

**ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ТОРФЯНО-ПЕСЧАНЫХ ПОЧВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПОЛЕСЬЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОЗДЕЛЫВАЕМЫХ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР И СИСТЕМ УДОБРЕНИЙ**

**С.Г. Вильтовская**, научный сотрудник  
РУП «Институт мелиорации»

**Ключевые слова:** торфяно-песчаные почвенные комплексы, Полесье, ферментативная активность, полифенолоксидаза, пероксидаза, инвертаза, фосфатаза, уреазы, относительный коэффициент гумификации, кормовые культуры

**Введение**

На территории Белорусского Полесья антропогенно-преобразованные почвенные комплексы занимают около 10-30 % верховий мелиоративных систем и песчаных повышенных элементов мезорельефа. Образование таких почв является следствием трансформации органогенного вещества пахотного слоя осушенных маломощных торфяных почв в процессе интенсивного их сельскохозяйственного использования. Торфяно-песчаные почвенные комплексы характеризуются высокой зольностью, низкой емкостью поглощения и водоудерживающей способностью, а также, как правило, низкими уровнями грунтовых вод от дневной поверхности.

Считается [1], что антропогенно-преобразованные торфяно-песчаные почвенные комплексы малопродуктивны и должны быть выведены из интенсивного сельскохозяйственного использования. Однако за счет подбора видового состава кормовых культур, уровня интенсификации и технологий их возделывания, можно создавать высокопродуктивные агрофитоценозы и сохранять потенциальное плодородие таких почвенных комплексов.

Чувствительным индикатором плодородия почв является ферментативная активность, отражающая изменения почвенных процессов и трансформацию органического вещества. Рядом авторов в достаточной степени обсуждался вопрос определения активности ферментов инвертазы, уреазы, фосфатазы и полифенолоксидазы черноземов, дерново-подзолистых и лесных почв [2-5]. Изучению процессов образования или расщепления высокомолекулярных соединений почвы за счет сравнения активности полифенолоксидазы и пероксидазы, как ферментов, катализирующих распад и синтез гумусовых веществ, посвящено немного работ [6-7]. Исследованием активности этих энзимов на антропогенно-преобразованных торфяно-песчаных почвенных комплексах Полесья никто не занимался.

Таким образом, целью данного исследования является подбор кормовых культур, адаптированных к водно-физическим и агрохимическим условиям торфяно-песчаных почвенных комплексов, установление оптимальных систем удобрений при их возделыва-

нии, а также изучение комплексного влияния этих факторов на плодородие почв, что важно при экономических и экологических условиях землепользования.

### **Методика исследования**

Для реализации поставленных задач в 2006 г. был заложен полевой стационар на антропогенно-преобразованных торфяно-песчаных почвенных комплексах на Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства (ПОСМЗил). Почва опытного участка представлена 42% дерготорфяной минеральной остаточно-торфяной (ОВ 5-20%) и 58% дерготорфяной постторфяной (ОВ менее 5,1%), подстилаемых с глубины 15-25 см песком. Перед закладкой полевого опыта почва характеризовалась следующими агрохимическими показателями: рН<sub>KCl</sub> 5,5-6,0, содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 184-312 мг/кг почвы, K<sub>2</sub>O – 114-277 мг/кг почвы и низкими уровнями грунтовых вод (УГВ в течение вегетационного периода опускаются до 1,7 м).

