

УДК 631.46 : 622.33

## ДИНАМИКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЭМБРИОЗЕМОВ В ПРИКРОНОВОЙ ЗОНЕ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА ОТВАЛАХ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ

Н. А. Макеева<sup>1\*</sup>, О. А. Неверова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения РАН  
(просп. Советский, 18, Кемерово, Россия, 650000), \*natykor@bk.ru

<sup>2</sup> Кемеровский государственный университет (ул. Красная, 6, Кемерово, Россия, 650000)

Исследования проводились на породном отвале разреза «Кедровский» Кузнецкого угольного бассейна (Кемеровская область – Кузбасс) в 25 км севернее города Кемерово (подзона северной лесостепи). Заложены площадки наблюдения – опытная и контрольная, которые представляют собой смешанный сосново-березовый древостой естественного происхождения. Опытная площадка находится на железнодорожном внешнем отвале «Южный» на участке без нанесения потенциально плодородного слоя. Сосново-березовый древостой располагается вдоль подножия северного склона отвала «Южный». Контрольная площадка заложена в естественном лесном массиве на расстоянии 5 км от разреза «Кедровский» в северо-западном направлении. Древесная растительность в основном представлена березой повислой, сосной обыкновенной и осинкой обыкновенной. Травянистые растения образуют злаково-разнотравные луговые сообщества. Почвы контрольного участка являются черноземом оподзоленным Grey-Luvic PHAEZOZEMS / Luvic CHERNOZEMS (WRB). В статье представлены результаты анализа сезонной динамики основных эколого-трофических групп микроорганизмов (микроорганизмы, утилизирующие органические формы азота; микроорганизмы, утилизирующие минеральные формы азота; микроскопические грибы) и активности почвенных ферментов (протеазы и фосфатазы). Проведенные исследования показали, что численный состав почвенных микроорганизмов как на отвале, так и в контроле существенно меняется в течение года и в значительной мере зависит от степени увлажненности и температуры почвы, при этом нами выявлены отдельные тенденции их изменения. В течение вегетации отмечены достоверные отличия численности микроорганизмов, утилизирующих органический азот, и микроорганизмов, утилизирующих минеральный азот, от контроля в эмбриоземах прикромной зоны сосны и березы. Количество микроскопических грибов в основном находится на одном уровне, однако установлены достоверные отличия между почвами контроля и отвала под сосной (при  $p < 0,05$ ). Выявлены отдельные тенденции зависимости между количеством микроорганизмов и активностью ферментов: для эмбриоземов под сосной установлена достоверная отрицательная корреляция между численностью микроорганизмов, утилизирующих органические формы азота, и активностью фосфатазы ( $r = 0,48$ , при  $p < 0,05$ ); установлены положительные достоверные корреляции в контроле прикромной зоны сосны между содержанием протеазы и фосфатазы ( $r = 0,48$ , при  $p < 0,05$ ) и в контроле прикромной зоны березы между численностью микроскопических грибов и активностью протеазы ( $r = 0,54$ , при  $p < 0,05$ ).

Ключевые слова: нарушенные земли; эмбриозем; почвенные микроорганизмы; ферментативная активность; фосфатаза; протеаза

Для цитирования: Makeeva N. A., Neverova O. A. Динамика биологической активности эмбриоземов в прикромной зоне древесных растений на отвалах угольных разрезов // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 3. С. 42–52. doi: 10.17076/eco1516

Финансирование. Работа выполнена по государственному заданию (проект 0286-2022-0010).

## **N. A. Makeeva<sup>1\*</sup>, O. A. Neverova<sup>2</sup>. THE DYNAMICS OF BIOLOGICAL ACTIVITY IN TECHNOSOLS AROUND CROWN PERIMETERS OF WOODY PLANTS ON COAL MINE WASTE PILES**

<sup>1</sup> Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (18 Sovetskii Ave., 650000 Kemerovo, Russia), \*natykor@bk.ru

<sup>2</sup> Kemerovo State University (6 Krasnaya St., 650000 Kemerovo, Russia)

