

УДК 631.5; 631.6; 911.2

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-353-10-106-109>

Оригинальное исследование/Original research

Иванов Д.А.,
Карасева О.В.,
Рублюк М.В.

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»,
119017, Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2
E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

Ключевые слова: мониторинг, агроландшафт, клеверотимофеечный травостой, рельеф, почва, трансекта

Для цитирования: Иванов Д.А., Карасева О.В., Рублюк М.В. Влияние почвы и рельефа на продуктивность клеверотимофеечного травостоя. *Аграрная наука*. 2021; 353 (10): 106–109.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-353-10-106-1096>**Конфликт интересов отсутствует**

Dmitriy A. Ivanov,
Olga V. Karaseva,
Maria V. Rublyuk

FRC V.V. Dokuchaev Soil Science Institute named
after V.V. Dokuchaev, 7, bld. 2, Pyzhevsky per.,
Moscow, 119017, Russia
E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

Key words: monitoring, agricultural landscape, clover-timothy herbage, relief, soil, transect

For citation: Ivanov D.A., Karaseva O.V., Rublyuk M.V. Influence of soil and relief on productivity of clover-timothy herbage. *Agrarian Science*. 2021; 353 (10): 106–109. (In Russ.)

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-353-10-106-109>**There is no conflict of interests**

Влияние почвы и рельефа на продуктивность клеверотимофеечного травостоя

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Статья посвящена актуальной проблеме изучения влияния почвенных условий и рельефа агроландшафта на урожайность клеверотимофеечного травостоя на осушаемых почвах, знания о котором позволяют оптимизировать производственный процесс культур в режиме адаптивно-ландшафтного земледелия.

Материал, результаты. Исследования проводились в 1998–2020 гг. на опытном полигоне Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель (ВНИИМЗ) — филиала ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» (Тверская область), расположенном в пределах конечно-моренного холма. Цель исследований — изучение влияния почвенных условий и рельефа агроландшафта на урожайность клеверотимофеечного травостоя 1 года пользования. Мониторинг урожайности трав осуществлялся на трансекте — поле, пересекающем основные микроландшафтные позиции (элементы рельефа) и элементарные почвенные комбинации агроландшафта. Учет продуктивности культур и других параметров растительного и почвенного покрова на трансекте проводили на 30 систематически расположенных делянках, в пределах которых расположены 4 повторности, площадью 23 м², отстоящие друг от друга на 10 м.

Результаты исследований по урожайности обрабатывали корреляционным и многофакторным дисперсионным анализом. Исследования показали, что рельефные и почвенные особенности агроландшафта оказывают практически одинаковое воздействие на урожай культуры. Каждый из этих факторов в среднем определял 18–16% пространственной вариабельности продуктивности. Около 2/3 вариабельности урожая трав зависят от трудноучитываемых факторов. Установлено, что степень влияния рельефа и почв на урожайность трав непостоянна во времени и колеблется в диапазоне от 2 до 33%. Во временном ряду наблюдений выделяются периоды синхронных и асинхронных колебаний степеней влияния почвы и рельефа на урожай. Синхронизация временных колебаний степеней воздействия на урожайность трав разных элементов ландшафта происходит при снижении сумм осадков и активных температур. На основе выявленных закономерностей возможна разработка мероприятий по адаптации технологий выращивания многолетних трав к природным условиям хозяйств в режиме адаптивно-ландшафтного кормопроизводства.

Influence of soil and relief on productivity of clover-timothy herbage

ABSTRACT

Relevance. The article is devoted to the topical problem of studying the influence of soil conditions and the relief of an agricultural landscape on the yield of clover-timothy herbage on drained soils, knowledge of which makes it possible to optimize the production process of crops in the mode of adaptive landscape farming.

Methods and results. The studies were carried out in 1998–2020 at the test site of the All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands (VNIIMZ) — a branch of the Federal Research Centre Soil Science Institute named after V.V. Dokuchaev (Tver region), located within the end-moraine hill. The purpose of the research is to study the influence of soil conditions and the relief of the agricultural landscape on the yield of clover-timothy herbage of 1 year of use. Grass productivity monitoring was carried out on a transect — a field crossing the main microlandscape positions (relief elements) and elementary soil combinations of the agrolandscape. Crop productivity and other parameters of the vegetation and soil cover on the transect were taken into account on 30 systematically located plots, within which there are 4 replicates, 23 m² in area, spaced 10 m from each other.

