

12. Maltsev M.I., Sukhoverkova V.E. Osobennosti snegootlozheniya na sklonovykh zemlyakh v lesostepi yuga zapadnoy Sibiri // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2010. – № 9. – S.26-28.
13. Kiryushin V.I. Razvitie predstavleniy o funktsiyakh landshaftov v svyazi s zadachami optimizatsii prirodopolzovaniya // Byulleten Pochvennogo in-ta. – 2015. – № 80. – S. 16-25.
14. Zolotov D.V., Chernykh D.V. Reprezentativnost modelnogo basseyna r. Kasmaly dlya sravnitelnykh landshaftno-gidrologicheskikh issledovaniy na Priobskom plato // Izv. AltGU. Ser. biol. nauki, nauki o Zemle, khimiya. – 2014. – № 3/1 (83). – S. 133-138.
15. Atlas Altayskogo kraya. – M.-Barnaul: GUGK, 1978. – T. 1. – 222 s.
16. Chernykh D.V., Zolotov D.V., Biryukov R.Yu., Pershin D.K. Algoritm landshaftno-gidrologicheskikh issledovaniy v basseynakh malykh i srednikh rek stepnoy i lesostepnoy zon v usloviyakh defitsita gidrometeorologicheskoy informatsii // Vestnik altayskoy nauki. – 2014. – № 4. – S. 173-177.
17. Chernykh D.V., Balykin S.N., Zolotov D.V., Pershin D.K., Tarasova T.V., Biryukov R.Yu. Iyulskaya pochvennaya vlaga v landshaftakh basseyna r. Kasmaly: dinamika i differentsiatsiya // Izv. AltGU. Ser. biol. nauki, nauki o Zemle, khimiya. – 2014. – № 3/2. – S. 100-107.
18. Nastavlenie gidrometeorologicheskimi stantsiyam i postam. – L.: Gidrometeoizdat, 1985. – Vyp. 3. – Ch. 1. – 300 s.
19. Vserossiyskiy NII gidrometeorologicheskoy informatsii (VNIIGMI-MTsD). – Rezhim dostupa: <http://www.meteo.ru>.
20. Arkhiv pogody na meteostantsii Rebrikha. – Rezhim dostupa: <https://rp5.ru>.
21. Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3: Mnogoletnie dannye. Tomskaya, Novosibirskaya, Kemerovskaya oblasti, Altayskiy kray. – SPb.: Gidrometeoizdat, 1993. – Ch. 1-6. – Vyp. 20. – 718 s.
22. Galakhov N.N. Vydelenie tipov zim po vysote i dinamike snezhnogo pokrova na bolshey chasti territorii SSSR // Rol snezhnogo pokrova v prirodnykh protsessakh. – M.: Izd-vo AN SSSR, 1961. – S. 11-26.
23. Kopanev I.D. Snezhnyy pokrov na territorii SSSR. – L.: Gidrometeoizdat, 1978. – 184 s.
24. Slyadnev A.P., Feldman Ya.I. Vazhneyshie cherty klimata Altayskogo kraya // Prirodnoe rayonirovanie Altayskogo kraya. – M.: Izd-vo AN SSSR, 1958. – S. 9-61.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 16-35-00203 мол_а и государственного задания по проекту № 0383-2016-0004 «Формирование и развитие природных и природно-хозяйственных систем юга Западной Сибири в условиях глобальных и региональных климатических изменений, антропогенного воздействия».



УДК 581.5

О.Л. Цандекова, В.И. Уфимцев
O.L. Tsandekova, V.I. Ufimtsev

**АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ ACER NEGUNDO L.
НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ
В ЕСТЕСТВЕННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВАХ**

**ALLELOPATHIC INFLUENCE OF ACER NEGUNDO L. ON SOIL ENZYMATIC ACTIVITY
IN NATURAL PLANT COMMUNITIES**

Ключевые слова: *Acer negundo L., фитогенное поле, аллелопатия, активность почвы, инвертаза, протеаза, фосфатаза.*

Keywords: *Acer negundo L., phytogeneous field, allelopathy, soil activity, invertase, protease, phosphatase.*

