

КАЛИЙНОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕРНО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ В РАЗЛИЧНЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ ПРЕДУРАЛЬЯ

**Н.Е. Завьялова, д.б.н., М.Т. Васбиева, к.б.н., Д.Г. Шишков, О.В. Иванова, Пермский федеральный
исследовательский центр УрО РАН
614532, Пермский край, Пермский район, с. Лобаново, ул. Культуры, 12
e-mail: nezavyalova@gmail.com**

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного
проекта № 20-45-596005 р_НОЦ_Пермский край.**

Изучен калийный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы Предуралья под естественными фитоценозами (смешанный лес, злаково-разнотравный луг) и агрофитоценозами. Оценка влияния сельскохозяйственного использования пашни на калийный режим проведена в условиях длительного стационарного опыта (год закладки 1978) и в посевах козлятника восточного (год посева 1988). Изучено содержание валового калия в почве и его форм (водорастворимой, легкообменной, обменной, необменной гидролизуемой по Пчёлкину и необменной фиксированной по Гедройцу). Установлено, что калийный фонд дерново-подзолистой почвы изучаемых фитоценозов представлен на 0,8-1,4% обменными и на 3,9-5,1% необменными формами калия. Почвенный калий на 93,8-95,4% находится в недоступном для растений состоянии и прочно связан с минеральной частью почвы. Экстенсивное возделывание сельскохозяйственных культур в севообороте снижает содержание обменного калия в почве на 35% относительно естественных фитоценозов. Ведение восьмипольного севооборота с внесением $N_{60}P_{60}K_{60}$ не обеспечивает накопление легкообменной и обменной форм калия на уровне естественных фитоценозов, но привело к повышению необменного гидролизуемого калия по Пчёлкину примерно на 60%. Применение $N_{150}P_{150}K_{150}$ обеспечило содержание обменной формы калия по методу Масловой на уровне естественных фитоценозов и привело к накоплению необменных форм калия. Почва по содержанию различных форм калия под травостоем козлятника восточного 1988 г. посева занимала промежуточное положение между почвой под естественными фитоценозами и почвой длительного стационара, что связано с длительным отсутствием её обработки.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, естественные фитоценозы, агрофитоценозы, минеральные удобрения, калийный режим почвы.

Для цитирования: Завьялова Н.Е., Васбиева М.Т., Шишков Д.Г., Иванова О.В. Калийное состояние дерново-подзолистой почвы в различных фитоценозах Предуралья// Плодородие. – 2022. – №4. – С. 59-63. DOI: 10.25680/S19948603.2022.127.16.

Российскими учеными и практиками установлено обеднение пахотных почв питательными веществами, так как применение удобрений в России резко сократилось и формирование урожая сельскохозяйственных культур за последние 25 лет происходило в основном за счет естественного плодородия почв и запасов питательных веществ, созданных предшествующей удобрённостью [1]. По данным агрохимцентра «Пермский», в настоящее время из-за отсутствия минеральных удобрений или малых доз (12-15 кг д.в./га) их внесения в Пермском крае очень низкую обеспеченность обменным калием, наиболее доступным растениям, имеют 5% , низкую–13,7, среднюю – 43,2% пашни [2]. При длительном экстенсивном использовании почвенных ресурсов наблюдается снижение содержания обменного калия как в пахотном горизонте, так и до глубины почвы 50-100 см [3-7]. Немногочисленные исследования указывают на вероятность возникновения такой экологической проблемы, как преобразование ценных калий-содержащих минералов в условиях не восполнения потерь калия [8-10]. При этом нарушаются механизмы саморегуляции содержания почвенных калийных форм и происходит истощение их подвижных фракций, деградирует эффективное и потенциальное плодородие почвы [7]. Трудность компенсации калия, выносимого растениями, заключается в высокой цене на калийные удобрения, их экспортом за границу и отрицательным действием высоких доз минеральных удобрений на

здоровье почвы. В качестве альтернативы предлагается использование органических удобрений, являющихся отходами животноводства. Калий таких удобрений легко усваивается сельскохозяйственными культурами, так как находится в доступной форме [11].

