

УДК 631.41

ИЗУЧЕНИЕ НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВ И АКТИВНОСТИ КАТАЛАЗЫ АГРОТЕМНОГУМУСОВЫХ ПОДБЕЛОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ АГРОТЕХНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

© 2022 г. Л. Н. Пуртова^а, Я. О. Тимофеева^{а, *}

^аФедеральный научный центр Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,
пр-т 100 лет Владивостока, 159, Владивосток, 690022 Россия

*e-mail: timofeeva@biosoil.ru

Поступила в редакцию 24.03.2022 г.

После доработки 05.05.2022 г.

Принята к публикации 06.05.2022 г.

Исучено влияние различных видов агротехнического воздействия на внутрипрофильное изменение свойств и активности каталазы агротемногумусовых подбелов с выраженным процессом образования ортштейнов. Наиболее близкими по свойствам и морфологии к почвам природных ландшафтов были почвы залежи, которые характеризовались слабокислой реакцией среды, наибольшими значениями активности каталазы и содержания гумуса в верхней части профиля. В почвах фитомелиоративного варианта опыта поступление легкоразлагаемых растительных остатков в совокупности с менее кислой реакцией среды способствовало активизации активности каталазы. Высокий уровень проявления активности каталазы установлен в горизонтах с максимальным содержанием ортштейнов. Почвы варианта опыта с длительным внесением органических удобрений характеризовались увеличением запасов гумуса в метровом слое и наименьшим обогащением каталазой. Внесение минеральных удобрений сопровождалось уменьшением содержания гумуса, однако резкого изменения активности каталазы не вызвало. Предложен расчет коэффициента запасов каталазы, более объективно отражающий уровень активности каталазы исследованных почв.

Ключевые слова: гумус, удобрения, мелиорация, внутрипрофильное изменение свойств, железомарганцевые ортштейны

DOI: 10.31857/S0032180X22100136

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при изучении природных и антропогенно-нарушенных экосистем большое внимание уделяется оценке биологической активности почв. Среди биологических параметров наиболее широко используется ферментативная активность, отражающая процессы трансформации в почвах углерода, фосфора, серы и протекание окислительно-восстановительных процессов [40, 43, 45, 47, 48]. Одним из ферментов, участвующих в данных процессах, является каталаза или гидропероксидаза II, разлагающая H_2O_2 и защищающая все типы организмов от активных форм кислорода [21, 41]. Каталаза относится к классу оксидоредуктаз, которые катализируют окислительно-восстановительные реакции и играют ключевую роль в биохимических процессах, как в клетках живых организмов, так и в почве. Активность каталазы в почве, как и большинства ферментов, связана с физико-химическими свойствами почв [15, 17, 18, 25, 29].

Вопросам исследования активности каталазы почв различных регионов, методам ее определения и оценки посвящено много публикаций [2, 7–9, 13, 15, 16, 20, 24, 30]. Однако количество работ по изучению внутрипрофильного изменения активности каталазы с учетом морфологических особенностей строения почв ограничено [24, 30, 31, 33, 39]. При этом сведения о вертикальном изменении активности каталазы почв необходимы для оценки интенсивности протекания биодинамических и биохимических процессов в почвах различного генезиса. На основе результатов исследований активности каталазы почв дальневосточного региона установлен средний и низкий уровень обогащения каталазой поверхностных горизонтов почв [4, 33, 34, 42]. Расширенное исследование ферментативной активности позволило установить наличие в почвенных минеральных горизонтах многочисленных центров, обогащенных каталазой [33]. Такие центры представлены почвенными новообразованиями – железомарганцевыми ортштейнами (ЖМО), формирующи-

мися, преимущественно, в почвах с контрастным окислительно-восстановительным режимом. Наличие благоприятных для образования ЖМО условий способствует их активному формированию в почвах юга Дальнего Востока [35, 38, 49, 50]. Содержание ЖМО в отдельных горизонтах почв региона достигает 33% от веса почвенной массы [33]. Обилие ЖМО в почвах в значительной степени определяет проявление активности каталазы почв в целом и, как следствие, оказывает влияние на общий ход протекания процессов гумусообразования.

Каталаза играет важную роль в процессах синтеза и превращения веществ, определяет направленность преобразования поступающих в почву органических веществ, что делает важным исследование активности каталазы почв агроландшафтов. Изучение внутрипрофильного изменения активности каталазы и оценка запасов каталазы с учетом специфики почвообразовательных процессов необходимо для объективной характеристики уровня почвенного плодородия и оптимизации гумусного и экологического состояния пахотных почв. Исследованию активности каталазы в почвах с ярко выраженным проявлением процесса образования ортштейнов и влияния различных приемов агротехнической обработки на ферментативную активность почв не уделялось должного внимания. Для почв, сформированных на территории юга Дальнего Востока, подобные работы эпизодичны и не отражают специфику ферментативной активности почв.

Цель работы – изучение влияния различных видов агротехнического воздействия на внутрипрофильное изменение активности каталазы и свойств почв, разработка показателя оценки ферментативной активности почв с выраженным процессом образования ортштейнов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследуемые почвы приурочены к Приморской юго-западной гидротермической провинции, для которой характерны высокие среднегодовые показатели выпадения осадков (до 800 мм), радиационного баланса (52.2 ккал/см² в год) и затрат энергии на почвообразование (44.9 ккал/см² в год) [32, 36]. Неравномерное выпадение осадков в течение года вызывает сильное переувлажнение почв летом и иссушение в осенне-зимний период, создавая контрастные окислительно-восстановительные условия [19].

Исследовали агротемногумусовые подбелы с различной степенью проявления процесса оглеения, сформированные в районе речной депрессии на равнинных участках долины р. Раковка Уссурийского района Приморского края. Отбор образцов производился в первой декаде сентября

2021 г. Средняя температура воздуха днем в период отбора образцов составляла 25.2°C. Период отбора образцов характеризовался ясной погодой с переменной облачностью. Названия почв приведены согласно классификации и диагностике почв России [14]. Почвенные разрезы закладывали на территории стационара ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки на делянках длительных полевых опытов. Образцы отобрали из почв: 1) выведенных из сельскохозяйственного оборота в залежь 85 лет назад (43°85'90" N, 131°94'39" E); 2) используемых в течение 15-летнего периода в фитомелиоративном опыте с посевом костреца безостого (*Bromus inermis*) (43°51'40" N, 131°57'32" E); 3) на протяжении 80 лет испытывающих воздействие минеральных удобрений, вносимых в форме суперфосфата, хлористого калия и аммиачной селитры (43°85'88" N, 131°94'89" E); 4) в течение 62 лет удобряемых полуперепревшим навозом крупного рогатого скота (43°85'86" N, 131°94'85" E). Морфологическое описание агротемногумусовых подбелов, отражающее признаки, характерные для почвенных горизонтов всех исследованных вариантов опыта, представлено в табл. 1.