Проведено исследование ферментативной активности почвы под влиянием инвазивного вида *Acer negundo*. Объекты исследования выбраны с учетом ранжирования насаждений по сомкнутости крон. Образцы почвы отобраны в зависимости от горизонтальной дифференциации сообществ в подкروновых, прикroновых и внешней зонах фитогенных полей. Изучено содержание почвенных ферментов – метаболитов жизнедеятельности *Acer negundo*, как эдификатора сообщества, в начале, середине и в конце вегетационного периода. Установлено увеличение активности ферментов в период активного роста деревьев во всех вариантах и в контроле. Среди ферментов преобладает активность инвертазы, в большей степени, чем протеазы и фосфатазы. Повышенная интерфазная активность отмечена под покровом одиночных деревьев (38,27-60,79 мг глюкозы / 1 г почвы / 24 ч), в сомкнутых насаждениях отмечается более низкий показатель (29,91-51,51 мг глюкозы / 1 г почвы / 24 ч). Фермент протеаза является интегральным показателем разложения азотсодержащих органических соединений, наибольшая активность которого выявлена в середине вегетации, особенно у одиночных деревьев в подкroновой и прикroновой зонах (4,37 и 4,65 мг глицина / 1 г почвы / 24 ч соответственно). По фосфатазной активности почвы характеризовались средним уровнем активности. Наибольшие отличия от контроля (на 14-21%) выявлены в среднесомкнутых и сомкнутых насаждениях. Таким образом, наибольшим аллелопатическим влиянием по активности почвы обладают одиночные деревья *Acer negundo*, которые формируют вокруг себя концентрически выраженные фитогенные поля.

The enzymatic activity of soil under the influence of an invasive species *Acer negundo* was studied. The research targets were chosen taking into account the planting rating in terms of crown density. The soil samples were taken depending on horizontal differentiation of the plant communities in the internal, transitional and external zones of phytogenous fields. The content of soil enzymes, metabolites of the activity of *Acer negundo* as community edifier, at the beginning, in the middle, and at the end of the growing season was studied. Increased enzymatic activity during active tree growth in variants and in the control was revealed. Among the enzymes, the activity of invertase prevails over that of protease and phosphatase. The increased intertase activity was revealed under the cover of single trees (38.27-60.79 mg of glucose per 1 g of soil per 24 h); in close plantings, lower value was revealed (29.91-51.51 mg of glucose per 1 g of soil per 24 h). Protease enzyme is an integrated indicator of decomposition of nitrogen-containing organic compounds; its greatest activity was revealed in the middle of growing season, especially at single trees in the internal and transitional zones (4.37 and 4.65 mg of glycine per 1 g of soil per 24 h, respectively). In terms of phosphatase activity, the average level was revealed. The greatest differences from the control (by 14-21%) were revealed in the stands of average and high density. Consequently, single trees of *Acer negundo* which form around themselves concentric expressed phytogenous fields have the greatest allelopathic influence on soil activity.

Цандекова Оксана Леонидовна, к.с.-х.н., н.с., Институт экологии человека, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово. Тел.: (83842) 57-50-79. E-mail: zandekova@bk.ru.

Уфимцев Владимир Иванович, к.б.н., вед. н.с., Институт экологии человека, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово. Тел.: (83842) 57-50-79. E-mail: uwy2079@gmail.com.

Tsandekova Oksana Leonidovna, Cand. Agr. Sci., Staff Scientist, Institute of Human Ecology, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Rus. Acad. of Sci., Kemerovo. Ph.: (3842) 57-50-79. E-mail: zandekova@bk.ru.

Ufimtsev Vladimir Ivanovich, Cand. Bio. Sci., Leading Staff Scientist, Institute of Human Ecology, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Rus. Acad. of Sci., Kemerovo. Ph.: (3842) 57-50-79. E-mail: uwy2079@gmail.com.

Введение

Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.), обладая высокой плодovitостью и скоростью роста, быстрее других видов растений образует многоярусные заросли. Создавая полный тенистый полог своими кронами, он заглушает и подавляет рост самосева и подроста других более ценных пород, тем самым препятствуя их естественному возобновлению, а в некоторых случаях вытесняя аборигенные виды. Конкурентные взаимоотношения растительных сообществ в условиях природных ландшафтов ведут к усилению деятельности почвенных ферментных систем микроорганизмов и корневой системы растений.