Изучение калийного фонда дерново-подзолистых почв длительного стационарного опыта и сравнение результатов исследований с экспериментальными данными, полученными в почвах под посевами многолетней бобовой культуры козлятника восточного, под злаково-разнотравным лугом и смешанным лесом, позволит установить направление и особенности его трансформации в пахотных почвах.

Цель исследований – дать характеристику калийного фонда дерново-подзолистой почвы естественных и агрофитоценозов.

Методика. Исследования проводили на стационарных участках дерново-подзолистой почвы под смешанным лесом, естественным злаково-разнотравным лугом, многолетней бобовой культурой - козляником восточным и в севообороте длительного стационарного опыта.

В древостое смешанного леса широко представлены береза, осина, реже клен, из хвойных – ель, пихта, сосна. Второй ярус и подлесок состоят из рябины, липы, ольхи, черемухи и др. В лесу с богатым травяным покровом преобладают кисличные, кислично-папоротниковые и разнотравно-злаково-папоротниковые ассоциации.

Травостой естественного злаково-разнотравного луга представлен на 62% - злаками, 13,5 – бобовыми культурами, 24,5% - разнотравьем. Надземная масса не отчуждается. В результате естественного отбора сохранились наиболее жизнеспособны в данных почвенно-климатических условиях виды растений: ежа сборная, пырей, овсяница, хвощ, щавель, подмаренник и др. В лесном фитоценозе на поверхности почвы накапливается неразложившийся за год слой опада в виде листьев, хвои, ветвей – мощная лесная подстилка, имеющая кислую природу (рН 4,5) из-за опада хвойных пород. Толщина ее под пологом смешанного леса около 3 см.

Бобовая культура – козлятник восточный используется для получения семян. После уборки семян солому с поля убирают. Важнейшая особенность этой ценной кормовой культуры – высокая продуктивность надземного и подземного компонентов биомассы. С 1988 по 1994 г. под посевы козлятника вносили ежегодно фосфорно-калийные удобрения по 60 кг д.в./га. С 1994 г. и по настоящее время удобрения под данную бобовую культуру не вносят.

Полевой стационарный опыт заложен в 1978 г. на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве со следующими характеристиками (слой 0-20 см): pH_{KCl} 5,6, гидролитическая кислотность - 2,0, обменная - 0,025, сумма поглощенных оснований – 21,0 мг-экв/100 г почвы, содержание гумуса по Тюрину - 2,12%, подвижных форм фосфора 175 мг/кг, обменного калия (по Кирсанову) 203 мг/кг почвы. Севооборот восьмипольный с чередованием культур: 1 - чистый пар; 2 - озимая рожь; 3 – картофель; 4 – пшеница; 5 - клевер 1-го г.п.; 6 - клевер 2-го г.п.; 7 – ячмень; 8 - овес. Под клевер удобрения не вносили, изучали последствие. Перед закладкой опыта

почву известковали по полной дозе гидролитической кислотности. Органические удобрения не вносили. Общая площадь делянки 120 м², учетная - 76,4 м².

Исследования проводили в верхнем горизонте почвы 0-20 см (3-20 см – под лесом). В почвенных образцах, отобранных в течение 2010-2017 г., определяли гумус по методу Тюрина в модификации ЦИНАО, подвижный фосфор - по Кирсанову, сумму обменных оснований по методу ЦИНАО, общий азот - по Кьельдалю, гранулометрический состав почвы – по Качинскому. Содержание различных форм калия изучали с использованием следующих методов: водорастворимый - по Александровой, легкоподвижный - в 0,005 н. $CaCl_2$ вытяжке, обменный - по Кирсанову и Масловой, необменный легкогидролизующий - по Пчелкину, необменный фиксированный - по Гедройцу. Расчет необменного легкогидролизующего калия проводили по разности содержания калия в 2 н. HCl вытяжке и обменного по Масловой, необменного фиксированного - по разности содержания калия в 10%-ной HCl вытяжке и необменного легкогидролизующего калия. Валовое содержание калия определяли методом спекания (ГОСТ 26261-84).

Результаты и их обсуждение. Характер использования земель сельскохозяйственного назначения оказывает существенное влияние на формирование почвенного плодородия. Почва под изучаемыми объектами дерново-подзолистая тяжелосуглинистая, содержание физической глины 40,5-45,4%. Почвообразовательный процесс под смешанным лесом привел к подкислению почвенного раствора до pH_{KCl} 4,2, повышению H_+ до 6,4 ммоль/100 г, накоплению органического углерода до 1,58%, общего азота – до 2660 мг/кг (табл. 1).

1. Агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы

Объект исследования	Глубина почвы, см	pH _{KCl}	S	Hг	ЕКО	P ₂ O ₅	N _{общ}	C _{орг} , %	Содержание час- тиц <0,01мм, %
			ммоль/100 г			мг/кг			
Смешанный лес	3-20	4,2	20,0	6,4	36,0	168	2660	1,58	43,7
Злаково-разнотравный луг	0-20	4,8	21,2	2,2	40,0	290	1490	1,25	45,4
Козлятник восточный	0-20	4,9	18,3	2,8	34,0	160	1940	1,44	43,6
Полевой севооборот, без удоб- рений	0-20	5,2	21,4	2,4	33,5	175	1120	1,06	44,9
Полевой севооборот, N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0-20	5,1	22,6	2,7	33,0	240	1582	1,18	40,5
Полевой севооборот, N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	0-20	4,5	19,4	3,7	34,0	452	1760	1,25	42,3
НСП ₀₅	-	0,2	1,3	0,2	2,5	68	120	0,07	2,7

На смену лесной растительности пришла луговая, что способствовало снижению почвенной кислотности до pH_{KCl} 4,8, накоплению органического углерода до 1,25%, увеличению ЕКО до 40 ммоль/100 г, подвижного фосфора по Кирсанову – до 290 мг/кг почвы.

С целью сохранения потенциального плодородия бедных органическим веществом дерново-подзолистых почв использовали посев многолетней бобовой культуры - козлятника восточного. Длительное возделывание этой культуры обеспечило повышение органического углерода до 1,44% относительно 1,23 % при закладке опыта и обогатило почву азотом.

Почва длительного стационарного опыта в варианте без удобрений характеризуется высоким содержанием подвижного фосфора, низким уровнем органического углерода и азота. Внесение минеральных удобрений под зерновые культуры и картофель в дозе NPK по 60 и 150 кг д.в./га способствовало увеличению содержания элементов питания в почве и сохранению исходного

уровня органического вещества (при закладке длительного опыта – 1,23%).

Результаты исследования калийного состояния дерново-подзолистой почвы различных фитоценозов представлены в таблице 2.

В составе калийного фонда почвы под смешанным лесом обменные формы составляют 1,4 % от валового содержания калия, сумма необменных форм - 3,9, остальные 94,7 % - это калий почвенного скелета, т.е. прочно связанный с минеральной частью почвы и не принимающий активного участия в питании растений. В составе обменного калия водорастворимая и легкообменная формы представлены практически на одном уровне (23-28 мг/кг).

Оценку обеспеченности почвы обменным калием проводили с помощью методов Кирсанова (вытяжка 0,2 н. HCl) и Масловой (вытяжка 1,0 н. CH_3COONH_4). Метод Масловой имел преимущество по количеству извлекаемого K_2O из почвы относительно метода

Кирсанова. Запасы обменного калия по Масловой в верхнем горизонте почвы под смешанным лесом составляют 0,6 т/га, валового калия – 43,1 т/га (табл. 3).

Содержание и запасы валового калия несколько выше (в 1,2 раза) в верхнем слое почвы злаково-разнотравного луга. Обменные фракции калия в почве луга по абсолютной величине практически не отличаются от почвы под смешанным лесом и указывают на уровень доступного растениям калия в

почве естественных ценозов. Наличие водорастворимой, легкообменной и в целом обменных форм калия значительно выше (в 1,2-1,7 раз) в почве естественных фитоценозов, чем контрольного варианта длительного опыта. Содержание фракции обменного фиксированного калия по Гедройцу на 49,9 % выше в почве луга, чем в почве под смешанным лесом, по-видимому, эти отличия связаны с условиями почвообразования и типом растительности.

2. Содержание различных форм калия в дерново-подзолистой почве естественных фитоценозов и агрофитоценозов, мг/кг

Вариант	Валовое содержание	Водорастворимая	Легкообменная	Обменная		Необменная		Отношение обменного калия к сумме необменных форм	Баланс калия, кг/га в год
				по Кирсанову	по Масловой	гидролизуемая по Пчелкину	фиксированная по Гедройцу		
Смешанный лес	18739	28	23	177	265	282	441	0,37	-
Злаково-разнотравный луг	21821	23	25	175	265	276	661	0,28	-
Козлятник восточный	18493	19	17	121	183	358	542	0,20	-
Полевой севооборот: без удобрений	17690	19	15	120	171	334	351	0,25	-67
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	20095	22	20	164	212	461	573	0,22	-46
N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	24040	29	25	242	276	472	626	0,25	+13
НСР ₀₅	918	4	3	25	31	41	85	0,21	-

3. Запасы форм калия в дерново-подзолистой почве различных фитоценозов в верхнем горизонте почвы, т/га

Вариант	Валовое содержание	Форма калия				
		Водорастворимая	Легкообменная	Обменная по Масловой	Необменная	Силикатная (минеральная)
Смешанный лес	43,1	0,06	0,05	0,6	1,7	40,8
Злаково-разнотравный луг	50,2	0,05	0,06	0,6	2,2	47,4
Козлятник восточный	44,0	0,05	0,04	0,4	2,1	41,4
Полевой севооборот, без удобрений	44,2	0,05	0,04	0,4	1,7	42,1
Полевой севооборот, N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	50,2	0,06	0,05	0,5	2,6	47,1
Полевой севооборот, N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	60,1	0,07	0,06	0,7	2,8	56,7
НСР ₀₅	2,2	0,01	0,01	0,1	0,1	2,3

Фитоценоз с травостоем козлятника восточного 1988 г. посева занимает промежуточное положение между естественными и агрофитоценозами в связи с длительным отсутствием обработки почвы. В почве перед посевом козлятника восточного содержание обменной формы калия по Кирсанову составляло 138 мг/кг. Количество обменных соединений калия при длительном возделывании козлятника существенно не изменилось и на момент отбора образцов составило 121 мг/кг. По данным Воробейкова Г.А. и др., [12] содержание калия в зеленой массе козлятника составляет около 2%. Козлятник - культура интенсивного роста, сбор сухого вещества в фазе цветения составляет около 10,0 т/га [13], следовательно, вынос калия с урожаем зеленой массы равен примерно 20 кг/га в год. В течение 20 лет посева козлятника восточного не подкармливали калийными удобрениями, питание растений осуществлялось за счет имеющихся в почве запасов калия. Содержание обменной формы калия в рассматриваемом фитоценозе определено на 45-46% ниже, чем в естественных фитоценозах.

Анализ пахотного слоя почвы полевых фитоценозов свидетельствует, что минимальное содержание валового калия определено в почве длительного стационарного опыта в варианте без удобрений и составило 17690 мг/кг. Почва характеризуется низким уровнем K₂O в хлоркальциевой вытяжке (15 мг/кг) и более низким значением обменного калия по Масловой (171 мг/кг) из-за выноса этого элемента культурами севооборота и

составило примерно 2/3 от целинного. Аналогичные данные получены в работе [14]. Содержание необменной гидролизуемой формы калия по Пчелкину в неудобренной почве севооборота в 1,2 выше, чем в почве естественных фитоценозов - 334 мг/кг. По-видимому, питание растений в контрольном варианте севооборота происходит за счет прочносвязанных с минеральной частью почвы форм необменного фиксированного калия, содержание которого в 1,3-1,9 раз ниже, чем в почве под лесом и лугом, и составляет 351 мг/кг. По предварительным расчетам, на формирование урожая сельскохозяйственных культур в варианте без удобрений используется в год около 61,6 кг/га калия из необменных форм.

Внесение калийных удобрений в составе NPK по 60 кг д.в/га в почву севооборота не способствовало сохранению обменного калия на уровне естественных фитоценозов. Калий интенсивно расходовался на формирование урожая возделываемых культур и частично фиксировался в необменной форме. Содержание необменного гидролизуемого калия в почве севооборота после 40 лет ведения опыта составило 461 мг/кг, что на 60-61 % выше, чем под лесом и лугом. Величина содержания необменной фиксированной формы калия по Гедройцу занимает промежуточное положение между данной формой калия под смешанным лесом и злаково-разнотравным лугом.

Трансформация калийного фонда дерново-подзолистой почвы при внесении полного минерально-

го удобрения $N_{150}P_{150}K_{150}$ протекала в направлении увеличения обменного калия в почве, наличие которого достигло уровня целинных почв и составило 276 мг/кг по методу Масловой. Содержание необменной гидролизуемой формы калия по методу Пчелкина, являющейся ближайшим резервом питания растений при высоком уровне минерального питания, превысило контрольный вариант опыта в 1,4 раза, уровень естественных фитоценозов - в 1,7 раза. По-видимому, калий, вносимый с удобрениями, полностью обеспечивал потребности растений в этом элементе и частично сорбировался почвой, закрепляясь в необменной гидролизуемой форме. Содержание калия в необменной фиксированной форме при дозе (NPK)150 кг д.в. /га находилось на уровне целинных почв.

Отношение обменных форм калия к сумме обменных форм изменяется от 0,28-0,37 в целинной почве до 0,20-0,25 в пахотной. Отношение необменной гидролизуемой формы к необменной фиксируемой увеличивается от 0,42-0,64 под лесом и лугом, соответственно, до 0,75-0,95 в почве длительного стационара. Положительный баланс калия определен в дерново-подзолистой почве севооборота при длительном применении (NPK)150 кг д.в/га.

Заключение. Калийный фонд дерново-подзолистой почвы изучаемых сельскохозяйственных угодий представлен на 0,8-1,4% обменными и на 3,3-4,9% необменными формами калия. Почвенный калий на 94-96% находится в недоступном для растений состоянии и прочно связан с минеральной частью почвы. Экстенсивное возделывание сельскохозяйственных культур в севообороте снижает содержание обменного калия в почве на 35% относительно естественных фитоценозов. Ведение восьмипольного севооборота с внесением $N_{60}P_{60}K_{60}$ не обеспечило накопление легкообменной и обменной форм калия на уровне естественных фитоценозов, но привело к повышению необменного гидролизуемого калия по Пчелкину на 60-61%. Применение высокой дозы полного минерального удобрения $N_{150}P_{150}K_{150}$ обеспечило содержание обменной формы калия по методу Масловой на уровне естественных фитоценозов и привело к накоплению необменных форм калия. Почва по содержанию различных форм калия под травостоем козлятника восточного 1988 г. посева занимает промежуточное положение между почвой под естественными

фитоценозами и почвой длительного стационара, что связано с длительным отсутствием обработки почвы.

Литература

1. Сычев В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // *Агрохимия*. - 2020. - № 6. - С. 3-13.
2. Кайгородов А.Т., Пискунова Н.И. Современное состояние почвенного плодородия пахотных земель Пермского края // *Достижения науки и техники АПК*. - 2017. - Т.31. - №4. - С. 22-26.
3. Носко Б.С. Изменение калийного фонда черноземов при распахе многолетней залежи // *Почвоведение*. - 1999. - № 12. - С. 1474-1480.
4. Окорков В.В. Фосфорно-калийный режим серой лесной почвы Владимирского ополья при внесении удобрений // *Агрохимия*. - 2002. - № 5. - С. 5-11.
5. Беляев Г.Н. Калийные удобрения из калийных солей Верхнекамского месторождения и их эффективность. - Пермь: Перм. кн. изд-во, 2005. - 304 с.
6. Никитина Л.В. Исследования калийного режима разных типов почв в длительных опытах Геосети // *Агрохимия*. - 2018. - № 1. - С. 39-51.
7. Якименко В.Н. Изменение содержания калия и магния в профиле почвы длительного полевого опыта // *Агрохимия*. - 2019. - № 3. - С.19-29.
8. Чижикина Н.П. Изменение минералогического состава тонких фракций под влиянием агротехногенеза // *Почвоведение*. - 2002. - № 7. - С. 867 - 875.
9. Li T., Wang H.Y., Chen X.Q., Zhou J.M. Soil reserves of potassium: release and availability to *lolium perenne* in relation to clay minerals in six cropland soils from eastern China // *LAND DEGRADATION & DEVELOPMENT*. 2017. Том. 28 Вып. 5. С.1696-1703 (doi: 10.1002/ldr.2701).
10. Firmano R.F., Melo V., Montes C.R., de Oliveira A., de Castro C., Alleoni L.R.F. Potassium reserves in the clay fraction of a tropical soil fertilized for three decades // *CLAYS AND CLAY MINERALS*. 2020. Т. 68 Вып. 3. С. 237-249 (doi: 10.1007/s42860-020-00078-6).
11. Кудеяров В.Н. Почвенно-биогеохимические аспекты состояния земледелия в Российской Федерации // *Почвоведение*. - 2019. - №1. - С. 109-121.
12. Воробейков Г.А., Павлова Т.К., Рашиевская И.В. Продуктивность козлятника восточного при внесении в запас фосфора и калия // *Кормопроизводство*. - 2004. - №10. - С.21-23.
13. Завьялова Н.Е., Волошин В.А., Казакова И.В. Использование потенциального долголетия многолетней бобовой культуры – козлятника восточного для сохранения плодородия дерново-подзолистой почвы Предуралья // *Доклады РАСХН*. - 2015. - №3. - С. 31-34.
14. Якименко В.Н. Изменение содержания форм минерального азота и калия по профилю почвы агроценозов // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. - 2009. - №328. - С.202-207.

UDK 631.45:631.445.2:631.92:631.82

POTASSIUM STATE OF VARIOUS PHYTOCENOSES OF SOD-PODZOLIC SOIL IN THE PRE-URALS

Nina Ye. Zavyalova, Chief Researcher, Doctor of Biological Sciences,

M.T. Vashieva, Senior Researcher, Ph.D.,

D.G. Shishkov, Junior Researcher,

O.V. Ivanova, junior researcher

Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences,

614532, 12 Kultury street, Lobanovo, Perm, Russian Federation

e-mail: nezavyalova@gmail.com

We studied the potash regime of sod-podzolic heavy loamy soil of the Pre-Urals under natural phytocenoses (mixed forest, grass-forb meadow) and agrophytocenoses. The assessment of the influence of agricultural use of arable land on the potash regime was carried out under the conditions of a long-term stationary experiment (the year of laying is 1978) and in the crops of the eastern goat's rue (the year of sowing is 1988). The content of gross potassium in soil and its forms (water-soluble, easily exchangeable, exchangeable, non-exchangeable hydrolyzed according to Pchelkin and non-exchangeable fixed according to Gedroyts) has been studied. It has been established that the potassium fund of the sod-podzolic soil of the studied phytocenoses is represented by 0.8-1.4% exchangeable and 3.9-5.1% non-exchangeable forms of potassium. Soil potassium is 93.8-95.4% inaccessible to plants and is strongly associated with the mineral part of the soil. Extensive cultivation of agricultural crops in a crop rotation reduces the content of exchangeable potassium in the soil by 35% relative to natural phytocenoses. Conducting an eight-field crop rotation with the introduction of $N_{60}P_{60}K_{60}$ does not provide

the accumulation of easily exchangeable and exchangeable forms of potassium at the level of natural phytocenoses, but led to an increase in the non-exchangeable hydrolyzable potassium according to Pchelkin by about 60%. The use of $N_{150}P_{150}K_{150}$ provided the content of the exchangeable form of potassium according to Maslova's method at the level of natural phytocenoses and led to the accumulation of non-exchangeable forms of potassium. The soil in terms of the content of various forms of potassium under the grass stand of the eastern goat's rue (1988) occupied an intermediate position between the soil under natural phytocenoses and the soil of a long-term station, which is associated with a long absence of tillage.

Key words: sod-podzolic soil, natural phytocenoses, agrophytocenoses, mineral fertilizers, potash soil regime.

References

1. Sychev V.G., Shafran S.A., Vinogradova S.B. Soil fertility in Russia and ways of its regulation // *Agrokhimia (Agrochemistry)*. 2020. No. 6. P. 3-13.
2. Kaigorodov A.T., Piskunova N.I. The current state of soil fertility of the arable lands of the Perm region // *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2017. Vol. 31. No. 4. P. 22-26.
3. Nosko B.S. Changes in the potash fund of chernozems during plowing of a perennial fallow // *Pochvovedenie (Soil Sciences)*. 1999. No. 12. P. 1474-1480.
4. Okorkov V.V. Phosphorus-potassium regime of the gray forest soil of the Vladimir opolye during the application of fertilizers // *Agrokhimia (Agrochemistry)*. 2002. No. 5. P. 5-11.
5. Belyaev G.N. Potash fertilizers from potash salts of the Verkhnekamskoye deposit and their effectiveness. Perm: Perm publishing house, 2005. 304 p.
6. Nikitina L.V. Studies of the potassium regime of different types of soils in long-term experiments of the Geoset // *Agrokhimia (Agrochemistry)*. 2018. No. 1. P. 39-51.
7. Yakimenko V.N. Change in the content of potassium and magnesium in the soil profile of a long-term field experiment // *Agrokhimia (Agrochemistry)*. 2019. No. 3. P. 19-29.
8. Chizhikova N.P. Change in the mineralogical composition of fine fractions under the influence of agrotechnogenesis // *Pochvovedenie (Soil Sciences)*. 2002. No. 7. P. 867 – 875.
9. Li T., Wang H.Y., Chen X.Q., Zhou J.M. Soil reserves of potassium: release and availability to *Lotium perenne* in relation to clay minerals in six cropland soils from eastern China // *LAND DEGRADATION & DEVELOPMENT*. 2017. Vol. 28 N. 5. P. 1696-1703 (doi: 10.1002/ldr.2701).
10. Firmano R.F., Melo V., Montes C.R., de Oliveira A., de Castro C., Alleoni L.R.F. Potassium reserves in the clay fraction of a tropical soil fertilized for three decades // *CLAYS AND CLAY MINERALS*. 2020. Vol. 68 N. 3. P. 237-249 (doi: 10.1007/s42860-020-00078-6).
11. Kudeyarov V.N. Soil-biogeochemical aspects of the state of agriculture in the Russian Federation // *Pochvovedenie (Soil Sciences)*. 2019. No. 1. P. 109-121.
12. Vorobeykov G.A., Pavlova T.K., Rashevskaya I.V. Productivity of the eastern goat's rue when adding phosphorus and potassium to the stock // *Feed production*. 2004. No. 10. P. 21-23.
13. Zavyalova N.E., Voloshin V.A., Kazakova I.V. Using the potential longevity of the perennial legume culture of the eastern goat's rue to preserve the fertility of the sod-podzolic soil of the Pre-Urals // *Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*, 2015. №3. P. 31-34.
14. Yakimenko V.N. Changes in the content of forms of mineral nitrogen and potassium along the soil profile of agrocenoses // *Bulletin of the Tomsk State University. Biology*. 2009 No. 328. P. 202-207.