

УДК 631.4

UDC 631.4

03.00.00 Биологические науки

Biology

МИКРООРГАНИЗМЫ ПЕДОСФЕРЫ И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА АГРАРНЫХ ЛАНДШАФТОВ**MICROORGANISMS OF PEDOSPHERE AND PECULIARITIES OF THE SOIL COVER OF AGRICULTURAL LANDSCAPES**

Белюченко Иван Степанович

Belyuchenko Ivan Stepanovich

д-р биол. наук, профессор

Dr.Sci.Biol., professor

РИНЦ SPIN-код=[3768-8950](#)

RSCI SPIN-code = 3768-8950

*ФГБОУ «Кубанский государственный аграрный университет», Краснодар, Россия**Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

По своим физическим и химическим свойствам почва представляет собой полидисперсную гетерогенную многокомпонентную уникальную среду для развития большинства микроорганизмов. По микробному генофонду почва является самым богатым природным субстратом. Присутствие в почве растений и животных поддерживает её гетерогенность как среды обитания почвенных микроорганизмов, выступающих основными природными регуляторами газового состава атмосферы Земли, включая её макро- и микрокомпоненты; в числе которых главные «парниковые» газы – метан, двуокись углерода и закись азота. Выяснение этих особенностей жизнедеятельности почвенных организмов привело в последнее время к общему выводу, что именно благодаря им, почвенный покров выполняет роль глобальной биогеохимической мембраны, через которую происходит обмен веществом и энергией между педосферой, литосферой, атмосферой, гидросферой и основными живыми обитателями Земли

The soil by its physical and chemical properties is a poly-dispersed heterogeneous multicomponent unique environment for development of most microorganisms. The soil is the richest natural substrate according to microbial gene fund. Presence of plants and animals in soil maintains its heterogeneous as environment of soil microorganisms, which are main regulators of natural gas composition of atmosphere of Earth, including its macro- and micro-components (including the main "greenhouse" gases - methane, carbon dioxide, nitrous oxide). Recently, the elucidation of these singularities of vital activity of soil organisms has resulted in general conclusion - due to them soil cover serves as a global bio-geo-chemical membrane, through which the exchange of matter and energy between pedosphere, lithosphere, atmosphere, hydrosphere and main living inhabitants of Earth does its work

Ключевые слова: ГЕТЕРОГЕННОСТЬ, КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ, ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО, МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО, ЛЕСОПОЛОСЫ, ЛЮЦЕРНА, ОЗИМАЯ ПШЕНИЦА, ПОЛЕ КУКУРУЗЫ, ПОЛЕ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Keywords: HETEROGENEITY, NUTRIENT CYCLE, ORGANIC MATTER, MICROBIOLOGICAL SOCIETY, WINDBREAKS, ALFALFA, WINTER WHEAT, FIELD CORN, SUGAR BEET FIELD

Doi: 10.21515/1990-4665-121-063

Микроорганизмы наиболее активно освоили все составляющие природной среды. Из всех сред обитания наиболее богаты ими оказались почвы, в одном грамме которой концентрируется до 10 млрд клеток и более. Несмотря на то, что средняя масса бактериальной клетки составляет всего $7-9 \cdot 10^{14}$ г, их живая биомасса в почве на площади 1 га составляет до 2–5 т. Почва является естественной средой обитания основных микроорганизмов. Особенностью почвы является её гетерогенность и наличие всех условий

для благоприятного развития микроорганизмов (влаги, органические и минеральные вещества и т. д.). Из природных субстратов почва наиболее обильно населена микроорганизмами, которые являются её постоянной составляющей и играют в ней огромную санитарно-гигиеническую роль. Почвенные микроорганизмы участвуют в минерализации органических веществ, их самоочищении, и именно им принадлежит основная роль в круговороте веществ в природе [19].

Большая роль почвообитающих микроорганизмов в поддержании стабильности аграрных ландшафтов и биосферы в целом признается всеми экологами. Впервые на ведущее положение почвенных организмов в биосфере указывал еще В. И. Вернадский [17], подчёркивавший, что «почвы, переполненные живым веществом, представляют живую плёнку суши».

Количественный и качественный видовой состав микроорганизмов в почве обусловлен содержанием в ней органических веществ, влаги и других свойств. С увеличением количества органических веществ в почве, как правило, возрастает и количество микроорганизмов. Органические вещества являются питательной средой для большинства почвенных бактерий. Наиболее богаты микроорганизмами черноземные и каштановые почвы, в 1 г которых количество бактерий достигает весьма значительных величин. Максимальное количество микробов в почве содержится на глубине 10–20 см. Начиная с глубины в 1–2 м количество их резко сокращается; по мере углубления в почве уменьшается содержание органических веществ, а также кислорода, необходимого для жизнедеятельности ассоциативных аэробных бактерий. Численность микроорганизмов в почве увеличивается по направлению с севера на юг, причём весной количество их значительно возрастает, достигая максимума к началу лета, осенью и зимой их количество резко уменьшается [19, 20].

Благодаря органическому веществу почва заселяется многочисленными микроорганизмами, с которыми связаны сложнейшие и разнообраз-

ные биохимические процессы. Для растений более существенна та часть органического вещества почвы, которая наиболее доступна разложению микроорганизмами, т.е. свежие органические остатки и промежуточные продукты распада. Получение качественной продукции возделываемых культур при сохранении плодородия почв в условиях производства невозможно осуществить без понимания особенностей основных почвенных процессов, сопровождающих трансформацию органических веществ и азота (минерализация, иммобилизация, денитрификация, биологическая азотфиксация и миграция), характеризующих их циклы развития [8, 9, 11].