Совокупность биохимических и микробиологических процессов в почве, связанных с жизнедеятельностью разных групп биологических видов, представляет собой её биологическую активность [1]. Это обусловлено наличием почвенных ферментов, поступивших в качестве метаболитов в процессе жизненного цикла растений и микроорганизмов, аккумулярованных почвой после разложения отмерших тканей и клеток. Ферментативная активность обеспечивает интенсивность и направленность многих биохимических процессов, связанных как с превращением веществ и энергии в процессе аккумуляции органического вещества, так и биосферных процессов в целом [2].

Основными критериями почвенной диагностики является активность гидролитических ферментов – инвертазы, протеазы и фосфатазы. Активность ферментов является более устойчивым и чувствительным показателем биогенности почв. Многие исследователи отмечают наиболее высокую ферментативную активность в верхних слоях почвы (0-10 см), в сравнении с более глубокими слоями (20-30 см) [3]. В период активного роста растений, а также при распаде корневых и растительных остатков активность почвенных ферментов повышается [4]. В настоящее время недостаточное внимание уделено особенностям изменения ферментативной активности под влиянием растительности, в частности клена ясенелистного. В связи с этим актуален поиск оптимального решения проблемы состояния почвы и ее ферментативной активности в конкретных почвенно-климатических условиях, для выяснения роли ферментов с разной устойчивостью и локализацией в почвенном метаболизме и, в целом, в экологической стабильности биогеноценозов.

Цель работы – оценка аллелопатического влияния *Acer negundo* на ферментативную активность почвы в естественных растительных сообществах.

Объекты и методы исследований

Исследования проводились в 2017 г. Объектом исследований служили образцы почвы, отобранные под насаждениями *Acer negundo* трансформированных растительных сообществ в пойме р. Томи между озерами Красное и Длинное в пределах г. Кемерово (55°21'50" с. ш., 86°8'55" в. д.). Насаждения оцениваются первой категорией жизненного состояния по шкале В.А. Алексеева I классом бонитета, возраста деревьев – 20-25 лет. Живой напочвенный покров образован разнотравно-злаковым сообществом с преобладанием *Urtica dioica* L., *Poa pratensis* L., *Phleum pratense* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski., *Humulus lupulus* L., с общим проективным покрытием 20-90%.

Отбор образцов проводили на учетных площадках в различных условиях сомкнутости крон с учетом зон влияния деревьев: 1 – одиночные деревья в несомкнутых древостоях (подкроновая (ПК1) и прикроновая (П1) зоны дерева); 2 – деревья с сомкнутостью крон 50-60% (подкроновая (ПК2), прикроновая (П2)); 3 – деревья с сомкнутостью крон 100% (приствольная (ПС3), межкоро-

вая (МК3)). В качестве контроля выбрана внешняя зона (В) одиночных деревьев.

Сроки отбора образцов – в начале (III декада мая), в середине (III декада июля) и в конце (III декада сентября) вегетационного периода. Образцы почвы отбирали с каждого исследуемого варианта с глубины 0-10 см, поскольку основная биологическая активность и наибольшая биогенность присущи верхним слоям почвенного профиля [5]. Исследования ферментативной активности почвы проведены на свежесобранном материале в трехкратной повторности из смешанной пробы. Определение активности инвертазы проведено по методу В.Ф. Купревича и Т.А. Щербаковой; активность протеазы – по методу А.Ш. Галстяна и Э.А. Арутюнян [6]; активность фосфатазы – по методу А.Ш. Галстяна [7]. Данные представлены в виде средних арифметических значений и их среднеквадратических (стандартных) ошибок. Статистическая обработка полученных данных и построение графиков выполнены с помощью Microsoft Office Excel 2007.

Результаты исследований и их обсуждение

Сравнительный анализ данных по ферментативной активности почв в естественных растительных сообществах *Acer negundo* выявил некоторые различия у исследуемых образцов на учетных площадках. Наибольшая активность ферментов у контрольных и опытных образцов отмечена в период активного роста деревьев (июль), к концу вегетации – их понижение. Активность инвертазы во всех почвенных образцах выше, чем активность протеазы и фосфатазы.

