

УДК 631.46
DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-4-459-470

Информативность микробиологических и биохимических параметров для мониторинга почв при органическом земледелии

**Кулагина В.И., Сунгатуллина Л.М., Рязанов С.С.,
Шагидуллин Р.Р., Андреева А.А.**

Институт проблем экологии и недропользования АН РТ,
Россия, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28
E-mail: viksoil@mail.ru

Аннотация. Органическое земледелие призвано не только обеспечить население полезными продуктами питания, но и улучшить плодородие и эколого-биологическое состояние почв. В связи с этим мониторинг эколого-биологического состояния почв, предназначенных для ведения органического сельскохозяйственного производства, становится все более актуальным. В то же время параметры и критерии, позволяющие отследить изменения эколого-биологического состояния почв при переходе от традиционного земледелия к органическому, изучены недостаточно. Целью работы является проверка информативности биохимических и микробиологических параметров почв, а также рассчитанного на их основе интегрального показателя при выявлении отличий между полями с органическим, традиционным земледелием и фоновыми участками. Исследования выполнены на серых лесных почвах в Республике Татарстан. Информативность микробиологических и биохимических параметров определялась по величине коэффициента корреляции каждого изученного параметра с уровнем антропогенной нагрузки в ряду: почвы фоновых участков – почвы органических полей – почвы полей с традиционным земледелием. Также определялась информативность интегрального показателя биологической активности почв, рассчитанного по 3–5 параметрам. В результате проведенных исследований установлено, что информативность параметров отличалась для образцов почв, отобранных в июне и сентябре 2020 г. Значимая корреляционная зависимость с изменениями антропогенной нагрузки хотя бы в один из сезонов года наблюдалась для пяти параметров: обилие бактерий рода *Azotobacter*, численность микромицетов, активность ферментов каталазы, инвертазы и уреазы. Оптимальным набором параметров для расчета интегрального показателя эколого-биологического состояния почв, если рассматривать его информативность и устойчивость по сезонам года, является совокупность четырех параметров: обилие бактерий рода *Azotobacter*, активность ферментов инвертазы, каталазы и уреазы.

Ключевые слова: мониторинг земель, почва, органическое земледелие, ферментативная активность, численность микроорганизмов.

Для цитирования: Кулагина В.И., Сунгатуллина Л.М., Рязанов С.С., Шагидуллин Р.Р., Андреева А.А. 2021. Информативность микробиологических и биохимических параметров для мониторинга почв при органическом земледелии. Региональные геосистемы, 45 (4): 459–470. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-459-470

Informative Value of Microbiological and Biochemical Parameters for Soil Monitoring in Organic Farming

Valentina I. Kulagina, Lutsia M. Sungatullina, Stanislav S. Ryazanov,
Rifgat R. Shagidullin, Anita A. Andreeva

Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use
of Tatarstan Academy of Sciences,
28 Dauruskaya St, Kazan 420087, Russia
E-mail: viksoil@mail.ru

Abstract. Organic farming is designed not only to provide the population with healthy food, but also to improve the fertility and ecological and biological state of soils. In this regard, monitoring of the ecological and biological state of soils intended for organic agricultural production is becoming more and more important. At the same time, parameters and criteria that make it possible to track changes in the ecological and biological state of soils during the transition from traditional farming to organic farming have not yet been studied enough. The aim of the work is to check the information content of the biochemical and microbiological parameters of soils, as well as the integral indicator calculated on their basis, when identifying differences between fields with organic, traditional farming and background plots. The study was carried out on gray forest soils in the Republic of Tatarstan. The informativeness of microbiological and biochemical parameters was determined by the value of the correlation coefficient of each studied parameter with the level of anthropogenic load in the series: soils of background plots – soils of organic fields – soils of fields with traditional farming. Also, the informativeness of the integral indicator of the soils biological activity, calculated by 3–5 parameters, was determined. As a result of the study, it was found that the informativeness of the parameters differed for soil samples taken in June and September 2020. A significant correlation with changes in anthropogenic load at least in one of the seasons of the year was observed for five parameters: the abundance of bacteria of the genus *Azotobacter*, the number of micromycetes, the activity of the enzymes catalase, invertase and urease. The optimal set of parameters for calculating the integral indicator of the ecological and biological state of soils, if we consider its informativeness and stability by seasons, is a combination of four parameters: the abundance of bacteria of the genus *Azotobacter*, the activity of the enzymes invertase, catalase, and urease.

Key words: land monitoring, soil, organic farming, enzymatic activity, number of microorganisms.

For citation: Kulagina V.I., Sungatullina L.M., Ryazanov S.S., Shagidullin R.R., Andreeva A.A. 2021. Informative Value of Microbiological and Biochemical Parameters for Soil Monitoring in Organic Farming. Regional geosystems, 45 (4): 459–470 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-459-470

Введение

Мониторинг состояния земель, предназначенных для органического земледелия, становится все более актуальной задачей в связи с расширением органического производства как в России, так и в мире. Площадь сертифицированных земель в мире под органическое сельское хозяйство с 2001 по 2019 г. выросла в 4 раза [Гурнович и др., 2019]. В России также постепенно увеличивается количество сертифицированных производителей органической продукции и площади земель, используемых для её производства или находящихся в конверсионном периоде.

