

АГРОХИМИЯ И ПОЧВОВЕДЕНИЕ

УДК 631.8 (571.51)

Е.Н. Белоусова

Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск, Россия

Влияние многолетних трав и пара на структурный состав и мобилизацию минеральных форм азота чернозема Красноярской лесостепи

*Рассмотрено влияние многолетних бобовых трав и чистого пара на структурный состав и содержание мобильных форм азота. Выявлен «отличный» структурный состав под посевами галеги восточной и люцерны гибридной 10–11-го и 5–6-го годов использования соответственно. Почва под чистым паром уступала травяным агроценозам и соответствовала «хорошему» уровню структуры. Показано, что в почве под галегой восточной формируется максимальный пул легкогидролизуемого азота в сравнении с люцерной и чистым паром. Установлено, что степень влияния факторов на мобилизацию легкогидролизуемых соединений азота располагается в следующей убывающей последовательности: взаимодействие (культуры*сроки) > сроки > культуры. По уровню обеспеченности аммонийным азотом варианты были равнозначны и соответствовали низкому уровню обеспеченности. Интенсивность образования окисленных соединений азота определялась агротехническими и биоклиматическими факторами.*

Ключевые слова: структура почвы; *Medicago hybridum*; *Galega orientalis*; азот почвы.

Введение

Исследования почвенной структуры всегда были и остаются одним из приоритетных направлений в почвоведении и земледелии. За последние десятилетия получена значительная информация в различных аспектах исследования агрофизических свойств почв. Большое внимание уделяется роли полевых культур в реорганизации почвенной массы и их влиянию на пищевой режим (эффект последействия). В земледелии этот вопрос приобретает особую актуальность в связи с тем, что сельскохозяйственные растения, а также паровое поле являются предшественниками друг для друга в структуре севооборота. В условиях Красноярской лесостепи достаточно полно изучены вопросы влияния разных культур и пара на структурный состав [1–3] и азотный режим [4–7] почв. Однако такие факторы почвообразования, как время и климат, вносят существенные коррективы в почвенную систему. Поэтому информация, полученная ранее, нуждается в дополнении.

Также необходимо оценивать роль относительно новых культур, появляющихся в структуре растениеводства края. К таким растениям относится галега восточная. Сведений о ее кормовых достоинствах и продуктивности достаточно, а информации о влиянии на свойства почвы не хватает.

Цель работы – исследовать влияние многолетних бобовых трав и чистого пара на структурный состав и содержание подвижных форм азота в черноземной пятнистости Красноярской лесостепи.

Материалы и методики исследования

Исследования проводились на многолетнем полевом стационаре УНПК «Борский», расположенного на территории Сухобузимского района в пределах Чулымо-Енисейского денудационного плато юго-западной окраины Средней Сибири. Его географическое положение определяется координатами 93° в.д. и 56°30' с.ш. Объектом исследования послужили агроценозы двух видов многолетних бобовых трав: люцерны гибридной (*Medicago hybridum* L.) сорта Вега – 5-го и 6-го года использования, галеги восточной (*Galega orientalis* L.) сорта Горноалтайская-87 – 10–11-го годов использования и парового стерневого поля (стерня яровой пшеницы). Закладка опыта и ботаническое описание исследуемых культур были проведены канд. с.-х. наук, доц. Красноярского государственного аграрного университета А.Т. Аветисяном. Площадь делянки – 250 м², повторность в опыте 9-кратная.

В годы наблюдений распределение тепла и влаги было неодинаковым. За теплый период 2011 г. выпало 274 мм осадков. Среднесуточная температура составила 14,3°С. Достаточно засушливым оказался вегетационный сезон 2012 г. Количество осадков было на 65 мм меньше среднемноголетней нормы. Необходимо отметить неравномерное распределение осадков на протяжении периода май – сентябрь. В мае – июне, а также сентябре количество осадков не соответствовало средней многолетней норме. В мае осадков выпало меньше на 10,7 мм; в июне и сентябре – на 9,8 и 5,5 мм соответственно. Максимальное количество осадков выпало лишь в августе – 68 мм. Это определило характер увлажнения исследуемой почвы в вариантах опыта. Почвенный покров представлен черноземом выщелоченным высокогумусным среднемощным тяжелосуглинистым иловато-пылеватым, сформированным на коричнево-бурых тяжелых суглинках. Основные физико-химические и химические показатели объекта исследования отражены в табл. 1.

Химические и физико-химические показатели получены по общепринятым прописям современных методов [8]. Структурный состав почвы изучали по методу Н.И. Саввинова. Отбор почвенных проб проводили из слоя 0–20 см. Далее почвенный образец фракционировали через набор сит (10–0,25 мм) в полевых условиях при естественной влажности.

Т а б л и ц а 1

**Химические и физико-химические свойства чернозема выщелоченного
в годы наблюдений**

Вариант, слой 0–20 см	Гумус, %	рН _{Н₂О}	S	H _r	ЕКО	V, %	Содержание фракций, %; размер частиц, мм	
			ммоль (+) /100 г				< 0,01	< 0,001
Галега	10,1	6,9	55,2	1,2	56,4	97,8	57,3	24,4
Люцерна	8,6	6,8	55,4	1,1	56,5	98,1	56,9	23,8
Чистый пар	7,7	7,7	61,9	–	61,9	100	54,9	21,8

Влажность определяли термостатно-весовым методом. Сроки отбора почвенных образцов приурочены к фазам развития многолетних растений: ветвление – цветение – отава трав. Гранулометрический и микроагрегатный состав почвы был определен методом пипетки по Н.А. Качинскому. Содержание нитратного азота (N-NO₃) определяли по Грандваль – Ляжу в модификации [9] с дисульфифеноловой кислотой, аммонийного азота (N-NH₄) – колориметрически с реактивом Несслера, щелочногидролизуемого азота (N_{щр}) по Корнфилду. Статистический анализ данных проводился с использованием пакета программ MS Excel и StatSoft STATISTICA 6.0.

Результаты исследования и обсуждение

Известно, что структурность почв тесно связана не только с содержанием в них органического вещества, но и с гранулометрическим составом. Особенности распределения элементарных частиц определяют механизмы агрегирования, образования разных по морфологическим и физико-химическим свойствам агрегатов [10]. Организующим компонентом агрегатов являются минералы илистых и коллоидных размерностей. В свою очередь влажность служит основным фактором, определяющим силу коагуляционных контактов и прочность агрегатов.

Одним из главных факторов формирования агрегатов является гранулометрический состав почвы. Рассматриваемый показатель в почве под посевами галеги восточной, люцерны и чистого пара характеризуется как тяжелосуглинистый иловато-пылеватый. Наибольшее содержание илистой фракции в гумусово-аккумулятивном горизонте сосредоточивается под галегой восточной – 24,4%, минимальное – в почве под паром – 21,8%. Доля фракции песка колеблется от 3,8% под люцерной до 6,4% под галегой. Остальная твердая фаза почвы приходится на пыль – 69,1–72,4% (рис. 1).