Инвертазу обнаруживают во всех образцах, она является одним из важных ферментов, характеризующих биологическую активность почвы. Этот фермент участвует в биохимических превращениях углеводов, которые содержатся в почвенном органическом веществе, микроорганизмах и растениях в значительном количестве. Анализ полученных данных показал, что в течение вегетации активность инвертазы отличалась значительным варьированием по отношению к контролю. Согласно шкале сравнительной оценки биологической активности почвы, предложенной Э.И. Гапонюк и С.Г. Малаховым [8], в мае и сентябре степень активности фермента характеризовалась как средняя, в июле – относительно высокая на всех исследуемых площадках.

Вначале вегетационного периода значения данного фермента варьировали в пределах от

29,91 до 44,50 мг глюкозы / 1 г почвы / 24 ч, в середине вегетации – его повышение (до 60,79 мг глюкозы / 1 г почвы / 24 ч), к концу вегетации – снижение фермента до 32,46 мг глюкозы / 1 г почвы / 24 ч (рис. 1).

Некоторые исследователи отмечают повышение почвенной инвертазы в период активного роста листового аппарата растений, а к концу вегетации ее снижение [9].

Сравнивая изучаемые площадки, выявлено, что инвертазная активность почвы выше возле одиночных деревьев *Acer negundo* в несомкнутых древостоях, по сравнению с другими группами деревьев и с контролем. В первой группе исследуемых растений наибольшая ферментативная активность почвенных образцов отмечена в мае на 11% и в сентябре – на 10% в прикорневой зоне (площадка наблюдений ПК1), в июле – на 15% в подкороновой зоне (П1) клена ясенелистного относительно контроля. Для деревьев третьей группы характерны более низкие показатели активности фермента, особенно в межкороновой зоне *Acer negundo* (МК3) (в мае – на 26%, сентябре – на 22%), чем в контроле.

Биохимическую активность разложения азотсодержащего органического вещества в почве оценивают по ее протеолитической активности. С повышением плодородия почв наиболее тесно связана активность ферментов азотного режима и, в частности, ферментов протеаз. Протеазы участвуют в начальных этапах минерализации белковых соединений и обуславливают динамику

усвояемых форм азота. Результаты наших исследований по активности протеазы показали, что почва относится к средней степени активности. В течение вегетации на учетных площадках активность фермента варьировала в пределах от 2,88 до 4,95 мг глицина / 1 г почвы / 24 ч у контрольных и опытных почвенных образцов (рис. 2).

Сравнительная характеристика исследуемых площадок выявила некоторые различия данного показателя в течение вегетации относительно контроля и составила в среднем 4-16%. Наибольшие значения протеазы опытных почвенных образцов на учетных площадках отмечены в июле с варьированием от 3,91 до 4,65 мг глицина / 1 г почвы / 24 ч. В приствольной (ПС3) и межкороновой (МК3) зонах *Acer negundo* выявлены наибольшие отличия от контроля по активности фермента в мае на 17 и 20%, в июле – 18 и 21% соответственно, а в сентябре в зонах: прикорневой (П2) – на 10%, подкороновой (ПК2) и приствольной (ПС3) – на 8%.

Фосфатазы имеют широкий спектр деятельности и достаточно распространены в почве. Они гидролизуют разнообразные фосфомоноэфиры. Активность фосфатаз характеризует интенсивность биохимических процессов мобилизации органического фосфора почвы. Анализ данных по активности фосфатазы показал, что в течение вегетации на учетных площадках у исследуемых образцов она варьировала в пределах от 2,88 до 4,95 мг глицина / 1 г почвы / 24 ч, относящиеся к средней степени активности почв (рис. 3).