Особенностью почв залежи и используемых в фитомелиоративном опыте является наличие переходного между гумусово-аккумулятивным (PU) и элювиальным горизонтами (ELnn) горизонта PU–ELnn и второго текстурного горизонта VT/VTg. Переходный горизонт по сравнению с вышележащим слоем характеризовался более светлой окраской и наличием визуально идентифицируемых ЖМО на стенке разреза в объеме горизонта. Выделение самостоятельного переходного горизонта обусловлено наличием отличных от выше- и нижележащих горизонтов физико-химических, химических и ферментативных свойств (табл. 2). Возможно, наличие переходного горизонта свидетельствует о переходе почвенной системы в исходное квазиравновесное состояние. Второй плотный текстурный горизонт VT/VTg мощностью от 30 до 40 см бурого цвета с многочисленными крупными пятнами охристого цвета характеризовался тяжелосуглинистым и глинистым гранулометрическим составом, комковато-призматической структурой, наличием единичных мелких примазок темно бурого цвета на стенке и единичных мягких ЖМО. При проявлении процесса оглеения основной цвет горизонта приобретал заметный охристый оттенок, появлялись крупные пятна сизого цвета с размытыми краями. В текстурных горизонтах профиля почв фитомелиоративного опыта устойчивые морфологические признаки оглеения в виде многочисленных контрастных пятен, преимущественно охристого и белесого цвета, идентифицировались с глубины 49 см и распространялись вглубь почвенного профиля. Это позволило отне-

Таблица 1. Морфологическая характеристика репрезентативных почвенных горизонтов

Горизонт	Мощность, см	Основной цвет по шкале Манселла	Окраска, гранулометрический состав, структура, сложение, новообразования	Переход в нижележащий горизонт, граница
PU	11–30	От темно-серого (5YR 4/1) до темно-буровато-серого (5YR 4/2)	Однородной окраски, легкий и средний суглинок, комковатой и мелко-ореховатой структуры, уплотнен	Переход постепенный, граница волнистая
ELnn/ELnn,g	13–22	От светло-серого (10YR 7/1) до светло-буровато-серого (10YR 6/2)	С отдельными (при проявлении процесса оглеения многочисленными) мелкими контрастными пятнами бурого и охристого цветов, легкий и средний суглинок, структура от ореховатой до призматической со слабо выраженной слоистостью, плотный, содержит плотные Fe–Mn ортштейны	Переход ясный, граница языковатая
BTnn/BTnn,g	34–56	От темно-бурого (7.5YR 3/4) до серовато-бурого (10YR 5/2)	С мелкими контрастными пятнами охристого цвета (при проявлении процесса оглеения количество пятен увеличивается), тяжелый суглинок, призматической структуры, плотный, содержит плотные и мягкие Fe–Mn ортштейны	Переход постепенный, граница волнистая

сти агротемногумусовый подбел фитомелиоративного варианта опыта к подтипу глееватый. В почвах, используемых в опытах с длительным применением минеральных и органических удобрений, признаки оглеения идентифицировались в элювиальных горизонтах на глубине 27–28 см и усиливались с продвижением вглубь почвенного профиля, на глубине 80–90 см переходя в мраморовидный, бесструктурный, глинистый, плотный, влажный глеевый горизонт G. Почвы таких вариантов опыта относили к агротемногумусовым подбелам глеевым типичным. Почвы залежного варианта опыта – к агротемногумусовым подбелам типичным. Верхняя часть (0–4 см) горизонта PU почв залежи характеризовалась наличием плотной дернины. Для исключения искажения результатов исследования по содержанию гумуса и ферментативной активности данный слой отделяли и не использовали в аналитической работе.

ЖМО отбирали по почвенным генетическим горизонтам методом мокрого просеивания с учетом массы и объема почвенного монолита, отбранного для выделения ортштейнов [33, 50].

При исследовании свойств почв использовали общепринятые в почвоведении методы. Кислотность (pH_{H_2O} , pH_{KCl}) определяли потенциометрически на pH-метре S220-Kit (Mettler Toledo, Швейцария) согласно рекомендациям ГОСТ 26423-85 и 26483-85 [5, 6]. Плотность сложения почв исследовали весовым методом [1]. Содержание оксидов макроэлементов в почвенных образцах определяли методом энергодисперсионной рент-

генфлуоресцентной спектроскопии на анализаторе EDX 800HS-P (Shimadzu, Япония), оснащенным родиевым катодом, в формате количественного анализа, в вакуумной среде с использованием государственных стандартных образцов сравнения (ГСО 901-76, 902-76, 903-76, 2498-83, 2499-83, 2500-83, 2507-83, 2509-83) согласно М-02-0604-2007 [22]. Параметры измерения: напряжение – 50 кВ, сила тока – 100 мА, время определения – 300 с, “мертвое” время – 20%, размер коллиматора – 10 мм. Содержание $C_{общ}$ определяли по методу Тюрина [28]. Активность каталазы почв (K_a) оценивали газометрически [21]. Согласно данной методике, при определении активности каталазы контрольные образцы почв стерилизовали сухим жаром при температуре 180°C. Определение каждого показателя выполняли в трехкратной аналитической повторности.

В работе использовали современное научное оборудование Центра коллективного пользования “Биотехнология и генетическая инженерия” на базе ФНЦ биоразнообразия ДВО РАН.

Оценку содержания и запасов гумуса проводили в соответствии с рекомендациями Орлова с соавт. [27]. Запасы каталазы по профилю почв рассчитывали с учетом плотности сложения и мощности исследуемого горизонта по методике, предложенной Звягинцевым [12].

Коэффициент запасов каталазы рассчитывался соотношением:

$KЗП = \text{Запасы } K_a \text{ в горизонте ELnn(ELnn,g)} / \Sigma \text{ запасов } K_a \text{ по профилю почв} \times 100\%$.

Таблица 2. Содержание ортштейнов и свойства почв, среднее арифметическое значение \pm значение среднеквадратического отклонения