Говоря об органическом земледелии, чаще всего внимание уделяют получению продуктов питания, хотя на самом деле, согласно определению, приведенному в ГОСТ

«Продукция органического производства» [ГОСТ 33980-2016], органическое сельское хозяйство – это, кроме всего прочего, производственная система, которая сохраняет и улучшает плодородие почвы, и, принимая во внимание местные условия и опираясь на экологические циклы, сохраняет биологическое разнообразие.

Поскольку благоприятное эколого-биологическое состояние почв при органическом земледелии – это важнейшая его характеристика, то весьма актуальными становятся оценка и мониторинг этого состояния.

Определить эколого-биологическое благополучие почв по какому-то одному параметру невозможно, так как один параметр не способен отразить разнообразие биологических и биохимических процессов в почве [Казеев, Колесников, 2012], однако использовать очень широкий набор показателей для целей мониторинга также нецелесообразно.

К.Ш. Казеев, С.И. Колесников и В.Ф. Вальков [2003] предложили использовать для оценки эколого-биологического состояния почв при разных видах антропогенного воздействия интегральный показатель биологического состояния почв (ИПБС), при расчете которого используется несколько параметров. При этом рекомендуется из всего многообразия выбрать наиболее информативные параметры. Авторы понимали под информативностью тесную корреляцию между признаком и каким-либо проявлением антропогенного фактора, хотя отличия между почвами при органическом и традиционном земледелии ими не рассматривались [Казеев, Колесников, 2012].

Целью работы была проверка информативности биохимических и микробиологических параметров почв, а также рассчитанного на их основе интегрального показателя при выявлении отличий между полями с органическим, традиционным земледелием и фоновыми участками.

Объекты и методы исследования

Республика Татарстан расположена в пределах двух природных зон – лесной и лесостепной. Серые лесные почвы являются характерными для физико-географических и биоклиматических условий РТ и занимают около 40 % площади сельхозугодий [Атлас..., 2005]. Объектами исследования являлись серые лесные почвы фермерского хозяйства Высокогорского района Республики Татарстан между селами Большие Ковали и Чувашли. Исследованы почвы трех пар полей, расположенных в непосредственной близости друг от друга, на которых выращивались одни те же культуры (табл. 1). Отличались эти поля только тем, что на одном использовалась традиционная система земледелия, а на другом – органическая, без применения минеральных удобрений и пестицидов (4–6 лет непрерывной практики). Опыт проводился заинтересованными фермерами. К каждой паре полей был отобран образец на фоновом необрабатываемом участке с естественной растительностью, расположенном как можно ближе к исследуемым полям. Отбор смешанных образцов произведен 8 июня 2020 г. и 28 сентября 2020 г. Каждый смешанный образец составлен из 20–40 точечных проб с элементарного участка. Список всех обследованных полей и участков представлен в табл. 1.

Уреазная активность почв определялась методом А.Ш. Галстяна с окончанием, предложенным Ф.Х. Хазиевым [2005], основанном на колориметрическом определении аммиака реактивом Несслера.

Инвертазная активность определялась методом Т.А. Щербаковой [1968] с 3,5-динитросалициловой кислотой.

Каталазная активность почв определялась методом Джонсона и Темпле в мл 0,1 н $\text{KMnO}_4/\text{г}$ сухой почвы за 20 мин [Хазиев, 2005].

Обилие азотобактера определялось методом обрастания комочков на среде Эшби [Методы почвенной микробиологии..., 1991].



Определение численности групп микроорганизмов проводилось при помощи посева разведениями почвенных взвесей на плотных питательных средах:

- 1) аммонифицирующих – на мясо-пептонный агар (МПА);
- 2) амилалитических – на крахмал-аммиачный агар (КАА);
- 3) актиномицетов – на КАА;
- 4) микроскопических грибов (микромикетов) – на среду Чапека.

Расчет ИПБС производился по методике, предложенной К.Ш. Казеевым, С.И. Колесниковым и В.Ф. Вальковым [2003].

Достоверность разницы между органическими, традиционными полями и фоновыми участками оценивали с помощью теста Стьюдента, уровень значимости $\alpha = 0,05$.