На опытном участке возделывали: кукурузу (в 2006 г. сорт Молдавская-253, в 2007 г. – Крыничная), яровое тритикале (сорт Лана), озимую рожь (сорт Игуменская) (предшественник пелюшко-овсяная смесь) и многолетние бобовые травы: люцерну посевную (сорт Будучыня), лядвенец рогатый (сорт Московский-287), галегу восточную (сорт Садружность). Все культуры выращивали для использования на зеленую массу, тритикале и озимую рожь на зерно. Продуктивность кормовых культур изучали на трех фонах минерального питания: без удобрения, NPK, NPK + навоз. Для кукурузы: N<sub>30+45+45</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90+45</sub>, 50 т/га навоза+N<sub>30+45+45</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90+45</sub>. Для ярового тритикале: N<sub>60+30+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>, 30 т/га навоза+ N<sub>60+30+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90+45</sub>. Для пелюшко-овсяной смеси – N<sub>45</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>, для озимой ржи: N<sub>30+60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90+45</sub>, 30 т/га навоза+ N<sub>30+60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90+45</sub> (навоз и N<sub>30</sub> вносили очень перед посевом). Для многолетних бобовых трав: N<sub>30</sub>P<sub>90</sub>(для люцерны +45)K<sub>90+45</sub>, 50 т/га навоза +P<sub>90</sub> (для люцерны +45)K<sub>90+45</sub>. Минеральный азот (N<sub>30</sub>) и 50 т/га навоза вносили только в год закладки опыта перед посевом трав.

Семена трав перед посевом обрабатывали фунгицидом «Максим» и растворами микроэлементов: молибденовокислым аммонием (20-30 г/ц) и борной кислотой – 20-30 г/ц. Многолетние бобовые травы сеяли беспроковно ранней весной. Предшественником для всех культур были многолетние злаковые травы.

В 2006-2007 гг. нами был реализован следующий плодосмен культур: кукуруза → яровое тритикале с пожнивным подсевом редьки масличной; яровое тритикале с пожнивным подсевом редьки масличной → кукуруза; пелюшко-овсяная смесь с последующим посевом озимой ржи → озимая рожь с пожнивным подсевом редьки масличной.

Почвенные пробы отбирали весной 2006 и 2007 гг. перед внесением удобрений. Почву высушивали при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния, размалывали и просеивали через сито диаметром 1 мм [8].

Активность полифенолоксидазы (ПФО) (метод Л.А. Карягиной, Н.А. Михайловской

[9]) определяли после инкубации почвы при 30°C в течение 1,5 ч с гидрохиноном для образования бензохинона, который затем экстрагировали этиловым спиртом и колориметрировали при длине волны  $\lambda=470$  нм. Активность фермента выражали в концентрации: мг бензохинона/кг почвы за 24 ч.

Активность пероксидазы по методу Л.А. Карягиной, Н.А. Михайловской определяли после инкубации почвы при 30°C в течение 1,5 ч с гидрохиноном и перекисью водорода до образования бензохинона, который затем экстрагировали этиловым спиртом и колориметрировали при длине волны  $\lambda=470$  нм. Активность фермента выражали в концентрации: мг бензохинона/кг почвы за 24 ч.

Активность инвертазы (метод Т. А. Щербаковой [8]) определяли после инкубации почвы при 37°C в течение 4 ч с сахарозой для образования глюкозы. Затем прибавляли индикатор, кипятили 10 минут, резко охлаждали и колориметрировали при 508 нм. Активность фермента выражали в концентрации мг глюкозы/кг почвы за 24 ч.

Активность фосфатазы (метод М.А. Tabatabai и J.M. Bremner [9]) определяли после инкубации почвы при 37°C в течение 1 ч с *n*-нитрофенилфосфатом натрия для образования *n*-нитрофенола, который экстрагировали гидроокисью натрия и колориметрировали при 400 нм. Активность фермента выражали в концентрации мг *n*-нитрофенола/кг почвы за 24 ч.

Активность уреазы определяли после инкубации почвы при 37°C в течение 4 ч с мочевиной для образования  $\text{NH}_4^+$ , который экстрагировали трихлоруксусной кислотой и раствором хлористого калия, затем приливали раствор сегнетовой соли и раствора Несслера и колориметрировали при 400 нм [9]. Активность фермента выражали в концентрации мг  $\text{N-NH}_4^+$ /кг почвы за 24 ч.

### **Результаты и обсуждение**

Известно, что почвенное плодородие зависит от комплекса водно-физических и агрохимических показателей. Однако важное место в процессе почвообразования занимает комплекс микробиологических показателей, в частности, активность ферментов, адсорбированных на почвенных коллоидах и частично в почвенном растворе. Они продуцируются как микроорганизмами, населяющими почву, так и корнями произрастающих культур. Ферменты катализируют процессы синтеза и распада гумуса, гидролиза высокомолекулярных соединений органического вещества, окислительно-восстановительные реакции, перенос протонов, энергии и др. Следует отметить, что энзимы исключительно чувствительны к изменению экологической обстановки почвы, а также к изменению состава и количества органического вещества в почве, обусловленное окультуриванием, содержанием подвижных и легкогидролизуемых элементов питания [10].