В настоящее время можно выделить два подхода по регулированию азотного баланса в почвах агроландшафтов: химический (применение минеральных удобрений, синтетических ингибиторов и др.) и биологический или экологический (использование органических удобрений, создание оптимальных условий для развития и функционирования необходимой микрофлоры, разработка и внедрение севооборотов с учётом реакций минерализации-иммобилизации азота). Анализ основных тенденций развития сельского хозяйства в наиболее развитых и технически оснащённых странах показывает всё возрастающий интерес к идее биолого-экологического подхода в системе устойчивого земледелия. Ведущее место при этом принадлежит сообществам почвенных микроорганизмов, поскольку именно они являются ключевым фактором почвообразовательного процесса и питания растений [24]. Изучению ассоциаций микроорганизмов посвящено много исследований [19, 20], хотя в крае такие вопросы изучены мало, что и обусловило необходимость проведения нашей работы в этом плане в пределах аграрных ландшафтов ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района [3, 4].

Цель и задачи работы. Целью наших исследований явилось изучение роли ассоциативной микрофлоры в функционировании агроландшафтных систем. Большую помощь в осуществлении работы оказали нам

кандидаты биологических наук Волошина Г. В. и Пономарева Ю. В. Для выполнения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) изучены микробиологические сообщества в агроландшафте ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района (поля лесополос, пшеницы, кукурузы, сахарной свеклы и люцерны);
- 2) оценены агрохимические особенности почв агроландшафта;
- 3) установлены связи микробных сообществ с органическим веществом в агроландшафте [25, 26].

Черноземные почвы богаты микрофлорой и микрофауной, в них встречаются все формы микроорганизмов: бактерии, вирусы, актиномицеты, дрожжи, грибы, простейшие, вирусы, водоросли, высшие растения. Общее микробное число микроорганизмов в 1 г почвы может достигать от 1 до 5 млрд [19, 20].

Результаты исследований и их обсуждение

Органическое вещество в почвах агроландшафта. Органическое вещество представляет собой сложную смесь природных соединений, формирующуюся в процессе разложения отмерших остатков растительных и животных организмов. По массе оно состоит на 98,5 % из углерода, кислорода и других составляющих воздуха, включая небольшое количество азота, фосфора, серы, калия и множества других элементов. Органическое вещество концентрируется в основном в верхних горизонтах почвы, где его доля колеблется от 1–2 %; считается основным компонентом почвенного покрова, и уровень его концентрации считается основным показателем плодородия. Поддерживать плодородие почв можно путем внесения под пахоту органических удобрений (полуперепревший навоз, различные компосты и т. д.), а также за счет посева зеленых удобрений (в основном бобовые культуры) с заашкой в почву, увеличения в севообороте многолетних трав и т. д. [1, 5, 7].

В течение последних 30 лет в земледелии нашей страны, включая и изучаемое хозяйство, где проводились исследования, нарушены устоявшиеся до того формы и методы использования земель (внесение органического вещества практически исключено из технологий до 50 %, больше стали занимать в севообороте зерновые культуры и т. д.) В связи с этим мы посчитали необходимым на каком-то этапе оценить содержание органического вещества в почве с целью отслеживания в последующем её уровень в агроландшафтах уже в новых условиях хозяйствования. С учетом поставленной цели во всем хозяйстве были проведены площадные съемки содержания в его почвах органического вещества. Данная съемка учитывала специфику основных составляющих ландшафта (лесные полосы, поля севооборота). Было отобрано свыше 600 почвенных образцов на площади 6500 га (табл. 1), определено содержание в них органического вещества и проанализированы полученные результаты [1, 5].

Таблица 1 – Содержание органического вещества в почвах агроландшафта, %

Показатель	Поля	Лесополосы
Среднее значение	4,02	5,31
Минимум	2,93	4,38
Максимум	5,03	7,61
Стандартная ошибка	0,04	0,22
Коэффициент вариации	12,84	12,64

Содержание органического вещества в пахотном горизонте (0-20 см) чернозема обыкновенного в среднем по хозяйству составляет $4,15 \pm 0,07$ %, что позволяет отнести почвы в целом к слабогумусным и малогумусным. Содержание органического вещества в почвах полей севооборотов колеблется в пределах $4,02 \pm 0,04$ %. В среднем содержание органического вещества на полях севооборотов составило $4,02 \pm 0,04$ % при сравнительно низком коэффициенте вариации. Содержание органического вещества в почвах лесных полос существенно выше, чем в почвах полей севооборотов. В общем же содержание органического вещества в почвах ландшафта варьи-

рует от 2,93 до 5,03, а в почвах лесных полос от 4,38 до 7,61 в 2013 г. [10, 21.]

Рассматривая в целом всю площадь хозяйства, можно отметить, что содержание органического вещества в почвах широко варьирует от 2,93 до 7,61 %, что позволяет отнести почвы агроландшафта к слабогумусным и малогумусным. Сравнивая средние показатели содержания органического вещества в почвах различных составляющих агроландшафта, следует отметить относительно высокий их уровень на территории лесных полос, что безусловно связано с постоянным накоплением здесь опадающих листьев, побегов и плодов деревьев и кустарников, а также травяного покрова. Почвы аграрной зоны (поля севооборотов) наиболее бедны (3,45 и 4,02 %) органическим веществом, что указывает на его потери в связи с постоянным отчуждением урожая и внесением значительных количеств минеральных удобрений (особенно азотных), усиливающих минерализацию органического вещества. Необходимо отметить, что на содержание органического вещества в почве влияют возделываемые в севообороте сельскохозяйственные культуры (табл. 2). На полях с люцерной средний показатель содержания органического вещества составил 3,79, на полях под озимой пшеницей и кукурузой – 3,67 и 3,72, а в лесополосах – 3,39 % при весьма невысоких коэффициентах вариации и стандартной ошибки [12, 14, 23].