Таблица 1
Table 1

Перечень обследованных полей
List of surveyed fields

Обозначение	Описание и история
Поле 1	Органическое (по органической технологии с 2017 г.): в 2015 и 2016 гг. поле было занято посевами ячменя, вносилось по 80 кг азотоски на 1 га. С 2017 г. – удобрения не вносились. В 2017 г. посеян клевер на сидерат под покров ячменя; в 2018 г. – озимая рожь, в 2019 г. – картофель (урожай 100 ц/га), в 2020 г. – полба. Ближайший населенный пункт – с. Большие Ковали.
Поле 2	Традиционное (с удобрениями): в 2015 и 2016 гг. также как на поле № 1 – ячмень, 80 кг/га азотоски. В 2017 г. – клевер на сидерат под покров ячменя; 2018 г. – озимая рожь, в 2019 г. – картофель. Под картофель внесено 250 кг/га диаммофоски. Урожай картофеля – 300 ц/га. В 2020 г. – полба.
Фон 1	Фоновый участок с естественной луговой растительностью между полями 1 и 2
Поле 3	Традиционное (с удобрениями): в 2015 г. – занято картофелем. Под картофель внесено 200–250 кг/га диаммофоски. В 2016 г. – яровая пшеница, внесено 100 кг азотоски при посеве. В 2017 г. – гречиха, внесено 80 кг/га диаммофоски, в 2018 г. – ячмень, 80 кг/га азотоски, с подсевом клевера. Клевер плохо взшел, поэтому осенью был осуществлен посев трав, смесь, чтобы поле не пустовало. В 2019 г. – запахан зеленый пар. В 2020 г. – полба. На этом поле урожайность на 30 % выше, чем на поле без минеральных удобрений.
Поле 4	Органическое (без удобрений с 2015 г.): в 2015 г. занято картофелем, в 2016 г. – гречихой, в 2017 г. – овес с подсевом клевера, 2018 – клевер запахан на сидерат, в 2019 г. – озимая рожь, 25 ц/га; в 2020 г. – полба.
Фон 2	Фоновый участок между полями 3 и 4 – лесопосадка.
Поле 5	Органическое (без удобрений): в 2017 и 2018 гг. в залежи, в 2019 г. посеяна озимая рожь, в 2020 г. – убрана.
Поле 6	Традиционное (с удобрениями): В 2017 и 2018 гг. в залежи, в 2019 г. – посеяна озимая рожь, при посеве внесено 80 кг/га азотоски и 100 кг/га аммиачной селитры. В 2020 г. озимая рожь убрана.
Фон 3	Фоновый участок – между полями 5 и 6, смешанная лесопосадка

Объективное определение информативности микробиологических и биохимических параметров, пригодных для мониторинга эколого-биологического состояния почв, требует расчета коэффициента корреляции с уровнем антропогенного воздействия. Антропогенная нагрузка последовательно уменьшается в ряду: традиционные поля – органические поля – фоновые участки. На полях с традиционным земледелием применяются минеральные удобрения и пестициды, на полях с органическим земледелием – не применяются, а на фоновых участках не применяется и механическая обработка почв. Но антропо-

генный прессинг в данном случае не имеет числового выражения, в отличие, например, от количества попавших в почву нефтепродуктов или расстояния до источника загрязнения. Согласно рекомендациям В.Г. Вольфа, проведено ранжирование антропогенного прессинга по грациям: антропогенный прессинг на фоновом участке был обозначен как «1», на органическом поле – «2», традиционном поле – «3» [Вольф, 1966], а далее вычислялся ранговый коэффициент корреляции Спирмена с микробиологическими и биохимическими параметрами почв.

Результаты и их обсуждение

Микробиологические и биохимические параметры почв чаще других используются для расчета ИПБС.

Микробиологические параметры почв очень чувствительны к изменению внешних условий, в том числе к антропогенному прессингу, но, одновременно, отличаются высокой вариабельностью в пространстве и изменчивостью во времени [Казеев, Колесников, 2012; Churkina et al., 2012; Кулагина и др., 2021].

Общее микробное число (ОМЧ), оно же – численность аммонификаторов, позволяет судить об общей микробиологической активности почв.

Проведенные исследования позволили установить, что серые лесные почвы Высокогорского района Республики Татарстан, согласно шкале Д.Г. Звягинцева [1978], очень богаты микроорганизмами, общее микробное число (ОМЧ) – более 10 млн/г (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Численность групп микроорганизмов в серых лесных почвах фермерского хозяйства
Высокогорского района Республики Татарстан (среднее $\pm$ ошибка среднего)
The number of groups of microorganisms in gray forest soils of farms
of the Vysokogorsky district of the Republic of Tatarstan (mean $\pm$ mean error)