Микроагрегатный состав, характеризуя качественно новый структурный уровень организации твердой фазы почв, в значительной степени предопределяет характер макроструктуры (см. рис. 1). Устойчивость агрегирующих связей микроструктуры по отношению к воде довольно высокая в почве всех рассматриваемых вариантов. Содержание ила незначительное и указывает на его участие в формировании микроагрегатов.

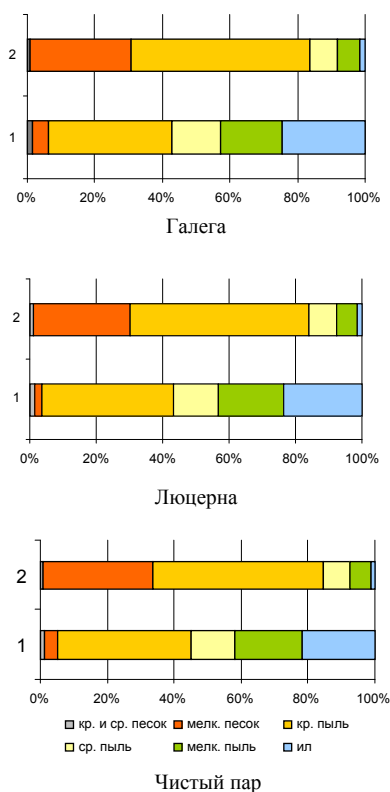


Рис. 1. Гранулометрический и микроагрегатный состав чернозема выщелоченного, %: 1 – гранулометрический состав; 2 – микроагрегатный состав

Коэффициент дисперсности на вариантах опыта незначительно изменяется: для почвы парового поля и люцерны он составляет 5,5%, а под галеггой восточной – 6,1%, что соответствует высокой микроструктурности. В составе почвенной массы преобладают водопрочные агрегаты размером крупнее 0,05 мм. Следовательно, и степень агрегированности (по Бэйверу) отражает высокие значения для парового поля и люцерны (84,3 и 87,4% соответственно), а для галегги (79,2%) входит в интервал «хорошая». Данные диаграммы в области песчаных частиц свидетельствуют о преобладании микроагрегатов над гранулометрическими частицами, которые образовались в результате агрегирования из более мелких гранулометрических фракций.

Воздействие на почву многолетних трав и почвообрабатывающих орудий изменяет характер динамики почвенной структуры. Механическая обработка почвы может быть фактором разрушения и восстановления структуры – в зависимости от условий влажности, при которой она проводится. Материалы табл. 2 отражают сезонные изменения структурного состояния

в вариантах опыта в течение вегетационных сезонов 2011–2012 гг. В пахотном 0–20 см слое почвы парового поля количество фракций размером 10–0,25 мм незначительно изменялось в период июнь – сентябрь и соответствовало «хорошему» состоянию по [11]. Процессы увлажнения и высыхания происходят в почве непрерывно. Особенно значительные колебания в степени влажности проявляются в самом верхнем слое почвы. Они обуславливают наибольшие объемные изменения, ведущие к образованию крупных структурных отдельностей.

Таблица 2
Динамика структурного состава чернозема выщелоченного, %

Варианты	Фракции, мм										АЦФ, 10– 0,25	K _{стр}
	>10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5– 0,25	<0,25	>10		
Июнь 2011												
Галега	13,3	10,8	11,6	17,2	14,1	26,9	1,5	2,8	1,7	84,9	5,7	13,3
Люцерна	15,2	10,4	9,7	14,1	12,8	28,3	1,7	4,7	3,0	81,8	4,5	15,2
Чистый пар	27,4	12,0	9,9	13,3	10,5	20,3	1,9	3,5	0,9	71,5	2,5	27,4
Июль 2011												
Галега	14,1	10,5	11,7	17,0	14,1	25,4	1,2	4,3	1,9	84,1	5,3	14,1
Люцерна	18,1	10,9	10,3	14,3	12,1	25,7	1,4	4,7	2,4	79,4	3,8	18,1
Чистый пар	28,9	11,2	10,3	13,6	10,7	19,2	1,5	3,7	0,9	70,2	2,4	28,9
Сентябрь 2011												
Галега	10,7	9,8	10,7	19,8	21,0	25,6	1,1	0,9	0,2	88,9	8,2	10,7
Люцерна	14,3	10,3	10,2	15,0	15,3	30,9	1,6	1,9	0,4	85,3	5,8	14,3
Чистый пар	31,7	9,8	8,4	11,2	9,4	24,2	2,1	2,7	0,4	67,8	2,1	31,7
Июнь 2012												
Галега	16,9	11,3	14,2	19,2	4,0	17,9	11,1	4,5	1,2	82,2	4,5	16,9
Люцерна	19,5	11,9	12,9	16,3	2,8	16,1	12,2	5,8	2,3	78,1	4,3	19,5
Чистый пар	21,8	10,9	11,2	14,8	3,7	16,2	13,5	5,8	2,0	76,1	3,2	21,8
Июль 2012												
Галега	10,7	9,0	11,9	18,0	4,2	19,4	15,3	7,4	3,7	85,3	5,9	10,7
Люцерна	16,6	11,7	12,3	15,2	3,6	16,9	14,3	6,6	2,7	80,7	4,2	16,6
Чистый пар	18,1	8,1	8,1	11,9	3,9	21,6	18,6	7,1	2,4	79,4	3,9	18,1
В среднем за 2 года (n = 45)												
Галега	13,1	10,2	11,9	18,2	11,4	23,0	6,0	3,9	1,7	85,1	5,7	13,1
Люцерна	16,7	11,0	11,1	15,0	9,3	23,5	6,2	4,7	2,1	81,0	4,3	16,7
Чистый пар	25,5	10,4	9,5	12,9	7,6	20,3	7,5	4,5	1,3	73,0	2,7	25,5
LSD ₀₅	3,4	–	–	1,1	1,1	–	–	–	–	P < 0,05	–	3,4

Примечание. LSD (least significant difference) – наименьшая существенная разница.

Структурный состав почвы слагался крупнокомковатыми (3–10 мм) и мелкозернистыми (2–1 мм) отдельностями. На долю глыбистых педов приходилось 27–31,7%. Поэтому значения коэффициента структурности характеризуют почву парового поля минимальными величинами в сравнении с делянками, занятыми многолетними травами. Формирование агрегатов в июне – июле находилось в средней обратной зависимости от степени увлаж-

нения ($r = -0,27-0,35$). По-видимому, проведение механических обработок (культиваций) в летний период способствовало разрушению поверхностной почвенной корки, повышению аэрируемости и потере некоторого количества влаги почвой на испарение. Как отмечали [14], механическое воздействие на почву определяет изменение упаковки частичек в сторону более совершенной укладки, где влажность способствует снижению трения между частицами.

К концу вегетационного сезона (сентябрь) увеличение уровня полевой влажности до 29,3% способствовало снижению доли крупнокомковатых отдельностей и увеличению глыбистых и мелкозернистых агрегатов.