Таблица 2 – Содержание органического вещества в верхнем слое почвы, %

Культура	Показатель				
	Среднее значение	Минимум	Максимум	Стандартная ошибка	Коэффициент вариации
Лесополосы	3,39	2,94	3,81	0,09	8,48
Люцерна	3,79	3,60	4,22	0,04	5,17
Озимая пшеница	3,67	3,32	3,95	0,07	7,43
Поле кукурузы	3,72	3,10	4,01	0,08	8,05
Поле сахарной свеклы	3,75	2,00	4,15	0,07	8,11

Учитывая тот факт, что люцерна является многолетним бобовым растением стержнекорневого типа, то можно предположить, что с учетом

массы корней на глубине 20–60 см роль этой культуры в обогащении почвы органическим веществом будет еще выше. Озимая пшеница и кукуруза формируют мочковатую корневую систему в течение ограниченного периода времени в году, поэтому роль её в накоплении и сохранении органического вещества в почве будет ниже. Краткое сравнение в поведении различных культур указывает на необходимость пересмотра состава севооборотов и технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Естественно, что под разными культурами в севообороте по-разному идет и процесс гумусообразования. Наши исследования показали, что в почве под многолетними травами содержание органического вещества в пахотном слое (0–20 см) было на 0,12 % больше, чем под озимой пшеницей, и на 0,04 % больше, чем под кукурузой и сахарной свеклой [13, 16, 18].

Следовательно, важным путём обогащения почвы органическим веществом и улучшения её водно-физических свойств является включение в севооборот многолетних бобовых трав. По данным ряда исследователей, после двухлетнего использования люцерны содержание гумуса в почве увеличивается на 8–10 %. Её возделывание в сочетании с применением удобрений позволяет добиться в основных звеньях севооборота бездефицитного баланса гумуса. Пополнить запасы органического вещества можно также за счет выращивания культур на зеленое удобрение. В этом отношении на Кубани особенно ценен зимующий горох. Он возделывается как промежуточная культура. Благодаря повышенному содержанию в его массе азота создаются наилучшие условия для гумификации растительных остатков.

Микробное сообщество в почвах агроландшафта. Проведена полная площадная съемка почвенного покрова хозяйства ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района весной в 2006, 2009 и 2011 гг. В ходе микробиологических исследований определяли численность бактерий, микромицетов и актиномицетов. Изучали родовой состав аммонифицирующих, амилоли-

тических, азотфиксирующих, целлюлозоразрушающих, нитрифицирующих и олиготрофных микроорганизмов.

Соотношение различных групп микроорганизмов характеризует состояние микробоценозов. Относительным показателем является коэффициент минерализации, характеризующий отношение численности амилотических микроорганизмов к аммонифицирующим. Сравнительный микробиологический анализ почв различных агроландшафтов (почвы лесополос, почвы с озимой пшеницей, кукурузой и сахарной свеклой и почвы с люцерной) выявил следующее: в исследованных почвах доминирующее положение занимает бактериальный комплекс, он на несколько порядков превышает численность микроскопических грибов (табл. 3).

Таблица 3. Содержание отдельных групп в почвах агроландшафта

Место отбора проб	Органическое вещество, %	Аммонифицирующие, 10^6 КОЕ/г	Амилотические, 10^6 КОЕ/г	Микромицеты, 10^3 КОЕ/г
Лесополоса	5,31	9,7	12,6	15,6
Поле с люцерной	4,24	6,8	11,3	2,0
Поле с озимой пшеницей	4,04	9,4	10,2	3,4
Поле кукурузы	4,02	9,5	10,9	4,6
Поле сахарной свеклы	4,07	9,2	11,2	4,7

Направленность микробиологических процессов в почве обуславливается процессом превращения азотсодержащих соединений. В разных пробах наблюдается колебание численности аммонифицирующих и амилотических микроорганизмов, что определяет колебание коэффициента минерализации. Численность аммонифицирующих и амилотических микроорганизмов составляет 10^6 КОЕ/г. Следует отметить, что в 2011 году наблюдается высокая численность аммонифицирующих микроорганизмов ($8,2 \cdot 10^6$ КОЕ/г), вероятно, это связано с погодными условиями, поскольку весной всегда наблюдалась дождливая погода. Наибольшая численность аммонификаторов отмечена в образцах, отобранных на террито-

рии лесополос данного хозяйства ($9,7 \cdot 10^6$ КОЕ/г), на полях с озимой пшеницей ($9,4 \cdot 10^6$ КОЕ/г), минимальная численность отмечена на полях с люцерной ($6,8 \cdot 10^6$ КОЕ/г) [15, 22].

Накопление микроорганизмов в почве в значительной степени зависит от наличия определенной части органических веществ, а именно той, которая легко используется как источник питания. Микроорганизмы, осуществляющие аммонификацию белковых веществ, выделяют в окружающую среду протеолитические ферменты (протеазы и пептидазы), под действием которых белки гидролизуются до аминокислот, и в конечном итоге происходит минерализация белка до CO_2 , NH_3 и H_2S . Белки разлагают аэробные и анаэробные бактерии, актиномицеты, грибы. В исследуемых образцах наиболее часто среди разрушителей белков выделялись представители родов *Pseudomonas*, *Proteus*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Caulobacter* и др.

