

**Агрочововедение и агроэкология**

УДК 631.5; 631.6; 911.2

DOI: 10.31857/S2500262722060060, EDN: MJKDND

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ПОДЗЕМНОЙ БИОМАССЫ АГРОЦЕНОЗА В ПРЕДЕЛАХ КОНЕЧНО-МОРЕННОГО ХОЛМА****Д. А. Иванов<sup>1</sup>**, член-корреспондент РАН, **В. А. Тюлин<sup>2</sup>**,  
**О. Н. Анциферова<sup>1</sup>**, кандидат сельскохозяйственных наук, **Н. А. Хархардинов<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»,  
119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр.2  
E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru<sup>2</sup>Тверская государственная сельскохозяйственная академия,  
170704, Тверь, ул. Маршала Василевского, 7

*Исследования проводили с целью изучения динамики плотности корней злакобобовых травостоев в различных ландшафтных условиях на разных этапах развития агроценоза. Работу выполняли в Тверской области на агроэкологической трансекте – поле, пересекающей основные ландшафтные позиции конечно-моренного холма, в 120 точках, расположенных в 10 м одна от другой. Плотность корней измеряли в 2019–2021 гг. под травами 1...3 года жизни. Влияние факторов ландшафтной среды определяли с использованием различных методов статистического анализа. Величина изучаемого показателя зависит как от внутренних (биогеоценологических), так и от внешних (ландшафтных) причин. Внутренние причины приводят к увеличению плотности корней с 1 по 3 год жизни в 5 раз. По мере старения травостоя происходит затухание интенсивности развития корней. На первом году жизни оно зависит от состояния бобовых, элементов плодородия почв и высоты местности; на втором году – от особенностей межвидовой борьбы в агроценозе, гранулометрического и минералогического состава почв и высоты местоположения; на третьем году – от особенностей порового пространства почв. Микроландшафтные условия определяют 21,5 % изменчивости прироста плотности корней только под травами 1 года пользования. При использовании трав не только в кормовых целях, но и как инструмента рекультивации ландшафта, можно рекомендовать размещение старых травостоев на легких скелетных почвах, тогда как в местах с близким залеганием морены целесообразно эксплуатировать только травы 1 года пользования.*

**SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF THE UNDERGROUND BIOMASS OF AGROCENOSIS WITHIN THE FINITE MORAIN HILL****Ivanov D. A.<sup>1</sup>, Tyulin V. A.<sup>2</sup>, Antsiferova O. N.<sup>1</sup>, Kharkhardinov N. A.<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Federal Research Centre Dokuchaev Soil Science Institute,  
119017, Moskva, Pyzhevskii per., 7, str. 2b,  
E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru<sup>2</sup>Tver State Agricultural Academy,  
170704, Tver, ul. Marshala Vasilevskogo, 7

*The results of monitoring the dynamics of the density of the roots of cereal-footed grass stands in various landscape conditions at different stages of development of agroecocenos are shown. Studies were conducted on an agroecological transect (Tver region)- a field that crosses the main landscape positions of the finite moraine hill, at 120 testing points located 10 m from each other. The density of roots was determined in 2019-2021 under grasses of 1 - 3 years of life. The influence of landscape environmental factors on root density was determined using various methods of statistical analysis. It is established that it depends on both internal (biogeocentotic) and external (landscape) causes. Internal causes lead to an increase in the density of roots by 5 times over the period from 1 to 3 years of life. As the grass stand ages, there is an attenuation of the intensity of root development. Time is the main factor in the development of the root system. In the first year of the life of the grass stand, the development of roots depends on the state of the legumes, elements of soil fertility and altitude; in the second year - from the features of interspecific struggle in agroecocenos, granulometric and mineralogical composition of soils and the height of the location; in the third year - from the peculiarities of the pore space of the soils. Microlandscape conditions determine 21.5% variability in root density growth only under grasses 1st year of use. When using grasses not only for forage purposes, but also as a tool for landscape reclamation, it is possible to recommend the placement of old grass stands on light skeletal soils, whereas in places with a close occurrence of moraine, it is advisable to exploit only grasses of 1st year of use*

**Ключевые слова:** агроландшафт, травостой, плотность корней, мониторинг, статистический анализ.**Key words:** agrolandscape, grass stand, root density, monitoring, statistical analysis.