Results of studies on productivity were processed by correlation and multivariate analysis of variance. Studies have shown that the relief and soil features of the agricultural landscape have almost the same effect on the crop yield. Each of these factors, on average, determined 18–16% of the spatial variability in productivity. About 2/3 of the variability in the yield of herbs depends on factors that are difficult to take into account. It was found that the degree of influence of the relief and soils on the yield of grasses is not constant over time and ranges from 2 to 33%. In the time series of observations, periods of synchronous and asynchronous fluctuations in the degrees of influence of soil and relief on the yield were distinguished. Synchronization of temporal fluctuations in the degrees of impact on the productivity of grasses of different elements of the landscape occurs with a decrease in the amount of precipitation and active temperatures. On the basis of the revealed patterns, it is possible to develop measures to adapt technologies for growing perennial grasses to the natural conditions of farms in the mode of adaptive landscape fodder production.

Поступила: 5 сентября
После доработки: 20 сентября
Принята к публикации: 25 сентября

Received: 5 September
Revised: 20 September
Accepted: 25 September

Введение

Актуальность адаптивно-ландшафтного кормопроизводства обусловлена обострением экономического и экологического кризисов во всем мире. Только при адресном размещении севооборотов с многолетними травами можно добиться одновременно снижения себестоимости единицы продукции, уменьшения затрат на последующую рекультивацию ландшафта, а также улучшения качества сена [1, 2, 3]. В ходе разработки теории адаптивно-ландшафтного земледелия наметились два основных подхода к адаптации производства к природным условиям — их условно можно назвать «комплексным» и «компонентным». При «комплексном» подходе исходят из обязательного учета взаимосвязей компонентов ландшафта в процессе формирования урожая и их практической равнозначности [4]. Это направление поддерживается многими учеными [5, 6, 7]. Представители «компонентного» направления, не отрицая многофакторного подхода при адаптации производства, априорно определяют «ведущий» фактор, на основе которого проводят выделение элементарных экологически-территориальных ниш. Наиболее ярко выражены воззрения исследователей, которые во главу угла ставят почву [8] или рельеф [9]. Основа разногласий между сторонниками этих подходов заключается в том, что же выступает главным фактором, обуславливающим пространственную вариабельность урожая — тепло и свет, перераспределяемые в ландшафте рельефом, или элементы питания, определяемые почвой. Идущую до сих пор дискуссию по этому вопросу можно разрешить на основе положения, озвученного в работах Л.Г. Раменского, о том, что «...единственным, прямым и достоверным оценщиком природных условий служит сама растительность» [10].

Границы почвенных контуров при картировании почвенного покрова (ПП) в основном определяются характером рельефа, что обуславливает заметное совпадение ландшафтных и почвенных рубежей, которое затрудняет процесс сопоставления «сил» влияния почвенных и рельефных условий на произрастание растений. Однако в Нечерноземье часто отмечается несовпадение границ почвенных тел с горизонталями рельефа вследствие господства здесь почвенных мозаик, границы компонентов которых определяются характером гранулометрического состава почвообразующих пород, зависящим от их геологического строения, которое не всегда коррелирует с характером неровностей дневной поверхности геоконтекста. В таких агроландшафтах возможно выделить элементарные агроареалы (ЭАА), как по рельефному, так и по почвенному критериям и, тем самым, выявить «силу» влияния этих факторов на произрастание растений.

Цель работы — анализ характера воздействия почвенных и рельефных факторов природной среды агроландшафта на продуктивность клеверотимофеечных травостоев.

Материалы и методы

Исследования проводились на агроэкологическом полигоне ВНИИМЗ с 1998 по 2020 гг. на посевах клеверотимофеечной травосмеси 1 г.п. Полигон расположен в 4 км к востоку от г. Тверь в пределах конечно-моренного холма с относительной высотой 15 м, состоящего из плоской вершины, северного пологого склона длиной около 600 м и крутизной 2...3°, южного более крутого (3...5°), но короткого (400 м) склона и межхолмных депрессий (северной и южной). Почвообразующие поро-

ды на территории полигона — двучленные отложения, состоящие из легкого флювиогляциального наноса, подстилаемого моренными суглинками. На южном склоне пахотные горизонты почв песчаные и супесчаные, мощность легкого наноса местами превышает 1,5 м. На вершине и северном склоне пахотные горизонты сложены супесью и легким суглинком, мощность кроющего наноса колеблется около 1 м, местами в межхолмной депрессии морена выходит на поверхность.