The research was carried out on the waste rock dump of the Kedrovsky pit of the Kuznetsk coal basin (Kemerovo Region – Kuzbass) 25 km north of the city of Kemerovo (northern forest-steppe subzone). Monitoring sites, experimental and control, were established in a mixed pine-birch stand of natural origin. The experimental site is located on the rail-transported outer dump Yuzhny where no potentially fertile layer was placed. The pine-birch stand grows along the foot of the northern slope of the Yuzhny dump. The control site is situated in a natural forest area 5 km north-west of the Kedrovsky pit. The woody vegetation is mainly by silver birch, Scots pine, and common aspen. Herbaceous plants form grassforms meadow communities. Soils in the control site are Grey-Luvic PHAEZOZEMS / Luvic CHERNOZEMS (WRB). The article presents the results of an analysis of seasonal variations of the main ecological and trophic groups of microorganisms (microorganisms that utilize organic forms of nitrogen, microorganisms that utilize mineral forms of nitrogen, microscopic fungi) and the activity of soil enzymes (proteases and phosphatases). The studies have shown that the numerical composition of soil microorganisms, both in the dump and in the control, varies significantly during a year and depends largely on the soil moisture content and temperature. We have also identified some patterns in this variation. During the growing season, the numbers of microorganisms that utilize organic nitrogen and microorganisms that utilize mineral nitrogen in Technosols around pine and birch crown periphery differed significantly from those in the control. The numbers of microscopic fungi were mostly at the same level, but significant differences were established between soils in the control site and in the dump under pine (at  $p < 0.05$ ). Some correlations were revealed between the number of microorganisms and enzymatic activity: a reliable negative correlation was found in Technosols under pine between the number of microorganisms utilizing organic nitrogen and phosphatase activity ( $r = 0.48$ , at  $p < 0.05$ ); reliable positive correlations were found around pine crown perimeters in the control site between the content of protease and phosphatase ( $r = 0.48$ , at  $p < 0.05$ ) and around birch crown perimeters in the control site between the number of microscopic fungi and protease activity ( $r = 0.54$ , at  $p < 0.05$ ).

Keywords: disturbed land; Technosol; soil microorganisms; enzymatic activity; phosphatase; protease

For citation: Makeeva N. A., Neverova O. A. The dynamics of biological activity in Technosols around crown perimeters of woody plants on coal mine waste piles. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022;3:42–52. doi: 10.17076/eco1516

Funding. The study was carried out under state assignment (project 0286-2022-0010).

### **Введение**

Добыча полезных ископаемых неизменно оказывает негативное воздействие на приле-

гающие территории. В местах добычи каменного угля происходит полное разрушение природных комплексов, на месте которых образуются отвалы и карьерные выемки. В Кузбассе

площадь нарушенных территорий составляет 102 тыс. га земель, из них 98 % образовано в результате разработки месторождений каменного угля [Стратегия...]. Таким образом, Кемеровская область занимает третье место в России по количеству нарушенных земель.

В результате неселективного отвалообразования в отвал попадают не только вмещающие породы, но и вскрышные потенциально плодородные породы (тяжелые суглинки и покровные глины), а также плодородный слой почвы. При естественном восстановлении таких земель формируется специфический почвенный покров – эмбриозем [Курачев, Андроханов, 2002]. В зависимости от качества рельефа и почвообразующих пород к 40-летнему возрасту ландшафта при благоприятных условиях происходит образование гумусово-аккумулятивных эмбриоземов, на которых вырастают самосевные кустарники и деревья [Двуреченский, 2013].

Исследование биологической активности почв является составной частью экологического мониторинга техногенных ландшафтов, т. к. добыча полезных ископаемых прежде всего затрагивает земельные ресурсы и может привести к полному уничтожению либо деградации почв. Для антропогенно нарушенных территорий хорошо изучены такие биологические показатели, как накопление гумуса [Шугалей, Горбунова, 2006; Костенков, Пуртова, 2009; Misz-Kennan, Fabiańska, 2010], активность и численность почвенных микроорганизмов [Напрасникова, 2008; Shekhovtsova, 2011; Таипова, Семенова, 2012; Уфимцев, Беланов, 2015; Экологический..., 2017], ферментативная активность [Baldrian, 2009; Трефилова и др., 2014; Utobo, Tewari, 2015]. При этом микробиологическая диагностика эмбриоземов тесно связана с вопросами рекультивации отвалов угольных шахт и разрезов [Кулебакин, 1979; Середина и др., 2008; Макеева, Неверова, 2015].

Считается, что биохимический гомеостаз почвы поддерживается ферментами, поэтому, если почва содержит достаточное количество микроорганизмов, обладает высокой ферментативной активностью и буферностью, нарушенное в результате какого-либо внешнего воздействия равновесие восстанавливается в кратчайшие сроки [Albiach et al., 2001]. Как правило, выделение ферментов в почву микроорганизмами и корнями растений является ответной реакцией на присутствие или отсутствие субстрата для действия фермента или продукта реакции. Особенно четко данный процесс проявляется с фосфатазами: их активность тем выше, чем меньше в почве подвижных форм фосфора [Казеев и др., 2003]. Протеолитиче-

ская активность также увеличивается при поступлении в почву богатых азотом органических веществ, которые являются субстратом для протеазы [Хазиев, 2018]. Таким образом, активность почвенных ферментов является показателем интенсивности разложения органического вещества. А поскольку почвы, сформировавшиеся в результате добычи полезных ископаемых, обычно бедны питательными веществами, увеличение данного показателя говорит об интенсификации процессов их восстановления [Курачев, Андроханов, 2002].