Корневая система растений, составляющая основу подземной биомассы агроценоза, необходима для закрепления их в почве, снабжения минералами и водой, а также для синтеза метаболитов. Это динамический орган, модулируемый сигналами окружающей среды, прежде всего, доступностью воды и питательных веществ, гранулометрическим составом почвы, степенью ее заболоченности, наличием почвенного воздуха, кислорода в нем и другими факторами. Сигналы окружающей среды определяют направление и кинетику

роста корня, что обуславливает архитектуру корневой системы [1].

Корневая система растений в свою очередь влияет на состояние компонентов агроландшафта, прежде всего почв. Подземная биомасса агроценоза выступает важным фактором пополнения специфического и неспецифического органического вещества почв. Характер архитектуры корневой системы во многом определяет структурное состояние почвенной массы, корневые выделения влияют на протекание процессов выветривания

минералов [2]. Особенности и архитектура корневых систем влияет на развитие эрозионных процессов в геосистеме и, тем самым, на процессы рельефообразования и деградации почв.

Таким образом, пространственно-временная динамика параметров ризосферы, которая во многом зависит от особенностей окружающей среды, существенным образом определяет изменчивость почвенного покрова и рельефа, тем самым влияя на продуктивность и экологическую устойчивость агрогеосистем. Изучение феномена пространственно-временной пестроты параметров корневой системы растений позволяет получить новые знания о функционировании не только агроценозов, но и агроландшафтов в целом, что позволяет развивать теорию и практику адаптивно-ландшафтного земледелия и природообустройства, которые весьма актуальны в современных условиях [3, 4].

Вопросу изучения характера пространственно-временной динамики ризосферы посвящено немало исследований [5, 6, 7]. Так, в работе З. У. Гочияевой с соавторами обнаружена выраженная обратная зависимость между длиной корней и величиной уклона местности. Наиболее ярко такая закономерность проявлялась в варианте с посевом озимой пшеницы. По мере увеличения уклона с 10 до 70 % величина этого показателя снижалась более чем в 2 раза [8]. Значительный интерес к этому вопросу проявляют и за рубежом. Так, М. L. McConnack с соавторами исследовал тонкие взаимосвязи между корневой и надземной биомассой в агроценозе [9]. С. M. Versen использовал характеристики корневой формы для улучшения понимания функции корня [10]. По данным S. Hui, увеличение плотности посадки кукурузы не изменило общую биомассу корней [11]. Коллектив, возглавляемый К. Грейвальдом, выявил значение корневых систем для совокупной устойчивости почвы при развитии ландшафта Швейцарских Альп [12]. При изучении корневой системы левзеи сафлоровидной выявлены новые перспективные штаммы стрептомицетов-антагонистов фитопатогенных грибов, целлюлолитиков и продуцентов ауксинов, которые можно использовать в практических целях [13]. При этом следует отметить явно незначительное количество работ, посвященных комплексной оценке влияния компонентов природной среды на подземную биомассу агроценоза. Наша работа направлена на некоторое восполнение такого пробела.

Цель исследований – изучение влияния компонентов агроландшафта (рельефа и почв), а также возраста агроценоза на характер пространственной и временной изменчивости плотности корней многолетних трав на поле, расположенном в пределах конечно-моренного холма.

**Методика.** Работу выполняли в Тверской области на агроэкологическом полигоне ВНИИМЗ (филиал ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева») площадью 50 га, заложенном в 1996 г. в 4-х км к востоку от г. Тверь, на моренном холме с относительной высотой 15 м, с четко выраженными геоморфологическими элементами: плоской вершиной, северным пологом (2...3°) и южным более крутым (3...5°) склоном и межхолмными депрессиями на севере и юге полигона [14].

Почвообразующие породы на территории стационара – двучленные отложения, состоящие из верхнего, относительно легкого, слоя, подстилаемого моренными карбонатными закаменными суглинками. В южной части стационара мощность верхнего песчано-супесчаного наноса местами превышает 1,5 м, на вершине и северном склоне холма она составляет около 1 м, а в межхолмной депрессии на севере стационара морена

местами выходит на поверхность. Как правило, почвы в ареалах с господством мощных поверхностных слоев характеризуются пахотными горизонтами более легкого гранулометрического состава, чем в местах с близким к поверхности залеганием морены.

