УДК 631.5:631.6:911.2 DOI: 10.25695/AGRPH.2024.02.05

ВЛИЯНИЕ ЛАНДШАФТНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ КЛЕВЕРО-ТИМОФЕЕЧНЫХ ТРАВОСТОЕВ

Д. А. Иванов, Н. А. Хархардинов, К. С. Курпас

Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2,
E-mail: volok234@yandex.ru

Поступила в редакцию 03.06.2024, принята к печати 16.06.2024

Проведен мониторинг урожайности (1998–2023 гг.) клеверо-тимофеечных травостоев 1 и 2 годов пользования в пределах моренного холма с целью нахождения закономерностей влияния на нее особенностей ландшафта в различных агроклиматических условиях. Травостои эксплуатировались в Тверской области без удобрений в одноукосном режиме на поле, разбитом на 120 делянок. С помощью регрессионного анализа определялись влияние рельефа, физических и агрохимических свойств почв на урожайность трав, а также зависимость степени данного воздействия от климатических условий. Выявлено, что наиболее часто на урожайность трав влияют разнообразные фракции гранулометрического состава почв – от камней до пыли, наиболее редко – кривизна и крутизна поверхности. Наиболее значительное воздействие на урожайность оказывают высота местоположения и гранулометрический состав почв, а крутизна и кривизна поверхности – самое незначительное. По степени уменьшения активности факторов можно выстроить следующий ряд: высота местоположения, гранулометрический состав почв, агрохимические свойства почв, характер поверхности, в котором активности снижаются в 21 раз – изменяются от 497 до 24. Степень воздействия факторов агроландшафтной среды на произрастание трав во многом определяется колебаниями метеоусловий. «Климатические сценарии» конкретного фактора – наборы метеорологических параметров, при которых проявляется его действие на продукционный процесс культуры (в годы посева и укоса, как правило, кардинально не различаются при старении трав). Понимание характера «климатических сценариев» факторов позволяет точнее прогнозировать урожайность культуры в пределах агроландшафта и оптимизировать расположение посевов на его территории.

Ключевые слова: мониторинг, травостой, трансекта, статистический анализ, климат, ландшафт.

INFLUENCE OF LANDSCAPE AND CLIMATIC CONDITIONS ON CLOVER-TIMOTHY GRASS STANDS PRODUCTIVITY

D. A. Ivanov, N. A. Kharhardinov, K. S. Kurpas

Federal Research Center V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 7, bld. 2, Pyzhevskiy per., Moscow, 119017

Yield monitoring (1998–2023) of clover-timothy grass stands of 1st and 2nd year within the moraine hill was carried out in order to find patterns in the influence of landscape features on the yield in various agroclimatic conditions. Grass stands in Tver region were managed without fertilizers in a single-cut mode on a field divided into 120 plots. Regression analysis was used to determine the influence of relief, physical and agrochemical properties of the soil on the grasses yield, as well as the dependence of the degree of the influence on climatic conditions. It was revealed that the productivity of the grasses was most often influenced by various fractions of the soil texture – from stones to dust, and most rarely by the curvature and steepness of the surface. The most significant impact on the yield was exerted by the height of the location and the texture of the soil, while the steepness and curvature of the surface had the least significant effect. According to the degree of reduction in the effect of the factors, the following series can be built: location altitude, soil texture, soil agrochemical properties of, the nature of the surface, in which the effects are reduced by 21 times – changing from 497 to 24. The degree of influence of the agrolandscape environment factors on the growth of the grasses was largely determined by fluctuations in weather conditions. «Climatic scenarios» of a specific factor are sets of meteorological parameters in which its effect on the production process of a crop is manifested (in the years of sowing and mowing, as a rule, they do not differ fundamentally when grasses age). Understanding the nature of the factors “climate scenarios” makes it possible to more accurately predict crop yields within the agricultural landscape and optimize the location of crops on the territory.

Key words: monitoring, grass stand, transect, statistical analysis, climate, landscape.

ВВЕДЕНИЕ

Кормопроизводство – наиболее масштабная и многофункциональная отрасль сельского хозяйства, тесно связанная со всеми другими его отраслями. Оно является основой для развития животноводства, воспроизводства почвенного плодородия, правильной организации севооборотов, создания устойчивого агроландшафта. Поиск путей снижения стоимости кормов и улучшения их качества весьма актуален и имеет как научное, так и практическое значение.

В современных условиях при низкой продуктивности природных кормовых угодий основным источником производства кормов являются полевые севообороты, что сохранится и в ближайшей перспективе – общую потребность в кормах предусматривается обеспечивать за счет полевого кормопроизводства и, в первую очередь, выращивания более энергетически и экономически выгодных многолетних трав (Кутузова и др., 2016).