Амилолитические микроорганизмы, минерализующие органические вещества на более поздних стадиях, также имеют высокую численность в почвах анализируемых агросистем, в среднем $10,4 \cdot 10^6$ КОЕ/г. Коэффициент минерализации в различных полях севооборота и лесополосе отмечается в высоких значениях, (1,1–1,84), что свидетельствует о более поздних стадиях минерализационного процесса в анализируемых точках. Наиболее низкие показатели были отмечены на поле с озимой пшеницей (1,1), что связано с поступлением большего количества легкодоступного органического вещества в виде пожнивных остатков и мусора в месте отбора проб. Среди амилолитических микроорганизмов в анализируемых системах наиболее часто встречались бактерии и актиномицеты, представители родов *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Streptomyces* и *Nocardia* [22, 24].

Одним из основных микробиологических процессов в почве является нитрификация. В своей деятельности нитрифицирующие бактерии тесно связаны с микроорганизмами, осуществляющими минерализацию (аммо-

нификацию) азотсодержащих органических веществ, приводящую к накоплению аммония. Обычно виды, осуществляющие первую и вторую фазы нитрификации, выделяют из одних и тех же местообитаний. Нитрификаторы составляют важное звено в общем круговороте азота в природе. Основная роль в этом принадлежит автотрофным нитрифицирующим бактериям. Масштабы нитрификации, осуществляемой гетеротрофными микроорганизмами значительно меньше. Долгое время считали, что деятельность нитрифицирующих микроорганизмов способствует повышению плодородия почв, так как они переводят аммоний в нитраты, которые хорошо усваиваются растениями. Кроме того, в результате деятельности нитрификаторов происходит подкисление среды, что повышает растворимость некоторых минералов, содержащих элементы, необходимые растениям.

В изучаемых аграрных ландшафтах наблюдается различная интенсивность процесса нитрификации. В обрабатываемых почвах процесс нитрификации протекает более интенсивно. Показателями мобилизационных процессов в почве являются целлюлозоразрушающие микроорганизмы. Чем лучше идет мобилизация азота в почве, тем больше в ней содержится целлюлозных микроорганизмов. В природе процесс разложения целлюлозы – сложный и комплексный, происходящий под действием разнообразных аэробных и анаэробных бактерий и микроскопических грибов. Разложение целлюлозы осуществляют бактерии, микроскопические грибы и актиномицеты. В летний период возрастает количество актиномицетов. Среди целлюлозоразрушающих микроорганизмов пойменной почвы были выделены представители родов *Cellulomonas*, *Cytophaga*, *Streptomyces*, *Micromonospora*, микроскопические грибы из родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma* [21, 24].

Нитрификация осуществляется группой специфических бактерий, для которых окисление аммонийных солей является источником энергии,

одними из них являются *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*. Почвы исследуемого района обладают высокой нитрификационной способностью, титр нитрифицирующих бактерий стабилен (10^{-5}). Наибольшая численность нитрифицирующих микроорганизмов была выявлена на полях люцерны.

Целлюлозоразрушающие комплексы в изучаемых системах представлены в основном родами *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Cellulomonas*, *Cytophaga*, *Streptomyces*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Alternaria*. В исследуемых агроландшафтах наблюдается различная активность целлюлозоразрушающих микроорганизмов. Наиболее интенсивные процессы целлюлозоразрушения были отмечены на полях с озимой пшеницей и кукурузой (94 %), в лесополосах (90 %), менее интенсивные на полях с люцерной (84 %) (табл. 4).

Таблица 4 – Уровень целлюлозоразрушающей активности в почве

Место отбора проб	Уровень целлюлозоразрушающей активности, %
Лесополоса	90
Поле с люцерной	84
Поле с озимой пшеницей	94
Поле кукурузы	96
Поле сахарной свеклы	88

Возможно, целлюлозоразрушающие микроорганизмы реагируют на различные загрязнения на этом объекте, и следует отметить низкое общее проективное покрытие травянистой растительностью данной территории. Очень важную роль играют в почве бактерии, ассимилирующие атмосферный азот. Фиксировать атмосферный азот могут самые различные микроорганизмы – бактерии, актиномицеты, синезеленые водоросли. На изучаемой территории доминирующими микроорганизмами являются *Azotobacter* и клубеньковые бактерии (на полях с люцерной). *Azotobacter* встречается в высокоплодородных и достаточно влажных почвах. Клубеньковые бактерии способны входить в контакт с корневой системой бобовых растений, проникать в корни, размножаться и вызывать образование клубеньков. Для

фиксации азота необходимы оптимальная температура, влажность, аэрация, рН, а также присутствие в доступной форме фосфора, калия, микроэлементов и т. д.

Уровень потенциальной активности азотфиксирующей микрофлоры на исследуемых участках в среднем составляет 95 %. Наиболее низкая активность отмечена в лесополосе (92 %), На полях севооборота этот показатель, наоборот, высок: на полях с люцерной уровень потенциальной азотфиксации составляет 96 %, на полях с озимой пшеницей и кукурузой – 97 %.

Актиномицеты в почвенных микробоценозах. Актиномицеты служат неотъемлемой частью микробного комплекса анализируемой почвы. Актиномицеты способны осуществлять процессы трансформации разнообразных, в первую очередь, труднодоступных органических веществ в почвах. Актиномицеты участвуют также в накоплении в почве биологически активных веществ и формировании их азотного баланса.