Почвенный покров (ПП) полигона представлен вариацией-мозаикой дерново-подзолистых почв разной степени оглеения. Пестрота ПП обусловлена литологической неоднородностью почвообразующих пород по горизонтали и вертикали. В пределах полигона выделены три типа элементарных почвенных структур (ЭПС): подзолисто-гидроморфные вариации-ташеты вершины и верхних частей склонов; подзолисто-эрозионно-гидроморфные вариации-ташеты средних частей склонов; подзолисто-гидроморфные пятнистости-ташеты межхолмных депрессий. Каждая из них характеризуется определенным набором элементарных почвенных различий, что отражается на пространственной вариабельности почвенного покрова. Полигон осушен гончарным дренажем со средним междренним расстоянием 30 м. Для достижения поставленной цели с 2019 по 2021 гг. осуществляли мониторинг состояния растений ярового овса сорта Аргамак, клевера красного сорта ВИК 7, тимофеевки луговой сорта ВИК 9, сорных видов [15, 16, 17]. Плотность корней определяли по общепринятой методике [18], агрохимические и агрофизические свойства почв по действующим методикам [19, 20] на агроэкологической трансекте (физико-географическом профиле) – узком севооборотном массиве, состоящем из десяти продольных полей, пересекающих все микроландшафтные позиции конечно-моренной гряды: транзитно-аккумулятивные (Т-А) геокомплексы нижних частей склонов и межхолмных депрессий, характеризующиеся накоплением элементов питания из намывных и грунтовых вод; транзитные (Т) ландшафты, расположенные в центральных частях склонов, в которых господствует латеральный (параллельный поверхности) ток влаги; элювиально-транзитные (Э-Т) местоположения верхних частей склонов, где, наряду с латеральным током влаги, происходит ее вертикальное перемещение по почвенному профилю; элювиально-аккумулятивный (Э-А) ландшафт вершины, в пределах которого вертикальное промывание почвенного профиля чередуется с локальной концентрацией влаги в микропонижениях (блюдцах).

Поле шириной 7,2 м и длиной 1300 м, на котором проводили наблюдения, располагается в пределах трансекты. Изучаемый агроценоз был образован при посеве овса и трав 2 мая 2019 г. В 2020 г. на его месте располагался клеверотимофеечный травостой 1-го года пользования, а в 2021 г. – травостой 2-го года пользования. Мониторинг свойств надземного и подземного ярусов растительного покрова проводили в 30-и точках опробования (в 4-кратной повторности), регулярно расположенных по трансекте на расстоянии 40 м одна от другой (расстояние между повторностями – 10 м). Площадь учетной делянки 1 м<sup>2</sup>. Мониторинг свойств почвенного покрова и рельефа осуществляли в 30-и точках, равномерно расположенных по трансекте на расстоянии 40 м одна от другой. Площадь учетной делянки 20 м<sup>2</sup>.

Статистический анализ массивов данных выполняли с использованием пакета Statistica 12. В ходе корреляционного анализа рассчитывали влияние параметров рельефа, растительного и почвенного покровов на плотность корней в разные сроки развития агроценоза трав. Степени воздействия параметров рельефа, растительного и почвенного покровов на плотность корней определяли с использованием мультирегрессионного