Анализ активности ферментов позволит оценить процессы трансформации органического вещества и гумуса на современном уровне, а также поможет более диффе-

ренцировано подходить к вопросу плодородия почв. За счет подбора культур и вида вносимого удобрения, можно влиять на направленность почвенных процессов.

По степени активности гидролаз можно судить о содержании в почве элементов питания, доступных для растений. Инвертаза катализирует гидролиз дисахаридов (сахарозы), в результате чего образуются более мелкие фрагменты глюкозы и фруктозы – основных источников энергии для растений. Фосфатаза и уреазы в свою очередь катализируют процессы гидролиза азот- и фосфорорганических соединений. Таким образом, ферменты играют важную роль в обогащении почвы подвижными и доступными растениям питательными веществами, что связано с продуктивностью культур [8].

Полевой стационар был заложен на месте многолетнего пастбища со злаковыми травами. Обработка почвы, внесение удобрений и возделывание кормовых культур привели к повышению активности инвертазы, фосфатазы и уреазы, в то время как полифенолоксидазная активность снизилась. Динамика процесса представлена на примере инвертазы и уреазы (рис. 1).

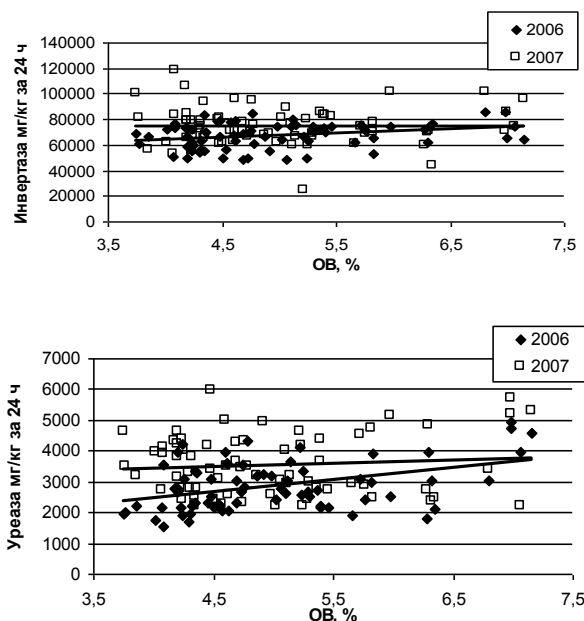
Для оценки влияния возделываемых культур и систем удобрений была сделана оценка направленности почвенных процессов по относительному коэффициенту гумификации, который может быть рассчитан по соотношению:  $K_f = \text{ПФО}/\text{ПД}$ .

Известно, что оксидоредуктазы при определенных условиях катализируют процессы, ведущие к формированию молекул гуминовых кислот (ПФО) или к расщеплению

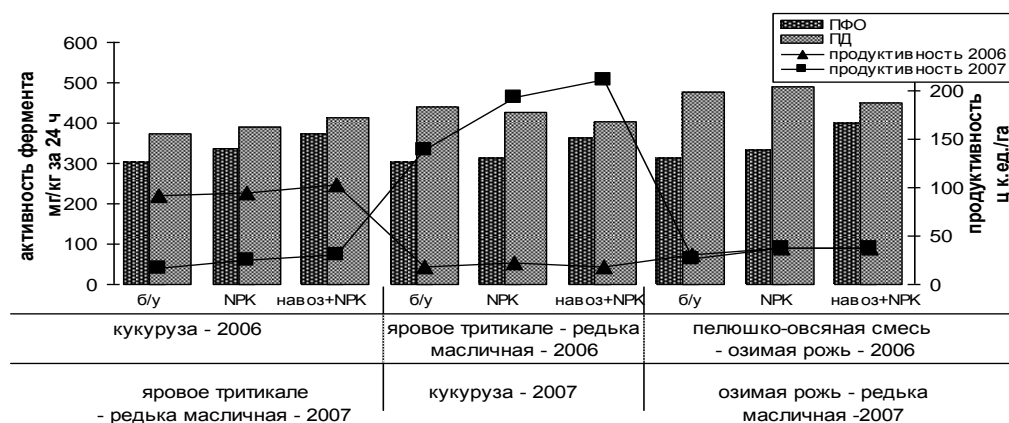
внутримолекулярных связей высокомолекулярных гетероциклических углеводов – расщеплению компонентов гумуса (ПД) [8]. То есть изучение оксидоредуктаз важно для влияния на процессы образования гумусоподобных веществ, а следовательно, и для вопроса потенциального плодородия почв.

Анализ активностей полифенолоксидазы и пероксидазы под кукурузой и зерновыми (яровым тритикале и озимой рожью) показывает, что фон вносимого удобрения влияет на окислительно-восстановительные ферменты (рис. 2).

Так, например, активность ПФО от уровня минерального и органоминерального питания под куку-



**Рис. 1.** Изменение направленности ферментативных процессов по годам исследований



**Рис. 2. Влияние кукурузы, ярового тритикале и пелюшко-овсяной смеси с последующим посевом озимой ржи и фона вносимого удобрения на активность ферментов**

рузой, яровым тритикале и пелюшко-овсяной смесью, с последующим посевом озимой ржи можно выразить экспоненциальной функцией:  $y = 0,1833e^{0,0005x}$  ( $R^2 = 0,5645$ ). Под многолетними бобовыми травами эта активность умеренная и имеет вид:  $y = 0,1854e^{0,0009x}$  ( $R^2 = 0,3217$ ).

Известно, что растительные остатки содержат легкогидролизуемые соединения, которые, разлагаясь, образуют первичные гуминовые вещества. Последние быстро подвергаются расщеплению и далее процессу минерализации [11]. Часть соединений подвергается минерализации, другая, более устойчивая, подвергается вторичному процессу гумификации, в результате чего появляются более устойчивые к гидролизу гумусовые вещества [12]. Этот процесс протекает только в условиях достаточного увлажнения, определенного ботанического состава органического вещества, поступающего в почву, и др. В случае, когда таких условий нет, баланс гумуса либо равен нулю (бездефицитный), либо отрицательный, т. е. большая часть гуминовых кислот, образованных в результате попадания растительных остатков в почву, подвергается гидролизу и затем минерализуются.

Обнаружено, что относительный коэффициент гумификации варьирует в диапазоне 0,66-0,90 в зависимости от вида кормовой культуры и фона удобрения (рис. 2). На контрольном варианте наибольший  $K_f$  наблюдался под кукурузой и составлял 0,82, а наименьший – под пелюшко-овсяной смесью с последующим посевом озимой ржи ( $K_f = 0,66$ ). Возделывание этих культур на варианте внесения минеральных удобрений не изменило существенно соотношение активностей оксидоредуктаз, значения коэффициента варьировали от 0,68 до 0,86. Внесение навоза совместно с фоном NPK активизирует полифенолоксидазу. Установлено, что на этом варианте минерального питания относительный коэффициент гумификации составил 0,90 под кукурузой и яровым тритикале и

0,89 под озимой рожью (баланс гумуса практически бездефицитный). Вероятно, за счет внесения навоза происходит дополнительное поступление органического вещества в почву, что благоприятно влияет на почвенные процессы.

Таким образом, оптимальным условием для почвообразовательного процесса под кукурузой и зерновыми является внесение навоза совместно с полным минеральным удобрением. На этом варианте отмечена и наибольшая продуктивность исследуемых культур (рис. 2). Так, в 2006 г. продуктивность кукурузы, суммарная продуктивность ярового тритикале с пожнивным посевом редьки масличной и пелюшко-овсяной смеси с последующим посевом озимой ржи составила 102,6, 18,7 и 37,5 ц к.ед./га соответственно. В 2007 г. на том же фоне удобрения продуктивность кукурузы, ярового тритикале → редька масличная и озимой ржи → редька масличная возросла до 210,7, 31 и 37,7 ц к.ед./га соответственно.

Как было отмечено выше, относительный коэффициент гумификации под зерновыми составляет 0,89-0,90, а активности гидролитических ферментов находятся на высоком уровне, что говорит о высоком потенциальном плодородии почвы. С другой стороны, продуктивность культур зависит не только от почвенного плодородия, но и от водного режима вегетационного периода. Так, на примере продуктивности ярового тритикале видно, что осадки, УГВ, влажность и температура в определенные фазы развития растений (формирование колоса и зерна) могут снижать продуктивность культуры (рис. 3).

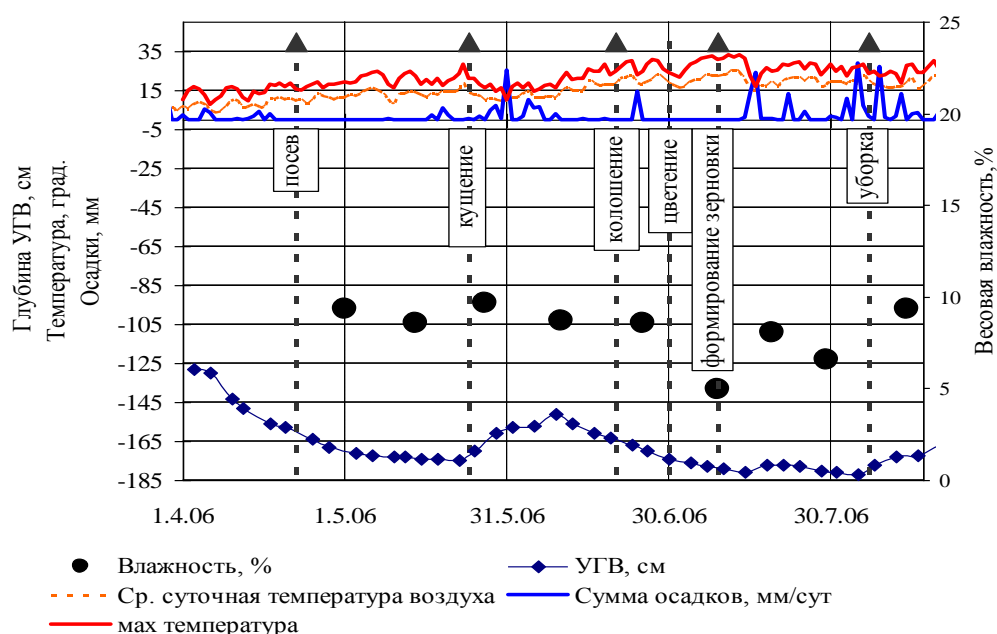
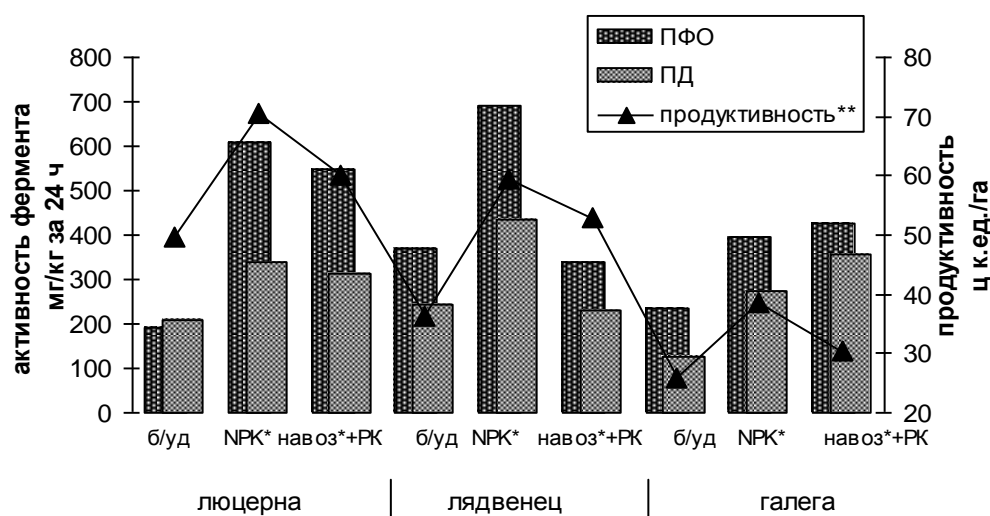


Рис. 3. Прохождение отдельных фаз роста и развития ярового тритикале

На схеме видно, как длительные периоды без осадков в фазы формирования колоса (кущение) и зерна (колошение, цветение, формирование зерновки) при высокой температуре могут привести к резкому снижению урожайности зерновых. Так, на вариантах без удобрений, NPK и навоз + NPK урожайность ярового тритикале составила всего 4,0, 4,9 и 4,2 ц к.ед./га соответственно. Таким образом, на антропогенно-преобразованных торфяно-песчаных почвенных комплексах Полесья необходимо обязательное соблюдение оптимальных сроков сева.

Коэффициент гумификации под многолетними травами выше, чем под однолетними культурами, и находится в диапазоне 1,2-1,8 (в зависимости от вида кормовой культуры и фона удобрения) (рис. 4).



\* N и навоз – внесены перед посевом трав.

\*\* Продуктивность средняя за 2 года.

Рис. 4. Влияние многолетних трав и удобрений на активность ферментов

Возможно, это связано с тем, что под многолетними бобовыми травами, по сравнению с зерновыми и кукурузой, процесс минерализации органического вещества идет наименее интенсивно. Причина этого – преобладание анаэробных условий, которые создаются в почве под этими культурами. Это также может быть связано с тем, что многолетние травы интенсивно наращивают корневую массу (особенно люцерна). Кроме того, рядом авторов обнаружено, что количество пожнивных остатков под многолетними травами в 1,5-2 раза выше, чем под кукурузой и зерновыми [13, 14]. То есть создаются благоприятные условия для образования высокомолекулярных соединений, трудно подвергающихся гидролизу, в результате первичной и последующих гумификаций.

Многолетние травы на варианте без внесения удобрений в большей степени обеспечивают почву свежим органическим веществом, о чем свидетельствует преобла-

дание процесса синтеза первичных гуминовых веществ над его распадом (рис. 4). Вариант внесения навоза совместно с РК усилил этот процесс незначительно, по сравнению с контрольным вариантом. Наиболее благоприятные условия для увеличения соотношения между активностью окислительно-восстановительных ферментов под многолетними бобовыми травами достигаются на варианте предпосевого внесения  $N_{30}$ . Относительный коэффициент гумификации наибольший и составляет 1,8, 1,6 и 1,5 под люцерной посевной, лядвенцем рогатым и галегой восточной соответственно. Средняя величина продуктивности за 2006-2007 гг. на этом варианте ( $N_{30}P_{90}$ (для люцерны +45) $K_{90+45}$ ) составила 70,5, 59,6 и 38,5 ц к.ед./га под люцерной, лядвенцем и галегой соответственно (рис. 4).

Бобовые травы дают высокие урожаи зеленой массы и сохраняют потенциальное почвенное плодородие почв. А.В.Юговым и А.В.Сисо [15] было установлено, что из всех многолетних культур люцерна обладает наибольшим структурирующим почву действием и обеспечивает положительный баланс гумуса, что подтверждается измеренным нами значением  $K_g$ .

#### **Выводы**

Результаты промежуточных исследований показали, что величина активности гидролитических ферментов говорит о достаточно высоком уровне потенциального плодородия антропогенно-преобразованных торфяно-песчаных почвенных комплексов Полесья. Это показывает и средняя за два года продуктивность кормовых культур (ц к.ед./га): до 150 кукурузы, до 25 – зерновых и до 60 – многолетних трав (в зависимости от вида кормовой культуры и фона удобрения).

Оптимальными условиями для поддержания потенциального плодородия антропогенно-преобразованных торфяно-песчаных почвенных комплексов Полесья под однолетними культурами является внесение органоминерального удобрения (баланс гумуса практически бездефицитный), а под многолетними культурами –  $N_{30}$  перед посевом трав ( $K_g = 1,5-1,8$ ).

#### **Литература**

1. Бамбалов, Н.Н. Роль болот в биосфере / Н.Н. Бамбалов, В.А. Ракович. – Мн.: Бел. наука, 2005. – 285 с.
2. Куликова, Е.В. Биологическая активность чернозема в условиях различной структуры севооборотов: автореф. дис. ...канд. биол. наук / Е.В. Куликова; Воронеж. гос. ун-т. – Воронеж, 2006. – 23 с.
3. Лапа, В.В. Влияние различных видов органических удобрений на микробиологическую активность дерново-подзолистой супесчаной почвы / В.В. Лапа [и др.] // Вести Национальной академии наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2004. - № 4. – С. 15-17.
4. Sardans, J. Drought decreases soil enzyme activity in a Mediterranean *Quercus ilex* L. forest / J. Sardans, Penuelas J. / Soil Biolog. & Biochem. 2005. - Vol. 37. - P. 455-461.
5. Киреева, Н.А. Фенолоксидазная активность нефтезагрязненных почв / Н.А. Киреева, Г.Ф. Ямалетдинова // Вестник Башкирского университета. – 2000. – № 1. – С. 44-48.
6. Емцев, В.Т. Микробиология / В.Т. Емцев, Е.Н. Мишустин. – М.: Дрофа, 2005. – 445 с.



7. Звягинцев, Д.Г. Имобилизованные ферменты в почвах / Д.Г. Звягинцев. – М.: МГУ, 1979. – С. 31-46.
8. Хазиев, Ф.Х. Методы почвенной энзимологии / Ф.Х. Хазиев. – М.: Наука, 1990. – 189 с.
9. Галстян, А.Ш. Ферментативная активность почв Армении / А.Ш. Галстян. – Ереван: Айстан. – 1974. – 260 с.
10. Зименко, Т.Г. Деятельность микроорганизмов в мелиорированных торфяных почвах / Т.Г. Зименко // Микроорганизмы почвы и растение – Минск: Наука и техника, 1972. – С. 144-168.
11. Использование и охрана торфяных комплексов в Беларуси и Польше / В.И. Белковский [и др.]; под ред. В.И. Белковского и С.Юрчука. – Мн.: БИТ «Хата», 2002. – 280 с.
12. Пономарева, В.В. Гумус и почвообразование / В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова. – Л.: Наука, 1980. – 222 с.
13. Дедов, А.В. Экологические приемы повышения плодородия почвы / А.В. Дедов, Н.И. Придворев // Актуальные проблемы сельскохозяйственной биотехнологии: Матер. научно-практ. конф. – М.: Злотограф, 2004. – С. 9.
14. Тулин, С.А. Влияние внесения навоза и минеральных удобрений на продуктивность культур в звеньях севооборота на дерново-подзолистых песчаных почвах Брянского Полесья / С.А. Тулин, Н.Г. Ставрова // Агрехимия. 1992. – № 11. – С. 80-88.
15. Югов, А.В. Плодородие почв в зависимости от возделываемых культур / А.В. Югов, А.В. Сиси / Научный журнал КубГАУ. – 2008. – № 1. – Вып. 35. – С. 3-13.

### **Summary**

#### ***Viltovskaya S. Fermentative Activity of Peat-Sand Soil Complexes of Polesye Depending on the Grown Fodder Crops and Fertilizer Systems***

The relative humification coefficient (polyphenol oxidase to peroxidase activity ratio) of the anthropogenically converted peat-sand complexes of Polesye has been measured. It has been ascertained that the maximum humification coefficient is observed in case of application of manure and full fertilizer for maize, spring triticale and mixture of Austrian winter pea and oat as well as phosphor-potassium fertilizer for perennial grasses. The fodder crops are featured by the maximum productivity of the fodder crops. The soil treatment, application of fertilizers and growing the fodder crops caused the alteration of the biochemical soil processes: strengthened the processes catalyzed by hydrolases (invertase, urease, phosphatase) and reduced the activity of polyphenol oxidase.

*Поступила 15 мая 2008 г.*