Угодье	ОМЧ, 10 ⁶ КОЕ/г	Амилолитики, 10 ⁵ КОЕ/г	Актиномицеты, 10 ⁵ КОЕ/г	Микромицеты, 10 ⁴ КОЕ/г	Азотобактер, % обрастания почвенных ко- мочков
Поле 1 орг	<u>30,90 $\pm$ 2,57*</u> 37,63 $\pm$ 3,41	<u>139,97 $\pm$ 21,62</u> 182,50 $\pm$ 7,76	<u>57,38 $\pm$ 1,54</u> 69,90 $\pm$ 0,49	<u>16,39 $\pm$ 1,03</u> 16,73 $\pm$ 0,10	<u>58,5</u> 37,5
Поле 2	<u>38,13 $\pm$ 5,61</u> 15,70 $\pm$ 3,95	<u>136,88 $\pm$ 1,53</u> 121,40 $\pm$ 19,27	<u>80,00 $\pm$ 11,23</u> 49,52 $\pm$ 2,96	<u>15,63 $\pm$ 2,55</u> 12,50 $\pm$ 0,05	<u>100,0</u> 100,0
Фон 1	<u>20,43 $\pm$ 3,13</u> 40,50 $\pm$ 18,45	<u>88,12 $\pm$ 7,30</u> 186,85 $\pm$ 21,35	<u>68,33 $\pm$ 8,86</u> 89,25 $\pm$ 4,86	<u>8,30 $\pm$ 1,56</u> 14,85 $\pm$ 0,45	<u>0,0</u> 100,0
Поле 3	<u>15,00 $\pm$ 1,02</u> 37,55 $\pm$ 3,80	<u>77,50 $\pm$ 3,06</u> 112,10 $\pm$ 9,06	<u>30,63 $\pm$ 2,55</u> 41,50 $\pm$ 1,22	<u>4,38 $\pm$ 1,53</u> 6,51 $\pm$ 1,87	<u>100,0</u> 100,0
Поле 4 орг	<u>24,38 $\pm$ 10,72</u> 34,70 $\pm$ 12,00	<u>75,00 $\pm$ 0,01</u> 294,65 $\pm$ 32,13	<u>25,00 $\pm$ 0,01</u> 114,65 $\pm$ 16,86	<u>5,63 $\pm$ 1,53</u> 5,35 $\pm$ 0,53	<u>62,8</u> 100,0
Фон 2	<u>38,46 $\pm$ 1,08</u> 35,50 $\pm$ 2,86	<u>108,75 $\pm$ 21,66</u> 65,50 $\pm$ 4,08	<u>144,24 $\pm$ 28,72</u> 37,00 $\pm$ 2,45	<u>33,16 $\pm$ 4,33</u> 17,75 $\pm$ 0,42	<u>0,0</u> 7,5
Поле 5 орг	<u>22,67 $\pm$ 2,06</u> 20,67 $\pm$ 8,93	<u>165,62 $\pm$ 4,63</u> 109,50 $\pm$ 9,96	<u>62,34 $\pm$ 3,60</u> 39,55 $\pm$ 2,49	<u>11,96 $\pm$ 1,54</u> 3,59 $\pm$ 0,25	<u>100,0</u> 100,0
Поле 6	<u>27,60 $\pm$ 1,02</u> 44,65 $\pm$ 2,49	<u>147,43 $\pm$ 7,68</u> 219,00 $\pm$ 4,90	<u>65,87 $\pm$ 13,83</u> 86,30 $\pm$ 1,47	<u>5,02 $\pm$ 1,02</u> 8,88 $\pm$ 0,75	<u>100,0</u> 100,0
Фон 3	<u>13,93 $\pm$ 2,71</u> 15,20 $\pm$ 3,84	<u>173,08 $\pm$ 31,95</u> 54,50 $\pm$ 6,12	<u>68,30 $\pm$ 4,87</u> 35,05 $\pm$ 1,92	<u>1,33 $\pm$ 0,01</u> 12,30 $\pm$ 0,90	<u>0,0</u> 0,0

* В числителе – данные за июнь, в знаменателе – за сентябрь.

В июне 2020 г. статистически значимая разница по численности аммонифицирующих микроорганизмов наблюдалась только между фоновым участком 2 и традиционным полем 3 (тест Стьюдента, $p < 0,05$). На поле с применением удобрений численность аммонифицирующих микроорганизмов была ниже. В сентябре статистически значимая разница по численности аммонифицирующих микроорганизмов наблюдалась только между почвами органического поля 5 и фонового участка 3, причем на органическом поле она была выше. В остальных случаях разница между фоновыми участками и соответствующими им полями, а также между парами полей (органическое-традиционное) была статистически незначима.

Коэффициент корреляции между ОМЧ и антропогенной нагрузкой в июне составил 0,128, а в сентябре – 0,225, что не позволяет говорить о наличии связи между этими параметрами. В почвах данного хозяйства ОМЧ не проявило себя в качестве информативного признака.

Численность амилотических микроорганизмов (использующих минеральный азот). Установлено, что численность амилотических микроорганизмов на полях и фоновых участках в июне 2020 г. не имела статистически значимых отличий. В сентябре статистически значимая разница проявилась между полями недавно поднятой залежи: поле 5 (органическое) и поле 6 (традиционное), также фоновым участком 3 и полем 5 (тест Стьюдента, $p < 0,05$).

Коэффициент корреляции между численностью амилотиков и уровнем антропогенной нагрузки по данным за июнь был равен 0,090, за сентябрь 0,067. Величина коэффициента корреляции свидетельствует об отсутствии взаимосвязи между признаками.

Актиномицеты – одна из групп амилотических микроорганизмов. Закономерности распределения численности актиномицетов в почвах полей и участков Высокогорского района РТ в целом повторяют закономерности распределения всех амилотических микроорганизмов

Коэффициент корреляции между численностью актиномицетов и уровнем антропогенного прессинга на исследуемые почвы составил в июне –0,376, что свидетельствует о слабой взаимосвязи. Коэффициент, рассчитанный на основе сентябрьских данных, равен –0,154, что свидетельствует об отсутствии взаимосвязи между изучаемыми параметрами.

Азотобактер (*Azotobacter*) – род свободно живущих в почве бактерий, способных усваивать атмосферный азот, тем самым обогащая почву доступным для растений азотом.

Исследования показали, что в серых лесных почвах Высокогорского района РТ минимальное обилие бактерий рода *Azotobacter* обнаруживалось на фоновых целинных участках (см. табл. 2). В образцах почв полей с традиционным земледелием обрастание комочков азотобактером оказалось максимальным. Органические поля занимали промежуточное положение между фоновыми участками и традиционными полями по данному показателю. Однако закономерность четко прослеживалась только в образцах почв, отобранных в июне, во время активной вегетации растений. Полученные результаты согласуются с данными других исследователей, которые отмечали, что *Azotobacter* может развиваться только в окультуренных почвах и обычно его обилие увеличивается с дозой вносимых удобрений [Забелина, 2014; Зинченко и др., 2017а; Газиев и др., 2019; Игнашев, Рыжих, 2020].