анализа. Для выявления характера воздействия ландшафтной и почвенной структур на плотность ризосферы и рост ее плотности за 2019–2021 гг. использовали одно- и двухфакторный дисперсионный анализ. Для определения влияния факторов ландшафтной среды на пространственно-временную динамику величин этих показателей собственно мониторинговые (плотность корней) и преобразованные (прирост плотности) данные обрабатывали методом дисперсионного анализа, в котором фактором А выступал характер микроландшафтного устройства полигона – «агроландшафты» (АМЛ) (Т-Аю, Тю, Э-Тю, Э-А, Э-Тс, Тс, Т-Ас, Тю2, Э-Тю2 – строчными буквами обозначена экспозиция склона). При определении влияния гидроморфизма почв на эти же показатели, фактором А служил характер заболоченности почв – «гидроморфизм» (глеевые, глееватые и слабооглеенные почвы), структуры почвенного покрова – «элементарные почвенные структуры» (ЭПС) с номерами от I до X. Фактором В во всех расчетах выступали «годы исследований» (2019, 2020, 2021). Степень влияния ландшафтных и почвенных факторов на плотность корней вычисляли на основе метода Н. А. Плохинского путем деления частной факториальной суммы квадратов на общую [21]. Кроме того, для трав 1-го и 2-го г.п. рассчитывали динамические коэффициенты прироста плотности корней ( $\Delta$ ) как частное от деления величин плотности за 2020 г. на значения за 2019 г. для трав 1-го г.п., а также величин плотности за 2021 г. на значения за 2020 г. для трав 2-го г.п.

**Результаты и обсуждение.** По мере развития агроценоза средняя по агроландшафту плотность корней

**Табл. 1. Результаты корреляционного анализа влияния факторов природной среды агроландшафта на плотность корней\***

Фактор	Коэффициент корреляции
<b>2019 г.</b>	
Клевер, густота травостоя, шт./м <sup>2</sup>	0,47
Содержание легкогидролизующего азота в почве, мг/кг	0,55
Содержание водопрочных агрегатов в почве 0,5...0,25 мм	-0,45
Содержание валового кальция в почве, %	0,47
Высота местности, м	-0,52
<b>2020 г.</b>	
Тимофеевка, средняя масса растения, г/м <sup>2</sup>	0,36
Тимофеевка, средняя масса листьев, г/м <sup>2</sup>	0,42
Клевер, средняя высота, см	0,39
Клевер, средняя масса растений, г/м <sup>2</sup>	0,58
Клевер, средняя масса листьев, г/м <sup>2</sup>	0,63
Хвощ, количество шт./м <sup>2</sup>	0,39
Хвощ, средняя высота, см	0,39
Подорожник, количество шт./м <sup>2</sup>	0,39
Подорожник, средняя высота, см	0,39
Содержание валового свинца в почве, %	0,44
Содержание валового титана в почве, %	0,39
Содержание валовой меди в почве, %	0,37
Высота местности, м	0,39
<b>2021 г.</b>	
Содержание отдельных частиц в почве 7...5 мм	0,47
Содержание отдельных частиц в почве 5...3 мм	0,39
Содержание водопрочных агрегатов в почве 5...3 мм	0,47
Содержание водопрочных агрегатов в почве 3...2 мм	0,39

\* достоверны коэффициенты >0,32.

увеличилась более чем в 5 раз. Если в 2019 г. она составляла 191,4, в 2020 г. – 687,8, то в 2021 г. – 1014,7 г/м<sup>2</sup>. Существенной перестройке подверглась и структура факторов, достоверно влияющих на величину этого показателя (табл. 1).

По мере роста и развития травостоя происходила коренная трансформация характера взаимодействия ризосферы с ландшафтной средой. Так, в 2019 г., в период развития клеверотимофеечного травостоя преимущественно под покровом овса, на плотность корней заметно влияла густота стояния клевера. Максимальное воздействие на подземную биомассу агроценоза в этот период оказывало содержание специфического органического вещества в почве и особенности ее порового пространства – наибольшая плотность корней отмечена в местах с повышенным содержанием легкогидролизующего азота. Прямая корреляция с валовым содержанием кальция свидетельствует о том, что в местах с близким залеганием морены на оструктуренных почвах корневые системы растений развиваются лучше. На ранних этапах развития агроценоза наиболее благоприятные условия для корневых систем складываются в понижениях местности.

Корреляционный анализ выявляет парные взаимодействия между изучаемыми факторами. На основе мультирегрессионного анализа возможно определить системные взаимосвязи в исследуемом факториальном пространстве. Так, уравнения регрессии для условий 2019 г., в котором предикторами выступают факторы, приведенные в табл. 1, объясняет около 62 % пространственной вариативности плотности корней. Наибольшее влияние (22,4 % вариативности) на ее изменчивость оказывает густота стояния клевера, количество водопрочных агрегатов в почве определяет 16,4 % дисперсии плотности корней, содержание в почве легкогидролизующего азота – 12,7 %, а валового кальция – 10,2 %. При учете характера взаимодействия факторов достоверное влияние высоты местности на плотность корней не обнаружено.