Результаты исследований показывают, что численность и разнообразие актиномицетов в почвенном покрове лесополос был в основном ниже по сравнению с полями севооборота. Полезатитные лесонасаждения имеют влажность почвенного покрова выше по сравнению с севооборотом агроландшафта. При сопоставлении численности актиномицетов на полях с люцерной и озимой пшеницей обнаружено, что под бобовой культурой она была ниже. Поскольку люцерна является многолетней культурой с длительным периодом вегетации, то в севообороте с ней наблюдается постоянный привнос в почву свежего органического вещества в виде растительных остатков и корневых выделений, что обуславливает высокую численность сапротрофных бактерий [22].

Анализ полученных данных показал также, что наиболее часто встречались актиномицеты, относящиеся к секции *Cinereus*. Среди видов данной таксономической категории были выделены *Chromogenes*,

Violaceus, Aureus. В почвенном покрове они входят в состав микробиологического комплекса, осуществляющего процесс разложения сложных органических веществ. Возможно, широкое распространение в агроландшафтах некоторых видов стрептомицетов определяется значительной устойчивостью их к высушиванию, временному отсутствию питательных веществ и эффективностью расселения спор [2, 23].

Почвенные микромицеты – важная составная часть микробоценоза. Одним из пунктов микробиологического анализа почв в х. Коржи был количественный учёт микромицетов и определение их видовой принадлежности. Численность микромицетов весной в почвах различных зон агроландшафта колебалась от 2,0 до 15,6 тыс. КОЕ/г. Максимальное количество грибов выделено из почв лесополос (15,6 тыс. КОЕ/г). Качественный состав микромицетов довольно разнообразен. Наиболее обычными, широко распространенными в почвах являются плесневые грибы, представители родов *Penicillium* (34,2 %), *Aspergillus* (6,5 %), *Rhizopus* (13,31 %). Также довольно часто встречались представители родов *Cladosporium* (38,31 %) и *Fusarium* (8,06 %) (рисунок).

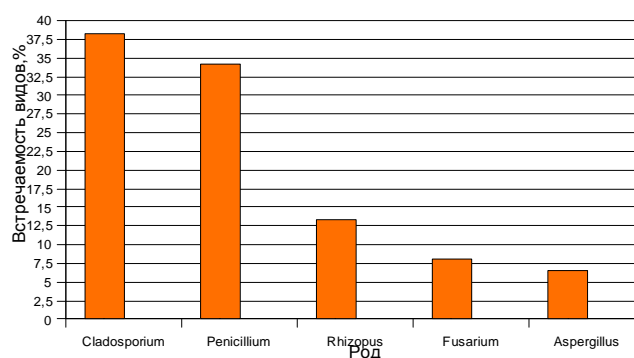


Рисунок – Состав микроскопических грибов в агроландшафте

Микроорганизмы ответственны за многие экологические функции почв. При самом активном и широком участии микроорганизмов в природе постоянно осуществляются два противоположных процесса: синтез сложных органических соединений из минеральных веществ и, наоборот, рас-

пад органических веществ до минеральных. Единство этих противоположных процессов лежит в основе биологической роли микроорганизмов в круговороте веществ в системе агроландшафта. Велика их роль в формировании почвы, благодаря чему она приобретает свойство живой системы и способна обеспечивать условия для существования в ней разнообразных микроорганизмов. Все части микробного сообщества связаны друг с другом и окружающей средой (почвой), поэтому изменение одного из них приводит к изменению других. Наибольшее распространение в почве имеют сапротрофные бактерии. Они питаются мертвыми органическими остатками, участвуют в минерализации органических веществ — аммонификации, нитрификации, а также в фиксации азота. Сапротрофы участвуют в круговороте углерода, кислорода, азота, фосфора, серы, железа.

Плодородие почвы, ее фитосанитарное состояние и самоочищающая способность во многом определяется интенсивностью и направленностью биохимической деятельности микроорганизмов, которые в почве чутко реагируют на изменения условий. Поэтому микробиологические показатели могут быть использованы для ранней диагностики снижения плодородия почв. Проведенный анализ почвенных проб свидетельствует о неоднородной структуре их микробиоценозов. В микробных сообществах доминируют бактерии, их численность на несколько порядков превышает численность микромицетов [14, 16].

Полевые исследования агроландшафтов разных культур. Были проведены полевые исследования по изучению агрохимических показателей почв агроландшафтов под разными сельскохозяйственными культурами. Отбор почвенных образцов осуществлялся весной. Исследования проводились на территории ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района Краснодарского края. Выбранный участок включал поля севооборота и лесополосы. В отобранных почвенных образцах определялись следующие показатели: содержание нитратного азота, аммиачного азота (ионоселективным

методом), содержание органического вещества и рН солевой вытяжки (потенциометрически). В результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, что почвы изучаемой территории обладают высокой нитрифицирующей активностью (титр нитрифицирующих бактерий в некоторых случаях был равен 10^5)(табл. 5).

Таблица 5 – Титр нитрифицирующих бактерий

Место отбора	Титр нитрифицирующих бактерий
Лесополоса	10^4
Поле люцерны	10^5
Поле пшеницы	10^5
Поле кукурузы	10^5-10^6
Поле сахарной свеклы	10^5-10^6

Такой результат связан с температурным критерием, так как его оптимальные значения для бактерий, осуществляющих окисление ионов аммония до нитратов, лежит в диапазоне $25-30^\circ\text{C}$. Снижение температуры является существенным фактором, влияющим на активность нитрифицирующих микроорганизмов. При достижении рассматриваемого показателя значений ниже $8-10^\circ\text{C}$ бактерии-нитрификаторы действуют очень слабо [13, 16].