Во второй год наблюдений ход распределения структурных агрегатов верхнего слоя почвы парового участка обнаружил некоторые отличия. Содержание агрегатов ценного размера незначительно изменялось в период июнь – июль и соответствовало «отличному» уровню. В июне среди агрегатов крупнее 0,25 мм на долю комковатых отдельностей приходилось 37%, тогда как на фракцию диаметром 2–1 мм – 16%. Выход агрономически ценных фракций находился в обратной зависимости от уровня полевой влажности. Позднее в структурном составе почвы парового поля существенно снижается формирование отдельностей > 3 мм, но возрастает количество агрегатов величиной 1–0,5 мм, что существенно выше по сравнению с предыдущим годом. Корреляционная зависимость образования почвенных макроагрегатов от влажности ослабевает. Очевидно, основная обработка почвы разрушает связи между и внутри агрегатов, способствуя переупаковке почвенных компонентов. Высокие среднесуточные температуры, отсутствие атмосферного увлажнения способствовали снижению влаги в почве, что повлекло за собой уменьшение размера образующихся агрегатов. Таким образом, устойчивость структурного состояния почвы парового поля реализуется за счет взаимодействия различных специфических почвенных механизмов, и в большей степени за счет способности почвы к переагрегации в результате многократно повторяющихся в природе циклов набухания-усадки при увлажнении и высыхании, промораживании и оттаивании [13]. В результате этих процессов происходит формирование новых почвенных агрегатов и порового пространства.

Создание почвенных агрегатов под воздействием сельскохозяйственных растений различно и зависит от развития корневой системы. Проникая в почву, корни дробят ее на отдельности, сдавливают частицы вокруг себя, сближают их, что ведет к образованию почвенных агрегатов различного размера. Рассмотрим поведение почвенных макроструктурных компонентов под влиянием культуры многолетних бобовых растений. Воздействие на почву посевов люцерны 5 г.п (2011 г.) обнаружило значимое превышение агрономически ценных фракций лишь в пахотном слое почвы парового поля. Содержание агрегатов $> 0,25$ мм незначительно колеблется в течение вегетационного сезона и находится в слабой обратной зависимости от сте-

пени увлажнения ($r = -0,13$). Коэффициент структурности варьировал, достигая максимальных значений в сентябре (см. табл. 2). Среди отдельных ценного размера господствует зернистая фракция размером 3–1 мм. Корни люцерны принимают активное участие в формировании агрегатов. По мере роста они развивают осевое давление, увеличиваясь в объеме, раздвигают почвенные частицы в тех местах, где распространяются. Одновременно они уплотняют прилегающие к ходу корней участки [14]. К фазе бутонизации люцерны доля глыбистых отдельных незначительно возростала, что сопровождалось снижением доли агрегатов ценного размера. Коэффициент структурности в этот период имеет минимальные значения. Значительная густота растений, созданная мощной надземной массой трав, уменьшала расход влаги на испарение с поверхности почвы и способствовала увеличению уровня почвенной влаги под люцерной (от 16,8% в июне до 23,3% в июле). Это обуславливало обратную зависимость формирования почвенных отдельных ($r = -0,37$).

Последовавшее за фазой цветения скашивание зеленой массы люцерны обнаружило значительное увеличение в структурном составе почвы доли крупнозернистых и зернистых агрегатов. Их содержание существенно превышало таковое в почве под паровым полем. Скашиванием трав в фазу бутонизации достигается удвоенное количество корневой массы [15, 16]. Прижизненное влияние функционирующих корней и ризосферных микроорганизмов способствует разложению органического материала практически в анаэробных условиях. Как свидетельствуют данные [17], обогащение почвы пожнивно-корневыми остатками люцерны насыщает ее углеродсодержащими соединениями лабильной группы. Поэтому накопление в почве частично метаболизированных органических соединений, обладающих склеивающей способностью и устойчивостью к дальнейшей микробиологической трансформации в условиях анаэробнозиса, определяет условия для агрегатообразования.

Структурный состав почвы под агрофитоценозом люцерны шестого года использования соответствует «отличному» уровню. Характер распределения макроагрегатов выявил существенное снижение доли комочков величиной 3–2, 2–1 мм и накопление агрегатов размером 1–0,5, 0,5–0,25 мм. Вероятно, засушливые условия вегетационного сезона, когда количество осадков в самый теплый месяц составило лишь 53 мм, сказались на характере увлажнения почвы под многолетними культурами. Содержание влаги в почве под люцерной в июле опустилось с 20,7 до 14%. Мощная стержневая корневая система люцерны как «арматурный каркас» оказывала расчленяющее действие на почвенную массу, что дополнялось высоким водопотреблением и иссушением и выразилось сменой направления корреляционной зависимости с прямой на обратную ($r = -0,4$). При чрезмерном подсыхании почвы проявляется наибольшее ее уплотнение за счет разрушения крупных пор и пустот, что сопровождается сближением агрегатов и образованием трещин.

Процесс образования почвенных агрегатов под посевами галеги восточной имеет свои особенности. Структурный состав почвы на протяжении вегетационного периода 2011 г. оценивается как «отличный». Когда многолетние растения находились в фазе ветвления, в структурном составе пахотного слоя почвы наибольшая доля приходилась на комочки величиной 2–1 мм. После второго укоса зеленой фитомассы галеги восточной в распределении структурных отдельностей обнаруживается укрупнение агрегатов. Содержание отдельностей диаметром 5–3, 3–2 мм значительно возрастает и количественно превосходит таковое в почве под паром и люцерной. При корневом оструктурировании размеры агрегатов определяются ходами корней [18–20]. Поэтому расстояние корней друг от друга («корневая сетка») обуславливает размеры агрегатов. Наибольшие значения коэффициента структурности (8,2) приурочены к этому сроку.

Почва под посевами галеги восточной 11-го года пользования также характеризовалась отличным структурным состоянием. Здесь количество агрегатов ценного размера достигает максимума в июле и напрямую определяется режимом влаги ($r = 0,35$). В макроагрегатном составе почвы под этой бобовой культурой наблюдается та же тенденция, что и в поле под люцерной. Содержание агрегатов диаметром 3–2, 2–1 мм вдвое сокращается при возрастании доли тонких фракций 1–0,5 и 0,5–0,25 мм. Коэффициент структурности почвы снижается относительно предыдущего года, но превышает его значения для люцерны. Корреляционный анализ выявил зависимость формирования агрегатов ценного размера от уровня полевой влажности ($r = 0,4–0,67$). Полученные связи отражают проявление действия капиллярных сил, способствующих удержанию частиц между собой. Таким образом, оптимальный размер макроструктурных отдельностей почвы в условиях парования и под многолетними травами изменяется в зависимости от условий увлажнения и при его недостатке приобретает меньшие значения, обуславливая сохранение почвенной влаги.

Структурный «портрет» (рис. 2) демонстрирует распределение структурных фракций в слое почвы 0–20 см в среднем за 2 года исследований. Эти данные отражают основное статистическое преимущество каждой фракции, направленность их изменения (см. табл. 2). Фракционный состав почвы парового поля обнаружил преобладание отдельностей размером > 10 мм и 2–1 мм. В почве под люцерной статистическая оценка выявила значимое снижение доли глыбистых отдельностей и значимое преобладание агрегатов диаметром 5–3 мм в сравнении с почвой под паром. В свою очередь структурный состав почвы под галегой восточной отличался существенным доминированием педов величиной 5–3 и 3–2 мм и наименьшим содержанием крупных отдельностей (> 10 мм) в сравнении с агрофитоценозом люцерны и паровым полем ($p < 0,05$).