За 2020 г., под покровом трав 1-го г.п., плотность корней увеличилась в 3,6 раза. На развитие корневых систем в этот период наибольшее влияние оказывал характер межвидовой борьбы в агроценозе. Отмечена максимальная зависимость изучаемого параметра ризосферы от состояния клевера, прежде всего от его облиственности, несколько меньше от массы растений и в наименьшей степени от их высоты. Это объясняется господством клевера в наземном ярусе. Особенности состояния тимофеевки, хвоща и подорожника в агроценозе также оказывали заметное влияние на подземную биомассу, однако значительно слабее, чем клевер. На северном склоне, наиболее благоприятном для его произрастания, отмечено повышенное содержание валовых форм металлов вследствие более тяжелого гранулометрического состава почв, что и отражается на результатах корреляционного анализа. Под взрослым травостоем максимальное в опыте развитие корневой системы отмечено на верхних гипсометрических отметках агроландшафта, где наилучшая освещенность и реже случаются гидротермические стрессы. По результатам регрессионного анализа наибольшее достоверное влияние на вариативность плотности корней (24 %) при таком возрасте травостоя оказывает пространственная изменчивость массы клевера, на 13,1 % она зависит от массы тимофеевки, на 10,1 % от густоты стояния хвоща и на 7,8 % от высоты клевера. В целом модель объясняет около 70 % пространственной изменчивости плотности корней.

**Табл. 2. Результаты дисперсионного анализа влияния особенностей ландшафтной среды и почвенного покрова на пространственно-временную динамику плотности корней, %**

Фактор	Плотность корней	Прирост плотности
АМЛ	1,6	0,6
НСР <sub>0,05</sub>	–	–
Год	38,9	6,7
НСР <sub>0,05</sub>	200 г/м <sup>2</sup>	4 г/м <sup>2</sup>
АМЛ×Год	3,7	12,1
НСР <sub>0,05</sub>	160 г/м <sup>2</sup>	3 г/м <sup>2</sup>
Ошибка	40,7	76,3
Гидроморфизм	0,5	0,1
НСР <sub>0,05</sub>	–	–
Год	14,5	2,5
НСР <sub>0,05</sub>	200 г/м <sup>2</sup>	4 г/м <sup>2</sup>
Год×Гидроморфизм	0,1	0,2
НСР <sub>0,05</sub>	–	–
Ошибка	45,4	88,7
ЭПС	1,0	0,1
НСР <sub>0,05</sub>	–	–
Год	30,9	4,0
НСР <sub>0,05</sub>	200 г/м <sup>2</sup>	4 г/м <sup>2</sup>
ЭПС×Год	2,0	7,3
НСР <sub>0,05</sub>	–	–
Ошибка	43,1	81,6

В период старения травостоя, под травами 2-го г.п., происходит снижение интенсивности роста корневой системы агроценоза – за 2021 г. ее средняя плотность увеличилась только в 1,5 раза. В этот период развития трав межвидовые взаимодействия достоверного влияния не оказывали. Плотность корней в основном зависела от особенностей гранулометрического состава почв, влияющего на характер их порового пространства. Увеличение содержания грубых (скелетных) фракций в почве способствовало развитию гравитационной порозности, которая во многом определяла архитектуру корневых систем. В свою очередь характер подземного яруса агроценоза влиял на агрономически ценную структуру

почв – отмечена прямая взаимосвязь между плотностью корней и количеством водопрочных агрегатов от 5 до 2 мм. Регрессионный анализ выявил достоверное воздействие на изменчивость величины изучаемого показателя только наиболее грубой скелетной фракции (22,5 %).