Анализ полученных данных показал, что в весенний период на полях с озимой пшеницей и люцерной по сравнению с кукурузой и сахарной свеклой отмечен более высокий уровень развития нитрификационного процесса (титр бактерий-нитрификаторов был равен 10^5). Это, очевидно, связано с внесением ранней весной аммиачной селитры, используемой в качестве азотной подкормки для злаковых культур. Поступившие в почву ионы аммония способствовали развитию нитрифицирующих микроорганизмов, окисляющих NH_4^+ до NO_3^- . Об интенсивном протекании нитрификационного процесса на полях с озимыми также свидетельствуют более высокие концентрации нитратов по сравнению с другими культурами (табл. 6).

Наименьшая нитрифицирующая активность была отмечена для проб почвы, взятых в лесополосе. Причиной этого, вероятно, может служить избыточная влажность почвенного покрова и частичное возникновение за счет этого анаэробных условий в данном месте, а также аккумуляция органических веществ, в том числе и богатых углеродом, за счет их поступления в геохимически-подчиненные ландшафты с поверхностным стоком с близлежащих сельхозугодий, особенно в посевах кукурузы и сахарной свеклы.

Таблица 6 – Содержание NO_3 в почвах под разными культурами агроландшафта, мг/кг.

Место отбора	Концентрация нитрат-ионов, мг/кг
Лесополоса	$35,3 \pm 1,72$
Поле люцерны	$34,0 \pm 1,64$
Поле пшеницы	$39,1 \pm 2,03$
Поле кукурузы	$42,4 \pm 2,09$
Поле сахарной свеклы	$41,8 \pm 2,05$

Одним из важнейших показателей плодородия почв является уровень доступного в ней азота и баланс данного элемента в аграрных ландшафтах. Почти весь азот почвы (95–98 %) находится в форме органических соединений. Растения способны использовать в основном минеральные формы данного элемента (аммоний, нитриты, нитраты). Обогащение почвенного покрова рассматриваемыми формами азота происходит как в результате сложных биохимических процессов (аммонификации и нитрификации) превращения органической части почвы, так и за счет внесения азотных удобрений.

В результате аммонификации, осуществляемой различными микроорганизмами (грибами, бактериями, актиномицетами), происходит разложение органических азотсодержащих веществ с образованием аммиака, который в свою очередь в почвенном растворе трансформируется в NH_4^+ . В дальнейшем ионы аммония в процессе нитрификации, протекающем при

участии бактерий семейства Nitrobacteriaceae, способны переходить в нитраты.

В настоящее время эффективность применяемых азотных удобрений составляет 50 - 60 %. Основная причина этого связана со значительными потерями азота в результате процессов нитрификации и денитрификации. Нитраты в отличие от ионов аммония не поглощаются почвенными коллоидами, в связи с чем наблюдается их интенсивное вымывание в грунтовые воды и ближайшие водоемы. Образующиеся в результате нитрификации ионы NO_3^- используются в процессах жизнедеятельности бактериями-денитрификаторами, которые способны переводить нитрат-ионы в газообразные формы - молекулярный азот и его оксиды [24, 26].

В настоящее время установлено, что основные источники азотного питания растений – нитраты и аммоний – равноценны в случае создания благоприятных условий для их усвоения. В кислом интервале рН почвы растения, как правило, лучше потребляют нитраты, в нейтральном – аммоний. Черноземы Кубани обладают нейтральной и слабощелочной реакцией среды. В связи с вышесказанным регулирование процесса нитрификации в почвах Краснодарского края на сегодняшний день имеет немаловажное значение. Показатель рН почвы в балке был несколько ниже по сравнению с остальными рассматриваемыми вариантами (табл. 7). Его значения находятся в диапазоне 7,5–9,3. В результате проведенных исследований была выявлена разница по интенсивности протекания процесса нитрификации в почвах лесополос, на полях с озимой пшеницей и люцерной, а также с кукурузой и сахарной свеклой.

Таблица 7 – Кислотность солевой вытяжки почв под разными культурами

Место отбора	рН почв агроландшафта
Лесополоса	8,0
Поле люцерны	8,1
Поле пшеницы	7,9
Поле кукурузы	8,0
Поле сахарной свеклы	7,8

На полях с люцерной была отмечена высокая нитрифицирующая активность почв. Это, скорее всего, можно связать с тем, что бобовые находятся в симбиозе с азотфиксирующими микроорганизмами, а пожнивные остатки рассматриваемых растений имеют узкое соотношение C:N. При отборе почвенных образцов в лесополосе, на полях с озимой пшеницей, люцерной и кукурузой выявлены невысокие концентрации нитрат-ионов, в то время как процесс нитрификации оставался достаточно активным в посевах сахарной свеклы. Причиной этого может служить интенсивное поглощение NO_3^- растениями в процессе их вегетации. Анализ полученных данных показал, что на полях с озимой пшеницей и люцерной процесс нитрификации протекает интенсивнее, чем в почвах лесополос. Это можно связать с тем, что пожнивные остатки зерновых имеют большое количество богатых углеродом органических веществ, т. е. соотношение C:N в них достаточно велико. В результате этого происходит иммобилизация азота в почве. В почвенных образцах, отобранных с полей, где возделывалась кукуруза и сахарная свекла подобного явления не обнаружено [23, 24].