Горизонт	Глубина, см	Ортштейны, % от веса почвы	Плотность сложения, г/см ³	pH _{H₂O}	pH _{KCl}	Fe ₂ O ₃ , %	MnO, %
Агротемногумусовый подбел типичный (залежь)							
PU	4–11	16.83 \pm 0.71	0.99 \pm 0.03	5.86 \pm 0.12	5.08 \pm 0.10	4.00 \pm 0.17	0.085 \pm 0.004
PU–ELnn	11–35	27.52 \pm 1.08	0.95 \pm 0.04	6.13 \pm 0.13	5.10 \pm 0.11	3.91 \pm 0.14	0.097 \pm 0.005
ELnn	35–55	34.40 \pm 1.39	1.10 \pm 0.05	6.20 \pm 0.11	4.72 \pm 0.07	3.62 \pm 0.16	0.044 \pm 0.002
BTnn	55–111	6.08 \pm 0.28	1.19 \pm 0.05	6.16 \pm 0.11	4.46 \pm 0.08	7.93 \pm 0.34	0.048 \pm 0.001
BT	111–153	2.96 \pm 0.10	1.20 \pm 0.06	6.62 \pm 0.14	4.65 \pm 0.09	6.77 \pm 0.27	0.074 \pm 0.003
C	153–192	–*	–	7.02 \pm 0.15	4.80 \pm 0.09	7.04 \pm 0.32	0.133 \pm 0.006
Агротемногумусовый подбел глееватый (фитомелиоративный опыт)							
PU	0–11	12.30 \pm 0.59	0.90 \pm 0.04	7.14 \pm 0.16	6.27 \pm 0.15	3.67 \pm 0.12	0.119 \pm 0.006
PU–ELnn	11–27	17.82 \pm 0.86	1.05 \pm 0.05	7.81 \pm 0.22	6.80 \pm 0.18	3.55 \pm 0.11	0.117 \pm 0.006
ELnn	27–49	21.83 \pm 1.03	1.12 \pm 0.06	7.97 \pm 0.23	6.79 \pm 0.18	3.90 \pm 0.13	0.223 \pm 0.011
BTnn,g	49–83	5.49 \pm 0.23	1.14 \pm 0.06	8.02 \pm 0.27	6.04 \pm 0.11	7.30 \pm 0.29	0.185 \pm 0.006
BTg	83–112	1.85 \pm 0.09	1.16 \pm 0.05	7.94 \pm 0.26	5.87 \pm 0.12	10.29 \pm 0.47	0.083 \pm 0.003
Cg	112–122	–	–	7.68 \pm 0.20	5.38 \pm 0.09	10.83 \pm 0.38	0.124 \pm 0.007
Агротемногумусовый подбел глеевый типичный (опыт с внесением органических удобрений)							
PU	0–27	6.83 \pm 0.24	0.88 \pm 0.03	5.79 \pm 0.12	4.66 \pm 0.08	3.60 \pm 0.13	0.050 \pm 0.002
ELnn,g	27–42	9.09 \pm 0.41	1.18 \pm 0.05	5.62 \pm 0.10	4.71 \pm 0.08	3.82 \pm 0.14	0.044 \pm 0.001
BTnn,g	42–91	3.27 \pm 0.13	0.95 \pm 0.05	5.94 \pm 0.11	4.51 \pm 0.06	7.43 \pm 0.30	0.029 \pm 0.001
G	91–132	0.84 \pm 0.03	1.10 \pm 0.05	6.28 \pm 0.13	4.42 \pm 0.05	6.29 \pm 0.25	0.037 \pm 0.001
CG	132–170	–	1.20 \pm 0.06	6.94 \pm 0.15	4.72 \pm 0.07	6.30 \pm 0.26	0.043 \pm 0.002
Агротемногумусовый подбел глеевый типичный (опыт с внесением минеральных удобрений)							
PU	0–30	16.54 \pm 0.70	1.05 \pm 0.03	6.16 \pm 0.08	5.34 \pm 0.07	3.74 \pm 0.11	0.054 \pm 0.002
ELnn,g	30–46	17.82 \pm 0.88	1.36 \pm 0.05	6.60 \pm 0.11	5.18 \pm 0.09	3.98 \pm 0.15	0.030 \pm 0.001
BTnn,g	46–83	4.17 \pm 0.017	1.26 \pm 0.04	6.32 \pm 0.10	4.81 \pm 0.07	5.83 \pm 0.18	0.018 \pm 0.001
G	83–119	–	1.52 \pm 0.05	6.39 \pm 0.12	4.67 \pm 0.06	7.13 \pm 0.34	0.029 \pm 0.001

*Горизонт содержит слабоокристаллизованные ортштейны, разрушающиеся при выделении из почвенного мелкозема.

Математическую обработку данных проводили с применением программ Statistica и Microsoft Excel 2007. Уровень значимости полученных результатов (*P*) не превышал 0.05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Новообразования исследованных почв представлены бурными крупными и мелкими ортштейнами и примазками. По классификации конкреционных новообразований ортштейны относятся к роду круглых или эллипсоидных гладких конкреций почв [11]. Основным отличием ортштейнов от конкреций является отсутствие системности во внутренней зональности новообразований [46]. В почвах региона образование ЖМО определяется тяжелым гранулометрическим составом, при котором смена восстановительных условий на окислительные имеет большую временную

протяженность по сравнению с почвами легкого гранулометрического состава [33, 49, 50]. Содержание ЖМО в исследованных почвах варьирует от 0.84 до 34.40% от веса почвы, а размер от 1 до 13 мм (табл. 2). Основной объем ортштейнов (75%) представлен фракцией 3–6 мм. Количественное распределение ЖМО по профилю почв всех вариантов опыта характеризуется увеличением содержания от горизонта PU к горизонту ELnn/ELnn,g с последующим резким уменьшением количества ЖМО и увеличением количества визуально идентифицируемых примазок в нижележащих горизонтах. Подобная специфика вертикального распределения ортштейнов обусловлена более контрастной сменой окислительно-восстановительных условий в верхней части почвенного профиля и повышением роли гидроморфизма в нижележащих горизонтах [19, 38, 49]. Наиболее активно процесс образования ортштейнов проте-

кает в агротемногумусовом подбеле типичном, выведенном в залежь. Вероятно, это связано как с отсутствием проявления процесса оглеения, препятствующего кристаллизации соединений Fe и Mn, так и с отсутствием поверхностной обработки почвы, способствующей разрушению почвенных новообразований.

Несмотря на близкое территориальное нахождение исследованных почв, спецификация длительных агротехнических приемов возделывания отразилась на величине pH. Согласно региональной шкале оценки кислотности почв [26], почвы залежного варианта опыта характеризуются слабокислой реакцией среды почвенного раствора (pH_{H_2O}) в верхней и средней частях профиля с последующим увеличением значений pH до уровня, близкого к нейтральному в нижнем текстурном горизонте (BT) и нейтральному в горизонте С. Величина обменной кислотности (pH_{KCl}) в верхней части почвенного профиля (горизонты PU, PU—Elnn) соответствует нижнему уровню пороговых значений среднекислой и с глубиной уменьшается до кислой и сильнокислой. Схожая тенденция вертикального изменения величины pH отмечена в почвах, подверженных длительному внесению минеральных и органических удобрений. В целом, кислотность таких почв соответствует слабокислому диапазону. Однако использование удобрений внесло некоторые коррективы в значение pH_{H_2O} . В верхней и средней частях профиля уровень pH_{H_2O} на 1.5–4.8% больше значений почв залежного варианта опыта. Почвы фитомелиоративного опыта характеризуются нейтральной реакцией среды почвенного раствора в пахотном горизонте (PU) и изменением величины pH_{H_2O} до слабощелочных значений вглубь почвенного профиля. Значения обменной кислотности в верхней и средней частях профиля соответствуют показателю: близкая к нейтральной. В нижней части профиля отмечается изменение величины pH_{KCl} до слабокислого уровня. Особенности характеристики кислотности почв фитомелиоративного варианта опыта, вероятно, связаны с известкованием, проведенным до начала ведения полевого опыта с посевом трав.