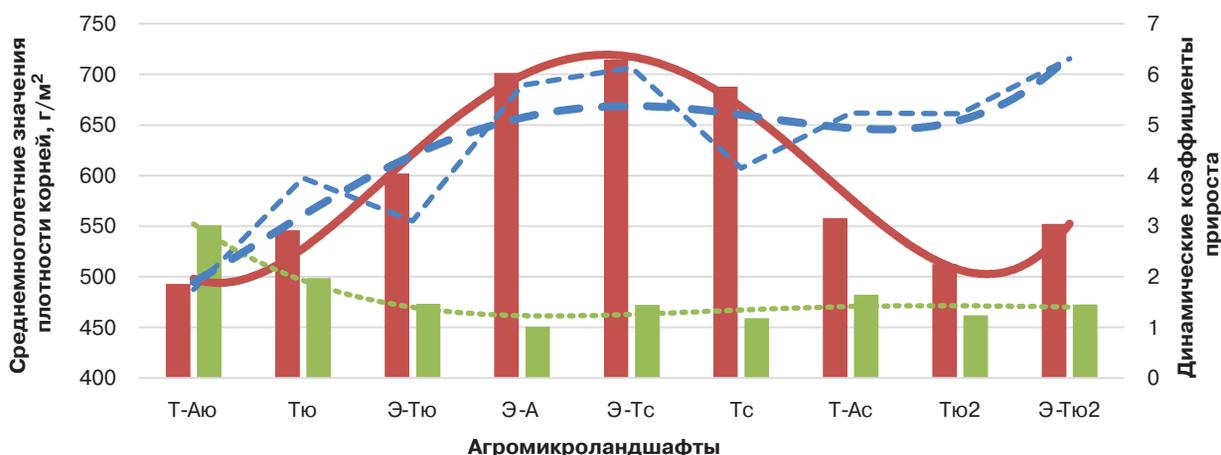
Влияние на корневые системы факторов агроландшафта, параметры которых трудно описать числом (они не формализуемы), выявляется на основе дисперсионного анализа. Обработка данных этим методом показала отсутствие непосредственного прямого достоверного влияния структурных элементов ландшафта и почвенного покрова на варибельность показателей корневых систем, что объясняется сложностью их природы и многофакторностью воздействия на подземную биомассу агроценоза (табл. 2).

Годы исследований достоверно влияют на динамику параметров ризосферы. Разнообразие агромикрорландшафтных обстановок и элементарных структур почвенного покрова в геосистеме отражается на корневых системах трав только в виде парных взаимодействий со временем их жизни. Можно отметить, что время жизни травостоя максимальным образом сказывается на динамике непосредственно плотности корней, тогда как структурные особенности ландшафта и почвенного покрова в значительной степени влияют на динамику ее прироста.

Гидроморфизм почв не оказывает достоверного воздействия на корневые системы ни напрямую, ни в виде парных воздействий, что можно объяснить сильной мозаичностью почвенного покрова, на фоне которой видовые различия почв не представляются определяющими для развития корневых систем.

В различных частях конечно-моренного холма усредненные за годы исследований значения плотности корней изменяются от 480 до 710 г/м<sup>2</sup>, однако отмечена устойчивая тенденция повышения величины этого показателя с юга на север (см. рисунок). Можно сказать, что при утяжелении гранулометрического состава почв происходит определенное уплотнение корневых систем трав.

Расчет динамических коэффициентов прироста плотности корней ( $\Delta$ ) позволил выявить пространственные закономерности временной изменчивости интенсивности развития подземной биомассы трав в пределах агроландшафта. Следует отметить, что по-



*Пространственно-временная динамика плотности корней клеверотимофеечного травостоя в пределах агроландшафта конечно-моренного холма: ■ –  $\Delta$  2020/2019 гг.; ■ –  $\Delta$  2021/2020 гг.; — — — — средняя плотность корней; — — — — полиномиальная ( $\Delta$  2020/2019 гг.); — — — — полиномиальная ( $\Delta$  2021/2020 гг.); — — — — полиномиальная (средняя плотность корней).*

стоянное ускорение развития корней происходит только в межхолмной депрессии на юге стационара – в местах господства мощных двучленных отложений и аккумуляции органического вещества и питательных веществ. Во всех остальных местоположениях моренного холма отмечено резкое замедление прироста плотности корней под травами 2-го г.п.