Коэффициент корреляции обилия бактерий рода *Azotobacter* с уровнем антропогенного воздействия в ряду: почвы фоновых участков – почвы органических полей – традиционных полей в июне составил 0,93, что свидетельствует об очень высокой и прямой зависимости между признаками. Коэффициент корреляции по сентябрьским данным составил 0,64, что соответствует средней зависимости между параметрами.

Все чаще для оценки эколого-биологического состояния почв используют активность различных почвенных ферментов.

Ферменты в почве – это продукты метаболизма почвенного биоценоза. Ферменты поступают в почву в результате деятельности почвенной микробиоты, растений и животных. В отличие от численности трофических групп микроорганизмов, ферментативная активность изменяется медленнее. Ферменты в почве стабилизируются и длительное время сохраняют свою активность [Хазиев, 2005; Абдулаева, 2018].

Инвертазная активность. Самая высокая активность инвертазы в исследованных серых лесных почвах фермерского хозяйства Высокогорского района РТ в июне 2020 г. наблюдалась на фоновом участке 2 (табл. 3), а среди пахотных почв – на полях 5 и 6, находившихся до недавнего времени в залежи. Инвертазная активность почв полей 3 и 4 статистически значимо отличалась от инвертазной активности почвы фонового участка 2 (тест Стьюдента, $p < 0,05$). Такие закономерности согласуются с данными К.Ш. Казеева с соавторами [2012], которые отмечали высокую чувствительность инвертазы к сельскохозяйственному использованию, то есть пригодность инвертазы для сравнения целинных (залежных) и пахотных земель. Почвы остальных исследованных полей и фоновых участков в июне 2020 г. статистически значимых отличий по уровню инвертазной активности не имели.

Таблица 3
Table 3

Ферментативная активность серых лесных почв фермерского хозяйства
Высокогорского района Республики Татарстан (среднее $\pm$ ошибка среднего)
Enzymatic activity of gray forest soils of the farm of the Vysokogorsk district
of the Republic of Tatarstan (mean $\pm$ error of the mean)

Угодье	Инвертаза, мг глюкозы/г почвы за 4ч	Каталаза, мл O ₂ /г почвы в мин.	Уреаза, N мкг/г в час
Поле 1 орг	<u>1,15 $\pm$ 0,01*</u> 2,50 $\pm$ 0,06	<u>1,20 $\pm$ 0,02</u> 0,95 $\pm$ 0,01	<u>28,05 $\pm$ 3,95</u> 22,1 $\pm$ 0,64
Поле 2	<u>1,50 $\pm$ 0,04</u> 2,80 $\pm$ 0,06	<u>0,76 $\pm$ 0,02</u> 2,17 $\pm$ 0,01	<u>20,55 $\pm$ 0,43</u> 25,9 $\pm$ 1,53
Фон 1	<u>1,43 $\pm$ 0,10</u> 5,95 $\pm$ 0,03	<u>0,89 $\pm$ 0,03</u> 1,65 $\pm$ 0,05	<u>21,75 $\pm$ 2,68</u> 42,4 $\pm$ 0,29
Поле 3	<u>0,63 $\pm$ 0,01</u> 2,10 $\pm$ 0,01	<u>1,01 $\pm$ 0,03</u> 1,09 $\pm$ 0,05	<u>8,75 $\pm$ 0,72</u> 7,95 $\pm$ 0,66
Поле 4 орг	<u>1,48 $\pm$ 0,11</u> 2,15 $\pm$ 0,09	<u>0,99 $\pm$ 0,01</u> 0,98 $\pm$ 0,05	<u>18,4 $\pm$ 1,96</u> 13,3 $\pm$ 0,35
Фон 2	<u>3,25 $\pm$ 0,05</u> 5,70 $\pm$ 0,17	<u>1,74 $\pm$ 0,01</u> 2,07 $\pm$ 0,09	<u>58,55 $\pm$ 0,72</u> 84,5 $\pm$ 2,42
Поле 5 орг	<u>2,53 $\pm$ 0,01</u> 3,70 $\pm$ 0,01	<u>0,98 $\pm$ 0,02</u> 1,06 $\pm$ 0,03	<u>49,9 $\pm$ 0,00</u> 26,15 $\pm$ 2,11
Поле 6	<u>2,31 $\pm$ 0,01</u> 2,60 $\pm$ 0,01	<u>1,12 $\pm$ 0,03</u> 1,12 $\pm$ 0,01	<u>38,6 $\pm$ 0,17</u> 29,7 $\pm$ 1,56
Фон 3	<u>2,45 $\pm$ 0,02</u> 3,50 $\pm$ 0,01	<u>1,27 $\pm$ 0,01</u> 1,20 $\pm$ 0,02	<u>32,6 $\pm$ 0,06</u> 32,75 $\pm$ 0,43

* В числителе – данные за июнь, в знаменателе – за сентябрь

В сентябре 2020 г. отличия между полями и фоновыми участками по активности фермента инвертазы стали более заметны. Максимальная активность фермента наблюда-

лась на фоновых необрабатываемых участках (см. табл. 3). Полученные данные подтверждают результаты исследований М.К. Зинченко с соавторами [2017б], которые выявили, что инвертазная активность на необрабатываемых участках выше по сравнению с пашней, причем, иногда в 2–3 раза.