При проведении настоящих исследований определение содержания в почвах Fe_2O_3 и MnO было обусловлено активным участием элементов в образовании ортштейнов. Валовое содержание Fe_2O_3 и MnO варьировало от 3.55 до 10.83% и от 0.018 до 0.223% соответственно. В гумусово-аккумулятивных и элювиальных горизонтах содержание Fe_2O_3 находилось на уровне 3.5–4.0%. В текстурных, глеевых и переходных к материнской породе горизонтах данный показатель увеличивался в 1.5–3 раза. Увеличение содержания Fe_2O_3 в средней и нижней частях профиля указывает на

литогенное происхождение соединений железа в почвенном мелкоземе и частичный их вынос из верхних почвенных горизонтов. В почвах залежного варианта опыта и опыта с внесением органических удобрений максимальное содержание Fe_2O_3 отмечено в текстурных горизонтах, что может быть связано с накоплением Fe-содержащих соединений, мигрирующих из вышележащих элювиальных горизонтов. Характер вертикального распределения MnO в исследованных почвах различался. В почвах, длительное время испытывающих воздействие минеральных и органических удобрений, максимальный уровень содержания MnO приурочен к верхнему горизонту профиля. В почвах залежи увеличение содержания MnO отмечено в верхней и нижней частях профиля. В почвах фитомелиоративного опыта пик содержания MnO приходится на среднюю часть профиля.

Исследованные почвы характеризуются типичными для региона величинами плотности сложения пахотных и элювиально-глеевых горизонтов.

Почвы всех вариантов опыта относятся к малогумусированным. Содержание гумуса в почвах разных вариантов опыта существенно различалось (табл. 3). Согласно оценочным показателям гумусного состояния почв [27], содержание гумуса в верхнем горизонте профиля всех исследованных почв соответствовало характеристике: ниже средних значений и низкое. С глубиной содержание гумуса уменьшалось, в трех вариантах опыта прослеживалось незначительное увеличение показателя в текстурных и глеевых горизонтах. Содержание гумуса в средней и нижней частях профиля почв не превышало уровня малых и очень малых значений.

В почвах залежи содержание гумуса в верхней части профиля варьировало от 4.14 до 5.48%. Характер внутривертикального распределения гумуса — резко убывающий. Запасы гумуса в слое 0–20 см и в метровой толще соответствовали низким значениям. Наибольшее обогащение почв каталазой идентифицировано в горизонте PU, с глубиной оно уменьшалось до уровня бедной (горизонт Elnn) и очень бедной (горизонт BTnn). Увеличение K_a отмечено в текстурном горизонте BT на глубине 111 см, что может быть связано с высокой каталитической активностью почвенных ортштейнов, формирующихся в нижней части профиля подбелов [33]. В целом, почвы залежного варианта опыта по рассматриваемым показателям близки к уровню зональных типов почв природных ландшафтов региона.

Несмотря на 15-летнее поступление легкоразлагаемых органических остатков, почвы фитомелиоративного опыта характеризовались пониженным содержанием гумуса по сравнению с залежным вариантом. Запасы гумуса в 20 см слое и

Таблица 3. Содержание и запасы гумуса, активность каталазы (K_a) и запасы каталазы в почвах, среднее арифметическое значение \pm значение средне-квadraticеского отклонения

Горизонт	Глубина, см	Гумус, %	Запасы гумуса в слое, т/га		K_a , см ³ O ₂ /(г мин)	Запасы K_a , см ³ O ₂ /(г мин)	Среднее по профилю значение, см ³ O ₂ /(г мин)	
			20 см	1 м			K_a	запасы K_a
Агрономогумусовый подбел типичный (залежь)								
PU	4–11	5.48 ± 0.13			5.61 ± 0.14	38.77 ± 1.45		
PU–ELnn	11–35	4.14 ± 0.09			4.07 ± 0.10	93.52 ± 2.77		
ELnn	35–55	0.10 ± 0.004	73.43 ± 2.66	145.79 ± 5.60	1.09 ± 0.02	24.16 ± 1.13	2.72 ± 0.10	62.39 ± 2.57
BTnn	55–111	0.21 ± 0.005			0.86 ± 0.02	59.85 ± 2.05		
BT	111–153	0.01 ± 0.001			1.85 ± 0.04	95.56 ± 3.34		
Агрономогумусовый подбел глееватый (фитомелиоративный опыт)								
PU	0–11	3.52 ± 0.07			2.07 ± 0.08	19.85 ± 0.83		
PU–ELnn	11–27	2.69 ± 0.05			2.54 ± 0.11	41.59 ± 1.76		
ELnn	27–49	1.45 ± 0.03	60.23 ± 1.67	116.31 ± 4.29	9.75 ± 0.37	299.41 ± 8.90	4.86 ± 0.16	140.87 ± 5.50
BTnn,g	49–83	0.01 ± 0.001			8.78 ± 0.25	310.03 ± 12.99		
BTg	83–112	0.01 ± 0.001			1.91 ± 0.04	41.86 ± 1.51		
Агрономогумусовый подбел глеевый типичный (опыт с внесением органических удобрений)								
PU	0–27	3.83 ± 0.12			1.15 ± 0.03	26.06 ± 1.09		
ELnn,g	27–42	3.72 ± 0.08			0.69 ± 0.01	12.43 ± 0.38		
BTnn,g	42–91	0.41 ± 0.02	67.37 ± 2.15	183.84 ± 7.30	0.43 ± 0.01	18.57 ± 0.59	0.52 ± 0.02	15.05 ± 0.49
G	91–132	1.03 ± 0.04			0.26 ± 0.004	13.48 ± 0.45		
CG	132–170	0.93 ± 0.04			0.12 ± 0.003	4.62 ± 0.10		
Агрономогумусовый подбел глеевый типичный (опыт с внесением минеральных удобрений)								
PU	0–30	1.20 ± 0.03			2.05 ± 0.06	63.04 ± 1.99		
ELnn,g	30–46	0.93 ± 0.03	25.16 ± 0.74	118.13 ± 3.96	0.68 ± 0.02	15.20 ± 0.57	0.92 ± 0.04	30.76 ± 1.25
BTnn,g	46–83	1.55 ± 0.04			0.51 ± 0.01	23.35 ± 0.81		
G	83–119	0.72 ± 0.02			0.49 ± 0.01	21.63 ± 0.77		

метровой почвенной толще также уменьшались по сравнению с почвами залежи на 18 и 20% соответственно. Это можно объяснить активизацией деятельности микробных сообществ и усилением процессов минерализации органического вещества. Характерной особенностью таких почв являлось резкое увеличение показателя K_a в средней части почвенного профиля, где уровень K_a достигал средних значений и был максимальным среди исследованных почв. При этом в верхних горизонтах профиля величина K_a была в 1.6–2.8 раз меньше по сравнению с почвами залежи. Результаты предыдущих исследований показали, что в почвах с высоким содержанием легкоразлагаемого органического вещества углерод активно накапливается в ортштейнах. Преобразование углерода внутри ортштейнов происходит при активном участии специфических микробных сообществ, в связи с чем уровень K_a ортштейнов в таких почвах превышает показатель K_a для почв до 150 раз [33]. Вероятно, высокое содержание ортштейнов в средней части профиля почв фитомелиоративного варианта опыта отразилось на повышении величины K_a .