На территории полигона можно выделить следующие типы элементов рельефа или агромикрорландшафтов (АМЛ), рубежами которых служат так называемые «бровки рельефа» — зоны заметного изменения крутизны склона: транзитно-аккумулятивные (Т-А) 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, присутствует ее вертикальное перемещение по почвенному профилю, и элювиально-аккумулятивный (Э-А) ландшафт вершины, в пределах которого происходит вертикальное промывание почвенного профиля и локальная аккумуляция влаги в микропонижениях (блюдцах).

Почвенный покров (ПП) полигона представлен вариацией-мозаикой дерново-подзолистых глееватых и глеевых почв, развивающихся на двучленных отложениях различной мощности. 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 пятнистости-ташеты межхолмных депрессий.

Мониторинг урожайности сена клеверотимофеечной травосмеси 1 г.п. проводили в пределах агроэкологической трансекты (физико-географического профиля), пересекающей все основные микропозиции и элементарные почвенные структуры конечно-моренного холма, состоящей из 7 продольных полос, каждая из которых засеяна отдельной культурой зернотравяного севооборота. Технологии выращивания конкретных культур однотипны по всей полосе, чем достигается минимализация антропогенного воздействия на характер пространственной вариабельности урожая. Учет продуктивности культур и других параметров растительного и почвенного покрова в пределах трансекты проводили на 30 систематически расположенных делянках, в пределах которых систематически расположены 4 повторности, площадью 23 м², отстоящие друг от друга на 10 м.

Для интерпретации результатов наблюдений использовались параметры агроклиматических обстановок за вегетационные периоды (мая и июня года укоса, а также июля — сентября года посева) годов исследований, заимствованные из базы данных Тверской метеостанции. В ходе работы использовались следующие агроклиматические показатели: 1) ГТК по Селянинову; 2) сумма осадков за вегетацию, мм; 3) среднесуточная температура, °C; 4) сумма активных температур $\sum t > 10^\circ$.

Для достижения цели работы проведен анализ продуктивности трав в различных рельефных и почвенных условиях с использованием программы MainEffectsANOVA (STATISTICA 7), позволяющей в еди-

ном дисперсионном анализе оценить влияние на исследуемое явление главных эффектов факторов, не образующих ортогональных матриц. Вариантами служили 9 АМЛ и 8 ЭПС, характерные особенности которых описаны выше. Степень влияния изучаемых факторов на урожайность травостоев вычисляли путем деления частной факториальной суммы квадратов на общую [11]. Для выявления парных взаимодействий урожайности с почвенным покровом и рельефом использовали корреляционный анализ.

Результаты

Временная динамика степени воздействия элементов рельефа и почвенных образований на продуктивность клеверотимофеечного травостоя показана на рисунке.

Такие элементы ландшафта, как рельеф и почвенный покров, за время наблюдений определяли долю пространственной вариабельности урожайности трав в диапазоне от 2 до 33%. Среднегодовое значение степени воздействия этих элементов ландшафта на урожай различается незначительно — рельеф определяет около 18% пространственно-временной вариабельности урожая, а ПП — около 16%. Факторы, неучтенные в модели, определяли более 2/3 изменчивости производства сена. Корреляция между степенями влияния на травы изучаемых явлений отсутствует ($r = 0,01$), так как весь ряд наблюдений можно разбить на этапы с их синхронным и асинхронным воздействием на урожай. К синхронным этапам, в которых наблюдается некоторая взаимозависимость степеней влияния рельефа и почвы на урожай, относятся периоды с 1998 по 2003 и с 2015 по 2017 гг. Остальные временные промежутки характеризуются асинхронным влиянием рельефа и почв на урожай. Временные периоды с синхронным влиянием отличаются от асинхронных этапов по основным агроклиматическим показателям (таблица).