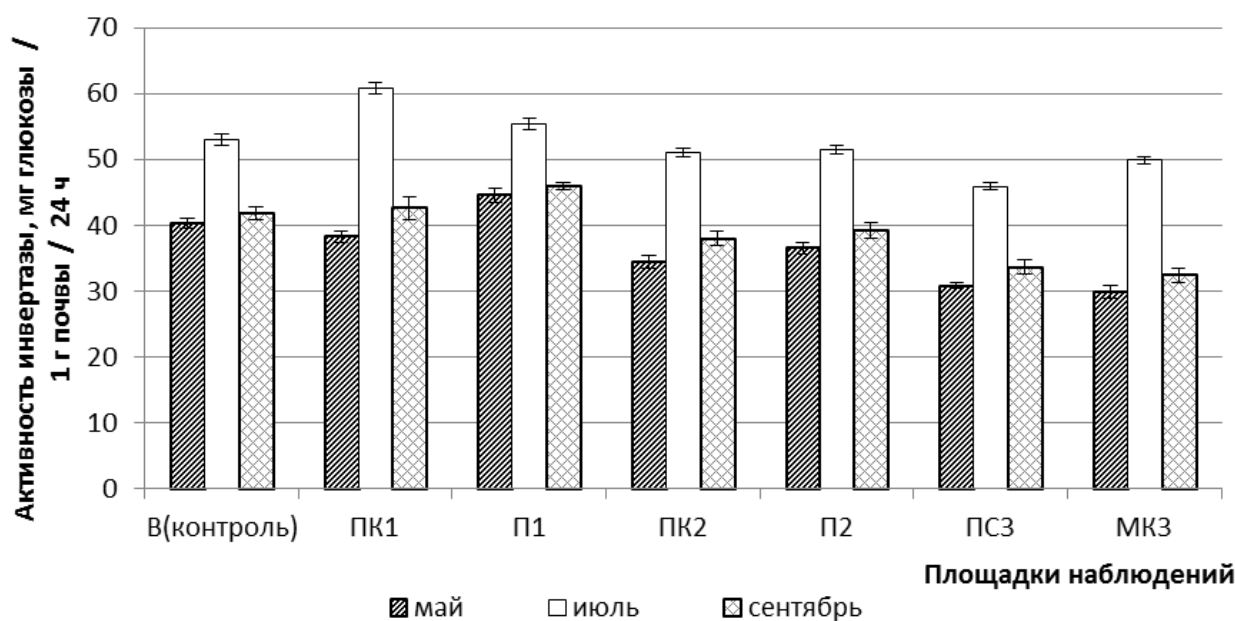


Рис. 1. Динамика активности инвертазы почвы на исследуемых площадках

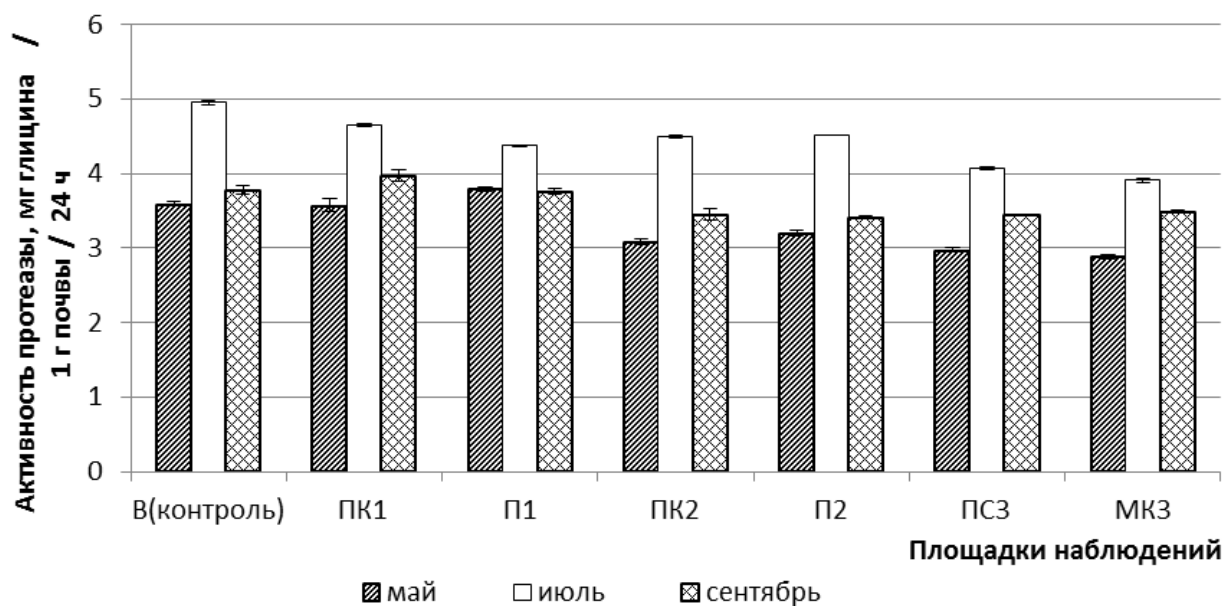


Рис. 2. Динамика активности протеазы почвы на исследуемых площадках

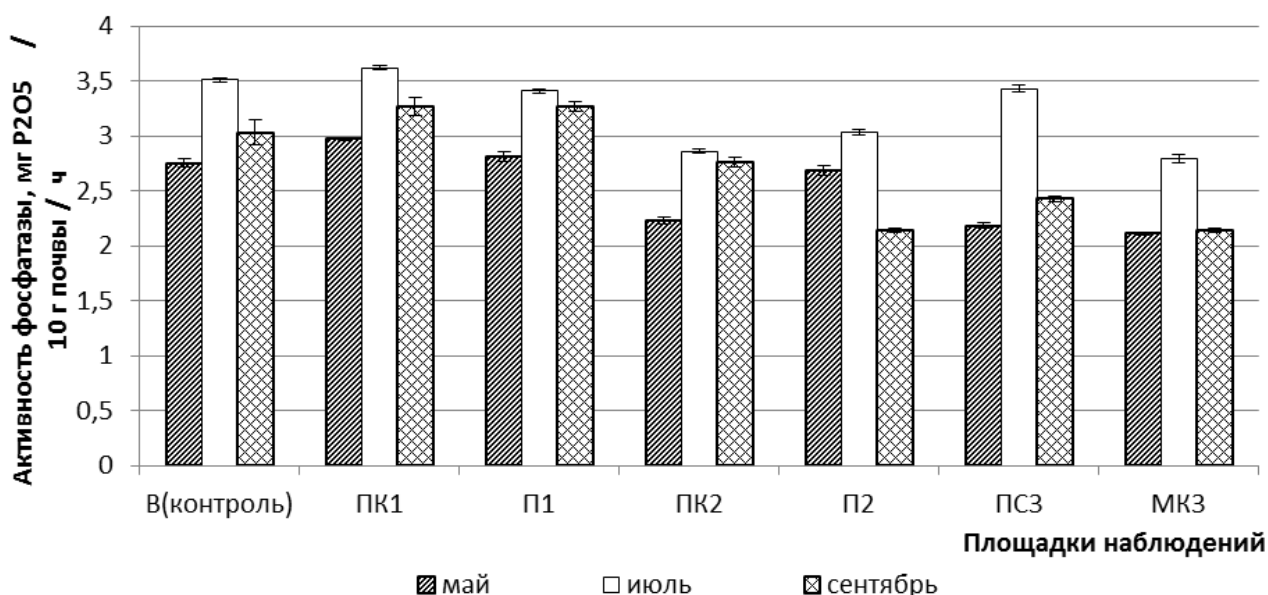


Рис. 3. Динамика активности фосфатазы почвы на исследуемых площадках

Сравнивая учетные площадки по фосфатазной активности, сохранилась тенденция к ее повышению в середине вегетации. Активность фермента у исследуемых образцов в этот период варьировала в пределах от 2,79 до 3,62 мг P₂O₅ / 10 г почвы / ч. Наибольшие отличия от контроля (14-21%) по данному показателю выявлены в почвенных опытных образцах на площадках во второй и в третьей группах деревьев.

Выводы

1. На исследуемых площадках *Acernegundo* оказывает неодинаковое аллелопатическое влия-

ние на ферментативную активность почвы в естественных растительных сообществах. Наибольший уровень активности выявлен в подкрановой и прикрановой зонах одиночных деревьев в несомкнутых древостоях, по сравнению с другими группами деревьев и с контролем.

2. Активность инвертазы во всех почвенных образцах выше, чем активность протеазы и фосфатазы.

3. На учетных площадках наибольшая активность ферментов выявлена в середине вегетационного периода *Acernegundo* (июль), к концу вегетации – их понижение.