Развитие и совершенствование кормовой базы должны идти по пути мобилизации адаптивного и ресурсного потенциалов в системе взаимодействующих факторов «растение-среда». Биологизация и интенсификация технологий производства кормовых культур имеют большие перспективы. Их изучение и реализация на практике обеспечивают увеличение урожайности, улучшение биохимического состава растительного сырья и его зоотехнических качеств, создают предпосылки для повышения устойчивости агроценоза к вредителям и болезням, а также для снижения напряженности трудового процесса в период выращивания и заготовки кормов. Один из основных путей развития полевого кормопроизводства в России предусматривает расширение площадей многолетних трав с увеличением доли бобовых видов в травосмесях до 50%, что существенно уменьшит белковый дефицит в объемистых кормах и повысит их агрохимическую роль в системах земледелия (Косолапов и др., 2018).

Полевое кормопроизводство необходимо рассматривать как неотъемлемую часть адаптивно-ландшафтного земледелия (АЛСЗ) – системы использования земель, при которой учитываются агроэкологические условия агрогеосистем, адаптивные реакции на них культурных растений и запросы рынка. Развитие теории АЛСЗ требует при проектировании мероприятий по адаптации агротехнических приемов к условиям агроландшафта проведения прогнозных процедур, имеющих экстраполяционный смысл – дать возможность построить пространственные модели варьирования урожайности культуры в пределах реального поля на основе анализа данных, полученных на опытном полигоне, расположенном за его пределами. Прогноз поведения культуры на территории проектируемого хозяйства позволяет определить оптимальное местоположение посевов и угодий, а также характер применения того или иного агротехнического приема (Rabia et al., 2022; Иванов и др., 2021).

Для прогнозирования урожайности трав необходимо знать особенности их адаптивных реакций на смену ландшафтных (в пространстве) и климатических (во времени) условий, основным инструментом выявления которых является долговременный мониторинг их произрастания в пределах опытных участков. Уже в трудах классиков агроклиматологии и ландшафтоведения показано, что основой проектирования систем земледелия является учет погодных условий (Баденко и др., 2015; Ксенофонтов и др., 2020; Шашко и др., 1989; Беручашвили, 1990). Анализ влияния климата на процессы формирования биомассы – основа для разработки стратегий адаптации производства сельскохозяйственных культур к условиям различных регионов (Chuang et al., 2017).

Изучение влияния погодных условий на урожайность сельскохозяйственных растений позволяет выявить многие закономерности процесса формирования их биомассы. Воздействие климата на урожайность культур проявляется в сложной системе временных, пространственных и агротехнических факторов, во многом определяющих характер динамических процессов в агрогеокомплексе (Bulgakov et al., 2018). Следует отметить, что изменение погодных условий оказывает влияние не только на физиологические процессы, происходящие в растениях, но и на характер их зависимости от особенностей рельефа, агрохимических, агрофизических, биологических свойств почв и т. д. Исследование степени влияния на растения конкретных особенностей почв и рельефа в зависимости от вариабельности погодных условий позволяет развивать научную агрономию как в фундаментальном, так и в прикладном аспектах. Наличие таких знаний позволит получить более полную картину культурного ландшафтогенеза и, как следствие, эффективно адаптировать продукционный процесс трав к различным ландшафтным условиям.

Целью данной работы явилось выявление зависимости продуктивности разновозрастных клеверо-тимофеечных травосмесей от почвенно-ландшафтных условий в различной климатической обстановке на основе результатов многолетнего мониторинга для разработки мероприятий по адаптации технологий их выращивания к условиям конкретных полей.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на агроэкологическом полигоне Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель – филиала ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), заложенном в 1996 г. Полигон располагается в 4-х км к востоку от г. Тверь и занимает площадь 50 га в пределах моренного холма с относительной высотой 15 м и четко выраженными геоморфологическими элементами – плоской вершиной, северным пологим склоном крутизной 2–3°, более крутым (3–5°) южным склоном и межхолмными депрессиями (северной и южной).

Почвообразующие породы на полигоне – двучленные отложения, состоящие из верхнего (сложенного относительно легкими породами) слоя, подстилаемого моренным валунным суглинком. В южной части полигона мощность песчаного наноса иногда превышает 1,5 м (мощный двучлен). На

вершине и северном склоне холма верхние горизонты почв сложены супесью, мощность которой составляет около 1 м (среднемощный и маломощный двучлены), а в межхолмной депрессии на севере полигона морена местами выходит на поверхность. Почвенный покров полигона представляет собой вариацию-мозаику дерново-подзолистых глееватых и глеевых почв. Полигон осушен гончарным дренажем со средним междренным расстоянием 30 м.

В ходе исследований (в период с 1998 по 2023 гг.) проводился мониторинг урожайности сена клеверо-тимофеечных травосмесей 1 и 2 года пользования на агроэкологической трансекте (физико-географическом профиле) – производственном массиве, состоящем из 10-ти продольных полей-полос и пересекающем все микроландшафтные позиции полигона. Поля имели ширину 7,2 м и длину 1300 м. Травы высевались под покров овса и выращивались без внесения удобрений, кроме подкормки овса в фазу кущения аммиачной селитрой в дозе 1 ц га$^{-1}$ (N_{30} кг га$^{-1}$). Травостои эксплуатировались в одноукосном режиме. Каждое поле разбито на 120 одинаковых равноудаленных делянок площадью 20 м^2, на которых определялась урожайность сена в четырехкратной повторности.