Синхронизация воздействия рельефа и почв на урожайность трав происходит при снижении значений основных агроклиматических характеристик, как в годы посева, так и в годы укоса. В более теплые и влажные периоды наблюдается асинхронизация влияния изучаемых факторов на урожай. Это объясняется тем, что в относительно холодные и сухие годы роль рельефа, как основного перераспределителя тепла и влаги в ландшафте, снижается, и характер его воздействия на урожай не сильно отличается от влияния почвенных факторов, так как склоны разной экспозиции различаются по гранулометрическому составу почв. При увеличении температуры и влажности усиливается влияние на урожай характера их пространственного перераспределения в пределах ландшафта, что осуществляется рельефом, в то время как влияние почвенных факторов

Рис. Влияние рельефа и почвы на продуктивность травостоя за время мониторинга

Fig. 1. Influence of relief and soil on the productivity of herbage during the monitoring period

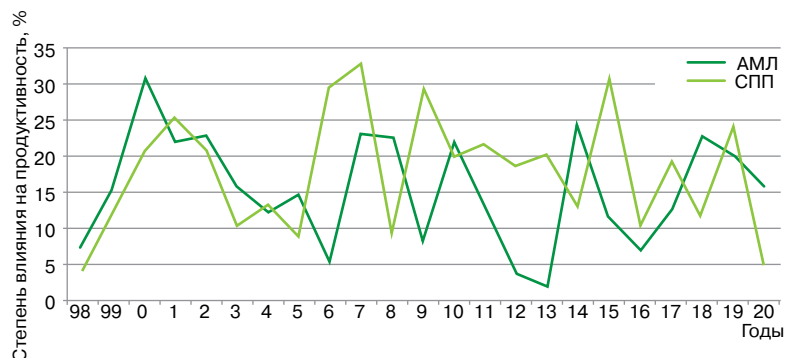


Таблица 1. Агроклиматические показатели различных периодов влияния рельефа и почвы на урожайность трав

Table 1. Agroclimatic indicators of various periods of the influence of the relief and soil on the yield of grasses

Агроклиматические параметры				Способ расчета
ГТК по Селянинову	сумма осадков	среднесуточная температура, °С	сумма активных температур, °С	
Синхронные периоды				
1,46	351,3	15,0	2077,1	По годам укоса
1,23	339,4	15,1	2117,3	По годам посева
Асинхронные периоды				
1,60	375,5	15,4	2215,0	По годам укоса
1,56	358,0	15,6	2239,1	По годам посева

остается неизменным. Это приводит к асинхронизации воздействия изучаемых факторов на травостой.

Расчет по годам посева синхронных периодов показал, что влияние почвы на урожай заметно зависит от осадков ($r = 0,69^1$), в то время как расчет по годам укоса не обнаруживает достоверные зависимости от метеоусловий. Достоверные зависимости степени воздействия рельефа на урожай от агроклиматических факторов в любые периоды вегетации не выявлены. Можно сказать, что в начале вегетации трав в относительно сухие и холодные годы усиление осадков приводит к увеличению степени воздействия почв на урожайность трав, так как разнообразие геологического строения почвообразующих пород создает широкий спектр условий снабжения растений влагой. В асинхронные периоды достоверного влияния метеоусловий на степень воздействия почвы и рельефа на урожай не выявлено.

Выводы

Результаты многолетнего мониторинга урожайности молодых клеверотимофеечных травостоев в условиях конечно-моренного холма показали, что она практически в одинаковой степени зависит как от рельефа, обуславливающего 18% ее пространственно-временной вариабельности, так и от почвенных условий, определяющих 16% ее изменчивости. Около 2/3 вариабельности урожая трав определяется факторами, трудно учитываемыми в дисперсионном анализе.

¹ Достоверны коэффициенты корреляции выше [0,67].

В условиях полигона ВНИИМЗ степень влияния рельефа и почв на урожайность трав непостоянна и колеблется в диапазоне 2–33%. В ряду наблюдений выделяются периоды синхронных и асинхронных колебаний степеней влияния почвы и рельефа на урожай. Синхронные колебания степеней воздействия на урожайность трав элементов ландшафта наблюдаются в относительно сухие и прохладные периоды, когда влияние почв на

травы в годы посева на 48% зависит от вариативности сумм осадков. Асинхронизация колебаний степеней воздействия на урожай наблюдается при увеличении сумм осадков и активных температур.

Учет выявленных закономерностей позволит разработать мероприятия по адаптации технологий выращивания многолетних трав к природным условиям в режиме адаптивно-ландшафтного кормопроизводства.