4. В течение вегетационного периода на площадках наблюдений установлен средний уровень биохимической активности почвы. В качестве диагностических признаков состояния почвы и ее ферментативной активности в конкретных почвенно-климатических условиях можно использовать активность гидролитических почвенных ферментов.

Библиографический список

1. Лаптева Е.М., Виноградова Ю.А., Кудрин А.А. Биологическая активность почв: методы оценки и проблемы интерпретации результатов // Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. – 2011. – № 12. – С. 37-40.
2. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв: учебник. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с.
3. Li J., Tong X., Awasthi M.K., Wu F., Ha S., Ma J., Sun X., He Ch. Dynamics of soil microbial biomass and enzyme activities along a chronosequence of desertified land revegetation // Ecological Engineering. – 2018. – Vol. 111. – P. 22-30.
4. Hu R., Wang X., Zhang Ya., Shi W., Chen N. Insight into the influence of sand-stabilizing shrubs on soil enzyme activity in a temperate desert // Catena. – 2016. – Vol. 137. – P. 526-535.
5. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. – М.: Наука, 2005. – 252 с.
6. Практикум по агрохимии / под ред. В.Г. Минеева. – М.: МГУ, 2001. – 689 с.
7. Титова В.И., Козлов А.В. Методы оценки функционирования микробсоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества: научно-методическое пособие / Нижегородская сельскохозяйственная академия. – Нижний Новгород, 2012. – 64 с.
8. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем: монография. – Ростов н/Д: Изд-во Южного федерального университета, 2016. – 356 с.
9. Зайцева О.В., Максимова Е.В., Макурина О.Н. Динамика целлюлозоразлагающей, инвертазной и полифенолоксидазной активностей почвенной микрофлоры Самарской области // Вестник Самарского уни-

верситета. Естественнонаучная серия. – 2006. – № 9 (49). – С. 138-144.

References

1. Lapteva E.M., Vinogradova Yu.A., Kudrin A.A. Biologicheskaya aktivnost pochv: metody otsenki i problemy interpretatsii rezultatov // Vestnik instituta biologii Komi nauchnogo tsentra Uralskogo otdeleniya RAN. – 2011. – № 12. – S. 37-40.
2. Zvyagintsev D.G., Babeva I.P., Zenova G.M. Biologiya pochv: uchebnik. – M.: Izd-vo MGU, 2005. – 445 s.
3. Li J., Tong X., Awasthi M.K., Wu F., Ha S., Ma J., Sun X., He Ch. Dynamics of soil microbial biomass and enzyme activities along a chronosequence of desertified land revegetation // Ecological Engineering. – 2018. –Vol. 111. – P. 22-30.
4. Hu R., Wang X., Zhang Ya., Shi W., Chen N. Insight into the influence of sand-stabilizing shrubs on soil enzyme activity in a temperate desert // Catena. – 2016. – Vol. 137. – P. 526-535.
5. Khaziev F.Kh. Metody pochvennoy enzimologii. – M.: Nauka, 2005. – 252 s.
6. Praktikum po agrokhimii / pod. red. V.G. Mineeva. – M.: MGU, 2001. – 689 s.
7. Titova V.I., Kozlov A.V. Metody otsenki funktsionirovaniya mikrobotsenoza pochvy, uchastvuyushchego v transformatsii organicheskogo veshchestva: nauchno-metodicheskoe posobie // Nizhegorodskaya selskokhozyaystvennaya akademiya. – Nizhniy Novgorod, 2012. – 64 s.
8. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Akimenko Yu.V., Dadenko E.V. Metody biodiagnostiki nazemnykh ekosistem: monografiya. – Rostov-na-Donu: Izd-vo Yuzhnogo federalnogo universiteta, 2016. – 356 s.
9. Zaytseva O.V., Maksimova E.V., Makurina O.N. Dinamika tsellyulozorazlagayushchey, invertaznoy i polifenoloksidaznoy aktivnostey pochvennoy mikroflory Samarskoy oblasti // Vestnik Samarskogo universiteta. Estestvennonauchnaya seriya. – 2006. – № 9 (49). – S. 138-144.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект № 18-04-00439).