В рамках исследования проводилось определение (с помощью регрессионного анализа) влияния на продуктивность трав следующих факторов, измеренных в точках опробования: высота местоположения над уровнем моря (м), показатель радиационного баланса (ватт м$^{-2}$), кривизна поверхности, крутизна поверхности (градус), показатели pH пахотного горизонта, его гидролитической кислотности (мг экв 100 г$^{-1}$), содержания в нем легкоподвижного фосфора (мг 100 г$^{-1}$), обменного калия (мг 100 г$^{-1}$), гумуса (%), частиц > 10 мм, 10–7 мм, 7–5 мм, 5–3 мм (камни), 3–2 мм, 2–1 мм (гравий), 1–0,5 мм (крупный песок), 0,5–0,25 мм (средний песок), 0,25–0,05 мм (мелкий песок), 0,05–0,01 мм (крупная пыль), 0,01–0,005 мм (средняя пыль), сумма пылевых фракций, сумма песчаных фракций, сумма фракций < 0,25 мм. Статистический анализ за каждый год исследований осуществлялся с помощью пакета Statgraphics+. Степень влияния факторов на урожайность определялась методом Н. А. Плохинского путем деления частной факториальной суммы квадратов на общую (Плохинский, 1970). Так как влияние факторов ландшафтной среды различалось по годам, то методом регрессионного анализа определялась зависимость степени влияния на урожайность наиболее значимых эдафических факторов от многолетних колебаний следующих метеорологических параметров: минимальная температура (град), среднегодовая температура (град), максимальная температура (град), максимум суточных осадков (мм), сумма осадков при температуре >0° (мм), -//- > 5° (мм), -//->8° (мм), -//->10° (мм), -//->15° (мм), сумма температур >0°, -//->5°, -//-> 8°, -//-> 10°, -//-> 15°, градусо-дни с температурой > 5°, -//->8°, -//->15°, количество дней с пересечением 0-градусной отметки, -//- 5-градусной отметки, -//- 10-градусной отметки, -//- 15-градусной отметки, количество дней с температурой >30°, ГТК по Селянинову, индекс аридности Де Мартона. Климатические данные взяты из архивов метеостанции Тверь.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Результаты регрессионного анализа показали, что влияние конкретного эдафического фактора на урожайность трав проявляется не каждый год. Все изученные факторы по частоте (вероятности) достоверного воздействия на урожайность сена трав 1 года пользования можно разделить на несколько групп: 1) к факторам, влияющим на урожайность трав более чем в 50% случаев, относятся содержание в почве камней (10–7 мм), гравия (1–0,5 мм), среднего песка (0,5–0,25 мм), суммы фракций <0,25 мм и крупной пыли; 2) факторами, влияющими на продуктивность трав с вероятностью 40–50%, являются содержание в почве камней (>10 мм), гравия (2–1 мм), средней пыли, гидролитическая кислотность почвы, содержание фосфора в почве; 3) с вероятностью 30–40% на урожайность воздействуют высота местоположения, содержание в почве калия, крупного песка, суммы пылевых фракций, камней (5–3 мм), гравия (3–2 мм), тонкого песка, суммы песчаных фракций, пространственная вариабельность солнечной радиации и кислотность почв; 4) содержание в почве гумуса и камней диаметром от 7 до 5 мм воздействует на урожайность в 25 % случаев; 5) влияние крутизны и кривизны поверхности проявляется наиболее редко (<20%).

Факторы, влияющие на урожайность трав 2 г. п., также можно разделить на несколько групп по частоте воздействия: 1) к факторам, влияющим на продуктивность трав более чем в 50% случаев, относятся содержание крупной и средней пыли (≈60%), среднего и мелкого песка (≈55%); 2) в 50–40% случаев влияние на продуктивность старовозрастных травостоев оказывали содержание частиц от 10–7, 5–3, 3–2 мм, пылевых фракций, радиация и высота местности; 3) в 40–30% случаев на урожайность трав влияли содержание частиц диаметром от 2 до 1 мм, сумма песчаных частиц, показатели кислотности почв, содержание в почвах фосфора и калия; 4) с вероятностью 30–20% на урожайность трав оказывало влияние содержание крупных частиц (>10 и 7–5 мм), а также гумуса; 5) крутизна и кривизна поверхности влияли на урожайность трав с вероятностью менее 10%.

Если проанализировать средние значения степени воздействия факторов на урожайность трав 1 г. п., то изученные факторы можно разделить на следующие группы: 1) фактором, оказывающим наиболее сильное влияние на урожайность (определяющим в среднем >6% ее пространственной вариабельности), является высота местоположения; 2) такие факторы, как содержание в почве камней диаметром от 10 до 7 мм и суммы фракций <0,25 мм, в среднем определяют о 3 до 4% пространственной изменчивости выхода сена с гектара; 3) от 2 до 3% вариабельности урожайности трав зависят от содержания в почве калия и фосфора, среднего и крупного песка, сумм пылевых и песчаных фракций, а также от гидролитической и обменной кислотности

почвы; 4) от 1 до 2% урожайности трав зависят от содержания в почве камней >10 мм и от 5 до 3 мм, крупной и средней пыли, а также от многообразия степеней прогрева территории; 5) менее 1% урожайности определяют содержание в почве камней от 7 до 5 мм, гравия (3–2 мм), тонкого песка, гумуса, крутизна и кривизна поверхности.

Тот же подход позволяет разделить факторы, оказывающие влияние на урожайность трав 2 г. п., также на несколько групп: 1) изменение высоты местоположения в среднем определяет более 12% вариабельности урожайности трав; 2) в группу факторов, определяющих от 8 до 7% пространственной изменчивости урожайности, входят содержание в почве камней >10 мм, калия и гумуса; 3) такие факторы, как содержание отдельных фракций камней (7–5 мм), гравия (3–2 мм), среднего и мелкого песка, крутизна поверхности и гидролитическая кислотность, определяют от 7 до 5% общей дисперсии урожайности трав; 4) от 5 до 3% урожайности культуры зависят от пространственного колебания содержания в почве камней диаметром от 10 до 7 и от 5 до 3 мм, крупного и среднего песка, а также суммы песчаных фракций, крупной пыли и суммы пылевых фракций, суммы фракций менее 0,25 мм, солевой кислотности, содержания фосфора, изменчивости солнечной радиации и кривизны поверхности; 5) от 3 до 2% урожайности определяет наличие в почве средней пыли и гравийных частиц размером от 2 до 1 мм.

Влияние высоты местоположения на продуктивность трав объясняется тем, что она тесно связана с геохимическими и микроклиматическими особенностями территории. На самых высоких гипсометрических отметках ландшафта расположены, как правило, элювиальные и элювиально-аккумулятивные геокомплексы, на средних отметках – транзитные (склоновые) позиции, а в низинах – транзитно-аккумулятивные местоположения. Различия в геохимической обстановке существенным образом сказываются на урожайности трав и других культур (Иванов, 2021). Следует также отметить, что на вершинах холмов отмечаются наиболее благоприятные для растений термические и фотосинтетические условия, тогда как в низинах нередко наблюдается образование «озер холода», а также недостаток освещенности. Крупные камни выполняют в агроландшафте роль регуляторов термического и водно-воздушного режимов. Они способствуют увеличению суточной амплитуды температуры почв, а также усиливают отвод излишней влаги. Сумма фракций тоньше среднего песка во многом определяет тепловые, мелиоративные и агрохимические свойства почв.

Сравнивая средние параметры частоты и силы влияния факторов на травы разного возраста, следует отметить, что средняя частота влияния фактора не зависит от возраста трав и равна ≈38%, зато средняя сила влияния фактора на урожайность с увеличением возраста трав заметно возрастает. Если на травах 1 г. п. на один фактор приходится 1,9% вариабельности урожая, то на травах 2 г. п. – 4,9%. Это свидетельствует об усилении влияния условий агроландшафтной среды на продуктивность трав при их старении, что можно объяснить процессами развития культурного агроценоза, в результате которых травостой приспосабливается к местным особенностям среды.

При сопоставлении частоты и силы влияния фактора на урожайность можно определить степень его активности в агроценозе при выращивании определенной культуры. Под активностью фактора можно понимать интенсивность его воздействия на продукционный процесс культуры, которая может быть рассчитана как произведение двух показателей:

$$A = C \times Ч, \quad (1)$$

где А – активность фактора (безразмерная величина); С – сила влияния фактора на урожайность (доля общей дисперсии урожайности, определяемая данным фактором), %;Ч – частота влияния фактора на урожайность (вероятность его достоверного влияния на урожайность), %.

Результаты расчетов по формуле (1) показали, что при старении травостоев активность всех изученных факторов увеличивается. Средняя активность факторов, влияющих на урожайность трав 1 г. п., равна 79,6, а на урожайность трав 2 г. п. – 295,2. Наиболее активными факторами для молодых травостоев являются высота местоположения (237,4), сумма фракций менее 0,25 мм (195,6) и содержание в почве камней размером от 10 до 7 мм (176,9). Для зрелых травостоев высота также является наиболее активным фактором (526,5), отмечается активность факторов содержания в почве среднего песка (493,5) и гравия диаметром от 3 до 2 мм (388,7).

Динамика изменения активности факторов при старении травостоев, рассчитанная как отношение активности факторов для трав 2 г. п. к активности факторов для молодых травостоев, показана на рис.

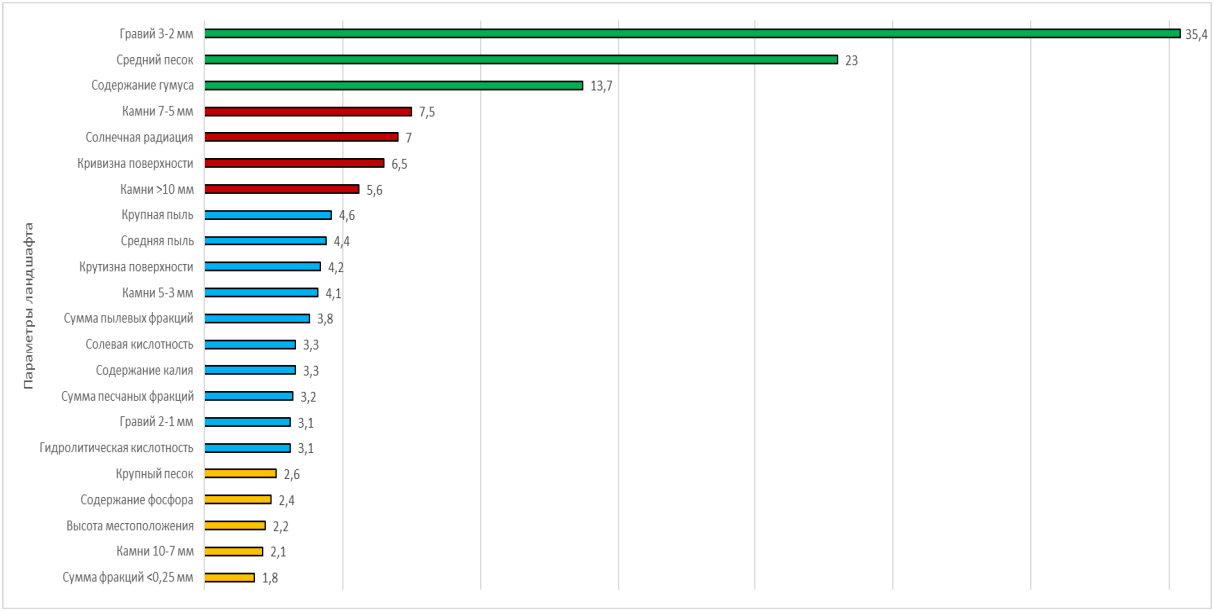

Рис. Соотношения активностей факторов ландшафтной среды, влияющих на продуктивность травостоев различного возраста

Из рисунка видно, что все изученные факторы по степени увеличения активности можно разделить на несколько групп: 1) к группе факторов, активность которых возросла более чем в 10 раз, относятся содержание в почве гравия размером от 3 до 2 мм, фракции среднего песка и гумуса; 2) активность воздействия содержания камней размером >10 мм и 7–5 мм, а также солнечной радиации и кривизны поверхности на урожайность трав увеличивается по мере их старения от 6 до 8 раз; 3) в самую обширную группу факторов, активность которых увеличивается от 3 до 5 раз, входят содержание камней от 5 до 3 мм, разных фракций пыли, сумма песчаных фракций, гидролитическая кислотность, содержание калия и крутизна поверхности; 4) активность воздействия таких факторов, как содержание крупных камней, крупного песка, сумма фракций <0,25 мм, содержание фосфора и высота местоположения, увеличивается менее чем в три раза.

Увеличение активности факторов, как правило, обуславливается усилением их воздействия на растения. Так, увеличение активности содержания гумуса и среднего песка объясняется тем, что содержание среднего песка определяет только 2–3% дисперсии урожайности трав 1 г. п. и 5–7% – трав 2 г. п., в то время как вероятность его достоверного воздействия на травы не изменяется (≈50%), содержание гумуса определяет менее 1% дисперсии урожайности молодых трав и более 10% – зрелых трав при неизменной вероятности (≈25%). Однако в случае с гравием произошло увеличение как силы (с <1 до ≈6%), так и частоты воздействия фактора (с 35 до 45%).

Увеличение активности факторов при старении травостоев можно объяснить адаптацией растительного сообщества к условиям агроландшафта с течением времени. Рост корневых систем приводит к усилению зависимости растений от гранулометрического состава почв. Сильное развитие злаковых в травостое третьего года жизни обуславливает их более высокую зависимость от содержания в почве гумуса и связанного с ним легкогидролизуемого азота.

Сопоставление временной изменчивости степени воздействия фактора на урожайность с климатическими параметрами за годы наблюдений позволит описать его «климатический сценарий» – совокупность погодных условий, при которых фактор ландшафтной среды оказывает достоверное влияние на урожайность культуры. Определение основных черт «климатических сценариев» факторов осуществляется также с помощью регрессионного анализа. Многолетние травы зависят от погодных условий как года посева культуры, так и годов укоса. Поэтому для описания «климатических сценариев» необходимо рассчитать три мультирегрессионные модели, которые позволят выявить климатические особенности проявления конкретного фактора как в год посева культуры, так и в год ее первого и второго укосов (табл.).

Таблица. Параметры «климатических сценариев» факторов, влияющих на произрастание многолетних трав

Климатические факторы	Факторы ландшафтной среды														
	высота местоположения	средний песок	тонкий песок	содержание калия	гравий	высота местоположения	средний песок	тонкий песок	содержание калия	гравий	высота местоположения	средний песок	тонкий песок	содержание калия	гравий
	годы посева					годы первого укоса					годы второго укоса				
Мин. темп-ра	7,6	0,3	9,3	1,3	0	8	0	0	0,4	0	0	0	0,1	3,6	3
Сред. темп-ра	2,5	16,9	0	0	0	1,9	9,4	0	1,7	0	9,9	30,2	3,4	0	0
Макс. темп-ра	0,6	25	0	9,7	0	0	17,4	0	0,6	0	13,7	0	0,6	0,3	0
Сут. осадки	0,1	0	34,9	0,7	0	0,1	1	0	10,7	0	2,5	0	0	0,1	0
Осадки при t 0°	0	0	0	0	0	1,7	3	0	1,3	0	0,2	0	0,7	14	12,6
Осадки при t 15°	8,7	5,5	14,2	8,2	0	7,6	0,2	0,2	3,5	0	0	1,6	0,2	24	0
∑t > 0°	1,9	0,7	0	7,1	0	8,4	2,1	0	0,2	0	0,2	0,3	0,3	3,2	0
∑t > 5°	0,1	7,1	2,5	0,3	1,3	0	9,2	1	3,1	0	1,7	23,1	0,2	7,3	2,3
∑t > 8°	2,7	3,4	0,2	0,3	3,7	0	1,5	0	0,8	0	10,2	0	0,1	1,8	15,2
∑t > 10°	3	6,7	0	0,1	0	6,4	0,8	0,2	2,1	0	1	0	0,9	0	4
∑t > 15°	34,3	0,9	0	2	0	13,7	1,8	2,1	2,1	0	1	0	10,1	5,1	0
Градусо-дни с t > 5°	0,8	0,1	0,1	0,1	2,6	0,7	4,7	0	4,3	0	0	7,5	8,7	1,2	0,1
Градусо-дни с t > 8°	0,8	0,2	0	2,5	0	0,7	0	10,9	3,8	0	18,3	8,7	0,6	10,2	4
Градусо-дни с t > 10°	8,1	2	0,4	16,8	18	10,5	4	0,9	0,6	0	5,4	0,3	20	0,3	0,8
Градусо-дни с t > 15°	0	0	11,9	1,4	0	7,8	0	0	3,3	0	1,6	0,1	0	9	0
Кол-во дней с пересечением 0°	8,5	0,1	1,2	0,8	0	6,3	0,4	0,3	18,2	0	2,8	7,2	1	0,1	0,2
Кол-во дней с пересечением 5°	3,8	5	4,1	4	0	5	0,2	0	0,4	0	0	2	33,2	0	7,4
Кол-во дней с пересечением 10°	0,3	0,8	0,9	0,6	0	11	4,5	0	0,7	0	6,8	0,5	0,1	1,9	1,9
Кол-во дней с пересечением 15°	0,3	13,5	0	6,7	0	1,5	0,1	18,4	20,2	0	0,5	0,1	0,4	0,2	0
Кол-во дней с t > 30°	1,5	4,7	0,1	0,9	0	2,1	7,7	0	3,3	0	4,9	7	5,8	9,2	0
ГТК	13,5	2,1	0,2	31,4	0	0,6	0	0	1	0	0	4,9	2,3	2,4	0,6
Инд. Мартона	0,4	3,9	4,3	5	0	1,6	29	33,1	1	0	1	0	0	6	0,4
Фактор дождя	0,5	0,2	0,3	0,3	0	4,1	0,2	0	16,8	0	17,3	5,5	10	0	34

Степень влияния высоты местоположения на урожайность трав зависит от характера колебания как термических ресурсов, так и осадков в годы посева и укоса. При взрослении трав особенности «климатического сценария» данного фактора в корне не меняются, отмечаются только снижение влияния на него индекса аридности Мартонна, увеличение роли сумм осадков как в теплые, так и в прохладные периоды и достоверное воздействие колебания ГТК. Максимальное воздействие на степень влияния на зрелые травостои высоты местоположения оказывают колебания максимальных температур, показателя градусо-дней с t >8° и фактора дождя. Влияние содержания камней на урожайность трав в пределах опытного участка в основном определяется временной вариабельностью поступления тепла в агроландшафт. Осадки в данном случае играют подчиненную роль, что свидетельствует о дефиците термических ресурсов в агроландшафтах центра Нечерноземья. По мере взросления трав влияние термических ресурсов только увеличивается. В пределах агрополигона «Губино» влияние суммы фракций тоньше среднего песка на урожайность трав определяется изменчивостью термического режима, однако в годы укоса ее воздействие на урожайность также зависит от осадков в холодные периоды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Влияние факторов ландшафтной среды на урожайность трав зависит от характера многолетней изменчивости агроклиматических условий. Временная частота (вероятность) влияния фактора на растения определяется его зависимостью от климатических условий. Можно выстроить условный ряд по уменьшению частоты влияния факторов ландшафтной среды на продуктивность трав: гранулометрический состав почв, агрохимические свойств почв и высота местоположения, солнечная радиация, крутизна и кривизна поверхности, в котором частота воздействия факторов на урожай снижается с 55 до 10%. Влияние на корневые системы растений гранулометрического состава почв как наиболее стабильного во времени фактора агроландшафта в наименьшей степени зависит от изменения климатических условий, в то время как характеристики поверхности (ее крутизна и кривизна), влияющие на степень дренированности микротерриторий, существенно зависят от характера погоды.

По снижению силы влияния эдафических факторов на продуктивность трав образуется следующий ряд: высота местоположения, гранулометрический состав почв и их агрохимические свойства, степень прогрева территории, крутизна и кривизна поверхности, в котором сила воздействия факторов на урожайность уменьшается от 12 до 1%. Высота местоположения, определяющая характер водно-воздушного режима почв и направленность геохимических потоков в агроландшафте, в наибольшей степени обуславливает продуктивность трав, тогда как влияние характера дневной поверхности на урожайность трав носит локальный и спорадический характер.

Произведение вероятности проявления фактора и степени его воздействия на урожайность определяет его активность по отношению к растениям. По степени уменьшения активности факторов можно выстроить следующий ряд: высота местоположения, гранулометрический состав почв, агрохимические свойства почв, характер поверхности, в котором активности снижаются в 21 раз – изменяются от 497 до 24. При старении травостоев активность всех изученных факторов увеличивается. Средняя активность факторов, влияющих на урожайность трав 1 г. п., равна 79,6, а на урожайность трав 2 г. п. – 295,2, что свидетельствует о лучшей приспособленности зрелых травостоев к ландшафтным условиям. Наиболее существенно увеличивается активность факторов содержания гравия (2–3 мм), среднего песка и гумуса (в 35,4, 23 и 13,7 раза соответственно), что объясняется развитием корневой системы трав и доминированием злаков в травостое.

Степень воздействия факторов агроландшафтной среды на произрастание трав во многом определяется колебаниями метеоусловий. Так, степень воздействия высоты местоположения на урожайность трав во многом зависит от колебания термических ресурсов агроландшафта, выраженных через различные показатели, а также от степени увлажнения территории. Влияние содержания камней и мелких фракций почвы на растения в основном определяется изменчивостью степени прогрева поверхности. «Климатические сценарии» конкретного фактора – наборы метеорологических параметров, при которых проявляется воздействие фактора на продукционный процесс культуры (в годы посева и укосов, как правило, кардинально не различаются). Наиболее значимыми факторами для прогнозирования урожайности трав являются высота местоположения и характеристики гранулометрического состава почв. Представление о вероятности проявления, силе воздействия и характере «климатических сценариев» факторов позволяет точнее прогнозировать урожайность культуры в пределах агроландшафта и, таким образом, оптимизировать расположение посевов на территории конкретного хозяйства.

Список литературы

Баденко В.Л., Гарманов В.В., Иванов Д.А., Савченко А.Н., Топаж А.Г. Перспективы использования динамических моделей агроэкосистем в задачах средне- и долгосрочного планирования сельскохозяйственного производства и землеустройства // Доклады РАСХН. 2015. № 1–2. С. 72–76.

Беручашвили Н.Л. Геофизика ландшафта. М.: Высшая школа, 1990. 287 с.

Иванов Д.А., Карасева О.В., Рублюк М.В. Изучение динамики продуктивности трав на основе данных многолетнего мониторинга // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. № 22 (1). С. 76–84.

Иванов Д.А. Влияние почв и рельефа на продуктивность разновозрастных травостоев // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 4(382). С. 73–76.

Косолапов В.М., Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П. Современные тенденции развития наукоемкого аграрного производства (вызовы и перспективы) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 2(3). С. 487–493.

Ксенофонтов М.Ю., Ползиков Д.А. К вопросу о влиянии климатических изменений на развитие сельского хозяйства России в долгосрочной перспективе // Проблемы прогнозирования. 2020. № 3(180). С. 82–92.

Кутузова А.А., Тебердиев Д.М., Родионова А.В. Эффективность антропогенных затрат и природных факторов на долголетнем сенокосе в зависимости от доз извести и удобрений // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: сборник научных трудов. Выпуск 10(58). ФГБНУ «ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса». М.: ООО «Угрешская Типография», 2016. С. 62–68.

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

Шашко Д.И., Розов Н.Н. Внутриобластное природно-сельскохозяйственное районирование как форма учета биоклиматического потенциала // Земледелие. 1989. № 3. С. 18–22.

Bulgakov D.S., Rukhovich D.I., Shishkonakova E.A. et al. The application of the soil-agroclimatic index for assessing the agronomic potential of arable lands in the forest-steppe zone of Russia // Eurasian Soil Science. 2018. Vol. 51. №4. pp. 448–459.

