

**УДК 614.77**

## **ФУНГИЦИДЫ И АКТИВНОСТЬ ГИДРОЛИТИЧЕСКОГО ЭНЗИМА ГРУППЫ АМИДАЗ В ПОЧВЕ**

*Громова И. П.*

*ФБУН «ФНЦГ им. Ф. Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, Мытищи, Россия  
E-mail: gromovaip@mail.ru*

При выполнении комплексных гигиенических исследований по нормированию фунгицидов, стойких в почве, на основе производных триазолов (флутриафол) и стробилуринов (флуоксастробин) в условиях лабораторного эксперимента было изучено влияние токсикантов на общесанитарный показатель вредности, в том числе, на ферментативную активность гидролитического энзима группы амидаз – уреазы. Установлено, что химические вещества в высоких концентрациях оказывают разнонаправленное действие на активность фермента, выражающееся торможением процессов азотистого обмена в почве и высокой устойчивостью к ингибирующим факторам.

**Ключевые слова:** почва, фунгициды, энзимы, уреазы, ферментативная активность, самоочищение, безопасность.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В антропогенном загрязнении почв эмерджентными макро- и микрополлютантами довольно значительную часть занимают фунгициды, которые оказывают разнонаправленное влияние на ее биоту в связи с некоторыми своими химическими, физическими и биологическими свойствами. Большинство из них являются высокотоксичными и мутагенными соединениями, способными не только накапливаться в почве, а также мигрировать в биосфере за счет абиотических и биотических процессов. Пестицидная нагрузка на почву приводит к изменению характерных для нее физических, агрохимических, микробиологических и биохимических свойств (плотность, кислотность, аэрация, водный и температурный режимы и др.) нарушая тем самым ее способность выполнять экологические функции.

Наиболее чувствительным к антропогенному воздействию является почвенный микробиоценоз, так как, в первую очередь, изменяются биохимические процессы, происходящие в почве при участии почвенных ферментов, которые имеют большое значение среди факторов биологической активности почвы - одного из индикаторов ее экологического состояния [1].

Известно, что наиболее эффективно применение биохимических методов диагностики и мониторинга почв при оценке влияния на ее экологическое состояние загрязнения различными поллютантами (нефть, нефтепродукты, тяжелые металлы, пестициды и др.). Использованию ферментативной активности (ФА), которая отражает напряженность и направленность процессов биохимических

превращений, протекающих в почве, в качестве интегрального критерия дает возможность ее высокая чувствительность к внешнему влиянию, малая погрешность экспериментов, доступность и простота методов определения (Галстян, 1974; Звягинцев, 1978; Даденко, 2004; Казеев и др., 2004, 2008, 2010; Денисова и др., 2005; Колесников и др., 2007, 2008 и др.; Хазиев, 1976, 2015) [2–4].

В почве все изменения, связь, синтез, деструкция органических и неорганических частей и веществ осуществляются энзимологическим комплексом (почвенные энзимы) катализаторов белковой природы – ферментами, различного происхождения, поступающих из микроорганизмов, водорослей, лишайников, корней высших растений, почвенной мезофауны. Они обладают высокой активностью, своеобразием эффектов, зависимостью от факторов внешней среды [5–7].

Определение активности ферментов основано на определении количества продукта реакции, образующегося в результате переработки в процессе реакции в оптимальных условиях температуры, pH среды, концентрации субстратов, величины навески почвы [8].

Уреаза (амидаза) относится к большому классу почвенных энзимов – гидролаз, которые обширно распространены в почвах и принимают непосредственное участие, наряду с окислительно-восстановительными ферментами, в насыщении их питательными веществами для растений и микроорганизмов. Механизм действия этих ферментов заключается в разрушение высокомолекулярных органических соединений путем катализации реакций гидролиза биологических полимеров, воздействуя на различные виды связей, в том числе на сложноэфирные, глюкозидные, амидные и пептидные. Образующиеся в результате протеолиза свободные аминокислоты, азотистые основания, амиды переходят в стадию аммонификации – биодеградации мочевины. Процесс гидролиза и превращения в доступную форму азота мочевины неразрывно связано с действием уреазы [9].