В почвах варианта опыта с длительным внесением органических удобрений содержание гумуса в верхней части профиля на 30% меньше относительно его количества в верхней части профиля почв залежи. Небольшое увеличение содержания гумуса (от 0.41 до 1.03%) на глубине 91 см (горизонт G), вероятно, является результатом миграции гумусовых соединений из вышележащего горизонта ВТпн,г при возникновении периодического поверхностного переувлажнения почв. Запасы гумуса в слое 0–20 см почвы меньше, чем в почвах залежного варианта опыта. Запасы гумуса в метровом слое почвы превышают показатель залежного варианта опыта на 21%, что указывает на активное накопление гумусовых соединений. Это отражает более стабильное состояние гумусовой системы почв при длительном применении органических удобрений животного происхождения. Уровень K_a в почвах данного варианта опыта оказался наименьшим среди исследованных. Наиболее вероятной причиной является преобладание в таких почвах органических соединений, прочно связанных с минеральной основой, которые являются труднорастворимыми для микробных сообществ [44]. Профильная дифференциация величины K_a характеризуется как равномерно убывающая с продвижением к нижней части почвенного профиля.

В почвах, где длительное время вносились минеральные удобрения, содержание гумуса в горизонте PU оказалось наименьшим среди исследованных почв. В результате выноса гумусовых соединений при проявлении ослабленного кислотного гидролиза из горизонта ELnn,г отме-

чено увеличение содержания гумуса от 0.93 до 1.55% в нижележащем горизонте ВТпн,г. Запасы гумуса в почвах этого варианта опыта также были наименьшими. Обогащение K_a в верхнем горизонте почвы с внесением минеральных удобрений в 2.8 раз меньше по сравнению с верхним горизонтом залежного варианта опыта. В целом для почв с длительным внесением минеральных удобрений характерно уменьшение уровня K_a [23]. В большей степени это обусловлено влиянием фосфорсодержащих удобрений, блокирующих простетическую группу каталазы анионами фосфорной кислоты [3]. Вертикальное распределение величины K_a по профилю имело резко убывающий характер и с глубиной снижалось с уровня бедных до очень бедных значений.

Наряду с определением запасов гумуса, проведен расчет запасов каталазы с учетом плотности сложения почв и мощности горизонтов. Наиболее отчетливо различия в содержании K_a и ее запасов прослеживаются при рассмотрении средних по профилю показателей. Согласно полученным данным, почвы фитомелиоративного опыта характеризовались максимальными средними по профилю величинами K_a и запасов K_a . В почвах этого варианта опыта основным источником органического вещества являются легкоразлагаемые органические остатки растительного происхождения, которые стимулируют развитие микробных сообществ. Это согласуется с результатами Котруфо с соавт. [44], доказавшими ведущую роль продуктов микробной трансформации лабильных компонентов растительных остатков в формировании пула соединений-предшественников органо-минерального почвенного комплекса. Внутривертикальное распределение запасов K_a указывает на существенное обогащение средней части профиля, где значения запасов K_a до 12 раз превышают уровень залежных почв. Особенности вертикального распределения содержания гумуса не позволяют объяснить факт увеличения K_a и запасов K_a в средней части профиля миграцией гумусовых соединений. В исследованных почвах увеличение K_a и запасов K_a в большей степени связано с формированием центров обогащенных Mn и активизацией специфических микробных сообществ. В исследованных почвах такие центры представлены почвенными ЖМО, где Mn-содержащие соединения являются своеобразными катализаторами процесса разложения H_2O_2 , что способствует усилению проявления оксидоредуктазной активности. Дополнительно это подтверждается высоким уровнем взаимосвязи между содержанием в почвах Mn и величинами K_a , запасов K_a ($r = 0.97, 0.92$ соответственно) (рис. 1). Взаимосвязь между K_a , запасами K_a и содержанием валовых форм Fe в почвах всех исследованных вариантов опыта не установлена, что указывает

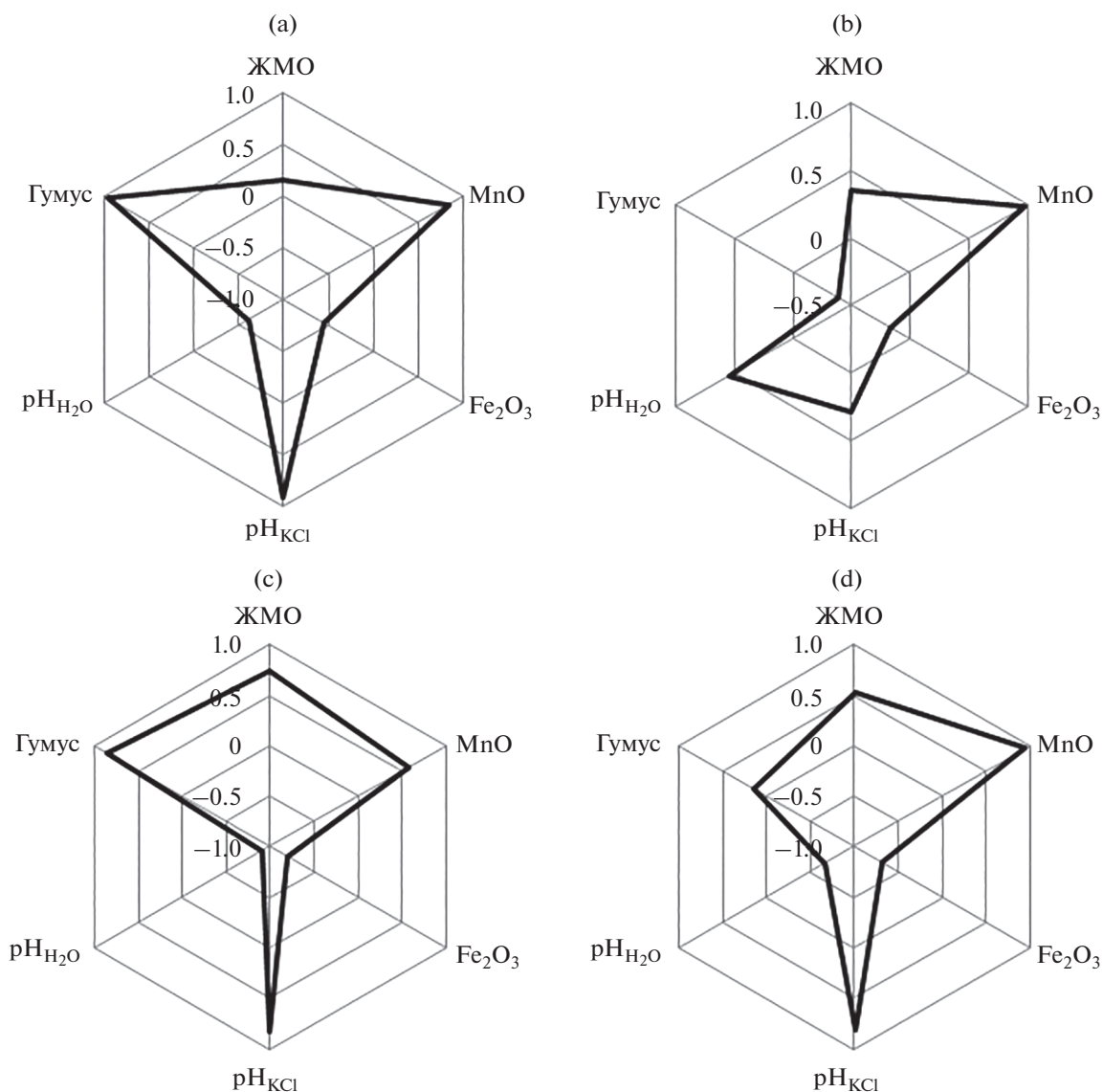


Рис. 1. Коэффициенты корреляции между активностью каталазы (K_a) и свойствами агротемногумусовых подбелов: а – типичного (залежь), б – глееватого (фитомелиоративный опыт), с – глеевого типичного (опыт с внесением органических удобрений), д – глеевого типичного (опыт с внесением минеральных удобрений).