ЛИТЕРАТУРА/ REFERENCES

1. Иванов Д.А., Карасева О.В., Рублюк М.В. Мониторинг влияния факторов природной среды на урожайность травостоев. *Кормопроизводство*. 2019;8:10–14. [Ivanov D.A., Karaseva O.V., Rublyuk M.V. Monitoring of the influence of environmental factors on the yield of herbage. *Kormoproizvodstvo*. 2019;8:10–14. (In Russ.)] <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39546628>
2. Иванов Д.А., Карасева О.В., Рублюк М.В. Результаты длительного мониторинга продуктивности многолетних трав в пределах агроландшафта. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2019;5:8–11. [Ivanov D.A., Karaseva O.V., Rublyuk M.V. Results of long-term monitoring of the productivity of perennial grasses within the agricultural landscape. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2019; 5:8–11. (In Russ.)] <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40926627>
3. 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):76–84. [Ivanov D.A., Karaseva O.V., Rublyuk M.V. Study of the dynamics of grass productivity based on long-term monitoring data. *Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka*. 2021;22(1):76–84. (In Russ.)] <https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=8788>
4. Николаев В.А., Копыл И.В., Сысеев В.В. Природно-антропогенные ландшафты (сельскохозяйственные и лесохозяйственные). М.: Географический факультет МГУ. 2008. 158 с. [Nikolaev V.A., Kopyl I.V., Sysuev V.V. Natural and anthropogenic landscapes (agricultural and forestry). М.: *Geograficheskiy fakul'tet MGU*. 2008. 158 p. (In Russ.)] https://www.studmed.ru/nikolaev-v-a-kopyl-i-v-sysuev-v-v-prirodno-antropogennye-landshafty-selskohozyaystvennye-i-lesohozyaystvennye_a26019dd532.html
5. Heil K., Heinemann P., Schmidhalter U. Modeling the effects

of soil variability, topography, and management on the yield of barley. *Frontier in Environmental*. 2018;6:1–16. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2018.00146/full>

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. [Ivanov A.I., Ivanova Zh. A., Tsyganova N.A. Influence of landscape conditions on the efficiency of the exact fertilization system in the link of field crop rotation. *Agrokhimiya*. 2020; 2: 69–76. (In Russ.)] <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42339382>

7. 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(4):503–511. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43304121>

8. Кирюшин В.И. Концепция развития земледелия в Нечерноземье. СПб: ООО «Квадро». 2020. 276 с. [Kiryushin V.I. The concept of the development of agriculture in the Non-Black Earth Region. *SPB: ООО «Kvadro»*. 2020. 276 p. (In Russ.)] <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44293882>

9. Каштанов А. Н. Земледелие. Избранные труды. М.: РАСХН, Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 2008. 685 с. [Kashtanov A. N. Agriculture. Selected Works. М.: *RASKHN, Pochvennyy institut im. V.V. Dokuchayeva*. 2008. 685 p. (In Russ.)] <http://www.cnsnb.ru/artefact3/ia/ie1.asp?page=BO&ned=377813>

10. Раменский Л. Г. Избранные работы. Л.: Наука. 1971. 234 с. [Ramenskiy L. G. Selected works. L.: *Nauka*. 1971. 234 p. (In Russ.)] <http://chamo.lib.tsu.ru/lib/item?id=chamo:100070&theme=mobile>

11. Плохинский Н.А. Биометрия. М.: МГУ. 1970. 367 с. [Plokhinskiy N.A. Biometrics. М.: *MGU*. 1970. 367 p. (In Russ.)] <https://bookree.org/reader?file=580114&pg=3>

ОБ АВТОРАХ:

Иванов Дмитрий Анатольевич, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, профессор, главный научный сотрудник, заведующий отделом мониторинга состояния и использования осушаемых земель

Карасева Ольга Васильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела мониторинга состояния и использования осушаемых земель

Рублюк Мария Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела мониторинга состояния и использования осушаемых земель

ABOUT THE AUTHORS:

Ivanov Dmitry Anatolyevich, Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Chief Researcher, Head of the Department for Monitoring the Condition and Use of Drained Lands

Karaseva Olga Vasilievna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher of the Department for Monitoring the Condition and Use of Drained Lands

Rublyuk Maria Vladimirovna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher of the Department for Monitoring the Condition and Use of Drained Land