Коэффициент корреляции активности фермента инвертазы с антропогенным прессингом в июне составил $-0,471$ (слабая взаимосвязь), в сентябре взаимосвязь увеличилась до высокой – коэффициент корреляции равен $-0,759$. Взаимосвязь параметров в обоих случаях отрицательная, то есть с усилением антропогенного воздействия активность инвертазы уменьшалась.

Каталазная активность почв. Активность каталазы рекомендуется для определения эколого-биологического состояния почв наряду с активностью инвертазы и уреазы [Девятова, 2005]. Хотя отмечалось, что именно к сельскохозяйственному воздействию активность каталазы малочувствительна [Казеев, Колесников, 2012].

Согласно проведенным исследованиям, каталазная активность почв полей 1, 2 и фонового участка 1 с июня по сентябрь изменилась статистически значимо (тест Стьюдента, $p < 0,05$). Самый значительный рост каталазной активности отмечен на традиционном поле 2 – почти в три раза. Такой всплеск активности не всегда является хорошим признаком. По данным М.К. Зинченко с соавторами [2017а], возрастание активности фермента в почве характеризует интенсивную трансформацию гумусовых веществ в почве в сторону их минерализации, и может свидетельствовать о потере гумуса.

Значения каталазной активности на полях № 3, 4, 5, 6 и соответствующих им фоновых участках с июня по сентябрь не претерпели значительных изменений и сохранили одинаковые закономерности (см. табл. 3).

Коэффициент корреляции между активностью каталазы в почвах и антропогенной нагрузкой в июне составлял $-0,522$ и соответствовал средней отрицательной зависимости между признаками. В сентябре коэффициент корреляции был равен $-0,166$, то есть связь между параметрами не обнаруживалась.

Уреазная активность. В июне 2020 г. активность уреазы в двух случаях из трех выше в почвах органических полей, чем на соответствующих фоновых участках и полях с традиционным земледелием.

Статистическая обработка результатов показала, что в июне 2020 г. уреазная активность почв полей 3 и 4 статистически значимо отличалась от уреазной активности почвы фонового участка 2 (тест Стьюдента, $p < 0,05$). Почвы полей 5 и 6 статистически значимо отличались по уровню уреазной активности от соответствующего фонового участка и между собой. Поля 1, 2 и фоновый участок 1 статистически значимых отличий по активности уреазы не имели.

В сентябре 2020 г. максимальные значения уреазной активности отмечались на фоновых участках, хотя статистически значимые отличия между фоновыми участками и возделываемыми полями наблюдались не во всех случаях. Отличия статистически значимы между фоном 1 и полями 1 и 2, фоном 2 и полями 3 и 4 (тест Стьюдента, $p < 0,05$).

В июне взаимосвязь между уреазной активностью и уровнем антропогенного воздействия оценивалась как слабая (коэффициент корреляции равен $-0,407$), к сентябрю связь между параметрами усилилась и стала средней (коэффициент корреляции равен $-0,602$).

Среди микробиологических признаков наиболее информативным оказалось обилие бактерий рода *Azotobacter*. Численность микроскопических грибов проявила себя как информативный признак только в сентябре. Остальные микробиологические параметры в данном исследовании не проявили себя как информативные.

Среди биохимических признаков самым информативным оказалась активность инвертазы, но только в сентябре. Биохимические параметры более стабильны, чем микробиологические, хотя инвертаза и уреазы в сентябре больше коррелировали с уровнем антропогенного прессинга, чем в июне, а каталаза – наоборот.

Выполнение интегральной эколого-биологической оценки почв при различных формах землепользования подразумевает суммарную оценку по нескольким параметрам. При этом желательно, чтобы полученный интегральный показатель был также максимально информативным, то есть коэффициент его корреляции с уровнем антропогенного воздействия имел максимальные значения.

Для расчета ИПБС из всех изученных было выбрано пять наиболее информативных параметров: обилие азотобактера, численность микромицетов, активность каталазы, инвертазы, уреазы. Далее было рассчитано три варианта ИПБС: 1) по всем 5 параметрам, 2) по 4 параметрам без численности микромицетов, 3) по 3 биохимическим параметрам.

Коэффициенты корреляции интегральных показателей эколого-биологического состояния почв, рассчитанных по методике В.Ф. Казеева и К.Ш. Колесникова [2012], с ростом антропогенной нагрузки в ряду: фоновые участки – органические поля – традиционные поля, представлен в табл. 4. Судя по их значениям, оптимальным набором параметров для расчета интегрального показателя является набор, состоящий из 4 параметров: обилие азотобактера, активность ферментов инвертазы, каталазы и уреазы.