на низкий уровень микробиологической редукции железа. Отсутствие подобной взаимосвязи согласуется с данными Костенкова [19], отражающими низкое содержание закисных форм Fe и ограниченную подвижность элемента в пределах почвенного профиля подбелов даже при сезонном переувлажнении почв. На основе совокупности результатов настоящих исследований и данных, представленных Хмелевцовой с соавт. [41], можно предположить, что доминирующее влияние на проявление активности каталазы в почвах всех исследованных вариантов опыта оказывают негемовые марганцевые каталазы, у которых гемовая группа заменена на димарганцевый активный сайт.

В почвах залежи средние по профилю уровни K_a и запасы K_a уменьшались по сравнению с почвами фитомелиоративного опыта в 1.8 и 2.2 раза соответственно. Максимальные уровни запасов K_a отмечены в подповерхностном горизонте PU–EL_{np} на глубине 11–35 см и в нижнем горизонте ВТ на глубине 111–153 см. С учетом специфики вертикального распределения K_a , увеличение запасов K_a в почвах залежного варианта опыта связано с морфологическими особенностями строения профиля.

Средние по профилю значения величин K_a и запасов K_a в почвах опыта с длительным внесением минеральных удобрений уменьшались в 2 и 3 раза соответственно по сравнению с почвами залежного варианта, но были больше, чем в поч-

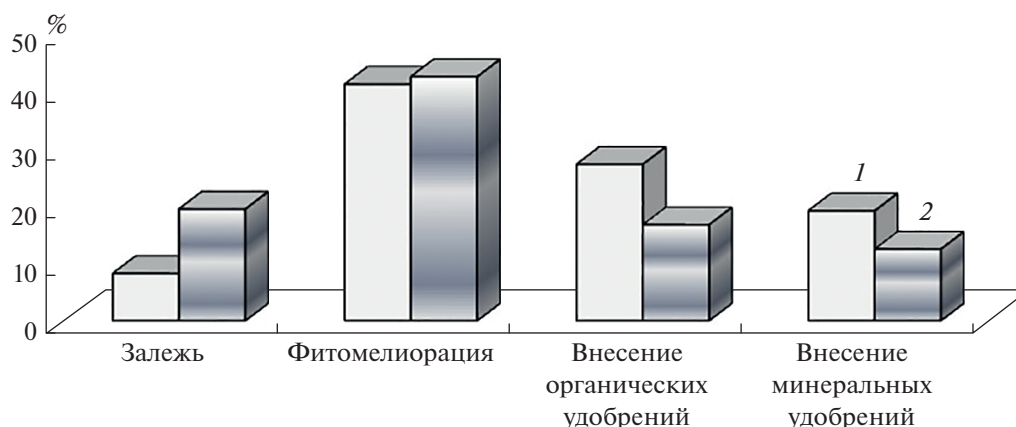


Рис. 2. Величина коэффициентов каталазы (1) и запасов каталазы (2) в агрономогумусовых подбелах при различных видах агротехнического воздействия.

вах варианта с применением навоза (табл. 3). Внутрипрофильное распределение запасов K_a схоже с распределением в почвах с длительным внесением органические удобрения.

Несмотря на результаты многочисленных исследований, указывающих на существенное усиление активности каталазы в почвах при внесении навоза, в почвах варианта опыта с длительным применением органических удобрений животного происхождения общая закономерность не подтвердилась. Почвы этого варианта опыта характеризовались наименьшими средними по профилю показателями K_a и запасов K_a . Уровень запасов K_a уменьшался вниз по профилю, незначительное увеличение отмечено в средней части, что обусловлено увеличением мощности горизонта. Основываясь на показателях запаса гумуса в метровом слое почвы и особенностях внутрипрофильного распределения гумуса, можно утверждать, что длительное внесение навоза усиливает минерализацию органического вещества в верхней части профиля и способствует формированию подвижных гумусовых соединений, мигрирующих по профилю и накапливающихся в нижней части. Вероятно, в нижней части профиля таких почв органические соединения трансформируются в устойчивые к микробиологическому воздействию органо-минеральные комплексы.

Основанный на характеристике активности каталазы по средним показателям по всему профилю и по параметрам в отдельных горизонтах почв расчет коэффициента каталазы, предложенный Неверовой и Щербаковой [24], отразил не объективность данного показателя (рис. 2). Величина коэффициента каталазы в исследованных почвах имела широкий диапазон варьирования с максимальным уровнем 40.7% в почвах фитомелиоративного опыта. Большие значения коэффи-

циента каталазы были характерны для почв варианта с длительным применением органических удобрений, которые характеризовались низкими уровнями активности каталазы. Это ограничивает использование коэффициента каталазы при оценке исследуемых почв в настоящей экологической обстановке. По нашему мнению, более объективное отражение уровня активности каталазы почв, формирующихся в условиях сезонного переувлажнения и с активным проявлением процесса образования ортштейнов, даст расчет коэффициента запасов каталазы с учетом величины запасов K_a в горизонте с максимальным содержанием ортштейнов. По величине коэффициента запасов каталазы установлен следующий убывающий ряд: почвы фитомелиоративного опыта > почвы залежи > почвы варианта с внесением органических удобрений > почвы варианта с внесением минеральных удобрений (рис. 2). Обоснованность применения показателя коэффициента запасов каталазы подтверждается уровнем корреляционной связи между средними по профилю значениями K_a и величиной коэффициента запасов каталазы, равной 0.76. Тогда как коэффициент корреляции между средними по профилю значениями K_a и коэффициента каталазы составил 0.52. Большие значения корреляционной связи установлены между коэффициентом запасов каталазы и средними по профилю показателями запасов K_a (r 0.84). Это дает возможность использования показателей запасов K_a при оценке активности каталазы почв, подверженных воздействию различных агротехнических приемов, в условиях интенсивного проявления процесса образования ортштейнов.

Среди рассматриваемых свойств почв высокий уровень положительной корреляционной связи выявлен между показателями K_a и величиной обменной кислотности (r от 0.80 до 0.91) в

почвах, характеризующихся слабокислой реакцией среды почвенного раствора. Схожая закономерность отражена в ряде работ по изучению ферментативной активности черноземов, дерново-подзолистых, темно-серых и серых лесных почв различных регионов [10, 37, 39]. Авторы утверждают, что оптимальным значением для действия каталазы является реакция среды почвенного раствора, близкая к нейтральной [37]. Результаты исследований других авторов указывают на уменьшение активности каталазы в почвах при подщелачивании почвенного раствора за счет сжимания почвенных гелевых коллоидных структур при увеличении концентрации солей и возрастании ионной силы раствора [39]. В исследованных почвах данные закономерности не подтвердились, и максимальная активность каталазы была отмечена в почвах фитомелиоративного опыта, характеризующихся более щелочной реакцией среды. С учетом знаний различных направлений исследований каталазы можно предположить, что вероятной причиной является смещение катионно-анионного равновесия почвенного раствора при подкислении среды, что приводит к изменению формы активного сайта каталазы и к дальнейшему повышению активности каталазы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение агротемногумусовых подбелов с выраженным процессом образования ортштейнов позволило установить специфику внутрипрофильного изменения свойств и активности каталазы при различных видах длительного агротехнического воздействия.

Исследованные почвы характеризовались активным образованием бурых ортштейнов и примазок. Максимальное количество новообразований идентифицировано в верхней и средней частях профиля. Общей закономерностью вертикального распределения Fe_2O_3 в почвах являлось увеличение содержания в нижней части профиля. Характер распределения MnO по почвенному профилю различался. Почвы всех вариантов опыта относятся к малогумусированным. Содержание гумуса в почвах с глубиной уменьшалось.

Почвы залежного варианта опыта использовали в качестве образца сравнения как наиболее близкие по свойствам и морфологии к естественным аналогам природных ландшафтов. Почвы залежи характеризовались слабокислой реакцией среды, наибольшими значениями содержания ЖМО, гумуса, уровня проявления активности каталазы и гумусонакопления в верхней части профиля.

Несмотря на меньшие величины содержания и запасов гумуса, длительное поступление легкоразлагаемых органических остатков растительного происхождения в совокупности с нейтральной и слабощелочной реакцией среды усилило активность каталазы в почвах фитомелиоративного варианта опыта. Это было выражено максимальными величинами обогащения каталазой средней части профиля и наибольшими средними по профилю значениями K_a и запасов K_a среди исследуемых почв. Полученные результаты подтвердили, что увеличение данных показателей связано с формированием ЖМО, обогащенных Mn.

Длительное внесение органических и минеральных удобрений способствовало усилению минерализации органического вещества и незначительному уменьшению кислотности в верхней части почвенного профиля. Использование удобрений активизировало формирование подвижных гумусовых соединений, мигрирующих в нижнюю часть профиля. Внесение органических удобрений сопровождалось увеличением запасов гумуса в метровом слое почвы. Особенностью этого варианта опыта являлись минимальные значения величин K_a и запасов K_a среди исследованных почв. Вероятно, это связано с преобладанием в составе гумуса соединений, прочно связанных с минеральной основой. Наименьшие значения содержания и запасов гумуса в верхней части профиля характерны для почв варианта опыта с применением минеральных удобрений, вносимых в форме суперфосфата, хлористого калия и аммиачной селитры. Однако активность каталазы таких почв была больше, чем в варианте с применением навоза.

В исследованных почвах наибольшее влияние на активность каталазы оказывало содержание и распределение MnO. При этом взаимосвязь между K_a , запасами K_a и содержанием валовых форм Fe в почвах не установлена, что указывает на низкий уровень микробиологической редукции железа. В почвах со слабокислой реакцией среды установлено влияние величины pH_{KCl} на проявление активности каталазы.

На основе полученных результатов для почв с активным проявлением процесса образования ортштейнов доказана обоснованность использования показателя коэффициента запасов каталазы с учетом уровня запасов K_a в горизонте с максимальным содержанием ортштейнов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121031000134-6).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрофизические методы исследования почв. М.: Наука, 1966. 256 с.
2. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Методология исследования биологической активности почв на примере Северного Кавказа // Научная мысль Кавказа. 1999. № 1. С. 32–37.
3. Галстян А.Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван: Айастан, 1974. 275 с.
4. Голодяев Г.П. Биологическая активность горнолесных почв южного Приморья // Вопросы численности, биомассы и продуктивности почвенных микроорганизмов / Под ред. Т.В. Аристовской. Л.: Наука, 1972. С. 240–246.
5. ГОСТ 26423-85 Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. М.: Стандартинформ, 2011.
6. ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. М.: Издательство стандартов, 1985.
7. Девятова Т.А., Щербакова А.П. Биологическая активность черноземов центра Русской равнины // Почвоведение. 2006. № 4. С. 502–508.
8. Денисова Т.В., Колесников С.И. Влияние СВЧ-излучения на ферментативную активность и численность микроорганизмов почв юга России // Почвоведение. 2009. № 4. С. 479–483.
9. Евсеев В.В. Микробиологическая активность чернозема выщелоченного в зернопаровом и кормовом севооборотах лесостепной зоны Зауралья // Аграрный вестник Урала. 2005. Т. 25. № 1. С. 54–56.
10. Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Митракова Н.В. Использование биологических показателей при оценке биогеоценотических функций почв // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=728>
11. Зайдельман Ф.Р., Никифорова А.С. Генезис и диагностическое значение новообразований почв лесной и лесостепной зон. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 216 с.
12. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. № 6. С. 48–54.
13. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
14. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
15. Киреева Н.А., Новоселова Е.И., Шамаева А.А., Григориади А.С. Биологическая активность чернозема выщелоченного, загрязненного продуктами сторания попутного нефтяного газа, и возможности ее восстановления при фиторемедиации // Почвоведение. 2009. № 4. С. 498–503.
16. Колесников С.И., Дульцев А.Н., Вернигорова Н.А., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Тер-Мисакянц Т.А. Биодиагностика устойчивости рисовых почв Кубани к химическому загрязнению // Известия ВУЗов Северо-Кавказский регион. 2017. № 2. С. 57–62.
17. Колесников С.И., Евреинова А.В., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Изменение эколого-биологических свойств чернозема обыкновенного при загрязнении тяжелыми металлами второго класса опасности (Mo, Co, Cr, Ni) // Почвоведение. 2009. № 8. С. 1007–1013.
18. Колесников С.И., Тлехас З.Р., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Изменение биологических свойств почв Адыгеи при химическом загрязнении // Почвоведение. 2009. № 12. С. 1499–1505.
19. Костенков Н.М. Окислительно-восстановительные режимы в почвах периодического увлажнения. М.: Наука, 1987. 192 с.
20. Мартиросян И.А., Геворкян М.Г. Оценочные определения каталазной активности почв // Почвоведение. 2005. № 1. С. 98–103.
21. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. 304 с.
22. М-02-0604-2007 “Методика выполнения измерений массовой доли кремния, кальция, титана, ванадия, хрома, бария, марганца, железа, никеля, меди, цинка, мышьяка, стронция, свинца, циркония, молибдена, в порошковых пробах почв и донных отложений рентгеноспектральным методом с применением энергодисперсионных рентгенофлуоресцентных спектрометров типа EDX фирмы Shimadzu”. СПб., 2007. 17 с.
23. Наими О.И. Активность каталазы в черноземе обыкновенном и влияние на нее антропогенных факторов // Междунар. журн. гуманитарных и естественных наук. 2017. Т. 11–12. С. 12–15.
24. Неверова О.П., Щербакова И.В. Суммарная каталазная активность почв и ККП в национальном парке “Смоленское Приозерье” // Аграрный вестник Урала. 2011. № 2. С. 66–68.
25. Овчинникова М.Ф. Действие и последствие симазина на процесс гумификации и антиоксидную способность дерново-подзолистых почв // Агротехника. 1982. № 5. С. 101–107.
26. Ознобихин В.И., Синельников Э.П. Характеристика основных свойств почв Приморья и пути их рационального использования. Уссурийск: Изд-во Приморского с.-х. ин-та, 1985. 72 с.
27. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. № 8. С. 918–926.
28. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. 287 с.
29. Павлова Н.Н., Мельникова Т.В., Кулиш Ю.В. Оценка изменений биологической активности городских почв в районе расположения радиационно-опасных объектов (на примере г. Обнинска) // Проблемы региональной экологии. 2010. № 6. С. 34–38.