Благоприятное соотношение между влагой и воздухом обеспечивает увеличение подвижных форм элементов питания. Для каждого типа почв характерен свой режим и особенности трансформации азота. Изучение форм

азота и их превращения в почве в результате таких агротехнических приемов, как севооборот, представляет интерес для познания путей метаболизма азота в агроценозах.

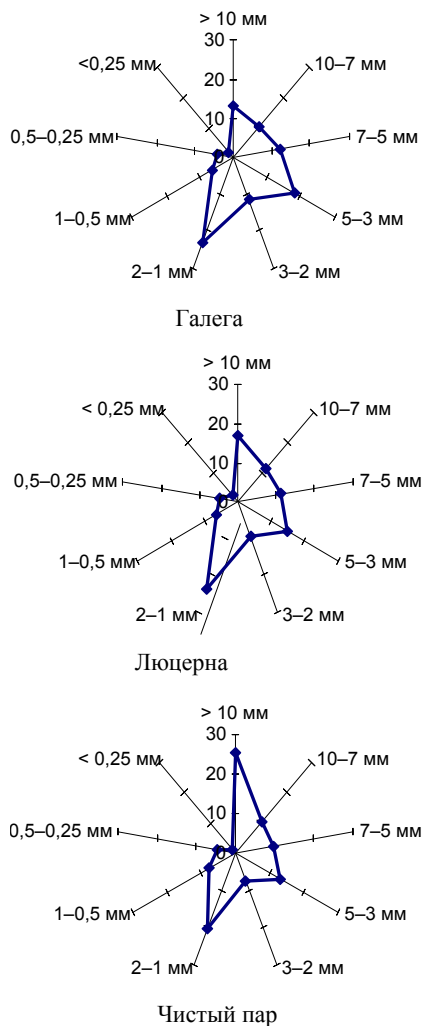


Рис. 2. Распределение структурных фракций чернозема выщелоченного в среднем за 2011–2012 гг.

Этот вопрос особенно актуален для черноземных почв, имеющих значительные запасы азота в биологически инертном состоянии. Использование галеги восточной и люцерны в качестве предшественника, по мнению [21], способствует повышению продуктивности пашни при одновременном сохранении плодородия почвы. С другой стороны, одним из наиболее распро-

страненных предшественников для лесостепной зоны является чистый пар. Все его преимущества как предшественника хорошо известны – накапливается влага, уничтожаются сорные растения, мобилизуются минеральные формы азота. Однако наряду с плюсами обычно выделяют и недостатки. К ним можно отнести повышенную вероятность эрозии, усиление минерализации гумуса, сокращение источников органического вещества в виде растительных остатков, деградацию почвенной структуры. Таким образом, при выборе структуры севооборота перед агрономом обычно стоит задача: чем пожертвовать, а что должно быть в приоритете? Наши исследования направлены на сравнение двух многолетних бобовых трав и чистого пара с точки зрения их азотмобилизующей способности. Легкогидролизуемая фракция азотистых веществ в почве представлена амидами, аминокислотами, аминосохарами и некоторыми другими лабильными азотсодержащими органическими соединениями и является ближайшим резервом для питания растений [22, 23].

В течение 2011 г. под многолетними культурами характер превращения $N_{\text{шт}}$ свидетельствует о снижении его количества к середине лета и накоплении в осенний период. Обнаруженный спад в летний период, вероятно, обусловлен переходом этой формы в мобильные минеральные соединения, поглощением их растениями, ослаблением процессов гидролиза органических веществ вследствие слабой протеолитической активности. В целом по всем срокам наблюдений 2011 г. выявлена тенденция роста концентрации $N_{\text{шт}}$ под покровом галеги восточной в сравнении с люцерной гибридной и, в большей степени, полем чистого пара (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

**Динамика содержания щелочногидролизуемого азота
в слое 0–20 см чернозема выщелоченного, мг/кг**

Сроки наблюдений	Варианты								
	Галега			Люцерна			Чистый пар		
	x	s_x	$V, \%$	x	s_x	$V, \%$	x	s_x	$V, \%$
Июнь 2011	244	9,4	11,5	223	9,8	13,1	207	12,9	18,6
Июль 2011	208	7,9	11,4	192	13,1	20,5	179	8,6	14,4
Сентябрь 2011	217	11,6	16,0	194	9,6	14,8	179	8,0	13,4
Июнь 2012	141	5,2	11,0	148	10,1	18,1	209	15,3	22,0
Июль 2012	210	10,6	15,4	207	13,2	19,0	206	9,5	13,8

Примечание. x – средняя арифметическая; s_x – ошибка средней; $V, \%$ – коэффициент вариации.

Тренд увеличения азотсодержащих органических соединений в почве под галегой восточной вызван вовлечением в процесс минерализации поступившего свежего растительного вещества, усилением деятельности корневой системы (образование корневых экссудатов) в результате скашивания. В течение вегетационного сезона 2012 г. в почве под многолетними травами

выявлена противоположная тенденция. К середине вегетационного сезона содержание $N_{\text{шг}}$ существенно возрастало. По-видимому, повышенные температуры воздуха, наблюдаемые в июне – июле, сдерживали минерализационные процессы, способствуя формированию пула легкогидролизуемых соединений. Это согласуется с полученной зависимостью между содержанием $N_{\text{шг}}$ и влажностью почвы (особенно под люцерной – $r = 0,84-0,94$). Согласно ориентировочной шкале ВИУА [24], содержание $N_{\text{шг}}$ под многолетними бобовыми травами соответствовало высокому уровню. В почве стерневого парового поля содержание $N_{\text{шг}}$ существенно превышало значения, соответствующие высокой оценке, но уступало многолетним травам в полевой сезон 2011 г. Однако на следующий год эти различия были нивелированы: в июне почва чистого пара существенно превосходила травяные агроценозы по содержанию легкогидролизуемых форм азота. По-видимому, послеуборочное пополнение почвы пожнивно-корневыми остатками однолетнего злака и смена условий увлажнения ($r = 0,9$) способствовали увеличению доли щелочногидролизуемых соединений. Азот является типичным биофильным элементом, и его поведение в почве в первую очередь связано с процессом гумусообразования и биохимической активностью. Являясь подвижным элементом, он быстро реагирует на разнообразные явления в агроценозе, к числу которых можно отнести степень увлажнения, температуру, ритмичность в поглотительно-выделительной деятельности растений, микроорганизмов и др. Это затрудняет выявление общих закономерностей в поведении соединений азота почвы.

Процесс аммонификации, выполняемый многочисленными группами почвенных микроорганизмов, может проходить в широком диапазоне экологических условий. Появление аммония связано не только с биохимическими, но и с физико-химическими процессами, а также с гидротермическими условиями. Многочисленными исследованиями установлено, что интенсивность биохимических процессов, определяющих формирование запасов минерального азота в черноземах Красноярской лесостепи, зависит от гидротермических условий.

Результаты наших исследований обнаружили отсутствие статистически значимой разницы в количестве обменного аммония в почве под многолетними травами (табл. 4).

