

УДК 631.4

## ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ПЛОДОРОДИЕ АГРОТЕМНОГУМУСОВЫХ ОТБЕЛЕННЫХ ПОЧВ ПРИМОРЬЯ

<sup>1</sup>Пуртова Л.Н., <sup>1</sup>Щапова Л.Н., <sup>2</sup>Емельянов А.Н., <sup>2</sup>Тимошинов Р.В., <sup>1</sup>Киселева И.В.

<sup>1</sup>ФГБУН «Биолого-почвенный институт» ДВО РАН, Владивосток, e-mail: [Purtova@ibss.dvo.ru](mailto:Purtova@ibss.dvo.ru);

<sup>2</sup>ФГБНУН «Приморский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,  
пос. Тимирязевский, e-mail: [L.fe.smc\\_rf@mail.ru](mailto:L.fe.smc_rf@mail.ru)

Исследовано влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на физико-химические свойства агротемногумусовых отбеленных почв и функционирование микрофлоры. Наибольшее накопление гумуса зафиксировано на вариантах с внесением навоза (2) и смеси навоз + известь + NPK (3). Количество подвижного фосфора варьировало от низких (варианты: 1) контроль; 2) навоз; 5) NPK) до средних значений (варианты: 3) навоз + известь + NPK; 4) известь + NPK). Содержание обменного калия на всех исследуемых вариантах опыта избыточное. Отмечались негативные моменты в функционировании микрофлоры. Снижался уровень обогащённости почв каталазой. Высокое содержание грибов и актиномицетов на варианте 4 (известь + NPK) усиливали процессы минерализации органического вещества. Резкое увеличение соотношения грибов и актиномицетов свидетельствовало о снижении окультуренности почв на варианте с внесением высоких доз минеральных удобрений.

**Ключевые слова:** почва, гумус, каталаза, микрофлора почв, плодородие

## INFLUENCE OF LONG-TERM USE OF FERTILIZERS ON FERTILITY OF AGROTEMNOGUMUSOVYH BLEACHED SOIL PRIMORYE

<sup>1</sup>Purtova L.N., <sup>1</sup>Schapova L.N., <sup>2</sup>Emelyanov A.N., <sup>2</sup>Timoshinov R.V., <sup>1</sup>Kiseleva I.V.

<sup>1</sup>Institute of Biology and Soil Science, FEB RAS, Vladivostok, e-mail: [Purtova@ibss.dvo.ru](mailto:Purtova@ibss.dvo.ru);

<sup>2</sup>Primorsky Scientific Research Institute of Agriculture, Timiryazevsky villag, e-mail: [L.fe.smc\\_rf@mail.ru](mailto:L.fe.smc_rf@mail.ru)

Influence of long-term use of organic and mineral fertilizers on physical and chemical properties of bleached agrotomnogumusovyh soils and functioning of microflora was researched. The greatest accumulation of humus on the options is recorded with the incorporation of manure (2), and manure + lime + NPK (3). Number of rolling phosphorus ranged from low (variants: 1) control; 2) manure; 5) NPK) to average values (options: 3) manure + lime + NPK; 4) lime + NPK). The content exchange potassium in all the investigated variants experience was excess. There were negative developments in the functioning of the microflora. Decreased levels of enrichment of soil catalase. High content fungi and actinomycetes at version 4 (lime + NPK) reinforce processes of mineralization of organic matter. The sharp increase in the ratio of fungi and actinomycetes testified about reduction of soil okul'turennosti on the variant with the introduction of high doses of mineral fertilizers.

**Keywords:** soil, humus, catalase, microflora of soils, fertilizer

Исследованию влияния длительного применения удобрений на плодородие различных типов почв посвящено достаточно большое количество работ [1, 3, 4]. Установлено улучшение качества гумуса при применении органо-минеральной системы удобрений. Отмечено, что на минеральном фоне с увеличением доз минеральных удобрений увеличилось содержание фульвокислот и усиливалась подвижность гумуса, что приводило к снижению его содержания.

Между тем вопросы, связанные с разработкой научных основ повышения плодородия почв, урожайности сельскохозяйственных растений, не могут быть решены без углубленного знания микрофлоры и микробиологических процессов трансформации органического вещества. Являясь одним из важнейших факторов плодородия почв, органическое вещество при современном земледелии с использованием высоких доз

минеральных удобрений минерализуется, что приводит к снижению в почве общих запасов гумуса. Это в значительной мере касается и почв Дальневосточного региона, в которых наблюдается снижение энергозапасов почв из-за потерь гумуса.

**Основная цель работы** – оценить изменения в физико-химических показателях почв и сообществах микроорганизмов, участвующих в процессах разложения органического вещества, а также направленность этих процессов под влиянием различных агроприемов (внесение органических, минеральных удобрений, известки).

### Материалы и методы исследований

Объектом исследований явились агротемногумусовые отбеленные почвы (названия приведены согласно современной классификации почв 2004 [5]). Профиль почв дифференцирован на горизонты: PU (0–25 см) – серый, неоднородной окраски, комковатой структуры, среднесуглинистый, с ясным

переходом в EIng (25–47 см) – сизо-бурый, много Fe-Mn конкреций, плотный, мелко-комковато-слоистый среднесуглинистый, переход постепенный; BTg (47–102) – сизовато-серо-бурый, призматически-слоистый, много мелких конкреций, плотный, влажный, тяжелосуглинистый; Cg (> 102 см) – охристо-сизая глина, плотная, сырая, обилие Fe-Mn конкреций.

Полевые работы проводились в Уссурийском районе (пос. Тимирязевский Приморского края) на стационарных площадках Приморского НИИСХ в длительном опыте с 1941 года. Опыт заложен на агротемногумусовой отбеленной почве по схеме:

1. Контроль.
2. Навоз<sub>240т/га</sub>.
3. Навоз<sub>240т/га</sub> + известь<sub>17т/га</sub> + N<sub>120</sub>P<sub>180</sub>K<sub>180</sub>.
4. Известь<sub>17т/га</sub> + N<sub>1605</sub>P<sub>1905</sub>K<sub>1215</sub>.
5. N<sub>2614</sub>P<sub>2800</sub>K<sub>2025</sub>.

При изучении физико-химических свойств почв использовали общепринятые методы в почвоведении: рН водный и рН солевой измеряли потенциометрически, гидролитическую кислотность определяли по Каппену, поглощенные катионы по Шолленбергеру, содержание гумуса по Тюрину, обменный калий по Масловой, фосфор по Кирсанову [2]. Оценка содержания гумуса проведена по [8], агрохимических показателей почв по [10]. При исследовании изменений в показателях биогенности и биологической активности почв применяли общепринятые методы в почвенной микробиологии [7]. Показатели эмиссии CO<sub>2</sub> исследовали в условиях *in exp* по Шаркову [11].

### Результаты исследования и их обсуждение

Согласно схеме географического районирования исследуемая территория приурочена к лесостепной зоне, а почвы относятся к Приморской юго-западной гидротермической провинции. Для провинции характерны высокие показатели выпадения осад-

ков (до 800 мм), радиационного баланса (52,2 ккал/см<sup>2</sup> год) и затрат энергии на почвообразование (44,9 ккал/см<sup>2</sup> год) [9]. Процесс гумусообразования в вариантах опыта с длительным применением удобрений, судя по параметрам рНс в горизонте PU, протекал в условиях среднекислой и слабокислой реакции среды (табл. 1).

рН водный варьировал от 5,90 до 6,54 и находился в диапазоне слабокислой реакции среды. Гидролитическая кислотность изменялась от низкой (варианты 1, 2, 3), до незначительной (варианты 4, 5). В составе поглощенных катионов преобладали ионы Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>. Во всех вариантах опыта, по сравнению с контролем, зафиксировано возрастание содержания гумуса, которое составило на вариантах

$$3 - (\text{навоз}_{240} \text{ т/га} + \text{известь}_{17} \text{ т/га} + N_{120} P_{180} K_{180}) + 0,43\%;$$

$$2 - (\text{навоз}_{240} \text{ т/га}) + 0,36;$$

$$4 - (\text{известь}_{17т/га} + N_{1605} P_{1905} K_{1215}) + 0,16;$$

$$5 - (N_{2614} P_{2800} K_{2025}) + 0,11\% \text{ (табл. 2)}.$$

При этом содержание гумуса согласно грациям [8] соответствовало уровню низких значений. Содержание подвижного фосфора низкое как на контроле, так и на вариантах 2 и 5. Возрастание содержания подвижного фосфора до средних значений установлено на варианте 5 с внесением высоких доз NPK. На варианте 4 (Известь + NPK) количество фосфора в горизонте PU возрастало до повышенных, а на варианте 3 (навоз + известь + NPK) до высоких значений.

Таблица 1

Физико-химические показатели агротемногумусовых отбеленных почв Приморья

Варианты опыта	Горизонт	Глубина, см	рН		Нг* м-экв./100 г почвы	Поглощенные катионы по Шолленбергеру, мг-экв./100 г почвы			
			водный	солевой		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
1. Контроль	PU	0–20	6,09	5,25	3,56	17,16	8,32	0,73	1,41
2. Навоз <sub>240т/га</sub>			6,54	5,71	2,40	19,95	7,35	0,89	1,63
3. Навоз <sub>240т/га</sub> + известь <sub>17т/га</sub> + N <sub>120</sub> P <sub>180</sub> K <sub>180</sub>			6,33	5,58	2,89	17,68	7,28	0,80	1,23
4. Известь <sub>17т/га</sub> + N <sub>1605</sub> P <sub>1905</sub> K <sub>1215**</sub>			5,99	5,21	3,96	16,64	10,40	0,99	1,88
5. N <sub>2614</sub> P <sub>2800</sub> K <sub>2025</sub>			5,90	5,07	4,47	14,04	8,32	1,24	1,74

Примечания:

Нг\* – гидролитическая кислотность почв;

\*\* – суммарное количество удобрений, внесённых за 1941–2015 гг.

Таблица 2

Агрохимические показатели агротемногумусовых отбеленных почв

Варианты опыта	Горизонт	Глубина, см	Гумус, %	Фосфор	Калий	Степень насыщенности основаниями, %
				по Кирсанову	по Масловой	
				мг/100 г почвы		
1. Контроль	PU	0–20	3,55	0,68	34,11	88,0
2. Навоз <sub>240т/га</sub>			3,91	1,31	53,76	92,0
3. Навоз <sub>240т/га</sub> + известь <sub>17т/га</sub> + N <sub>120</sub> P <sub>180</sub> K <sub>180</sub>			3,98	5,88	69,47	86,0
4. Известь <sub>17т/га</sub> + N <sub>1605</sub> P <sub>1905</sub> K <sub>1215</sub>			3,71	4,26	61,57	86,0
5. N <sub>2614</sub> P <sub>2800</sub> K <sub>2025</sub>			3,66	3,48	55,33	83,0

Содержание подвижного калия на исследуемых вариантах опыта достаточно высокое. На контроле количество его достигало высоких показателей, а на вариантах 2, 3, 4, 5 – избыточных.

Для горизонта PU агротемногумусовых подбелов, при длительном применении удобрений, свойственны высокие показатели степени насыщенности основаниями. Это свидетельствует о низком содержании в почвенном поглощающем комплексе ионов водорода. Низкое содержание гумуса, высокая степень насыщенности основаниями говорит о нехватке свежего органического вещества, необходимого для усиления процессов трансформации органического вещества микрофлорой почв и активизации процессов гумусообразования.

На необходимость активизации микробиологических процессов указывали и достаточно низкие показатели ферментативной (каталазной) активности почв. Согласно оценочным грациям обогащенности почв каталазой [7], для горизонта PU исследуе-

мых почв, свойственна бедная (варианты 2, 3, 4, 5) и средняя (контроль) обогащенность почв каталазой. Показатели каталазной активности составили на вариантах: 1 (контроль) – 3,2 O<sub>2</sub> см<sup>3</sup>/1 г почвы за 1 мин; 2, 3, 4 – 2,0; 5 – 2,7 O<sub>2</sub> см<sup>3</sup>/1 г почвы за 1 мин соответственно. Таким образом, длительное применение удобрений во многом способствовало снижению ферментативной (каталазной) активности почв.

Внесение извести совместно с минеральными удобрениями (вариант 4), судя по показателям эмиссии CO<sub>2</sub> (1,57 г C–CO<sub>2</sub> м<sup>2</sup>/сут) заметно усилило интенсивность разложения органического вещества почвы. На вариантах 3 и 5 продуцирование CO<sub>2</sub> составило 1,52 г C–CO<sub>2</sub> м<sup>2</sup>/сут. На контроле и на варианте 2 зафиксировано снижение эмиссии C–CO<sub>2</sub> из горизонта PU до 1,43 г C–CO<sub>2</sub> м<sup>2</sup>/сут.

Исследования микрофлоры показали, что большая численность микроорганизмов, утилизирующих органический азот, отмечена на контроле (табл. 3).

Таблица 3

Численность и групповой состав микроорганизмов в длительном опыте с органическими, минеральными удобрениями и известью (тыс. КОЕ на 1 г почвы)

Вариант	Аммонификаторы, (МПА)	Грибы (среда Чапека)	Бактерии, использующие минер. азот (КАА)	Актиномицеты	Олигонитрофилы (Эшби)
1. Контроль	24000	65,5	37800	1400	32000
2. Навоз <sub>240</sub>	15650	63,5	29600	800	27600
3. Навоз <sub>240т/га</sub> + Известь <sub>17т/га</sub> + N <sub>120</sub> + P <sub>180</sub> + K <sub>180</sub>	16500	65,5	29000	1100	23400
4. Известь <sub>17т/га</sub> + N <sub>1605</sub> + P <sub>1905</sub> + K <sub>1215</sub>	12600	95,0	32000	1200	31600
5. N <sub>2614</sub> + P <sub>2800</sub> + K <sub>2025</sub> (NPK)	48200	104,0	94400	300	65200

Здесь же наблюдается достаточно высокая численность микроорганизмов, развивающихся за счет минерального азота. Эти процессы сбалансированы, и коэффициент минерализации, характеризующий направленность и активность основных процессов круговорота азота, значительно меньше, чем на других вариантах. Это указывает на меньшую интенсивность минерализации растительных остатков (табл. 4). В сохранении и пополнении азота в почве большую роль играет олигонитрофильная микрофлора. Значительное содержание олигонитрофилов на контроле свидетельствует об обеспеченности почвы азотом. Коэффициент эвтрофности (отношение численности микроорганизмов на МПА и КАА) на контроле – 0,63.

Здесь же наблюдается достаточно высокая численность микроорганизмов, развивающихся за счет минерального азота. Эти процессы сбалансированы, и коэффициент минерализации, характеризующий направленность и активность основных процессов круговорота азота, значительно меньше, чем на других вариантах. Это указывает на меньшую интенсивность минерализации растительных остатков (табл. 4). В сохранении и пополнении азота в почве большую роль играет олигонитрофильная микрофлора. Значительное содержание олигонитрофилов на контроле свидетельствует об обеспеченности почвы азотом. Коэффициент эвтрофности (отношение численности микроорганизмов на МПА и КАА) на контроле – 0,63.

Здесь же наблюдается достаточно высокая численность микроорганизмов, развивающихся за счет минерального азота. Эти процессы сбалансированы, и коэффициент минерализации, характеризующий направленность и активность основных процессов круговорота азота, значительно меньше, чем на других вариантах. Это указывает на меньшую интенсивность минерализации растительных остатков (табл. 4). В сохранении и пополнении азота в почве большую роль играет олигонитрофильная микрофлора. Значительное содержание олигонитрофилов на контроле свидетельствует об обеспеченности почвы азотом. Коэффициент эвтрофности (отношение численности микроорганизмов на МПА и КАА) на контроле – 0,63.

Таблица 4

Влияние удобрений на интенсивность микробиологических процессов агротемногумусовой отбеленной почвы

Вариант	Горизонт	[Гр] / [Акт] · 10 <sup>-2</sup>	K <sub>мин</sub> (КАА/МПА)	K <sub>эвт</sub> (МПА/КАА)
1. Контроль	РУ	4,70	1,60	0,63
2. Навоз <sub>240</sub>		7,90	1,90	0,57
3. Навоз 240 + Из <sub>17</sub> + N <sub>120</sub> + P <sub>180</sub> + K <sub>180</sub>		5,90	1,70	0,56
4. Из <sub>17</sub> + N <sub>1605</sub> + P <sub>1905</sub> + K <sub>1215</sub>		7,90	2,50	0,40
5. N <sub>2614</sub> + P <sub>2800</sub> + K <sub>2025</sub> (NPK)		34,6	1,90	0,51

Примечание. [Гр] – грибы, [Акт] – актиномицеты.

На варианте с навозом содержание всех групп микроорганизмов заметно меньше, чем на контроле. Вероятнее всего, последнее действие навоза как органического удобрения уже не сказывается. О недостаточной обеспеченности микрофлоры свежим органическим веществом свидетельствует коэффициент эвтрофности равный 0,57.

При этом численность микроорганизмов, развивающихся за счет минеральных источников азота (КАА) и являющихся показателем минерализационных процессов в почве, снижалась по сравнению с контролем. Недостаточная интенсивность микробиологических процессов, вероятно, способствует сохранению гумуса в варианте с навозом (табл. 2), хотя коэффициент минерализации достаточно высокий. Добавление к навозу извести и минеральных удобрений слабо сказывается на развитии микробиологических процессов. Коэффициент эвтрофности на варианте навоз + из-

разложению гумуса, и его содержание оказывается более низким в варианте с одними минеральными удобрениями.

Внесение извести заметно снижает содержание микроорганизмов, хотя и способствует развитию минерализационных процессов. Возрастает численность микроорганизмов, использующих минеральные формы азота (среда КАА), и коэффициент минерализации оказывается самым высоким. Вариант известь + минеральные удобрения имеет самый низкий коэффициент эвтрофности – 0,30, что указывает на слабую обеспеченность микрофлоры свежим органическим веществом и вероятность минерализации гумуса.

На вариантах с внесением минеральных удобрений увеличивалось содержание грибов. На наш взгляд, вероятно, это связано с подкислением почвы. Развитие грибов увеличивалось в ряду: навоз < навоз + известь + NPK < контроль < Известь + NPK < NPK.

Содержание актиномицетов – активных минерализаторов трудноразлагаемого органического вещества существенно изменялось. Наибольшее их количество зафиксировано на контроле и на вариантах 3 (навоз + известь + NPK) и 4 (Известь + NPK).

Резкое увеличение соотношения грибов и актиномицетов [Гр]/[Акт] указывает на снижение окультуренности почв [6]. Это подтверждается значительным увеличением численности микроорганизмов, развивающихся за счет минеральных форм азота (среда КАА) и являющихся показателем развития минерализационных процессов, интенсивность которых определяла высокая доза минеральных удобрений.

### Выводы

1. Длительное применение удобрений способствовало возрастанию содержания гумуса. Наибольшее накопление гумуса зафиксировано на вариантах с внесением навоза (3,91 %) и смеси навоз + известь + NPK (3,98 %). Количество подвижного фосфора изменялось от низких (варианты 1, 2, 5) до средних значений (варианты 3, 4). Содержание обменного калия на всех исследуемых вариантах опыта избыточное.

2. Внесение минеральных удобрений и извести (вариант 4) активизировало процессы разложения органического вещества и отразилось в увеличении показателей эмиссии CO<sub>2</sub>.

3. Отмечались негативные моменты в функционировании микрофлоры – снижался (до низких значений), по сравнению с контролем, уровень обогащённости почв каталазой. Высокое содержание грибов и актиномицетов на варианте 4 (известь + NPK) указывало на глубокие процессы минерализации органического вещества. На варианте с внесением высоких доз NPK прослежива-

лась тенденция к возрастанию численности аммонификаторов и усиление микробиологических процессов мобилизации азотсодержащих компонентов.

4. Резкое увеличение соотношения грибов и актиномицетов свидетельствовало о снижении окультуренности почв на варианте с внесением высоких доз минеральных удобрений.

### Список литературы

1. Алексеева Е.Н. Влияние длительного применения разных доз удобрений на плодородие средневыщелоченного тяжелосуглинистого чернозема // Почвоведение. – 1970. – № 3. – С. 127–131.
2. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: МГУ, 1970. – 487 с.
3. Гомонова Н.Ф., Овчинникова М.Ф. Влияние длительного применения минеральных удобрений и известкования на химические свойства, групповой и фракционный состав гумуса дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. – 1986. – № 1. – С. 85–90.
4. Доспехов Б.А., Кирюшин Б.Д., Братерская А.Н. Действие 60-летнего применения удобрений, периодического известкования и севооборотов на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. – 1976. – № 4. – С. 3–14.
5. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
6. Кукишева А.А. Влияние экологических факторов на микрофлору и ферментативную активность дерново-подзолистой почвы Томской области и чернозема выщелоченного Алтайского Приобья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2011. – 20 с.
7. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д.Г. Звягнцева. – М.: МГУ, 1991. – 303 с.
8. Орлов Д.С. Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. – 2004. – № 8. – С. 918–926.
9. Пуртова Л.Н. Костенков Н.М. Влияние гербицидов на процессы гумификации, оптико-энергетические, показатели агрогенных почв Приморья // Агрохимия. – 2011. – № 2. – С. 3–9.
10. Рыбачук Н.А., Ознобихин В.И. Разработка методики картографической оценки трансформации и динамики агрохимических показателей пахотных почв // Тр. Дальневост. отд-ния Докучаевского о-ва почвоведов РАН. – Владивосток: ДВО РАН, 2005. – Т.2. – С. 12–18.
11. Шарков И.Н. Сравнительная характеристика двух модификаций абсорбционного метода определения дыхания почв // Почвоведение. – 1987. – № 10. – С. 153–157.