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Для обоснования предельно допустимых концентраций действующих веществ (ДВ) фунгицидов флутриафола (производное триазолов) и флуоксастробина (производное стробилуринов), обладающих высокой персистентностью в почве (2 класс опасности), согласно методике нормирования ДВ пестицидов в почве по основному комплексному критерию гигиенической оценки опасности загрязнения – предельно допустимой концентрации (ПДК), в условиях стационарного 60-дневного лабораторного эксперимента были проведены экспериментальные исследования по изучению влияния ксенобиотиков на общесанитарный показатель вредности (ОСПВ), характеризующий изменение индикаторных параметров определяющих безопасность почвы для населения, а также показателей биологической активности почвы (набор ферментативных реакций, являющихся индикаторами интенсивности протекания биологических процессов в почве), определяющих ее самоочищение от токсикантов. Динамика изменения этих показателей позволяет судить о биологической активности как почвы в целом, так и отдельных процессов трансформации эндогенных и экзогенных соединений [10–12].

Флутриафол (технический продукт с чистотой 99,0 %) (International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) – (RS)-2,4'-difluoro-a-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl)benzhydryl alcohol; № Chemical Abstracts Service (CAS) 76674-21-0) – кристаллическое вещество белого цвета без запаха. Молекулярная масса 301,29; температура плавления 130° С; плотность 1,41 г/см<sup>3</sup> при 20° С; давление паров при 20° С 4,0·10<sup>-7</sup> Па; растворимость в воде (20° С): 0,18 г/л (рН 4), 0,13 г/л (рН 7 и рН 9); растворимость в органических растворителях (21° С): ацетон –114–133 г/л; этилацетат – 29–33 г/л; н-гептан < 10 г/л; ксилол < 10 г/л; дихлорэтан – 20–25 г/л; метанол –114–133 г/л. Стабильность в водных растворах при рН 4, 7, 9 в течение 30 дней при температуре 50° С. ДВ медленно деградирует в аэробных лабораторных условиях с периодом полураспада (ДТ50) 350–490 дней. В анаэробных условиях ДТ50 флутриафола более года. В полевых условиях флутриафол обладает достаточно высокой биологической устойчивостью в почве (ДТ50=25 недель до более 30 недель). Умеренно сорбируется почвой – коэффициент сорбции (Кос) 205. ДВ абсорбируется почвенно-поглощающим комплексом почвы. С увеличением содержания глинистых частиц и органического вещества в почве показатель сорбции увеличивается, а при увеличении рН сорбция медленно уменьшается [13].

Флутриафол – ДВ системных и контактных фунгицидов широкого спектра действия для предпосевной обработки семян зерновых колосовых (озимых и яровых), просолнечника, льна и просо против возбудителей ржавчины, мучнистой росы, пятнистостей листьев и колоса, а также для наземного опрыскивания в период вегетации на зерновых, садовых, овощных культурах, винограде и газонных травах с нормами расхода 0,6–2,0 л/т семян [14].

Гигиенические нормативы: ДСД – 0,01 мг/кг массы тела человека; ПДК в воде водоемов – 0,006 мг/дм<sup>3</sup> (общесанитарный), ПДК в воздухе рабочей зоны – 0,4 мг/м<sup>3</sup>; ОБУВ в атмосферном воздухе – 0,005 мг/м<sup>3</sup> [15].

Флуоксастробин (технический продукт с чистотой 98,5 %): IUPAC - (E)-{2-[6-(2-chlorophenoxy)-5-fluoropyrimidin-4-yloxy]phenyl}(5,6-dihydro-1,4,2-dioxazin-3-yl)methanone O-methyloxime – International Organization for Standardization (ISO); № CAS 361377-29-9. Это белое кристаллическое вещество со слабым запахом, состоит из двух оптических изомеров E и Z. Температура плавления: 103–108° С. Давление паров при 20° С: 6·10<sup>-10</sup> Па. Коэффициент распределения в системе н-октанол/вода при 20° С: Кow log P = 2,86. Растворимость (г/дм<sup>3</sup>) при 20° С: н-гептан – 0,04, 2-пропанол – 6,7, ксилол – 38,1, ацетон, ацетонитрил, дихлорметан, этилацетат – все более 250; вода – 0,0023. ДТ50 флуоксастробина в лабораторных условиях составил 12,1–319 дней, в полевых условиях 82–271 день, 77–107 дней (почва с растительностью), 16–119 дней (не засеянная почва). ДВ хорошо связывается почвой с низким потенциалом подвижности по профилю почв – Кос 424–1582. [13].

Флуоксастробин – ДВ системных смесевых фунгицидов лечебного, защитного и искореняющего болезни действия против поверхностной и внутренней семенной инфекции зерновых культур с нормами расхода 1,25-1,5 л/т семян [14].

Гигиенические нормативы: ДСД – 0,015 мг/кг массы тела человека; ПДК в воде водоемов – 0,01 мг/дм<sup>3</sup> (органолептический, общесанитарный), ОБУВ в воздухе рабочей зоны – 1,0 мг/м<sup>3</sup>; ОБУВ в атмосферном воздухе – 0,002 мг/м<sup>3</sup> [15].

Опыты проведены с учётом физико-химических свойств нормируемых ДВ, в стандартных микроклиматических (температура 20–30<sup>0</sup> С, влажность 65–70 %) и почвенных условиях с использованием единого, имитирующего, стандартного модельного почвенного эталона (МПЭ), что максимально способствует выявлению воздействия экзогенных химических веществ на почвенный биоценоз.

МПЭ основан на постоянном гранулометрическом и физико-химическом составе песчаной почвы – смесь из чистого средне- и мелкозернистого карьерного песка, отобранного с глубины 3 м от поверхности почвы. Физико-химический состав и свойства стандартного МПЭ: механический – количество частиц с диаметром > 0,1 мм 95 %, количество частиц с диаметром < 0,1 мм 5 %, количество частиц с диаметром 0,1-0,25 мм ≥ 50 %, максимальный размер частиц ≤ 2 мм; органический углерод (по Тюрину) 0,5-1,5 %); емкость поглощения 5 мг-экв/100 г почвы; сумма обменных оснований < 3 мг-экв/100 г почвы; рН-водной вытяжки 6,1–6,5. Песок обладает высокой воздухо-, тепло- и влагопроводностью, малой теплоемкостью, незначительной водоудерживающей способностью, а также имеет минимальную сорбционную способность и может быть использован в экспериментальных исследованиях [16].

Для создания оптимальных условий протекания процессов аммонификации и нитрификации в МПЭ были добавлены соли сернокислого аммония, фосфорнокислого калия, сернокислого магния, гидроокись кальция, а также «болтушка» перегнойной почвы в количестве 1 % от веса почвы.

В навески МПЭ вносили в стерильной водопроводной воде рассчитанные концентрации нормируемых ДВ, предварительно растворенные в ацетоне (ацетон, фармакопей (RFE, USP, BP, Ph. Eur.), содержание основного компонента 99,9 %, фирмы Panreac (Испания)), и микробную смесь аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (1 мл на 1 кг МПЭ). Равномерно распределяя по всему объему. Общее количество воды не превышало рассчитанного объема на навеску воздушно-сухой почвы, обеспечивающего влажность МПЭ 60 % от полной влагоемкости. Затем тщательно перемешивали стерильными шпателями и помещали в полипропиленовые контейнеры с светонепроницаемыми стенками высотой 25 см (высота пахотного слоя) и объемом 5 кг. Постоянную влажность МПЭ (60 %) поддерживают путем полива опытных и контрольных сосудов, предварительно взвешенных вначале опыта, стерильной водопроводной водой не менее 2-х раз в неделю с учетом веса контейнеров с отобранными в процессе эксперимента пробами МПЭ.

Эксперимент включал три варианта с каждым ДВ в трех повторностях с внесением концентраций флутриафола 0,01–0,1–1,0 мг/кг и флуоксастробина 0,001–0,01–0,1 мг/кг, включая чистый контроль. В качестве исходных концентраций ДВ были приняты концентрации, которые создаются в почве (мг/кг абсолютно сухой почвы) при рекомендуемых максимальных нормах расхода препарата/ов на их основе (кг/га), разрешенных к применению в условиях сельского хозяйства Российской Федерации (РФ). Выбор последующих испытываемых концентраций осуществлялся на основании результатов предварительных исследований по выбору, действующих и/или недействующих концентраций ДВ по изучаемому

показателю вредности. В нашем варианте эти концентрации ДВ были на порядок ниже максимально рекомендуемых. Так как стойкость ДВ в почве больше одного срока вегетационного периода, кроме концентрации, создающейся при максимально рекомендуемой норме расхода, в опытах были испытаны концентрации на порядок (в 10 раз) выше максимальных норм расхода фунгицидных препаратов на основе ДВ. Необходимость проведения исследований пестицидов в концентрациях, на порядок превышающих максимально рекомендуемую норму расхода, является основанием возможности кумуляции ДВ в почве при многократном применении, а также потому, что при целенаправленном внесении пестицидов на поверхность почвы в ее пахотном слое создаются концентрации, превышающие допустимые содержания токсикантов в расчете на пахотный слой [16].

Уреазную активность (УА) почвы определяли по методу Т. А. Щербаковой с использованием реактива Несслера для количественного определения N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (мг/кг почвы за 24 часа при t = 37° С). Метод основан на спектрофотометрическом измерении количества окрашенных комплексов реактива Несслера с аммиаком (аммонийным азотом), образующимся при гидролизе мочевины под действием уреазы. Концентрацию аммонийного азота в растворе определяли по калибровочному графику, построенному по серии растворов хлорида аммония, а активность уреазы рассчитывали по формуле, в которой обязательно учитывали контрольное измерение количества аммиака, имеющегося в почве, в том числе образующегося неферментативным путем, с учетом контрольных измерений в стерильной почве [17].

Результаты обработаны методами статистического анализа с помощью типового лицензионного программного обеспечения Microsoft-MS Office (MS Excel, XLSTAT-Pro). Различия показателей считались достоверными при p < 0,01 и p < 0,05.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Многими исследователями УА рассматривается в качестве одного из наиболее информативных показателей интенсивности ферментативных процессов в почве, загрязненной ксенобиотиками различной природы, и ее самоочищающей способности – значительной экологической функции почвы, за счет которой обеспечивается защита самого почвенного покрова и сопредельных сред, как от химического, так и от бактериального загрязнения. Действие уреазы связано с гидролитическим расщеплением связи между азотом и углеродом (СО-NH) в молекулах азотсодержащих органических соединений. В результате последовательного протеолитического разложения до полипептидов и аминокислот на завершающих стадиях аммонификации, обеспечивающих образование аммония, под действием амидогидролаз, к которым относится уреазы, азот органических соединений переходит в минеральную форму [18, 19].

Внесение ДВ фунгицидов в почву вызвало время-зависимые изменения УА.

Через сутки после начала инкубирования в образцах почвы, загрязненных флутриафолом в максимальной концентрации 1,0 мг/кг почвы происходило достоверное ингибирование УА на 50 % (p < 0,05) по сравнению с контролем (контроль – 3,0 N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/кг, 1,0 мг/кг – 1,5 N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/кг). При дальнейшей

инкубации (до 7 суток) активность фермента в почвенных вариантах, содержащих 1,0 мг/кг почвы также была достоверно ( $p < 0,05$ ) снижена на 50 % ( $p < 0,05$ ) по сравнению с контролем (контроль – 0,5 N-NH<sup>4</sup>/кг, 1,0 мг/кг – 0,2 N-NH<sup>4</sup>/кг). В дальнейшем УА в почвенных вариантах, содержащих ДВ 1,0 мг/кг почвы не отличалась от контрольного варианта до 60 суток опыта.

Через 14 суток после начала инкубирования в образцах почвы, загрязненных флуоксастробином в высшей концентрации 0,1 мг/кг почвы УА достоверно снизилась на 80 % ( $p < 0,05$ ) по сравнению с контролем (контроль – 0,5 N-NH<sup>4</sup>/кг, 0,1 мг/кг – 0,1 N-NH<sup>4</sup>/кг). При дальнейшем инкубировании (до 45 суток) активность фермента в почвенных вариантах, содержащих 0,1 мг флуоксастробина/кг почвы, повысилась до уровня незагрязненной почвы. Однако в варианте, загрязненном с внесением флуоксастробина в высокой концентрации 0,1 мг/кг почвы, к 60 суткам инкубирования эксперимента происходило значительное – до 150 % (контроль – 0,2 N-NH<sup>4</sup>/кг, 0,1 мг/кг – 0,5 N-NH<sup>4</sup>/кг) стимулирование активности фермента.

Флутриафол в концентрациях 0,01 мг/кг и 0,1 мг/кг почвы, а также флуоксастробин в концентрациях 0,001 мг/кг и 0,01 мг/кг почвы не оказали токсического действия на УА в загрязненной опытной почве.

Следовательно, при высоком содержании флутриафола и флуоксастробина в почве (1,0 мг/кг и 0,1 мг/кг, соответственно), было отмечено как снижение, так и повышение УА, которые свидетельствуют о различной интенсификации процессов накопления минерального азота в почве и ее самоочищения от ДВ фунгицидов.

Снижение ФА уреазы свидетельствует о негативном влиянии ДВ на способность почвы эффективно осуществлять азотный обмен. Последующее нарастание активности уреазы и высокий уровень ее в почвенных образцах в конце опыта дает основание сделать вывод о высокой устойчивости этого фермента к ингибирующим факторам. Потому следует считать, что этот фермент играет большую роль в самоочищении почв от ксенобиотиков [20].

Целесообразность проведения исследований по изучению ферментативной активности уреазы в качестве одного из скрининговых показателей, характеризующих работу естественной системы защиты почвы (процессов самоочищения) определяется тем, что в условиях техногенного прессинга возможно ее изменение, что может привести к нарушению одной из главных ее функций – поддержания экологического равновесия всего биогеоценоза.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Установлена зависимость концентрация–эффект действующих веществ фунгицидов, производных разных химических классов (флутриафол и флуоксастробин) и уреазной активности почвы, выражающаяся ингибированием (токсическое действие веществ на способность почвы эффективно осуществлять азотистый обмен) и стимуляцией – флуоксастробин (повышенная сопротивляемость активности фермента к токсиканту).

Полученные результаты характеризуют специфическую ответную реакцию почвенной биоты на внешнее антропогенное воздействие.

Список литературы

1. Федорец Н. Г. Методика исследования почв урбанизированных территорий / Н. Г. Федорец, М. В. Медведева // Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. – 2009. – 84 с.
2. Хазиев Ф. Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв / Ф. Х. Хазиев. – М. : Наука, 1982. – 204 с.
3. Даденко Е. В. Оценка применимости показателей ферментативной активности в биодиагностике и мониторинге почв / Е. В. Даденко, Т. В. Денисова, К. Ш. Казеев [и др.] // Поволжский экологический журнал. – 2013. – № 4. – С. 385–393.
4. Михайловская Н. А. Ферментативная активность дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы при разной обеспеченности подвижным калием / Н. А. Михайловская, И. М. Богдевич, Т. В. Погирицкая [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – Т. 47, вып. 2. – С. 112–120
5. Звягинцев Д. Г. Иммунизированные ферменты в почвах / Д. Г. Звягинцев. – Микробные метаболиты. – М. : Изд. МГУ, 1979. – С. 31–46.
6. Наими О. И. Влияние антропогенных факторов на ферментативную активность чернозема обыкновенного / О. И. Наими, О. Ю. Куцерубова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – Т. 58, вып. 2. – С. 58–62.
7. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии / Ф. Х. Хазиев. – М. : Наука, 2005. – 254 с.
8. Инишева Л. И. Руководство по определению ферментативной активности торфяных почв и торфов / Л. И. Инишева, С. Н. Ивлева, Т. А. Щербакова. – Томск : Изд-во том. ун-та, 2002. – 119 с.
9. Еремин Д. И. Возможности ускорения разложения соломы яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья / Д. И. Еремин, А. А. Ахтямова // Агропродовольственная политика России. 2015. – Т. 40, вып. 4. – С. 35–38.
10. Гигиеническая классификация пестицидов по степени опасности – Методические рекомендации № 2001/26 от 16.04.01. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092700> (дата обращения: 02.08.2023).
11. Методические указания по гигиенической оценке новых пестицидов, ВНИИГИНТОКС. – Киев: 1988. – 210 с.
12. Методические рекомендации по установлению ПДК химических веществ в почве. Москва, 1982. № 2609–82.
13. The Pesticide Manual. 18th Edition, Editor J. A. Turner, BCPC, The Garden Studio, 4 Hillside, Aldershot, Hampshire, GU11 3NB, UK. 2018. Available at: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bcpc.org/product/the-pesticide-manual-18th-edition> (дата обращения: 02.08.2023).
14. Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, Москва: ООО «Издательство Агрорус»; 2023. Ежегодник. Выпуск 27. [Электронный ресурс]. URL: <https://direct.farm/content/80b/80b39d0a9d0a47b59a2a41797df9320f8780584.pdf> (дата обращения: 02.08.2023).
15. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. СанПиН 1.2.3685-21.-М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2021. – 255 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/GN\\_sreda%20\\_obitaniya\\_compressed.pdf](https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/GN_sreda%20_obitaniya_compressed.pdf) (дата обращения: 02.08.2023).
16. Гончарук Е. И. Гигиеническое нормирование химических веществ в почве / Е. И. Гончарук, Г. И. Сидоренко. – М. : Медицина, 1986. – 320 с.
17. Швакова Э. В. Активность уреазы в почвах Евроарктического региона / Э. В. Швакова, Ж. В. Рыкалова // Новая наука: от идеи к результату. – 2016. –Т. 90, вып. 6-2. – С. 3–5.
18. Звягинцев Д. Г. Биология почв / Д. Г. Звягинцев, И. Л. Бабьева, Г. М. Зенова. – М. : МГУ, 2005. – 445 с.
19. Хазиев Ф. Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах / Ф. Х. Хазиев // Вестник академии наук РБ. – 2015. – Т. 20, вып. 2 (78). – С. 14–24.
20. Доспехов Б. А. Практикум по земледелию / Б. А. Доспехов, И. П. Васильев, А. М. Туликов // Учебник для вузов // 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Агропромиздат, 1987. – С. 57–58.

## FUNGICIDES AND ACTIVITY OF THE HYDROLYTIC ENZYME OF THE AMIDASE GROUP IN THE SOIL

*Gromova I. P.*

*Federal budgetary institution of science "Federal Scientific Center for Hygiene named after F. F. Erisman" of Rospotrebnadzor, Mytishchi, Russia  
E-mail: gromovaip@mail.ru*

The biological activity of the soil is determined by the total activity of biochemical processes with the participation of soil enzymes. With the help of indicators of the biological activity of the soil, including its enzymatic activity, when studying the effects of soil pollution, it is possible to characterize the direction and speed of changes occurring in the soil, as well as to assess the level of possible danger of pollutants when studying the processes of its self-purification. The biological activity of the soil does not depend on the origin and type of soil. This feature is very important when conducting experimental studies to substantiate the maximum permissible concentrations of chemicals in the soil. When performing complex hygienic studies on the rationing of active substances of fungicides, highly resistant in soil, based on triazole derivatives (flutriafol) and strobilurines (fluoastrobine) in a laboratory experiment, the effect of toxicants on the general sanitary index of harmfulness, including the enzymatic activity of the hydrolytic enzyme of the amidase – urease group, an enzyme that plays an important role in the transformation of nitrogen-containing compounds, the activity of which determines the important stages of their transformation in the soil. The need to conduct studies of the activity of this enzyme as an indicator of the ability of the soil to self-purification is determined by the fact that under conditions of technogenic pressure, its change is possible. As a result, there may be a violation of one of the main functions of soils – maintaining the ecological balance of the entire biogeocenosis. The experiment included three variants with each substance in three repetitions including pure control. A time-effective relationship has been established between high concentrations of fungicides, derivatives of different chemical classes and soil urease activity, expressed by inhibition of activity – flutriafol, fluoxastrobin (toxic effect of substances on the ability of soil to effectively carry out nitrogen metabolism) and stimulation of activity – fluoxastrobin (high resistance of the enzyme to inhibitory factors). Urease activity serves as an objective enzymatic criterion for assessing the effect of fungicides on the processes of self-purification of soil from toxicants.

**Keywords:** soil, fungicides, enzymes, urease, enzymatic activity, self-purification, safety.

### References

1. Fedorets N. G., Medvedeva M. V., *Methods of soil research in urbanized territories*, 84 p. (Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2009). (in Russ.).
2. Khaziev F. H., *System-ecological analysis of the enzymatic activity of soils*. 204 p, (Nauka, 1982). (in Russ.).

3. Dadenko E. V., Denisova T. V., Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I., Assessment of the applicability of indicators of enzymatic activity in biodiagnostics and soil monitoring, *Volga ecological journal*, **4**, 385 (2013). (in Russ.).
4. Mikhailovskaya N. A., Bogdevich I. M., Pogiritskaya T. V., Vasilevskaya O. V., Enzymatic activity sod-podzolic loose-sandy soil with different availability of mobile potassium, *Soil science and agrochemistry*, **47**(2), 112 (2011). (in Russ.).
5. Zvyagintsev D. G., *Immobilized Enzymes in Soils*, 31 p. (Microbial Metabolites, Izd. MGU, 1979). (in Russ.).
6. Naimi O. I., Kucerubova O. Yu. The influence of anthropogenic factors on the enzymatic activity of ordinary chernozem, *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya*, **58**(2), 58 (2015). (in Russ.).
7. Khaziev F. Kh. *Methods of Soil Enzymology*, 254 p. (Nauka, 2005). (in Russ.).
8. Inisheva L. I., Ivleva S. N., Shcherbakova T. A., *Guidelines for determining the enzymatic activity of peat letters and peat*, 119 p. (Tomsk: Publishing House vol. un-ta, 2002). (in Russ.).
9. Eremin D. I., Akhtyamova A. A., Possibilities of decomposition of spring wheat straw accelerating in the conditions of the forest-steppe zone of the Trans-Urals, *Agroproduktivnaya politika Rossii*, **40**(4), 35 (2015). (in Russ.).
10. *Hygienic classification of pesticides by degree of hazard* – Methodical Recommendations No. 2001/26 of 16.04.01 Hedera syrup, <https://docs.cntd.ru/document/1200092700> (Accessed August 2, 2023).
11. *Guidelines for Hygienic Evaluation of New Pesticides*, VNIIGINTOX, 210 p. (Kiev, 1988). (in Russ.).
12. *Guidelines for the establishment of MPCs for chemicals in the soil*. Moscow, 1982. No. 2609-82. (in Russ.).
13. *The Pesticide Manual*. 18th Edition, Editor J. A. Turner, BCPC, The Garden Studio, 4 Hillside, Aldershot, Hampshire, GU11 3NB, UK. 2018 Available at: <https://www.bcpc.org/product/the-pesticide-manual-18th-edition> Hedera syrup, (Accessed August 2, 2023).
14. *Handbook of pesticides and agrochemicals approved for use on the territory of the Russian Federation*, (Agrorus Publishing House, 2023). Yearbook. Issue 27 Available at: <https://direct.farm/content/80b/80b39d0a9d0a47b59a2a41797df9320f8780584.pdf> (Accessed August 2, 2023).
15. *Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans*, SanPiN 1.2.3685-21, 255 p. (Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2021) Available at: [https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/GN\\_sreda%20\\_obitaniya\\_compressed.pdf](https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/GN_sreda%20_obitaniya_compressed.pdf) (Accessed August 2, 2023).
16. Goncharuk E. I., Sidorenko G. I. *Hygienic regulation of chemicals in the soil*, 320 p. (Medicina, 1986). (in Russ.).
17. Shvakova E. V., Rykalova Zh. V., Urease activity in soils of the Euroarctic region, *New science: from idea to result*, **90**(6-2), 3 (2016). (in Russ.).
18. Zvyagintsev D. G. *Soil biology*, 445 p. (Moscow State University, 2005). (in Russ.).
19. Khaziev F. H. The functional role of enzymes in soil processes, *Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Belarus*, 20, **78**(2), 14 (2015). (in Russ.).
20. Dospikhov B. A., Vasiliev I. P., Tulikov A. M., *Practicum on agriculture*, 57 (Agropromizdat, 1987). (in Russ.).