Обеспеченность аммиачной формой азота, согласно шкале [25], соответствовала низкому уровню. Максимальные количества $N-NH_4$ под посевами трав отмечены в июньские периоды отбора образцов. По мнению [26], крайне низкое содержание аммиачного азота может быть обусловлено высокой нитрификационной способностью почвы и вовлечением аммиачного азота в процессы окисления. Таким образом, ход накопления аммиачного и нитратного азота взаимосвязаны. Это явление отмечено многими исследователями [27, 28]. Оценивая характер изменчивости значений, отметим, что степень варьирования аммиачного азота под галегой была значительнее, чем под люцерной (см. табл. 4).

Т а б л и ц а 4

**Динамика содержания аммонийного азота
в слое 0–20 см чернозема выщелоченного, мг/кг**

Сроки наблюдений	Варианты								
	Галега			Люцерна			Чистый пар		
	x	s_x	$V, \%$	x	s_x	$V, \%$	x	s_x	$V, \%$
Июнь 2011	8,0	0,7	23,4	8,3	0,9	9,1	21,7	2,9	40,5
Июль 2011	4,4	0,7	47,9	7,7	0,9	9,9	4,9	0,4	21,6
Сентябрь 2011	7,8	0,9	33,5	6,4	0,6	7,8	4,3	0,2	15,3
Июнь 2012	8,6	5,1	43,0	7,8	1,0	9,1	4,1	0,5	39,1
Июль 2012	4,4	0,3	38,6	6,9	0,1	14,5	4,1	0,5	33,7

Степень изменчивости содержания восстановительных соединений азота в пределах делянок парового поля превышала 30%. Причем интенсивность накопления обменного аммония в почве под галегой в течение летних месяцев напрямую определялась полевой влажностью ($r = 0,64-0,72$). К осени эта зависимость ослабевала. Тогда как под люцерной в середине вегетации напряженность процессов аммонификации в средней ($r = 0,46$), а в сентябре – в сильной ($r = -0,94$) степени коррелировала с влажностью почвы.

Амплитуда колебаний азота обменного аммония в почве парового поля несколько иная, чем под посевами трав. Самое высокое его значение наблюдалось в июне 2011 г. и свидетельствует об активизации процессов минерализации азотсодержащих органических соединений, способствующих накоплению высоких запасов нитратного азота (табл. 5). По абсолютным значениям $N-NH_4$ в почве поле чистого пара, в частности в 2012 г., существенно уступало многолетним культурам, но его параметры находились в пределах одной градации шкалы обеспеченности.

Т а б л и ц а 5

Динамика содержания нитратного азота в черноземе выщелоченном, мг/кг

Сроки наблюдений	Варианты								
	Галега			Люцерна			Чистый пар		
	x	s_x	$V, \%$	x	s_x	$V, \%$	x	s_x	$V, \%$
Июнь 2011	15,1	1,6	32,3	10,7	0,8	22,0	16,4	1,5	28,4
Июль 2011	3,3	0,4	37,1	4,7	0,8	49,0	18,9	2,5	40,4
Сентябрь 2011	9,6	0,9	27,2	7,4	0,6	23,9	13,0	1,4	31,5
Июнь 2012	17,7	2,5	42,6	11,1	1,9	46,2	36,1	3,6	29,6
Июль 2012	5,8	1,5	75,5	4,3	1,3	93,7	53,1	4,8	27,0

Динамика нитратного азота в почве в значительной степени обусловлена потреблением его растениями. Сезонные изменения нитратонакопления, зафиксированные в 2011–2012 гг. в почве как под люцерной, так и под галегой, были идентичны. Максимум его содержания приходится на начало лета. Позднее его количество заметно сокращалось, что обусловлено расходом на биологическое поглощение. К сентябрю обнаруживалось значимое увеличе-

ние содержания окисленной формы азота. Этот вывод находит подтверждение в наших наблюдениях тем свидетельством, что в почве парового поля обнаруживается значительно большее содержание нитратного азота, чем в почве под многолетними травами. На наш взгляд, выявленные флуктуации связаны с биологическими особенностями изучаемых трав и характером связи с влажностью почвы. Темп и характер накопления нитратного азота в почве под посевами галеги в большей степени определялся запасами влаги ($r = -0,63$ в июне и $r = 0,72$ в сентябре), нежели в почве под люцерной ($r = -0,27$ в июне и $r = -0,44$ в сентябре). Аналогичная тенденция обозначилась и в летние месяцы 2012 г.

В почве парового поля создаются более благоприятные условия для процесса нитрификации. Во все периоды наблюдений выявлено статистически значимое увеличение $N-NO_3$ в сравнении с многолетними бобовыми травами. Причем в летний период 2012 г. содержание окисленных соединений азота существенно превышало «высокий» уровень обеспеченности предшествующего вегетационного сезона 2011 г. Это вызвано влиянием сложившихся гидротермических условий анализируемого периода на течение биохимических процессов в почве. Обозначенные условия практически полностью отражали ситуацию, сложившуюся в почве пара во второй год исследований. В сравнении с другими формами азота, степень варьирования показателей $N-NO_3$ на делянках была на очень высоком уровне, что не позволило рассчитать парные линейные коэффициенты корреляции.

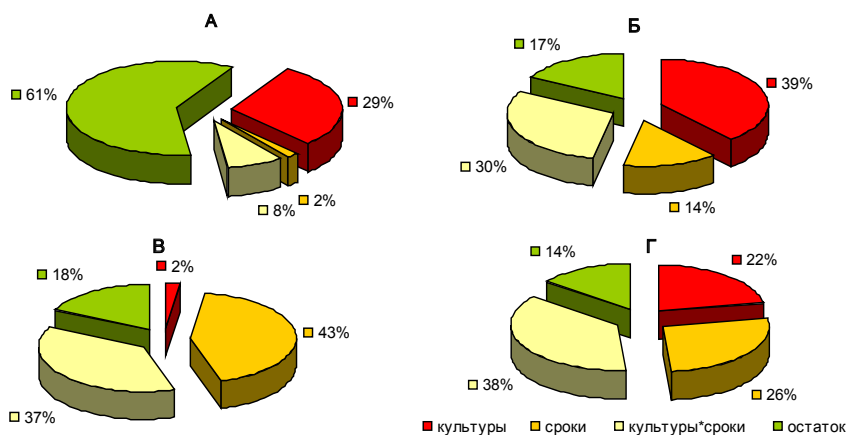


Рис. 3. Влияние исследуемых факторов на структурный состав (А), содержание нитратного (Б), аммонийного (В) и щелочногидролизующего (Г) азота чернозема выщелоченного, культуры – сельскохозяйственные растения изучаемые в опыте, сроки – фактор, указывающий уровень воздействия динамики наблюдений на параметры опыта, остаток – не исследуемые в опыте факторы (шум)

Двухфакторный дисперсионный анализ (ПСВ – показатель силы влияния, %) позволил выявить зависимость содержания структурных отдельных и подвижных соединений азота от ряда изучаемых факторов (рис. 3).