Результаты однофакторного дисперсионного анализа пространственной вариабельности  $\Delta$  свидетельствуют, что микроландшафтные условия достоверно ( $HSP_{0,05} = 3,1$ ) определяют 21,5 % ее изменчивости только под травами 1-го г.п.

Под травами 1-го г.п. значения  $\Delta$  коррелируют с массой тимфеевки ( $r=0,36$ ), массой ее листьев ( $r=0,49$ ) и со степенью облиственности клевера ( $r=0,42$ ), что отражает напряженность межвидовой борьбы в этом агроценозе. Под травами 2-го г.п. степень временной изменчивости интенсивности развития корней прямо пропорционально зависит от густоты стояния тимфеевки ( $r=0,54$ ) и обратно пропорционально от состояния клевера – его высоты ( $r=-0,47$ ), массы ( $r=-0,47$ ), массы листьев ( $r=-0,45$ ), что свидетельствует о значительном усилении роли в сообществе злакового компонента. Заметно влияние на нее почвенных параметров: частиц диаметром 1...2 мм ( $r=-0,38$ ), водопрочных агрегатов 0,5...1 мм ( $r=-0,38$ ), валового содержания свинца ( $r=-0,48$ ), титана ( $r=-0,40$ ) и меди ( $r=-0,47$ ) – значения  $\Delta$  снижаются с юга на север полигона. Существенное влияние оказывает и высота местоположения ( $r=-0,40$ ).

Таким образом, рост и развитие корневых систем клеверотимфеевых травостоев в пределах агроландшафта конечно-моренного холма – сложные, полигенетические процессы, которые выражаются в своеобразной пространственно-временной динамике их плотности, зависящей, как от внутренних (биогеоценотических), так и внешних (ландшафтных) причин. Внутренние причины, обусловленные развитием агроценоза, приводят к увеличению плотности корней за период с 1 по 3 год жизни в 5 раз. По мере старения травостоя происходит затухание интенсивности развития корней – если за первый год жизни образовалось 19 % плотности корневых систем, за второй – 48 %, то за третий только 33 %.

Время выступает главным фактором развития корневой системы агроценоза трав. На первом году жизни травостоя развитие корней зависит от состояния бобовых, элементов плодородия почв и высоты местности; на втором году – от особенностей межвидовой борьбы в агроценозе, гранулометрического и минералогического состава почв и высоты местоположения; на третьем году – в основном от специфики порового пространства почв.

Особенности микроландшафтного устройства территории и ее почвенного покрова оказывают влияние на развитие корневых систем только во временном разрезе – они воздействуют в основном на характер тенденций увеличения их плотности. Микроландшафтные условия определяют 21,5 % изменчивости прироста плотности корней только под травами 1-го г.п. Под травами 2-го г.п. по мере утяжеления гранулометрического состава почв отмечена лишь тенденция уменьшения интенсивности прироста плотности корней. Можно сказать, что на легких породах при старении травостоя происходит усиление интенсивности прироста корней, тогда как на тяжелых породах, со временем, развитие корней замедляется.

С точки зрения ландшафтного земледелия новые знания, полученные при мониторинге состояния корневых систем травостоев, позволяют определить стра-

тегию адресного размещения трав в агроландшафте. При использовании трав в пределах конечно-моренных ландшафтов Нечерноземья не только в кормовых целях, но и как инструмента рекультивации ландшафта, можно рекомендовать размещение старых травостоев на легких скелетных почвах, тогда как в местах с близким залеганием морены целесообразно эксплуатировать только травы 1-го г.п.