Таблица 4
Table 4

Коэффициенты корреляции интегральных показателей, рассчитанных по разным параметрам почв, с уровнем антропогенного прессинга
Correlation coefficients of integral indicators calculated for different soil parameters with the level of anthropogenic pressure

Интегральный показатель	Коэффициент корреляции	
	июнь	сентябрь
по 5 параметрам	–0,10	–0,66
по 4 параметрам	–0,74	–0,64
по 3 параметрам	–0,36	–0,52

Заключение

Проведенные исследования показали, что информативность микробиологических и биохимических параметров серых лесных почв Республики Татарстан при выявлении отличий между полями с органическим, традиционным земледелием и фоновыми участками отличается в июне и сентябре.

Установлено, что в июне информативность параметров уменьшалась в ряду: обилие бактерий рода *Azotobacter* – активность каталазы – активность инвертазы – активность уреазы – численность актиномицетов – численность микроскопических грибов – общее микробное число.

В сентябре информативность параметров уменьшалась в ряду: активность инвертазы – обилие бактерий рода *Azotobacter* – активность уреазы – численность микроскопических грибов – общее микробное число – активность каталазы – численность актиномицетов – численность амилитиков.

Оптимальным набором параметров для расчета интегрального показателя эколого-биологического состояния почв, если рассматривать его информативность и устойчивость по сезонам года, является совокупность четырех параметров: обилие бактерий рода *Azotobacter*, активность ферментов инвертазы, каталазы и уреазы.

Список источников

1. Атлас Республики Татарстан. 2005. М., ПКО «Картография», 211 с.
2. Вольф В.Г. 1966. Статистическая обработка опытных данных. М., Колос, 254 с.
3. ГОСТ 33980-2016. Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации. Дата введения 01.01.2018.
4. Методы почвенной микробиологии и биохимии. 1991. Под ред. Д.Г. Звягинцева. М., Изд-во МГУ, 304 с.

Список литературы

1. Абдуллаева Р.З. 2018. Ферментативная активность как один из факторов биологического потенциала почвы. Вестник Донского государственного аграрного университета, 2–1 (28): 65–71.
2. Газиев М.А., Турдалиев А.Т., Низомитдинова М.Ш.К., Шодмонов У.Б.У. 2019. Роль органических и минеральных удобрений в развитии физиологических групп микроорганизмов в системе севооборота. Современные фундаментальные и прикладные исследования, 2 (33): 9–12.
3. Гурнович Т.Г., Петров Н.Р., Ульянов А.В. 2019. Мировые тенденции и перспективы развития рынка органических продуктов в России. Вектор экономики, 10. Электронный ресурс. URL: http://www.vectoreconomy.ru/images/publications/2019/10/regionaleconomy/Gurnovich_Petrov_Ulyanov.pdf (дата обращения: 30 мая 2021).
4. Девятова Т.А. 2005. Биоэкологические принципы мониторинга и диагностики загрязнения почв. Вестник Воронежского Государственного Университета. Серия: Химия. Биология. Фармация, 1: 105–106.
5. Забелина О.Н. 2014. Оценка экологического состояния почвы городских рекреационных территорий на основании показателей биологической активности (на примере г. Владимира). Дис. ... канд. биол. наук. Владимир, 146 с.
6. Звягинцев Д.Г. 1978. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей. Почвоведение, 6: 48–54.
7. Зинченко М.К., Зинченко С.И., Борин А.А., Камнева О.П. 2017а. Ферментативная активность аграрных почв Верхневолжья. Современные проблемы науки и образования, 3. Электронный ресурс. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=26458> (дата обращения: 30 мая 2021).
8. Зинченко М.К., Федулова И.Д., Шаркевич В.В. 2017б. Распространение diazotrophic микроорганизмов в агроландшафтах серой лесной почвы. Владимирский земледелец, 2 (80): 11–14.
9. Игнашев, Н.Е., Рыжих Л.Ю. 2020. Влияние систем земледелия на обилие аэробной азотфиксирующей микробиоты. Российский журнал прикладной экологии, 1: 30–32.
10. Казеев К.Ш., Колесников С.И. 2012. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону, Изд-во Южного федерального университета, 260 с.
11. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. 2003. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону, Изд-во РГУ, 204 с.
12. Кулагина В.И., Сунгатуллина Л.М., Рязанов С.С., Хайруллина А.М., Шагидуллин Р.Р., Рупова Э.Х. 2021. Проверка набора параметров для интегральной оценки эколого-биологического состояния почв при органическом земледелии. Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия, 7 (73): 90–102. DOI: 10.37279/2413-1725-2021-7-1-90-102.
13. Хазиев Ф.Х. 2005. Методы почвенной энзимологии. М., Наука, 192 с.
14. Щербакова Т.А. 1968. К методике определения активности инвертазы и амилазы в почве. Сборник докладов по ферментам почвы. Минск, 453–455.
15. Churkina G., Kunanbayev K., Akhmetova G. 2012. The taxonomic composition of soil microorganisms in the ecosystems of southern chernozems of Northern Kazakhstan. Applied Innovations and Technologies, 8 (3): 13–19.