Данные диаграммы иллюстрируют довольно значимый вклад в изменчивость структурного состава фактора «остаток» – не изучаемых в опыте переменных. На наш взгляд, столь существенное воздействие на формирование отдельностей оказал гранулометрический состав почвы: преобладание в его составе крупнопылевой фракции, несвоевременность обработки парового поля, которая, по мнению [29], даже при незначительном изменении от влажности физической спелости приводит к образованию глыб. Второе место по значимости влияния на структуру приходится на воздействие растений. Возможно, это объясняется особенностями развития корневой системы галеги восточной, которая в отличие от люцерны располагается неглубоко, у поверхности почвы. Основную массу корней галега формирует из корневых отпрысков на глубине до 10 см [30].

Степень влияния факторов на мобилизацию щелочногидролизуемых соединений азота располагается в следующей убывающей последовательности: взаимодействие (культуры*сроки) > сроки > культуры. Таким образом, разложение органического вещества, с которым связана мобилизация минерального азота, в большой степени зависит от колебаний гидротермических условий и характера трансформации легкоминерализуемых органических соединений, накапливаемых предшествующей культурой. Существенное влияние на характер превращений обменного аммония оказывал фактор «сроки», по-видимому, отразивший колеблемость условий увлажнения и температуры вегетационных сезонов. Интенсивность образования окисленных соединений азота определялась агротехническими и биоклиматическими факторами, что подтверждается данными статистики (см. рис. 3).

Заключение

Результаты исследования позволяют сделать следующие выводы о влиянии многолетних трав и пара на структурный состав и мобилизацию форм азота чернозема Красноярской лесостепи.

1. Коэффициент структурности указывает на «отличный» под многолетними травами и «хороший» в паровом поле уровень структурного состава. Структурный состав почвы под галегой восточной отличался существенным доминированием педов величиной 5–3 и 3–2 мм и наименьшим содержанием крупных отдельностей (> 10 мм) в сравнении с агрофитоценозом люцерны и паровым полем. По-видимому, факторами, обусловившими наименьший выход агрегатов ценного размера в почве парового поля, являются меньшее содержание гумуса, относительно высокое содержание крупной пыли и отсутствие корневых систем растений.

2. По содержанию щелочногидролизуемого азота галега восточная имеет преимущество перед люцерной в вегетационный сезон с оптимальным увлажнением. Почва пара уступала травяным агроэкосистемам, однако стер-

невой фон обуславливал повышение $N_{\text{шт}}$ до уровня многолетних трав в засушливых условиях второго вегетационного сезона (2012 г).

3. Содержание аммонийного азота в агроценозе многолетних трав и пара находилось в пределах одной градации и соответствовало низкому классу обеспеченности.

4. Динамика содержания нитратного азота обнаружила преимущества парового поля перед травами, а галеги восточной – перед люцерной.

Литература

1. Бекетов А.Д., Берзин А.М., Таскина В.М. Влияние различных культур в севообороте на структурность и плотность выщелоченного чернозема // Агрофизические исследования почв Средней Сибири : материалы науч. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения проф. А.Г. Дояренко. Красноярск, 1975. С. 145–154.
2. Берзин А.М., Таскина В.М. Влияние обработки и севооборотов на плотность и структурность почв // Агрофизическая характеристика почв степной и сухостепной зон азиатской части СССР. М. : Колос, 1982. С. 93–98.
3. Кураченко Н.Л. Оценка и динамика агрофизического состояния черноземов и серых лесных почв Красноярской лесостепи : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Томск, 2010. 35 с.
4. Крупкин П.И. Агрохимическая характеристика почв // Агрохимическая характеристика почв СССР. Средняя Сибирь. М. : Наука, 1971. С. 69–95.
5. Попова Э.П., Лубите Я.И. Биологическая активность и азотный режим почв Красноярской лесостепи. Красноярск : Красноярское книжное изд-во, 1975. 272 с.
6. Кильби И.Я. Динамика накопления и разложения растительных остатков в поле пара и под яровой пшеницей при различных системах удобрения // Баланс органического вещества и плодородие почв в Восточной Сибири. Новосибирск, 1985. С. 26–32.
7. Чупрова В.В. Углерод и азот в агроэкосистемах Средней Сибири. Красноярск : КрасГУ, 1997. 166 с.
8. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М. : Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
9. Иодко С.Л., Шарков И.Н. Новая модификация дисульфифенолового метода определения нитратов в почве // Агрохимия. 1994. № 4. С. 95–97.
10. Зубкова Т.А., Карпачевский Л.О. Матричная организация почв. М. : Русаки, 2001. 296 с.
11. Долгов С.И. Агрофизические методы исследования почв. М. : Наука, 1966, 257 с.
12. Вершинин П.В. Почвенная структура и условия ее формирования. М. : Изд-во Академии наук СССР, 1958. 187 с.
13. Вередченко Ю.П. Агрофизическая характеристика почв центральной части Красноярского края. М. : Изд-во АН СССР, 1961. 175с.
14. Воронин А.Д. Физические особенности почвы как среды обитания живых существ // Экология и почвы: Избранные лекции I–VII Всероссийских школ. Пущино : ОНТИ ПНЦ РАН, 1998. С. 185–190.
15. Христенко Д.А. Влияние многолетних трав на агрегатный состав чернозема выщелоченного // Земледелие. 2007. № 3. С. 15–16.
16. Иванова Е.П. Динамика структурного состава почвы под люцерной в многолетнем цикле // Земледелие. 2012. № 1. С. 18–19.
17. Чупрова В.В. Поступление и разложение растительных остатков в агроценозах Средней Сибири // Почвоведение. 2001. № 2. С. 204–214.
18. Скрепинский А.И. Особенности оструктурирования почв на юго-востоке // Почвоведение. 1961. № 2. С. 45–51.

19. Пугачев Е.В. Роль компонентов органического вещества в оптимизации физических свойств светло-серых лесных почв пахотных угодий : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Киров, 2007. 22 с.
20. Глушков В.В., Макаров В.И., Юнусов Г.С., Маслова Н.Ф. Козлятник восточный – восстановитель плодородия почвы // Плодородие. 2010. № 4. С. 35–36.
21. Духанин О.А., Кишикаткина А.Н., Варламов В.А. Влияние козлятника восточного на плодородие почвы // Земледелие. 2002. № 4. С. 26–27.
22. Шконде Э.И., Королева И.Е. О природе и подвижности почвенного азота // Агрохимия. 1964. № 10. С. 17–35.
23. Адерихин П.Г., Щербаков А.П. Формы азота в серых лесных почвах Центрально-черноземной полосы // Агрохимия. 1967. № 12. С. 118–121.
24. Ягодин Б.А. Практикум по агрохимии. М. : Агропромиздат, 1987. 512 с.
25. Крупкин П.И. Пути прогнозирования эффективности минеральных удобрений : учеб. пособие. Красноярск : КрасГАУ, 2006. 94 с.
26. Кочергин А.Е., Остроумова О.А. Динамика аммиачного и нитратного азота в прииртышском черноземе под посевами яровой пшеницы // Почвоведение. 1957. № 8. С. 86–92.
27. Бурлакова Л.М. Плодородие Алтайских черноземов в системе агроценоза. Новосибирск : Наука, 1984. 197 с.
28. Славина Т.П. Азот в почвах элювиального ряда : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 1980. 54 с.
29. Бахтин П.У. Исследование физико-механических и технологических свойств основных типов почв СССР. М. : Колос, 1969. 272 с.
30. Макаров В.И., Михайлова А.Г. Козлятник восточный в Марий Эл. Йошкар-Ола : МарГУ, 2007. 167 с.