### Литература

1. *Lateral root development in Arabidopsis: fifty shades of auxin* / J. Lavenus, T. Goh, I. Roberts, et al. // *Trends Plant Sci.* 2013. No. 18. P. 455–463. doi: 10.1016/j.tplants.2013.04.006
2. *Root exudation of primary metabolites: mechanisms and their roles in plant responses to environmental stimuli* / A. Canarini, C. Kaizer, A. Merchant, et al. // *Front. Plant Sci.* 2019. Vol. 10. P. 1–19. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00157/full> (дата обращения: 15.07.2022). doi: 10.3389/fpls.2019.00157.
3. Иванов Д. А. Ландшафтно-мелиоративные системы земледелия – новый этап экологизации сельскохозяйственного производства // *Международный научно-исследовательский журнал.* 2017. № 9 (63-2). С. 96–100. doi: 10.23670/IRJ.2017.63.084.
4. Kiryushin V. I. *The Management of Soil Fertility and Productivity of Agroecosystems in Adaptive-Landscape Farming Systems* // *Eurasian Soil Science.* 2019. Vol. 52 (9). P. 1137–1145. doi: 10.1134/S1064229319070068.
5. Сапиев А. Х. Особенности развития корневой системы многолетних злаков на нарушенных землях енисейского севера // *Достижения науки и техники АПК.* 2013. № 11. С. 31–34.
6. Сейдафаров Р. А. Изучение корневых систем древесных растений методом среза (на примере корневых систем липы мелколистной) // *Вестник КрасГАУ.* 2013. № 5 (80). С. 92–97.
7. Зинченко С. И., Рябов Д. А. Особенности формирования корневой системы зерновых культур в агроэко-системах серой лесной почвы // *Фундаментальные исследования.* 2014. № 8-3. С. 651–656.
8. Гочияева З. У., Гедиев К. Т., Токова Ф. М. Влияние уклона местности на развитие корневой системы и эрозию почвы в зависимости от типа землепользования // *Успехи современного естествознания.* 2018. № 5. С. 33–39.
9. *Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes* / M. L. McCormack, I. A. Dickie, D. M. Eissenstat, et al. // *New Phytologist.* 2015. No. 207. P. 505–518. doi: 10.1111/nph.13363.
10. Versen C. M. *Using root form to improve our understanding of root function* // *New Phytologist.* 2014. Vol. 203. P. 707–709. doi: 10.1111/nph.12902.
11. *Root growth and root system architecture of field-grown maize in response to high planting density* / S. Hui, X. Tingting, W. Dali, et al. // *Plant and Soil.* 2018. Vol. 430. P. 395–411. doi: 10.1007/s11104-018-3720-8.
12. *Root density drives aggregate stability of soils of different moraine ages in the Swiss Alps* / G. Konrad, G. Tobias, T. Ludwig, et al. // *Plant and Soil.* 2021. Vol. 468. P. 439–457. doi: 10.1007/s11104-021-05111-8.
13. *Актинобиота корней Rhaponticum carthamoides (Willd.) Pjin как потенциальный источник микробиологических препаратов для растениеводства* / И.Г. Широких, Я.И. Назарова, А.В. Бакулина и др. // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока.* 2022. № 23(4).

- С. 515-526. doi: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.515-526.
14. Создание ландшафтного полигона нового поколения / Д. А. Иванов, Е. М. Корнеева, Р. А. Салихов и др. // Земледелие. 1999. № 6. С. 15–16.
15. Лунева Н. Н., Мысник Е. Н. Современная ботаническая номенклатура видов сорных растений Российской Федерации. Справочник. СПб.: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений РАСХН, 2018. Том. 26. 80 с. doi: 10.5281/zenodo.1241599.
16. Перфильев Н. В., Вьюшина О. А., Тимофеев В. Н. Соотношение видов сорных растений под влиянием севооборота и систем основной обработки почвы в условиях Северного Зауралья // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 5. С. 35–40. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10509.
17. Влияние обработки почвы и применения удобрений на динамику численности сорных растений в посевах многолетних трав / А. И. Беленков, Н. В. Ваганова, М. Ю. Иванова и др. // Кормопроизводство. 2022. № 1. С. 7–11. doi: 10.25685/KRM.2022.64.74.001.
18. Рожков В. А., Кузнецова И. В., Рахматуллоев Х. Р. Методы изучения корневых систем растений в поле и лаборатории: учеб.-методич. пособие. 2-е изд. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. 51 с.
19. Радов А. С., Пустовой И. В., Корольков А. В. Практикум по агрохимии. М.: Колос, 1978. 351 с.
20. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв: учебное пособие, 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
21. Плохинский Н.А. Биометрия. М.: МГУ, 1970. 367 с.

**Поступила в редакцию 02.06.2022**

**После доработки 15.09.2022**

**Принята к публикации 20.10.2022**