30. *Перминова Е.М., Лантева А.М.* Каталазная активность подзолистых почв коренного ельника черничного и разновозрастных лиственно-хвойных сообществ // *Аграрный вестник Урала*. 2018. Т. 172. № 5. С.44–53.
31. *Пуртова Л.Н., Бурдуковский М.Л.* К оценке экологического состояния лугово-бурых почв Приморья // *Вестник Крас. ГАУ*. 2016. № 7. С. 12–18.
32. *Пуртова Л.Н., Костенков Н.М.* Содержание органического углерода и энергозапасы в почвах природных и агрогенных ландшафтов юга Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2009. 124 с.
33. *Пуртова Л.Н., Тимофеева Я.О.* Характеристика мелкозема и оргштейнов агрогенных почв южной части Приморского края: физико-химические, оптические свойства, каталазная и каталитическая активность // *Почвоведение*. 2021. № 12. С. 1481–1491.
34. *Пуртова Л.Н., Щанова Л.Н., Иншакова С.Н., Емельянов А.Н.* Влияние фитомелиорации на плодородие агрообразовов Приморья // *Аграрный вестник Урала*. 2012. № 10. С. 10–12.
35. *Росликова В.И.* Марганцево-железистые новообразования в почвах равнинных ландшафтов гумидной зоны. Владивосток: Дальнаука, 1996. 291 с.
36. *Степанько А.А.* Агрогеографическая оценка земельных ресурсов и их использование в районах Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 1992. 115 с.
37. *Товстик Е.В., Олькова А.С.* Оценка влияния факторов абиотической природы на ферментативную активность почвы // *Экобиотех*. 2021. Т. 4. № 2. С. 128–134.
38. *Тимофеева Я.О.* Накопление и фракционирование микроэлементов в почвенных железо-марганцевых конкрециях различного размера // *Геохимия*. 2008. № 13. С. 293–301.
39. *Федотов Г.Н., Пахомова Е.И.* Каталазная активность и почвенные гелевые структуры // *Лесной вестник*. 2006. № 2. С. 213–218.
40. *Хазиев Ф.Х.* Экологические связи ферментативной активности почв // *Экобиотех*. 2018. Т. 1. № 2. С. 80–92.
41. *Хмелевцова Л.Е., Сазыкин И.С., Ажогина Т.Н., Сазыкина М.А.* Пероксидазы прокариот и их применение в биотехнологии (обзор) // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2020. Т. 56. № 4. С. 327–335.
42. *Щанова Л.Н.* Микрофлора почв юга Дальнего Востока России. Владивосток: Изд-во ДВО РАН, 1994. 172 с.
43. *Amat D., Thakur J.K., Mandal A., Patra A.K., Reddy K.K.K.* Microbial Indicator of Soil Health: Conventional to Modern Approaches // *Rhizosphere Microbes. Microorganisms for Sustainability*. Singapore. Springer, 2021. V. 23. P. 213–233. https://doi.org/10.1007/978-981-15-9154-9_8
44. *Cotrufo M.F., Wallenstein M.D., Boot C., Denef K., Paul E.* The microbial efficiency-matrix stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter? // *Global Change Biol.* 2013. V. 19. P. 988–995.
45. *Dijkstra P., Thomas S.C., Heinrich P.L., Koch G.W., Schwartz E., Hungate B.A.* Effect of temperature on metabolic activity of intact microbial communities: evidence for altered metabolic pathway activity but not for increased maintenance respiration and reduced carbon use efficiency // *Soil Biol. Biochem.* 2011. V. 43. P. 2023–2031.
46. *Gasparatos D., Massas I., Godelitsas A.* Fe-Mn concretions and nodules formation in redoximorphic soils and their role on soil phosphorus dynamics: Current knowledge and gaps // *Catena*. 2019. V. 182. P. 104106. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104106>
47. *Kirchmann H., Haberhauer G., Kandeler E., Sessitsch A., Gerzabek M.H.* Effects of level and quality of organic matter input on carbon storage and biological activity in soil: synthesis of a long-term experiment // *Global Biogeochem. Cycles*. 2004. V. 18. GB4011.
48. *Rillig M.C., Caldwell B.A., Wosten H.A.B., Sollins P.* Role of proteins in soil carbon and nitrogen storage: controls on persistence // *Biogeochemistry*. 2007. V. 85. P. 25–44.
49. *Timofeeva Y.O., Karabtsov A.A., Semal' V.A., Burdukovskii M.L., Bondarchuk N.V.* Iron-manganese nodules in Udepts: the dependence of the accumulation of the trace elements on nodule size // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2014. V. 78. P. 767–778. <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.10.0444>
50. *Timofeeva Y., Karabtsov A., Ushkova M., Burdukovskii M., Semal V.* Variation of trace elements accumulation by iron-manganese nodules from Dystric Cambisols with and without contamination // *J. Soil Sedim.* 2021. V. 21. P. 1064–1078. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02814-w>

Study of Some Properties and Activity of Catalase of Albic Stagnosols under Different Types of Agrotechnical Impact

L. N. Purtova¹ and Ya. O. Timofeeva^{1, *}

¹Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690022 Russia

*e-mail: timofeeva@biosoil.ru

The influence of the different types of agrotechnical impact on the alteration of properties and activity of catalase of Albic Stagnosols with an active occurrence of nodules formation process was studied. The fallow soils

were the most similar in properties and morphology to the soils of natural landscapes; fallow soils were characterized by a slightly acidic reaction, the highest values of activity of catalase, and the humus content in the upper part of the profile. In the soils of the phytomeliorative variant of the experiment, the influx of easily decomposable plant residues in combination with a less acidic reaction led to the activity of catalase activation. A high level of activity of catalase has been established in horizons with a maximum content of nodules. The soils of the experimental variant with long-term application of organic fertilizers were characterized by an increase of humus reserves in the meter layer and the lowest catalase enrichment. The application of mineral fertilizers was accompanied by the humus content decrease, however, sharp change of activity of catalase it not generates. The calculation of the catalase reserves coefficient, which more objectively reflects the level of enzymatic activity of the studied soils, is proposed.

Keywords: humus, fertilizers, melioration, intra-profile alteration of properties, iron-manganese nodules