Поступила в редакцию 15.10.2013 г.

Белоусова Елена Николаевна – канд. биол. наук, доцент кафедры почвоведения и агрохимии Красноярского государственного аграрного университета (г. Красноярск, Россия). E-mail: svoboda57130@mail.ru

Tomsk State University Journal of Biology. 2014. № 1 (25). P. 7–25

Elena N. Belysova

Department of Soil and Agrochemistry, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russian Federation. E-mail: svoboda57130@mail.ru

Effect of perennial grasses and fallow on the structural composition and mobilization of mineral nitrogen of chernozem soil of Krasnoyarsk forest steppe

The influence of perennial leguminous grasses and fallow on the structural composition and content of mobile forms of nitrogen of chernozem soil of Krasnoyarsk forest steppe is examined. An “excellent” structural composition was identified under eastern galega and hybrid alfalfa of the 10–11 and 5–6 years of use, respectively. The structural composition of the soil under eastern galega is dominated by pedof of magnitude 3–5 and 2–3 mm and the least content of the largest units (>10 mm), compared to alfalfa agrophitocenosis and fallow field. Two-factor analysis of variance revealed

the dependence of the content of structural units and mobile nitrogen compounds from a number of the studied factors. A significant contribution to the variability of the structural composition of the factor “not examine factors” was found out- not the studied variables in the experiment. Granulometric soil composition has a significant impact on the formation of separate units. Apparently, the factors contributing to the least flow of valuable-size aggregates in the soil of fallow field are smaller humus content, relatively high content of coarse dust and the lack of plant root systems. The soil under fallow gave way to the perennial grass agrocenoses and corresponded to “good” level of structure. The degree of the influence of factors on the mobilization of nitrogen alkaline-hydrolyzable compounds is in the following descending order: interaction (crop * period) > period > crop. It was shown that in the soil under eastern galega, maximum pool of easily hydrolyzable nitrogen is formed, in comparison with alfalfa and fallow in the growing season with optimum moistening. Fallow soil was inferior to herbal agro-ecosystems, but trash cover background conditioned an increase in nitrogen up to the level of perennial grasses under arid conditions of the second growing season (2012 y.). According to the content of ammonium nitrogen, the variants were equal and corresponded to low level. A significant impact on the nature of the transitions of ammonium exchange was made by a factor period”, apparently reflecting the variability of moistening conditions and temperature of growing seasons. The dynamics of nitric nitrogen revealed the advantages of the fallow field before grasses, whereas eastern galega – before alfalfa. The intensity of oxidized nitrogen compounds was determined by agrotechnical and bio-climatic factors, which is proved by statistics.

Key words: soil structure; *Galega orientalis*; soil nitrogen.

Received October, 15, 2013

References

1. Beketov A.D., Berzin A.M., Taskina V.M. Vliyanie razlichnykh kul'tur v sevooborote na strukturnost' i plotnost' vyshchelochennogo chernozema. Agrofizicheskie issledovaniya pochv Sredney Sibiri: Krasnoyarsk, 1975. PP. 145-154. [Beketov AD, Berzin AM, Taskina VM. Influence of various crops in crop rotation on structural properties and density of leached chernozem. In: Proceedings of the conference “Agrophysical studies of soils of Middle Siberia”. Krasnoyarsk, 1975. p.145-154] in Russian
2. Berzin A.M., Taskina V.M. Vliyanie obrabotki i sevooborotov na plotnost' i strukturnost' pochv. Agrofizicheskaya kharakteristika pochv stepnoy i sukhostepnoy zon aziatskoy chasti SSSR. M.: Kolos, 1982. PP. 93-98. [Berzin AD, Taskina VM. Influence of cultivation and crop rotation on density and structural properties of soils. In: Agrophysical characteristics of soils of steppe and dry steppe zones of the Asian part of the USSR. Moscow: Kolos; 1982. p. 93-98.] In Russian
3. Kurachenko N.L. Otsenka i dinamika agrofizicheskogo sostoyaniya chernozemov i serykh lesnykh pochv Krasnoyarskoy lesostepi : avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk. Tomsk, 2010. 35 pp. [Kurachenko NL. Evaluation and dynamics of agrophysical constitution of chernozems and gray forest soils in Krasnoyarsk forest-steppe [DrSci Dissertation abstract]. Tomsk: Tomsk State University; 2010. 35 p.] In Russian
4. Krupkin P.I. Agrokhimicheskaya kharakteristika pochv. Agrokhimicheskaya kharakteristika pochv SSSR. Srednyaya Sibir'. M.: Nauka, 1971. PP. 69-95. [Krupkin PI. Agrochemical characteristics of soils. In: *Agrochemical characteristics of the soils of the USSR. Middle Siberia*. Moscow: Nauka; 1971. p. 69-95.] In Russian

