. Modeling the effects of soil variability, topography, and management on the yield of barley. Frontier in Environmental. 2018;6:146. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00146>
8. Komissarov M. A., Klik A. The impact of no-till, conservation, and conventional tillage systems on erosion and soil properties in Lower Austria. Eurasian soil science. 2020;53:503-511. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229320040079>
9. Jesedullaev S. T., Noda N. B. *Dinamika agrokhimicheskikh pokazateley dernovo-podzolistykh pochv v agrolandshaftakh Verkhnevolszh'ya i priemy vosproizvodstva ikh plodorodiya*. [Dynamics of agrochemical indicators of sod-podzolic soils in agrolandscapes of the Upper Volga region and methods of reproduction of their fertility]. *Zemledelie*. 2020;(2):12-16. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10203>

10. Ivanov A. L., Shein E. V., Skvortsova E. B. Tomography of soil pores: from morphological characteristics to structural-functional assessment of pore space. Eurasian Soil Science. 2019;52(1):50-57.

DOI: <https://doi.org/10.1134/S106422931901006X>

11. Bulgakov D. S., Rukhovich D. I., Shishkonakova E. A., Vil'chevskaya E. V. The application of soil-agroclimatic index for assessing the agronomic potential of arable lands in the forest-steppe zone of Russia. Eurasian Soil Science. 2018;51(4):448-459. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229318040038>

Сведения об авторах

Иванов Дмитрий Анатольевич, доктор с.-х. наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2588-272X>

Карасева Ольга Васильевна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8377-6386>

Рублюк Мария Владимировна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5319-2614>

✉ **Анциферова Ольга Николаевна**, кандидат с.-х. наук, ученый секретарь, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5494-710X>

Information about authors

Dmitry A. Ivanov, DSc in Agricultural science, professor, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (VNIIMZ FRC V. V. Dokuchaev Soil Science Institute), Emmaus Village, 27, Kalininsky District, Tver Region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2588-272X>

Olga V. Karaseva, PhD in Agricultural science, senior researcher, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (VNIIMZ FRC V. V. Dokuchaev Soil Science Institute), Emmaus Village, 27, Kalininsky District, Tver Region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8377-6386>

Maria V. Rublyuk, PhD in Agricultural science, senior researcher, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (VNIIMZ FRC V. V. Dokuchaev Soil Science Institute), Emmaus Village, 27, Kalininsky District, Tver Region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5319-2614>

✉ **Olga N. Antsiferova**, PhD in Agricultural science, scientific secretary, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (VNIIMZ FRC V. V. Dokuchaev Soil Science Institute), Emmaus Village, 27, Kalininsky District, Tver Region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5494-710X>

✉ – Для контактов / Corresponding author