Таким образом, процесс нитрификации в почвах протекает неодинаково в различных функциональных частях агроландшафтов в зависимости от вида выращиваемых сельскохозяйственных культур. В то же время интенсивность окисления ионов аммония в нитрат-ионы имеет важное значение для почвенного плодородия, так как данный процесс определяет азотный баланс сельхозугодий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алифиров М.Д. Влияние посевов и органических удобрений на трансформацию азота в черноземе выщелоченном / М.Д. Алифиров, И. С. Белюченко, Г.В. Волошина и др. // Тр. КубГАУ. – № 5(9). – 2007. – С. 79–85.
2. Аристовская Т. В. Микробиология процессов почвообразования / Т. В. Аристовская // М.: Наука, 1980. – 187 с.
3. Бабьева И. П. Биология дрожжей / И. П. Бабьева, И. Ю. Чернов // М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004. – 221 с.

4. Белюченко И. С. Экология Кубани / И. С. Белюченко. – Краснодар: КубГАУ, 2005. – Ч. I – 513 с.
5. Белюченко И. С. Экология Кубани / И. С. Белюченко. – Краснодар: КубГАУ, 2005. – Ч. II – 470 с.
6. Белюченко И. С. Региональный мониторинг – научная основа сохранения природы / И. С. Белюченко // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2006. – Т. 2. – № 1. – С. 25–40.
7. Белюченко И. С. Экологические аспекты совершенствования функционирования агроландшафтных систем Краснодарского края / И. С. Белюченко, А. В. Смагин, В. Н. Гукалов, О. А. Мельник и др. // Тр. КубГАУ. – 2010. – Т. 1. – № 26. – С. 33–37.
8. Белюченко И. С. Роль регионального мониторинга в управлении природно-хозяйственными системами края / И. С. Белюченко // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2010. – Т. 6. – № 4. – С. 3–16.
9. Белюченко И. С. К вопросу о формировании и свойствах органоминеральных компостов и реакции растений кукурузы на их внесение / И. С. Белюченко // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2011. – Т. 7. – № 4. – С. 65–74.
10. Белюченко И. С. Влияние осадков сточных вод на плодородие почвы, развитие озимой пшеницы и качество ее зерна / И. С. Белюченко, В.П. Бережная // Тр. КубГАУ. – Краснодар, 2012. – № 34. – С. 148–150.
11. Белюченко И. С. Влияние сложных компостов на свойства почвы и формирование почвенной биоты / И. С. Белюченко, Ю.Ю. Никифорова // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2012. – Т. 8. – № 4. – С. 3–50.
12. Белюченко И. С. Дисперсность отходов и их свойства [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – № 92. – С. 221–230.
13. Белюченко И. С. Агрегатный состав сложных компостов [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета – Краснодар: КубГАУ, 2013. – № 93. – С. 812–830.
14. Белюченко И. С., Федоненко Е. В., Смагин А. В. и др. Биомониторинг состояния окружающей среды: учебное пособие. Под. ред. Белюченко И. С., Федоненко Е. В., Смагина А. В. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 153 с.
15. Белюченко И. С. Влияние сложного компоста на физические свойства почвенного покрова [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – № 95. – С. 275–294.
16. Белюченко И. С. Сложный компост как важный источник обогащения почвенного покрова питательными веществами [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – № 97. – С. 203–223.
17. Вернадский В. И. Биосфера / В. И. Вернадский. – М.: Изд-во «Ноосфера», 2001. – 243 с.
18. Глазунова Н. Н. Гомеостатическая устойчивость агроценоза озимой пшеницы к комплексу факторов / Н. Н. Глазунова, И. С. Белюченко // Проблемы экологии и защиты растений в сельском хозяйстве: Матер. научно-практической конференции / СтГАУ. – Ставрополь, 2004. – С. 47–54.
19. Добровольский Г. В. Функции почв в биосфере и экосистемах / Г. В. Добровольский, Е. Д. Никитин. – М.: Наука, 1990. – 258 с.
20. Добровольский Г. В. Геосфера и педосфера / Г. В. Добровольский, Л. О. Карпачевский, Е. А. Криксунов. – М.: ГЕОС, 2010. – 190 с.

21. Енкина О. В. Микробиологические аспекты сохранения плодородия черноземов Кубани / О. В. Енкина, Н. Ф. Коробской. – Краснодар, 1999. – 150 с.
22. Звягинцев Д.Г., Зенова Г.М. Экология актиномицетов / Д. Г. Звягинцев, Г. М. Зенова. – М.: «Геос», 2001. – 256 с.
23. Назарько М. Д. Микробоценозы почв различных ландшафтов края / М. Д. Назарько, И. С. Белюченко // Экологические проблемы Кубани. – Краснодар, 2000. – №6. – С. 39-73.
24. Никитишен В. И. Плодородие почвы и устойчивость функционирования агроэкосистемы / В. И. Никитишен. – М.: Наука, 2002. – 258 с.
25. Определитель бактерий Берджи. М.: Мир, 1997. – Т. 2. – С. 5-436.
26. Умаров М. М. Ассоциативная азотфиксация / М. М. Умаров. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. – 136 с.