5. Popova E.P., Lubite Ya.I. Biologicheskaya aktivnost' i azotnyy rezhim pochv Krasnoyarskoy lesostepi. Krasnoyarsk: Krasnoyarskoe knizhnoe izd-vo, 1975. 272 pp. [Popova EP, Lubite YaI. Biological activity and nitrogen status of soils in Krasnoyarsk forest-steppe. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk Publishing House; 1975. 272 p.] In Russian
6. Kil'bi I.Ya. Dinamika nakopleniya i razlozheniya rastitel'nykh ostatkov v pole para i pod yarovoy pshenitsey pri razlichnykh sistemakh udobreniya. Balans organicheskogo veshchestva i plodorodie pochv v Vostochnoy Sibiri. Novosibirsk, 1985. PP. 26-32. [Kilbi IYa. Dynamics of accumulation and decomposition of plant residues on fallow land and under spring wheat using different fertilizer systems. In: *Balance of organic matter and soil fertility in Eastern Siberia*. Novosibirsk: 1985. p. 26-32.] In Russian
7. Chuprova V.V. Uglerod i azot v agroekosistemakh Sredney Sibiri. Krasnoyarsk: KrasGU, 1997. 166 pp. [Chuprova VV. Carbon and nitrogen in agricultural ecosystems. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State University; 1997. 166 p.] In Russian
8. Arinushkina E.V. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv. M.: Izd-vo MGU, 1970. 487 pp. [Arinushkina EV. Manual on soil chemical analysis. Moscow: Moscow University Press; 1970. 487 p.] In Russian
9. Iodko S.L., Sharkov I.N. Novaya modifikatsiya disul'fogenolovogo metoda opredeleniya nitratov v pochve. *Agrokhimiya*. 1994. No 4. PP. 95-97. [Iodko SL. New modification of phenoldisulphonic method for determining nitrates in soil. *Agrokhimiya*. 1994;4:95-97.] In Russian
10. Zubkova T.A., Karpachevskiy L.O. Matrichnaya organizatsiya pochv. M.: Rusaki, 2001. 296 pp. [Zubkova TA, Karpachevsky LO. Matrix organization of soils. Moscow: Rusaki; 2001. 296 p.] In Russian
11. Dolgov S.I. Agrofizicheskie metody issledovaniya pochv. M.: Nauka, 1966, 257 pp. [Dolgov SI. Agrophysical soil examination methods. Moscow: Nauka; 1966. 257 p.] In Russian
12. Vershinin P.V. Pochvennaya struktura i usloviya ee formirovaniya. M.: Izd-vo Akademii nauk SSSR, 1958. 187 pp. [Vershinin PV. Soil structure and conditions of its formation. Moscow: Academy of Sciences of the USSR; 1958. 187 p.] In Russian
13. Veredchenko Yu.P. Agrofizicheskaya kharakteristika pochv tsentral'noy chasti Krasnoyarskogo kraya. M.: Izd-vo AN SSSR, 1961. 175 pp. [Veredchenko YP. Agrophysical characteristics of soils of the central part of Krasnoyarsk krai. Moscow: Academy of Sciences of the USSR; 1961. 175 p.] In Russian
14. Voronin A.D. Fizicheskie osobennosti pochvy kak sredy obitaniya zhivyykh sushchestv. Ekologiya i pochvy: Izbrannye lektsii I–VII Vserossiyskikh shkol. Pushchino: ONTI PNTs RAN, 1998. PP. 185-190. [Voronin AD. Physical characteristics of soil as a habitat for living organisms. *Ecology and soils: Selected lectures of I–VII All-Russian schools*. Pushchino: ONTI PCS RAS; 1998. p. 185-190.] In Russian
15. Khristenko D.A. Vliyanie mnogoletnikh trav na agregatnyy sostav chernozema vyshchelochennogo. *Zemledelie*. 2007. No 3. PP. 15-16. [Khristenko DA. Influence of perennial grasses on leached chernozem aggregate composition. *Zemledelie*. 2007;3:15-16.] In Russian
16. Ivanova E.P. Dinamika strukturnogo sostava pochvy pod lyutsernoy v mnogoletnem tsikle. *Zemledelie*. 2012. No 1. PP. 18-19. [Ivanova EP. Dynamics of soil structure during lucerne cultivation in long-term cycle. *Zemledelie*. 2012;1:18-19.] In Russian
17. Chuprova V.V. Postuplenie i razlozhenie rastitel'nykh ostatkov v agrotsenozakh Sredney Sibiri. *Pochvovedenie*. 2001. No 2. PP. 204-214. [Chuprova VV. Supply and decomposition of plant residues in agro-ecosystems of Middle Siberia. *Pochvovedenie*. 2001;2:204-214.] In Russian
18. Skrepinskiy A.I. Osobennosti ostrukturivaniya pochv na yugo-vostoke. *Pochvovedenie*. 1961. No 2. PP. 45-51. [Skrepinsky AI. Particularities of soil conditioning in the south-east. *Pochvovedenie*. 1961;2:45-51] In Russian

19. Pugachev E.V. Rol' komponentov organicheskogo veshchestva v optimizatsii fizicheskikh svoystv svetlo-serykh lesnykh pochv pakhotnykh ugodiy: avtoref. dis. ... kand. biol.nauk. Kirov, 2007. 22 pp. [Pugachev EV. The role of organic matter components in optimization of physical properties of light-gray forest soils of arable lands [CandSci Dissertation abstract]. Kirov: 2007. 22 p.] In Russian
20. Glushkov V.V., Makarov V.I., Yunusov G.S., Maslova N.F. Kozlyatnik vostochnyy – vosstanovitel' plodorodiya pochvy. Plodorodie. 2010. No 4. PP. 35-36. [Glushkov VV, Makarov VI, Yunusov GS, Maslova NF. *Galega orientalis* as a soil fertility builder. *Plodorodie*. 2010;4:35-36.] In Russian
21. Dukhanin O.A., Kshnikatkina A.N., Varlamov V.A. Vliyanie kozlyatnika vostochnogo na plodorodie pochvy. *Zemledelie*. 2002. No 4. PP. 26-27. [Duchanin OA, Kshnikatkina AN, Varlamov VA. Influence of *Galega orientalis* on soil fertility. *Zemledelie*. 2002;4:26-27.] In Russian
22. Shkonde E.I., Koroleva I.E. O prirode i podvizhnosti pochvennogo azota. *Agrokimiya*. 1964. No 10. PP. 17-35. [Shkonde EI, Koroleva IE. On the nature and soil nitrogen mobility. *Agrokimiya*. 1964;10:17-35.] In Russian
23. Aderikhin P.G., Shcherbakov A.P. Formy azota v serykh lesnykh pochvakh Tsentral'no-chernozemnoy polosy. *Agrokimiya*. 1967. No 12. PP. 118-121. [Aderichin PG, Shcherbakov AP. Nitrogen forms in gray forest soils of Central Black Earth Region. *Agrokimiya*. 1967;12:118-121.] In Russian
24. Yagodin B.A. Praktikum po agrokhimii. M.: Agropromizdat, 1987. 512 pp. [Yagodin BA. Manual on agrochemistry. Moscow: Agropromizdat; 1987. 512 p.]
25. Krupkin P.I. Puti prognozirovaniya effektivnosti mineral'nykh udobreniy: ucheb. posobie. Krasnoyarsk: KrasGAU, 2006. 94 pp. [Krupkin PI. Ways of predicting fertilizer effectiveness: study guide. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State University; 2006. 94 p.] In Russian
26. Kochergin A.E., Ostroumova O.A. Dinamika ammiachnogo i nitratnogo azota v priirtyskском черноземе под посевами яровой пшеницы. *Pochvovedenie*. 1957. No 8. PP. 86-92. [Kochergin AE, Ostroumova OA. Dynamics of ammonia and nitrate nitrogen in Priirtishsky chernozem under spring wheat. *Pochvovedenie*. 1957;8:86-92.] In Russian
27. Burlakova L.M. Plodorodie Altayskikh chernozemov v sisteme agrotsenoza. Novosibirsk: Nauka, 1984. 197 pp. [Burlakova LM. Soil fertility of Altai chernozems in agro-ecosystems. Novosibirsk: Nauka; 1984. 197 p.] In Russian
28. Slavnina T.P. Azot v pochvakh elyuvial'nogo ryada: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk. Novosibirsk, 1980. 54 pp. [Slavnina TP. Nitrogen in sedentary soils [DrSci Dissertation abstract]. Novosibirsk: 1980. 54 p.] In Russian
29. Bakhtin P.U. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh i tekhnologicheskikh svoystv osnovnykh tipov pochv SSSR. M.: Kolos, 1969. 272 pp. [Bachtin PU. Study of physical, mechanical and technological properties of main soil types in the USSR. Moscow: Kolos; 1969. 272 p.] In Russian
30. Makarov V.I., Mikhaylova A.G. Kozlyatnik vostochnyy v Mariy El. Yoshkar-Ola: MarGU, 2007. 167 pp. [Makarov VI. *Galega orientalis* in Mari El. Yoshkar-Ola: Mari El State University; 2007. 167 p.] In Russian