Chuang Zhaoa, Bing Liub, Shilong Piaoa, Xuhui Wanga, David B. Lobelli, Yao Huangj, Mengtian Huanga, Yitong Yaoa, Simona Bassuk, Philippe Ciaisl, Jean-Louis Durandm, Joshua Elliottn, Frank Ewertp, Ivan A. Janssensr, Tao Lis, Erda Lint, Qiang Liua, Pierre Martreu, Christoph Mül-lerv, Shushi Penga, Josep Peñuelasw, Alex C. Ruaney, Daniel Wallachz, Tao Wangg, Donghai Wua, Zhuo Liua, Yan Zhub, Zaichun Zhua, Sen-thold Assengf Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2017. Vol. 114. №35. pp. 9326–9331.

Rabia A.H., Neupane J., Lin Z., Lewis K., Cao G., Guo W. Principles and applications of topography in precision agriculture // Advances in Agronomy. 2022. Vol. 171. pp. 143–189.

References

Badenko V.L., Garmanov V.V., Ivanov D.A., Savchenko A.N., Topazh A.G. Perspektivy ispol'zovaniya dinamicheskikh modeley agroekosistem v zadachakh sredne- i dolgo-srochnogo planirovaniya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva i zemleustroystva [Prospects for the use of dynamic models of agroecosystems in problems of medium- and long-term planning of agricultural production and land management] // *Doklady RASKhN,* 2015, no. 1–2, pp. 72–76.

Beruchashvili N.L. *Geofizika landshafta* [Landscape geophysics]. M.: Vysshaya shkola, 1990, 287 p.

Ivanov D.A., Karaseva O.V., Rublyuk M.V. Izucheniye dinamiki produktivnosti trav na osnove dannykh mnogoletnego monitoringa [Study of the dynamics of grass productivity based on long-term monitoring data] // *Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka,* 2021, no. 22(1), pp. 76–84.

Ivanov D.A. Vliyaniye pochv i rel'yefa na produktivnost' raznovozrastnykh travostoyev [The influence of soils and topography on the productivity of grass stands of different ages] // *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal,* 2021, no. 4 (382), pp. 73–76.

Kosolapov V.M., Trofimov I.A., Trofimova L.S., Yakovleva Ye.P. Sovremennyye tendentsii razvitiya naukoyemkogo agrarnogo proizvodstva (vyzovy i perspektivy) [Modern trends in the development of knowledge-intensive agricultural production (challenges and prospects)] // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk,* 2018, vol. 20, no. 2(3), pp. 487–493.

Ksenofontov M.Yu., Polzikov D.A. K voprosu o vliyanii klimaticheskikh izmeneniy na razvitiye sel'skogo khozyaystva Rossii v dolgosrochnoy perspektive [On the issue of the impact of climate change on the development of Russian agriculture in the long term // Problems of forecasting] // *Problemy prognozirovaniya,* 2020, no. 3(180), pp. 82–92.

Kutuzova A.A., Teberdiyev D.M., Rodionova A.V. Effektivnost' antropogennykh zatrat i prirodnykh faktorov na dolgoletnem senokose v zavisimosti ot doz izvesti i udobreniy [Efficiency of anthropogenic inputs and natural factors in long-term haymaking depending on doses of lime and fertilizers] // *Mnogofunktsional'noye adaptivnoye kormoproizvodstvo: sbornik nauchnykh trudov.* Vypusk 10(58). FGBNU «VNII kormov im. V.R. Vil'yamsa». M.: OOO «Ugreshskaya Tipografiya», 2016, pp. 62–68.

Plokhinskiy N.A. *Biometriya* [Biometrics]. M.: MGU, 1970, 367 p.

Shashko D.I., Rozov N.N. Vnutrioblastnoye prirodno-sel'skokhozyaystvennoye rayoniro-vaniye kak forma ucheta bioklimaticheskogo potentsiala [Intraregional natural and agricultural zoning as a form of accounting for bioclimatic potential] // *Zemledeliye,* 1989, no. 3, pp. 18–22.

Bulgakov D.S., Rukhovich D.I., Shishkonakova Ye.A. et al. The application of the soil-agroclimatic index for assessing the agronomic potential of arable lands in the forest-steppe zone of Russia // *Eurasian Soil Science,* 2018, vol. 51, no. 4, pp. 448–459.

Chuang Zhaoa, Bing Liub, Shilong Piaoa, Xuhui Wanga, David B. Lobelli, Yao Huangj, Mengtian Huanga, Yitong Yaoa, Simona Bassuk, Philippe Ciaisl, Jean-Louis Du-randm, Joshua Elliottn, Frank Ewertp, Ivan A. Janssensr, Tao Lis, Erda Lint, Qiang Liua, Pierre Martreu, Christoph Mül-lerv, Shushi Penga, Josep Peñuelasw, Alex C. Ruaney, Daniel Wallachz, Tao Wangg, Donghai Wua, Zhuo Liua, Yan Zhub, Zai-chun Zhua, Sen-thold Assengf Temperature increase reduces global yields of ma-jor crops in four independent estimates // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2017, vol. 114, no. 35, pp. 9326–9331.

Rabia A.H., Neupane J., Lin Z., Lewis K., Cao G., Guo W. Principles and applications of to-pography in precision agriculture // Advances in Agronomy, 2022, vol. 171, pp. 143–189.