REFERENCES

1. Alifirov M.D. Vlijanie posevov i organicheskikh udobrenij na transformaciju azota v chernozeme vysshelochennom / M.D. Alifirov, I. S. Beljuchenko, G.V. Voloshina i dr. // Tr. KubGAU. – № 5(9). – 2007. – S. 79–85.
2. Aristovskaja T. V. Mikrobiologija processov pochvoobrazovaniya / T. V. Aristovskaja // М.: Nauka, 1980. – 187 s.
3. Bab'eva I. P. Biologija drozhzhej / I. P. Bab'eva, I. Ju. Chernov // М.: Tovarishestvo nauchnyh izdanij KMK, 2004. – 221 s.
4. Beljuchenko I. S. Jekologija Kubani / I. S. Beljuchenko. – Krasnodar: KubGAU, 2005. – Ch. I – 513 s.
5. Beljuchenko I. S. Jekologija Kubani / I. S. Beljuchenko. – Krasnodar: KubGAU, 2005. – Ch. II – 470 s.
6. Beljuchenko I. S. Regional'nyj monitoring – nauchnaja osnova sohraneniya prirody / I. S. Beljuchenko // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2006. – Т. 2. – № 1. – S. 25–40.
7. Beljuchenko I. S. Jekologicheskie aspekty sovershenstvovaniya funkcionirovaniya agrolandshaftnyh sistem Krasnodarskogo kraja / I. S. Beljuchenko, A. V. Smagin, V. N. Gukalov, O. A. Mel'nik i dr. // Tr. KubGAU. – 2010. – Т. 1. – № 26. – S. 33–37.
8. Beljuchenko I. S. Rol' regional'nogo monitoringa v upravlenii prirodno-hozjajstvennymi sistemami kraja / I. S. Beljuchenko // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2010. – Т. 6. – № 4. – S. 3–16.
9. Beljuchenko I. S. K voprosu o formirovanii i svojstvah organomineral'nyh kompostov i reakcii rastenij kukuruzy na ih vnesenie / I. S. Beljuchenko // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2011. – Т. 7. – № 4. – S. 65–74.
10. Beljuchenko I. S. Vlijanie osadkov stochnyh vod na plodorodie pochvy, razvitie ozimoy pshenicy i kachestvo ee zerna / I. S. Beljuchenko, V.P. Berezhnaja // Tr. KubGAU. – Krasnodar, 2012. – № 34. – S. 148–150.
11. Beljuchenko I. S. Vlijanie slozhnyh kompostov na svojstva pochvy i formirovanie pochvennoj bioty / I. S. Beljuchenko, Ju.Ju. Nikiforenko // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2012. – Т. 8. – № 4. – S. 3–50.
12. Beljuchenko I. S. Dispersnost' othodov i ih svojstva [Jelektronnyj resurs] / I. S. Beljuchenko // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – Krasnodar: KubGAU, 2013. – № 92. – S. 221–230.
13. Beljuchenko I. S. Agregatnyj sostav slozhnyh kompostov [Jelektronnyj resurs] / I. S. Beljuchenko // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – Krasnodar: KubGAU, 2013. – № 93. – S. 812–830.
14. Beljuchenko I. S., Fedonenko E. V., Smagin A. V. i dr. Biomonitoring sostojaniya okruzhajushhej sredy: uchebnoe posobie. Pod. red. Beljuchenko I. S., Fedonenko E. V., Smagina A. V. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – 153 s.

15. Beljuchenko I. S. Vlijanie slozhnogo komposta na fizicheskie svojstva pochvennogo pokrova [Jelektronnyj resurs] / I. S. Beljuchenko// Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – № 95. – S. 275–294.
16. Beljuchenko I. S. Slozhnyj kompost kak vazhnyj istochnik obogashhenija pochvennogo pokrova pitatel'nymi veshhestvami [Jelektronnyj resurs] / I. S. Beljuchenko // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – № 97. – S. 203–223.
17. Vernadskij V. I. Biosfera / V. I. Vernadskij. – M.: Izd-vo «Noosfera», 2001. – 243 s.
18. Glazunova N. N. Gomeostaticheskaja ustojchivost' agrocenoza ozimoj pshenicy k kompleksu faktorov / N. N. Glazunova, I. S. Beljuchenko // Problemy jekologii i zashhity rastenij v sel'skom hozjajstve: Mater. nauchno–prakticheskoy konferencii / StGAU. – Stavropol', 2004. – S. 47–54.
19. Dobrovol'skij G. V. Funkcii pochv v biosfere i jekosistemah / G. V. Dobrovol'skij, E. D. Nikitin. – M.: Nauka, 1990. – 258 s.
20. Dobrovol'skij G. V. Geosfera i pedosfera / G. V. Dobrovol'skij, L. O. Karpachevskij, E. A. Kriksunov. – M.: GEOS, 2010. – 190 s.
21. Enkina O. V. Mikrobiologicheskie aspekty sohraneniya plodorodija chernozemov Kubani / O. V. Enkina, N. F. Korobskoj. – Krasnodar, 1999. – 150 s.
22. Zvjagincev D.G., Zenova G.M. Jekologija aktinomisetov / D. G. Zvjagincev, G. M. Zenova. – M.: «Geos», 2001. – 256 s.
23. Nazar'ko M. D. Mikrobocenozy pochv razlichnyh landshaftov kraja / M. D. Nazar'ko, I. S. Beljuchenko // Jekologicheskie problemy Kubani. – Krasnodar, 2000. – №6. – S. 39-73.
24. Nikitishen V. I. Plodorodie pochvy i ustojchivost' funkcionirovaniya agrojekosistemy / V. I. Nikitishen. – M.: Nauka, 2002. – 258 s.
25. Opredelitel' bakterij Berdzhii. M.: Mir, 1997. – T. 2. – S. 5-436.
26. Umarov M. M. Associativnaja azotfiksacija / M. M. Umarov. – M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1986. – 136 s.