References

1. Abdullaeva R.Z. 2018. Enzymatic Activity as One of Factors of Biological Capacity of the Soil. *Vestnik Don State Agrarian University*, 2 (28.1): 65–71 (in Russian).
2. Gaziev M.A., Turdaliev A.T., Nizomitdinova M.Sh.K., Shodmonov U.B.U. 2019. The Role of Organic and Mineral Fertilizers in the Development of Physiological Groups of Microorganisms in the Crop Rotation System. *Modern fundamental and applied researches*, 2 (33): 9–12 (in Russian).
3. Gurnovich T.G., Petrov N.R., Ulyanov A.V. 2019. World Trends and Prospects for the Development of the Organic Products Market in Russia. *Vektor Ekonomy*, 10. Electronic resource. URL: www.vectoreconomy.ru/images/publications/2019/10/regionaleconomy/Gurnovich_Petrov_Ulyanov.pdf (accessed: 30 May 2021) (in Russian).
4. Devyatova T.A. 2005. Bioekologicheskiye printsipy monitoringa i diagnostiki zagryazneniya pochv [Bioecological Principles of Monitoring and Diagnostics of Pollution Grounds]. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 1: 105–106 (in Russian).
5. Zabelina O.N. 2014. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya pochvy gorodskikh rekreatsionnykh territoriy na osnovanii pokazateley biologicheskoy aktivnosti (na primere g. Vladimira) [Assessment of the Ecological State of the Soil of Urban Recreational Areas on the Basis of Indicators of Biological Activity (on the Example of the City of Vladimir)]. *Dis. ... cand. biol. sciences. Vladimir*, 146 p.
6. Zvyagintsev D.G. 1978. Biologicheskaya aktivnost' pochv i shkaly dlya otsenki nekotorykh yeye pokazateley [Biological Activity of Soils and a Scale for Assessing Some of its indicators]. *Eurasian Soil Science*, 6: 48–54.
7. Zinchenko M.K., Zinchenko S.I., Borin A.A., Kamneva O.P. 2017. Enzymatic Activity Soils of the Upper Volga. *Modern problems of science and education*, 3. Electronic resource. URL: <https://s.science-education.ru/pdf/2017/3/26458.pdf> (accessed: 30 May 2021) (in Russian).
8. Zinchenko M.K., Fedulova I.D., Sharkevich V.V. 2017. Distribution of Diazotrophic Microorganisms in Agrolandscapes of the Forest Soil. *Vladimir Agricolist*, 2 (80): 11–14 (in Russian).
9. Ignashev N.E., Ryzhikh L.Yu. 2020. Influence of Farming Systems on the Abundance of Aerobic Nitrogen Fixing Microbiota. *Russian Journal of Applied Ecology*, 1: 30–32 (in Russian).
10. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. 2012. Biodiagnostika pochv: metodologiya i metody issledovaniy [Biodiagnostics of Soils: Methodology and Research Methods]. *Rostov-na-Donu, Publ. Yuzhnogo federalnogo universiteta*, 260 p.
11. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Valkov V.F. 2003. Biological Diagnostic and Indication of Soils: the Methodology and Methods of Researches. *Rostov-na-Donu, Publ. Russian State University*, 216 p. (in Russian).
12. Kulagina V.I., Sungatullina L.M., Ryazanov S.S., Khairullina A.M., Shagidullin R.R., Rupova E.H. 2021. Assessment of the Set of Parameters for an Integral Evaluation of an Ecological and Biological State of Soils in Organic Agriculture. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, 7 (73): 90–102 (in Russian). DOI: 10.37279 / 2413-1725-2021-7-1-90-102.
13. Khaziev F.Kh. 2005. *Methods of Soil Enzymology*. Moscow, Publ. Nauka, 192 p. (in Russian).
14. Shcherbakova T.A. 1968. K metodike opredeleniya aktivnosti invertazy i amilazy v pochve [On the Method of Determining the Activity of Invertase and Amylase in Soil]. *Sbornik dokladov po fermentam pochvy. Minsk*, 453–455.
15. Churkina G., Kunanbayev K., Akhmetova G. 2012. The Taxonomic Composition of Soil Microorganisms in the Ecosystems of Southern Chernozems of Northern Kazakhstan. *Applied Innovations and Technologies*, 8 (3): 13–19.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кулагина Валентина Ивановна, кандидат биологических наук, доцент, зав. лабораторией экологии почв института проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань, Россия

Сунгатуллина Люция Мансуровна, старший научный сотрудник лаборатории экологии почв института проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань, Россия

Рязанов Станислав Сергеевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии почв института проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань, Россия

Шагидуллин Рифгат Роальдович, доктор химических наук, член-корреспондент АН РТ, директор института проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань, Россия

Андреева Анита Алексеевна, младший научный сотрудник лаборатории экологии почв института проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Valentina I. Kulagina, candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head. Laboratory of Soil Ecology of the Institute of Ecology and Subsoil Use of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

Lutsia M. Sungatullina, senior researcher of the Laboratory of Soil Ecology of the Institute of Ecology and Subsoil Use of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

Stanislav S. Ryazanov, candidate of Biological Sciences, senior researcher of the Laboratory of Soil Ecology of the Institute of Ecology and Subsoil Use of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

Rifgat R. Shagidullin, doctor of Chemistry, Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Director of the Institute of Ecology and Subsoil Use of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

Anita A. Andreeva, junior researcher of the Laboratory of Soil Ecology of the Institute of Ecology and Subsoil Use of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia