

DOI 10.25637/TVAN.2018.02.06.

УДК 631.461:631.47

Менькина Е. А., Куприченков М. Т.

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В АГРО- И БИОГЕННЫХ ПОЧВАХ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

ФГБНУ «Северо-Кавказский Федеральный научный аграрный центр»

Реферат. Цель исследований – изучить почвенные процессы в многолетнем цикле по сезонам вегетационного периода био- и агрочерноземов. Исследования проводили в период с 2010 по 2012 год на экспериментальном поле Ставропольского НИИСХ, расположенного в зоне неустойчивого увлажнения Центрального Предкавказья. Ежемесячные наблюдения с апреля по сентябрь показали, что запасы продуктивной влаги в слое 0–100 см снизились на целине с 195 до 43 мм, а на пашне – с 237 до 106 мм. Содержание гумуса значительно снижается с апреля до августа: на целине на 0,52 абсолютных %, а на пашне – на 0,68 %. Запасы нитратов на целине и пашне были минимальными в июне – 8,0 и 15,9 кг/га в 0–100 см, составляя в апреле 8,4 и 92,5 кг/га, в августе – 10,6 и 67,9 кг/га. Содержание P_2O_5 на целине и на пашне (пар) оставалось стабильным – около 13 и 25–27 мг/кг соответственно. Содержание K_2O на целине было минимальным в июне, а на пашне закономерно возрастало к июлю от 217 до 289 мг/кг, снизившись в августе до 253 мг/кг. По активности ферментов целина превосходит пашню, за исключением уреазы, которая в пахотных почвах почти всегда выше. По сравнению со слоем 0–20 см уреазы более активна в слое 20–40 см. Активность остальных ферментов в подпахотном слое, как правило, ниже, чем в верхнем. Численность эколого-трофических групп микроорганизмов выше весной, летом происходит ее снижение, а к осени количество аммонификаторов и аминоавтотрофов возрастает. Максимальная активность почвенных дрожжей проявляется в июньский срок отбора на целинных почвах и весной на пашне (68,7 и 98,0 тыс. КОЕ/г АСП соответственно). Наибольшее количество микроорганизмов, выросших на голодном агаре, отмечено в майский период (129,3–170,0 тыс. КОЕ/г АСП). Таким образом, в свойствах чернозема целинного и пахотного отмечается значительная сезонная изменчивость, что необходимо учитывать при характеристике почв.

Ключевые слова: почва, ферментативная активность, микробиологическая активность, гумус, влажность почвы.

Введение

Особая роль в формировании почвенного плодородия принадлежит биологическому фактору и, прежде всего, зеленым растениям, почвенным животным и микроорганизмам. Под их воздействием осуществляются важнейшие процессы превращения горной породы в почву и формирование ее потенциального плодородия. Сюда относятся аккумуляция элементов зольного и азотного питания растений, синтез и разрушение органического вещества, взаимодействие продуктов жизнедеятельности растений и микроорганизмов с минеральными соединениями пород и почв и др. [1, 2].

Вся совокупность перечисленных выше биологических процессов, протекающих в почве, называется ее биологической активностью. Биологическая активность почв включает в себя, прежде всего, микробиологические показатели – численность микроорганизмов, физиологических групп и их видовой состав и др., которые во времени и пространстве отличаются большой динамичностью,

обусловленной не только сезонными, но и кратковременными колебаниями гидротермических, питательных и других факторов [3].

Наряду с этим в понятие биологической активности почвы входит и ее ферментативная активность. Ферменты представляют собой органические вещества белковой природы, содержащиеся в животных и растительных организмах [4, 5]. В почве ферменты стабилизируются и длительное время сохраняют свою активность, являясь биологическими катализаторами. Участвуя в важных биохимических процессах – синтезе и распаде гумуса, гидролизе органических соединений, остатков высших растений, почвенных животных и микроорганизмов, переводе их в доступное для питания растений и микроорганизмов состояние, а также в окислительно-восстановительных процессах, почвенные ферменты в сотни и тысячи раз ускоряют протекающие в почве биохимические реакции.

Цель исследований – изучить почвенные процессы в многолетнем цикле по сезонам вегетационного периода био- и агрочерноземов.

Задачи исследований:

- определить сезонную динамику влажности био- и агрочерноземов;
- выявить особенности динамики их агрохимических свойств (нитратный азот, подвижный фосфор, обменный калий);
- установить изменение микробиологической и ферментативной активности чернозема по сезонам года в многолетнем цикле.

Впервые в условиях Ставропольского края получены данные по сезонной динамике почвенных свойств для прогноза изменения плодородия почв, выявления негативных процессов, их предупреждения и устранения.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в период с 2010 по 2012 год на экспериментальном поле Ставропольского НИИСХ, расположенного в зоне неустойчивого увлажнения Центрального Предкавказья, и на рядом расположенном целинном участке (территория дендропарка с 45-летней залежью) в течение вегетационного периода. Годовое количество осадков в годы исследований варьировало от 550 до 570 мм, за вегетационный период их выпадало 350–400 мм, ГТК – 0,9–1,1. Сумма эффективных температур составила 3000–3200 °С, продолжительность безморозного периода – 180 дней. Лето довольно жаркое, со среднемесячной температурой июля 22–24 °С, максимальная температура может достигать 40 °С.

Почвы – черноземы обыкновенные малогумусные среднемощные тяжелосуглинистые на лёссовидных суглинках. Содержание гумуса в слое 0–20 см составляло от 4,22 на пашне до 5,72 % на целине, рН водной суспензии находилась в пределах 6,44–6,93, содержание подвижного фосфора – 17,0–27,0 мг/кг, обменного калия – 208–247 мг/кг.

В целях избежания влияния сельскохозяйственных культур в качестве пашни для наблюдений использовали паровой участок.

В работе применяли полевой (стационарный), лабораторный и математико-статистический методы исследований.

Стационарный метод предусматривал отбор почвенных образцов на целине и пашне в трехкратной повторности из слоев 0–20 и 20–40 см для определения ферментативной и микробиологической активности почв. Влажность почв и нитратный азот определяли до глубины не менее 100 см. Подвижный фосфор и подвижный калий – в слое 0–10 см.

Лабораторный метод включал определение в отобранных образцах следующих показателей: полная полевая влагемкость, общий и подвижный гумус по методам И. В. Тюрина [5, 6].

Содержание нитратного азота определяли колориметрическим методом дисульфифеноловой кислотой; содержание подвижного фосфора – по Мачигину в 1 %-й углеаммонийной вытяжке; содержание обменного калия – по Мачигину в 1 %-й углеаммонийной вытяжке [5]. Ферментативная активность: каталазы – по методу Джонсона и Темпле [7]; уреазы – по методу Т. А. Щербаковой; инвертазы – по методу И. Н. Ромейко и С. М. Малиновской; фосфатазы – по методу А. Ш. Галстяна и Э.А. Арутюняна [8, 9]. Микроорганизмы, использующие органические формы азота, выявляли методом подсчета колоний на плотной питательной среде на мясопептонном агаре (МПА); микроорганизмы (в том числе актиномицеты), способные использовать минеральные формы азота, изучали на крахмало-аммиачном агаре (КАА); микроорганизмы, участвующие в минерализации гумусовых веществ, определяли на «голодном» агаре (ГА); почвенные дрожжи выявляли на среде Сабуро по общепринятым методикам [10].

Определение коэффициента минерализации органических веществ в почве по соотношению численности микроорганизмов, выросших на КАА, к микроорганизмам, выросших на МПА (КАА/МПА), проводили по методике [11].

Коэффициент микробиологической трансформации органического вещества (КМТОВ) рассчитывали по соотношению количества микроорганизмов, выросших на питательных средах, по формуле: $(\text{МПА} + \text{КАА}) \times (\text{МПА} / \text{КАА})$ [12].

Коэффициент олиготрофности определяли по соотношению численности микроорганизмов, выросших на голодном агаре к численности микроорганизмов, выросших на мясопептонном агаре (ГА:МПА). Статистическую обработку проводили по методикам [13].

Результаты и их обсуждение

Почвенная влага – жизненная основа растений, почвенной микрофлоры и фауны. Не случайно ее сравнивают с кровеносной системой организма. Растения расходуют воду в огромных количествах – ведь для создания 1 г сухого вещества потребляется от 200 до 1000 г воды. Химические реакции в почве также протекают при наличии достаточного количества воды, а само формирование ее генетических горизонтов при отсутствии воды вообще невысказимо (вымывание, вмывание, выщелачивание, подтягивание солей к поверхности).

Наличие в почве воды чаще всего обусловлено атмосферными осадками. Из данных таблицы 1 следует, что в ранневесенний период запасы продуктивной влаги были высокими и близкими по значениям как на целине, так и на пашне (195 и 237 мм).

Таблица 1 – Запасы продуктивной влаги, мм (Ставропольский НИИСХ, 2010–2012 гг.)

Слой, см	Срок наблюдений					
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
Целина						
0–20	45	38	25	19	13	10
0–50	96	89	72	40	20	21
0–100	195	171	151	93	46	43
Пашня						
0–20	40	26	39	17	17	20
0–50	116	82	75	58	54	54
0–100	237	175	141	128	110	106

С повышением температур и отсутствием осадков с середины апреля до середины мая запасы влаги на протяжении месяца уменьшились на 12–26 %, после чего их убывание было не столь значительным. С июня месяца и до осени запасы влаги на пашне стали существенно превышать таковые под целиной, где богатая

естественная растительность интенсивно использовала их, в то время как на пару они оставались законсервированными.

Говорить о разной степени интенсивности потерь влаги из того или иного слоя не корректно, так как при испарении с поверхностного слоя и при транспирации растений она постоянно пополняется из лежащих ниже слоев вследствие капиллярного подтока. Существует мнение, что пар не накапливает, а сохраняет влагу. В какой-то степени это действительно так, но все же и на пару потери влаги огромны.

Гумус – важнейшее органическое соединение почвенной среды. От него зависит физико-химические свойства почвы, ее пищевой и водный режим. Наши исследования показали (таблица 2), что содержание общего гумуса как на целине, так и на пашне закономерно убывает от весны к лету (с 5,83 до 5,31 % и с 4,32 до 3,64 % соответственно). Совершенно аналогично ведет себя и подвижный гумус. Поэтому мнение о гумусе черноземов как о консервативном образовании ошибочно, что установлено еще в 60-е годы прошлого столетия учеными Почвенного института имени В. В. Докучаева [14]. На целинных почвах изменения показателей можно объяснить динамикой разложения растительных остатков и процессами минерализации собственно гумусовых веществ, а также результатом корневых прижизненных выделений растений.

Таблица 2 – Сезонная динамика гумуса в био- и агрочерноземе, 0–10 см (Ставропольский НИИСХ, 2010–2012 гг.)

Угодье	Гумус, %	Срок наблюдений						*C _v
		апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	
Целина*	общий	5,83	6,07	5,67	5,61	5,31	5,35	7,7 %;
	подвижный	0,73	0,63	0,62	0,53	0,59	0,58	
Пашня**	общий	4,32	4,09	3,90	3,73	3,64	3,43	4,4 %.
	подвижный	0,45	0,40	0,42	0,35	0,33	0,42	

Примечание. * C_v – коэффициент вариации.

На паровом участке, при отсутствии растительности, этот процесс, скорее всего, обусловлен усилением скорости окисления гумуса в оптимальных условиях увлажнения и температуры, интенсивности окислительно-восстановительных процессов, которые тесно связаны с условиями аэрации, а также с влажностью почвы. Летом, естественно, преобладают окислительные процессы, и поэтому содержание гумуса падает, в то время как весной и осенью – восстановительные процессы начинают преобладать из-за пониженной аэрации на фоне повышенного увлажнения.

Коэффициент вариации содержания гумуса в целинном черноземе несколько выше, чем в пахотном – 7,7 и 4,4 % соответственно, что обусловлено механическими обработками.

Важные показатели плодородия почв – содержание азота, подвижного фосфора и калия. В сезонной динамике пищевого режима отмечены некоторые закономерности (таблица 3). Прежде всего, запасы нитратного азота в биогенных почвах от весны до осени оставались очень низкими (не более 10 кг/га в метровом слое), в то время как на пашне (пар) они часто выше на целый порядок и характеризовались как средние и даже повышенные.

Фосфор – один из основных элементов питания растений. Он входит в состав белковых веществ и участвует в процессах ассимиляции и диссимиляции. Обеспеченность подвижными формами фосфора – основной из показателей окультуренности почв [15].

Содержание подвижного фосфора на целине почти постоянно оставался стабильно низким – в пределах 12 мг/кг. В то же время на пашне этот показатель

достигал 23–27 мг/кг, оставаясь стабильным при отсутствии выноса растениями на паровом участке. Коэффициент вариации в том и в другом случае довольно высок – 16,5 и 15,4 %.

**Таблица 3 – Сезонная динамика питательного режима почв
(Ставропольский НИИСХ, 2010–2012 гг.)**

Угодье	Слой, см	Срок наблюдений					
		апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
Нитратный азот, кг/га							
Целина ¹	0–20	4,3	4,7	4,8	1,2	5,6	1,7
	0–50	6,8	8,3	6,5	2,9	8,1	3,3
	0–100	8,4	9,6	8,0	5,4	10,6	6,3
Пашня ²	0–20	1,2	8,4	7,2	6,7	11,8	33,6
	0–50	18,9	50,3	11,3	22,9	25,8	56,4
	0–100	92,5	108,2	15,9	64,2	67,9	110,1
Подвижный фосфор, мг/кг							
Целина ³	0–10	12,7	19,6	12,7	12,3	7,5	7,2
Пашня ⁴	0–10	24,7	22,7	27,2	27,2	26,6	22,5
Обменный калий, мг/кг							
Целина ⁵	0–10	191	227	136	243	157	186
Пашня ⁶	0–10	217	219	236	289	253	263

Примечание. ^{1,2} – $C_v = 13,3\%$; ³ – $C_v = 16,5\%$; ⁴ – $C_v = 15,4\%$; ⁵ – $C_v = 4,7\%$; ⁶ – $C_v = 12,2\%$.

Калий – один из важнейших элементов в питании растений. Значительное уменьшение калия в почве может привести не только к снижению продуктивности выращиваемых культур, но и к потере экологических и хозяйственных функций почвы [13]. Этот элемент усиливает процесс фотосинтеза и ассимиляции CO_2 ; благодаря калию происходит накопление ассимилянтов в запасных органах растений, улучшается выполненность зерна злаковых культур, повышается эффективность азота при выращивании культурных растений, более эффективно используется вода, снижается поступление в растения радионуклидов [16].

Содержание обменного калия на пашне было существенно выше, чем на целине и по сезонам вегетационного периода изменялось незначительно. Коэффициент вариации K_2O в пространстве на целине составлял всего лишь 4,7 %, в то время как на пашне – 12,2 %.

Ферментативная активность. Почвенные ферменты – неотъемлемая часть жизни почвы. Они очень подвержены воздействию температуры и влажности почвы. При определении ферментов учитывают образующийся продукт реакции или количество трансформированного исходного субстрата при оптимальных условиях для реакции [9]. От ранней весны (апрель) до мая ферментативная активность значительно возрастала (таблица 4), после чего снижалась летом, хотя четкая закономерность здесь не всегда прослеживалась.

Каталаза – фермент класса оксидоредуктаз, катализирует окислительно-восстановительные реакции, направляет синтез и распад гумусовых веществ в почве [17]. По каталазной активности судят о скорости окислительных процессов в почве [7, 8, 18]. Наши исследования показали, что, как на целинных, так и на пахотных почвах активность каталазы слабая на протяжении всего вегетационного периода и не превышала 2,80 мл 0,1 н $KMnO_4$. В биогенных почвах она выше из-за большего количества различных окислительных процессов, обусловленных наличием растительности.

Инвертаза, уреазы, фосфатазы относятся к классу гидролаз. Эти ферменты широко распространены в почвах, катализируют реакцию гидролитического расщепления органических соединений и, таким образом, участвуют в обогащении почвы доступными для растений и микроорганизмов питательными веществами.

Таблица 4 – Ферментативная активность почв в динамике (Ставропольский НИИСХ, 2010–2012 гг.)

Угодье	Слой, см	Срок наблюдений					
		апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
¹ Каталаза, мл 0,1 н КМnO ₄ /1 г почвы за 20 мин							
Целина	0–20	2,23	1,70	2,60	2,80	2,60	2,42
	20–40	1,93	1,70	2,30	2,10	2,00	1,73
Пашня	0–20	1,47	1,30	1,60	1,40	1,20	1,33
	20–40	1,30	1,50	1,90	1,30	1,60	1,42
² Уреаза, мг N-NH ₄ /1 г почвы за 4 час							
Целина	0–20	2,48	2,70	2,39	1,14	1,82	2,00
	20–40	3,41	3,22	2,53	1,07	1,85	2,14
Пашня	0–20	1,30	3,69	2,46	1,36	1,21	2,28
	20–40	4,73	2,60	2,72	1,65	2,53	2,42
³ Фосфатаза, мг P ₂ O ₅ /10 г почвы за 1 час							
Целина	0–20	5,1	6,4	7,5	0,9	5,5	7,00
	20–40	6,7	5,4	6,1	0,7	4,1	3,90
Пашня	0–20	4,5	3,3	3,4	0,3	1,9	3,42
	20–40	3,7	3,3	3,1	0,5	1,0	3,35
⁴ Инвертаза, мг глюкозы/1 г почвы за 40 час							
Целина	0–20	16,6	21,1	16,5	13,9	19,0	20,1
	20–40	12,0	20,2	12,0	12,8	12,8	19,5
Пашня	0–20	6,6	8,7	5,7	4,6	7,1	7,9
	20–40	5,8	8,6	6,2	6,3	7,3	7,1

Примечание. ¹ – C_v = 26,3 %; ² – C_v = 37,5 %; ³ – C_v = 56,6 %; ⁴ – C_v = 47,6 %.

Фермент уреазы участвует в метаболизме азотсодержащих соединений в почве, катализирует гидролиз мочевины до аммиака и углекислого газа, вызывая гидролитическое расщепление связи между азотом и углеродом в молекулах органических веществ [19]. Более гумусированная почва содержит больше уреазы. Наши исследования показали, что активность уреазы весной выше, чем в летний период. Весной целинные почвы имели преимущество по этому показателю в сравнении с пашней, но в летний период наблюдалась обратная закономерность и активность уреазы на пашне в среднем была на 15 % выше, чем на целине.

Фосфатазы входят в группу фосфогидролаз. Эта группа ферментов катализирует гидролиз фосфорорганических веществ, которые не могут быть использованы растениями без предварительного расщепления и минерализации. Активность фосфатазы находится в обратной зависимости от обеспеченности растений подвижным фосфором, поэтому она может быть использована как дополнительный показатель при установлении потребности внесения в почвы фосфорных удобрений. Как видно из таблицы 4, на протяжении всего вегетационного периода активность фосфатазы на целине выше, чем на пашне. В июле месяце и на целине, и на пашне этот показатель снизился на целый порядок, после чего к августу вновь повысился, а на целине даже достиг апрельской величины. На биогенных почвах этот показатель варьировал от очень высокого (7,5 мг/10 г почвы в час) до очень слабого (0,5 мг/10 г почвы в час). Почвы парового участка в период вегетации можно отнести к среднеобогатенным (1,9–4,5 мг/10 г почвы в час), согласно шкале Звягинцева, кроме июля месяца, где активность фосфатазы падает до очень низких значений – 0,3–0,5 мг/10 г почвы в час.

Инвертаза участвует в круговороте углерода и характеризует интенсивность превращения безазотистых органических соединений. Также она катализирует расщепление дисахаридов (сахароза и близкие к ней углеводы) на моносахара (глюкоза, фруктоза). Активность инвертазы выше в высокогумусных почвах.

В течение вегетации она повышается в период активного роста растений и при распаде корневых и растительных остатков. Полагают, что активность этого фермента коррелирует с содержанием в почве подвижного гумуса [9]. Наши исследования показали, что активность этого фермента выше на биогенных почвах, в которых выше содержание гумуса. Распашка оказывает существенное влияние на активность инвертазы и приводит к значительному ее снижению: в слое 0–20 см – на 62 %, в слое 20–40 см – на 54 %.

Микробиологическая активность. Микроорганизмы играют важную роль в почвообразовании и плодородии почв, а также участвуют в формировании почвенной структуры, образовании гумуса и других важных процессах, происходящих в почвах. Почвенные организмы выделяют в процессе жизнедеятельности различные физиологически активные соединения, способствуют переводу одних элементов в подвижную форму и наоборот [20].

На целинных почвах количество микроорганизмов, использующих органические формы азота, в слое 0–20 см на 32 % выше, чем в обрабатываемых почвах. В слое 20–40 см это превышение составило 14,5 % (таблица 5).

Таблица 5 – Динамика численности эколого-трофических групп микроорганизмов (Ставропольский НИИСХ, 2010–2012 гг.)

Угодье	Слой, см	Срок наблюдений				
		май	июнь	июль	август	сентябрь
¹ Аммонифицирующие микроорганизмы, использующие органические формы азота, млн КОЕ/г АСП						
Целина	0–20	238,7	259,3	156,0	169,3	192,7
	20–40	224,7	236,0	148,7	107,3	137,3
Пашня	0–20	142,0	210,7	126,0	152,7	138,7
	20–40	204,7	256,0	63,0	91,0	131,3
² Аминоавтотрофные микроорганизмы, использующие минеральные формы азота, млн КОЕ/г АСП						
Целина	0–20	117,4	83,7	76,9	97,8	98,7
	20–40	114,6	95,4	71,7	84,5	84,5
Пашня	0–20	117,5	84,5	83,9	84,9	83,5
	20–40	115,6	84,1	71,8	84,5	72,0
³ Количество почвенных дрожжей в почве, тыс. КОЕ/г АСП						
Целина	0–20	36,9	68,7	24,8	59,9	29,2
	20–40	30,7	58,0	5,0	39,3	26,8
Пашня	0–20	98,0	13,0	2,2	5,3	26,7
	20–40	82,7	13,3	6,8	7,5	34,1
⁴ Количество микроорганизмов, участвующих в минерализации гумусовых веществ (автохтонной микрофлоры), тыс. КОЕ/г АСП						
Целина	0–20	161,3	68,0	18,7	48,3	39,7
	20–40	170,0	30,0	41,3	35,0	41,7
Пашня	0–20	160,3	63,9	12,7	37,7	34,0
	20–40	129,3	78,0	52,0	42,7	38,3

Примечание. ¹ – $C_v = 33,1 \%$; ² – $C_v = 16,8 \%$; ³ – $C_v = 81,6 \%$; ⁴ – $C_v = 75,4 \%$.

На состав микроорганизмов большое влияние оказывают корни растений, черви, насекомые, землероющие грызуны и другие представители почвенной фауны. Июнь месяц характеризовался более высокими показателями активности почвенной микрофлоры, что могло быть связано с благоприятными для роста микроорганизмов условиями, связанными с температурным и водным режимом почв. В июле получены самые низкие показатели микробиологической активности почв.

По количеству аммонифицирующих микроорганизмов целина превосходила пашню, за исключением слоя 20–40 см в июне месяце. В слое 0–20 см активность микроорганизмов выше, чем в слое 20–40 см, разница по слоям на биогенных почвах составляла 19 %. Возможно, в более верхнем слое разложение азотсодержащих органических соединений происходит более активно. Микроорганизмы, использующие минеральные формы азота, распределяются более равномерно по почвенному профилю (см. таблицу 5). Наибольшее их количество отмечено в мае месяце, как на целине, так и на пашне (114,6–117,5 млн КОЕ/г АСП).

Среди огромного разнообразия микроорганизмов, населяющих почвенные слои, обычно присутствуют и дрожжи. Почвенные дрожжи синтезируют полезные для роста растений вещества из аминокислот и сахаров, продуцируемых другими бактериями и корнями растений. В результате бродильных процессов, осуществляемых дрожжами, происходит естественное рыхление почвы и улучшение ее структуры (см. таблицу 5). Общая численность дрожжей во всех исследованных почвах в наших опытах варьировала от 2,2 до 68,7 тыс. КОЕ/г АСП. Наибольшее их содержание наблюдалось на целинном участке в слое 0–20 см, за исключением майского отбора: в этот период исследуемая группа микроорганизмов преобладала на пахотных почвах, что, скорее всего, связано с недавно проведенной обработкой почвы. Низкое содержание почвенных дрожжей в июле месяце связано с дефицитом для типичных копитрофов (предпочитающих высокие концентрации питательных веществ) легкодоступных субстратов, из-за высокой температуры и отсутствия влаги в почве.

Микроорганизмы, разлагая гумусовые вещества, снабжают растения элементами питания в минеральной форме. Наибольшее количество микроорганизмов, участвующих в минерализации гумусовых веществ, обнаружено в мае во всех вариантах опыта (129,3–161,3 тыс. КОЕ/г АСП). С повышением температуры и снижением влажности почвы прослеживалась тенденция уменьшения количества микроорганизмов данной группы на всех вариантах опыта. На обработанных почвах численность микроорганизмов, участвующих в минерализации гумусовых веществ, преобладала в более увлажненном слое 20–40 см. На целинном участке такой закономерности не установлено.

Важную информацию об интенсивности и направленности почвенно-микробиологических процессов дают абсолютные числа, отражающие количество различных микроорганизмов и их соотношения между собой. Для экологической оценки почв использованы следующие коэффициенты: минерализации, микробиологической трансформации органического вещества, олиготрофности (таблица 6).

Направленность микробиологических процессов в почве характеризуется показателем, связанным с превращениями азотсодержащих соединений – коэффициентом минерализации растительных остатков. В целинных и пахотных почвах наблюдается колебание содержания аммонифицирующих и аминокислототрофных микроорганизмов, что влечет за собой изменение коэффициента минерализации. Наибольший коэффициент минерализации установлен для пахотных почв – $K_{\text{мин}} = 1,1$, а для биогенного ландшафта этот коэффициент в среднем составил 0,5, следовательно, процессы минерализации в целинных почвах протекают медленнее.

С целью конкретного выражения особенностей развития микробиологических процессов в целинных и пахотных почвах В. Д. Мухой с соавторами [10] предложен способ определения показателя, отражающего интенсивность и направленность (характер) микробиологических процессов – коэффициент микробиологической трансформации органического вещества.

Таблица 6 – Показатели активности микробиологических процессов в почвах разного сельскохозяйственного назначения (Ставропольский НИИСХ, 2010–2012 гг.)

Угодье	Слой	Срок отбора				
		май	июнь	июль	август	сентябрь
Коэффициент минерализации						
Целина	0–20	0,5	0,3	0,5	0,6	0,5
	20–40	0,5	0,4	0,5	0,8	0,6
Пашня	0–20	0,8	0,4	0,7	0,6	0,6
	20–40	0,6	0,3	1,1	0,9	0,5
Коэффициент микробиологической трансформации органического вещества						
Целина	0–20	724	1063	472	462	569
	20–40	665	820	457	244	360
Пашня	0–20	314	736	315	427	369
	20–40	567	1035	118	189	371
Коэффициент олиготрофности						
Целина	0–20	0,68	0,26	0,12	0,29	0,21
	20–40	0,76	0,13	0,28	0,33	0,30
Пашня	0–20	1,13	0,30	0,10	0,25	0,25
	20–40	0,63	0,30	0,83	0,47	0,29

Самый высокий коэффициент (1063) получен на целинных почвах в июне в слое 0–20 см. Почвы целинного участка имели более высокий показатель интенсивности протекающих микробиологических процессов. Коэффициент олиготрофности характеризуется численностью бактерий, подразделяющихся по их отношению к пищевым потокам в среде. Наиболее высокие значения коэффициента олиготрофности получены на пахотных почвах (см. таблицу 6). Это свидетельствует об активности процессов утилизации гумуса и гумусосодержащих соединений. В биогенном ландшафте идут менее активные процессы разложения гумуса за счет поступления в почву свежих растительных остатков, способствующих развитию сапрофитных бактерий и актиномицетов.

Нами проведен двухфакторный дисперсионный анализ количества разных групп микроорганизмов (таблица 7).

Таблица 7 – Результаты двухфакторного дисперсионного анализа количества разных групп микроорганизмов в разные сроки отбора в слое 0–20 см (Ставропольский НИИСХ, 2010–2012 гг.)

Группа микроорганизмов	Фактор	F _{факт}	F ₀₅	Влияние, %	S _x , %
Микроорганизмы, использующие органические формы азота	А – тип угодья	76,15	4,4	30,5	-
	В – срок отбора	32,80	2,9	52,5	-
	Для опыта с данной группой микроорганизмов	25,62	2,7	-	5,0
Микроорганизмы, использующие минеральные формы азота	А – тип угодья	62,27	4,4	2,13	-
	В – срок отбора	639,21	2,9	87,62	-
	Для опыта с данной группой микроорганизмов	321,97	2,7	-	0,9
Дрожжи	А – тип угодья	12,49	4,4	6,03	-
	В – срок отбора	18,05	2,9	34,85	-
	Для опыта с данной группой микроорганизмов	21,00	2,7	-	18,2
Микроорганизмы, участвующие в минерализации гумусовых веществ	А – тип угодья	0,99	8,7	0,27	-
	В – срок отбора	85,39	2,9	94,30	-
	Для опыта с данной группой микроорганизмов	38,10	2,7	-	13,5

Факторами выступали тип угодья и срок отбора. Наиболее значимым было влияние сроков отбора (34,85–94,30 %). Фактор «тип угодья» во всех группах

микроорганизмов достоверно значим, но оказывает слабое влияние на изучаемые эколого-трофические группы микроорганизмов (0,27–30,50 %).

Выводы

Все рассмотренные выше параметры почвы, слагающие ее плодородие, характеризуются значительной изменчивостью на протяжении вегетационного периода. В более засушливый период запасы влаги выше на пашне (пар) 128 мм, а целинные почвы, богатые растительностью используют почвенную влагу более интенсивно (93 мм в слое 0–100 см).

Преобладающие летом в почве окислительные процессы приводят к снижению содержания гумуса на 9 % на целине и 16 % на пашне, а весной и осенью происходят восстановительные процессы, которые повышают его показатели.

По обеспеченности основными элементами питания целинные почвы характеризуются как малообеспеченные по азоту (6,3–10,6 кг/га) и фосфору (7,2–19,6 мг/кг), и средне обеспечены по калию (136–227 мг/кг), тогда как на пашне наблюдалась средняя обеспеченность этими элементами (76,5; 25,1; 246 соответственно).

Количество фермента уреазы на пахотных почвах на 17 % выше, чем на целинных. Ферменты каталаза, фосфатаза, инвертаза преобладали на более гумусированных целинных почвах.

Численность микроорганизмов, участвующих в минерализации гумусовых веществ, выше на целинных почвах в слое 0–20 см на 5 %, а на пахотных в слое 20–40 см – на 10%. Наибольшее количество микроорганизмов, выросших на МПА и КАА, отмечено на целинных почвах (19 и 5 % соответственно). Почвенные дрожжи на целинных почвах преобладали в слое 0–20 см – 24,8–68,7 тыс. КОЕ/г АСП, тогда как на пашне в слое 20–40 см – 6,8–82,7 тыс. КОЕ/г АСП.

Литература

1. Куприченков М. Т., Антонова Т. Н. Ферменты в почвах Предкавказья. Ставрополь: Агрус, 2010. 192 с.
2. Петрова Л. Н., Менькина Е. А. Биологическая активность почв на разных таксонах агроландшафта байрачных лесостепей Ставропольской возвышенности // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям. Тезисы докладов Всероссийской конференции, посвященной 75-летию Почвенного института имени В. В. Докучаева, Москва, 2002. С. 242–243.
3. Менькина Е. А. Биологическая активность почв на разных подурочищах ландшафта в зависимости от дозы минеральных удобрений // Проблемы плодородия почв на современном этапе развития. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Пенза: РИО ПГСХА, 2002. С. 54–56.
4. Гарбуз С. А., Ярославцева Н. В., Холодов В. А. Ферментативная активность внутри и снаружи водостойчивых агрегатов в почвах разного вида использования // Почвоведение. 2016. № 3. С. 398–407.
5. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 487 с.
6. Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. 221 с.
7. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
8. Галстян А. Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван: Айастан, 1974. 259 с.
9. Хазиев Ф. Х. Ферментативная активность почв. М.: Наука, 1976. 179 с.
10. Методы почвенной микробиологии и биохимии. Под ред. Звягинцева Д. Г. М.: МГУ, 1991. 304 с.
11. Енкина О. В., Коробский Н. Ф. Микробиологические аспекты сохранения плодородия черноземов Кубани. Краснодар, 1999. 150 с.
12. Муха В. Д., Картамышев Н. Н., Кочетов И. С., Муха Д. В. Агрочвоведение. М.: Колос, 1994. 528 с.
13. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
14. Володин В. М., Сухановский Ю. П., Чередниченко А. В. Математическая модель динамики гумуса // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 1985. Вып. 36. С. 43–44.
15. Лукин С. В. Динамика агрохимических показателей плодородия пахотных почв юго-западной части Центрально-Черноземных областей России // Почвоведение. 2017. № 11. С. 1367–1376.
16. Прудников П. В. Использование агрономических руд и новых комплексных минеральных удобрений на радиоактивно загрязненных почвах. Брянск: изд-во ГУК «Клинцовская городская типография», 2012. 296 с.

17. Кононова М. М. Проблемы почвенного гумуса и современные задачи его изучения. М.: Изд. АН СССР, 1951. 392 с.
18. Муха В. Д. Естественно-антропогенная эволюция почв (общие закономерности и зональные особенности). М.: Колос, 2004. С. 92–101.
19. Берестецкий О. А., Возняковская Ю. М., Доросинский Л. М. Биологические основы плодородия почвы. М.: Колос, 1984. 287 с.
20. Руссель С. Микроорганизмы и жизнь почвы. М.: Колос, 1977. 222с.

References

1. Kuprichenkov M. T., Antonova T. N. Enzymes in soils of Ciscaucasia. Stavropol: Agrus, 2010. 192 p.
2. Petrova L. N., Menkina E. A. Biological activity of soils on different taxons of an agrolandscape of bayrachny forest-steppes of Stavropol Plateau // Resistance of soils to natural and anthropogenic influences. Theses of reports of the All-Russian conference devoted to the 75th anniversary of V.V. Dokuchayev Soil Science Institute. Moscow, 2002. P. 242–243.
3. Menkina E. A. Biological activity of soils on different subnatural boundaries of a landscape depending on a dose of mineral fertilizers // Problems of fertility of soils at the present stage of development: Collection of materials All-Russian scientific and practical conference. Penza: RIO PGSH, 2002. P. 54–56.
4. Garbuz S. A., Yaroslavtseva N. V., Holodov V. A. Enzymatic activity inside and outside of water-stable aggregates in soils under different land use // Pochvovedenie (Eurasian Soil Science). 2016. No. 3. P. 398–407.
5. Arinushkina E. V. Guide to the chemical analysis of soils. Moscow: MSU, 1970. 487 p.
6. Ponomareva V. V., Plotnikova T. A. Humus and soil formation. Leningrad: Nauka, 1980. 221 p.
7. Haziyev F. H. Methods of soil enzymology. Moscow: Nauka, 2005. 252 p.
8. Galstyan A. Sh. Enzymatic activity of soils of Armenia. Yerevan: Ayastan, 1974. 259 p.
9. Haziyev F. X. Enzymatic activity of soils. Moscow: Nauka, 1976. 179 p.
10. Methods of soil microbiology and biochemistry. Ed. by Zvyagintsev D. G. Moscow: MSU, 1991. 304 p.
11. Enkina O. V., Korobsky N. F. Microbiological aspects of maintaining fertility of chernozems of Kuban. Krasnodar, 1999. 150 p.
12. Mukha V. D., Kartamyshev N. N., Kochetov I. S., Mukha D. V. Agrology. Moscow: Kolos, 1994. 528 p.
13. Dospekhov B. A. A technique of field experiment (with bases of statistical processing of results of researches). Prod. the 5th additional and reslave. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
14. Volodin V. M., Sukhanovsky Yu. P., Cherednichenko A. V., Mathematical model of dynamics of a humus // Bulletin V. V. Dokuchayev Soil Science Institute. 1985. Issue 36. P. 43–44.
15. Lukin S. V. Dynamics of the agrochemical fertility parameters of arable soils in the southwestern region of Central Chernozemic zone of Russia// Pochvovedenie (Eurasian Soil Science). 2017. No. 11. P. 1367–1376.
16. Prudnikov P. V. Use of agronomical ores and new complex mineral fertilizers on radioactive polluted soils. Bryansk: Publisher GUK “Klintsovskaya Gorodskaya Tipografiya”, 2012. 296 p.
17. Kononova M. M. Problems of a soil humus and modern problems of his studying. Moscow: Prod. Academy of Sciences of the USSR, 1951. 392 p.
18. Mukha V. D. Natural and anthropogenic evolution of soils (general regularities and zone features). Moscow: Kolos, 2004. P. 92–101.
19. Berestetsky O. A., Voznyakovskaya Yu. M., Dorosinsky L. M. Biological bases of fertility of the soil. Moscow: Kolos, 1984. 287 p.
20. Roussel S. Microorganisms and life of the soil. Moscow: Kolos, 1977. 222 p.

UDC 631.461:631.47

Menkina E. A., Kuprichenkov M. T.

SEASONAL DYNAMICS OF BIOLOGICAL ACTIVITY IN AGRO-AND BIOGENOUS SOILS OF STAVROPOL KRAI

Summary. *The main goal of the current research was to study soil processes in a long-term cycle on according to the growing seasons of bio- and the agrochernozem. Monthly observations from April to September have shown that reserves of productive moisture in a layer of 0–100 cm have decreased on a virgin soil from 195 to 43 mm, and on an arable land from 237 to 106 mm. The maintenance of a humus considerably decreases since April and up to August: on a virgin soil for 0.52 absolute %, and on an arable land – for 0.68 %. Reserves of nitrates in virgin soil and arable land were minimum in June – 8.0 and 15.9 kg/hectare in 0–100 cm, amounting in April 8.4 and 92.5 kg/hectare and in August*

10.6 and 67.9 kg/hectare. The maintenance of P_2O_5 in virgin soil and arable land (fallow) remained stable – about 13 mg/kg and 25–27 mg/kg respectively. The maintenance of K_2O in virgin soil was minimum in June, and in arable land naturally increased until July from 217 to 289, having decreased in August up to 253 mg/kg. The virgin soil surpasses an arable land in the activity of enzymes, except for urease which in arable soils was almost always higher. It (urease) is more active in a layer of 20–40 cm compared to a layer of 0–20 cm. The activity of other enzymes in a sub-arable layer is, as a rule, lower than in top. The number of ecological-trophic groups of microorganisms was higher in spring, and there was some decrease in summer and by autumn the quantity of ammonifiers and aminoautotrophs increased. The greatest activity of soil yeast was in June time of sampling virgin soils and in spring in arable land (68.7 and 98.0 thousand CFU/g ASP, respectively). The greatest number of the microorganisms which have grown on starvation agar was noted in May (129.3–170.0 thousand CFU/g ASP). Thus, in the properties of chernozem virgin and arable, significant seasonal variability is noted, which must be taken into account when soils are characterized.

Keywords: soil, enzymatic activity, microbiological activity, humus, soil moisture.

Менькина Елена Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; 356241, Россия, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; e-mail: zzigen@list.ru.

Куприченков Михаил Тимофеевич, доктор сельскохозяйственных наук.

Menkina Elena Aleksandrovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution “The North Caucasian Scientific Agrarian Center”; 49, Nikonov Str., Mikhaylovsk, Stavropol Krai, 356241, Russia; e-mail: zzigen@list.ru.

Kuprichenkov Mikhail Timofeyevich, Dr. Sc. (Agr.).

Дата поступления в редакцию – 20.04.2018.

Дата принятия к печати – 17.05.2018.