Несмотря на то что биологическая активность нарушенных земель изучена хорошо, данных о динамике и особенностях этого показателя в прикрановой зоне древесных растений недостаточно, что определило значимость проведенных исследований. Целью настоящей работы является изучение динамики биологической активности эмбриоземов на отвале угольного разреза «Кедровский» в березовых и сосновых древостоях. В связи с поставленной целью решались следующие задачи: 1) провести анализ сезонной динамики основных эколого-трофических групп: микроорганизмов, утилизирующих органические формы азота; микроорганизмов, утилизирующих минеральные формы азота; микроскопических грибов; 2) изучить особенности активности почвенных ферментов – протеазы и фосфатазы.

### **Объекты и методы исследования**

Исследования проводились на породном отвале разреза «Кедровский» Кузнецкого угольного бассейна в 25 км севернее города Кемерово. Географические координаты угольного разреза – 56°32'52" с. ш. 86°05'54" в. д. [Проект..., 1996]. Рельеф поверхности представлен увалистой лесостепной равниной, расчлененной глубокорезанными долинами речек, логов и оврагов с широкими, почти плоскими водоразделами и увалами. Абсолютные отметки колеблются от +165 до +271 м. Крутизна склонов колеблется от 3 до 20°. Согласно эколого-географическому районированию Кедровский угольный разрез располагается в районе северной лесостепи Кузнецкой котловины [Доклад..., 2021]. Лесистость района неравномерна, изменяется в пределах от 15 до 40 %, с преобладанием березовых колков. Горными работами затронуты как лесные формации, так и бывшие сельскохозяйственные земли. С северо-востока в 10–15 км от отвалов Кедровского разреза расположена полоса осиново-пихтовых лесов, представляющая собой узкий перешеек между южнотаежной зоной Западной Сибири и черневой тайгой Куз-

нецкого Алатау [Куминова, 1950]. Этот фактор также оказывает влияние на процессы естественного зарастания отвалов.

Для изучения биологической активности почв были заложены площадки наблюдения – опытная и контрольная, которые представляют собой смешанный сосново-березовый древостой естественного происхождения. Опытная площадка находится на железнодорожном внешнем отвале «Южный» на участке без нанесения потенциально плодородного слоя (рис. 1). Отвалы угольного разреза «Кедровский» представляют собой хаотически расположенные элементы рельефа различных форм и размеров высотой 10–40 м над уровнем дневной поверхности. Породы отвала «Южный» представлены песчаником (60 %), алевролитами (20 %), аргиллитами (15 %), суглинками и глинами (5 %). Преобладающей фракцией являются крупные агрегаты (3–10 мм), содержание мелких частиц снижено. Отработанные породы в составе отвалов, как правило, имеют высокую каменистость и состоят из щебнисто-каменистых фракций, что не дает возможности создавать значительные запасы продуктивной влаги и определяет крайне неблагоприятный водный режим [Почвообразование..., 1979; Водолеев, Черданцева, 2013]. В то же время поверхность отвалов,

лишенная растительности, сильно нагревается летом и значительно промерзает зимой вследствие полного сдувания снежного покрова [Шереметов, 2009; Манakov, Уфимцев, 2010].

Эмбриоземы отвала характеризуются щелочной реакцией (pH 7,8), низкой обеспеченностью подвижными формами фосфора и азота, содержание обменного калия чуть ниже нормы. Содержание тяжелых металлов не превышает ПДК [Уфимцев, Беланов, 2015; Makeeva, Neverova, 2021]. Сосново-березовый древостой располагается вдоль подножия северного склона отвала «Южный».

Контрольная площадка заложена в естественном лесном массиве на расстоянии 5 км от разреза «Кедровский», в северо-западном направлении. Древесная растительность в основном представлена березой повислой, сосной обыкновенной и осиной обыкновенной. Травянистые растения образуют злаково-разнотравные луговые сообщества. Согласно почвенно-географическому районированию Кемеровской области по С. С. Трофимову [1975] почвы контрольного участка являются черноземом оподзоленным Grey-Luvic PHAEOZEMS / Luvic CHERNOZEMS (WRB).

Почвенные образцы брали на глубине 0–5 см в течение двух вегетационных периодов с

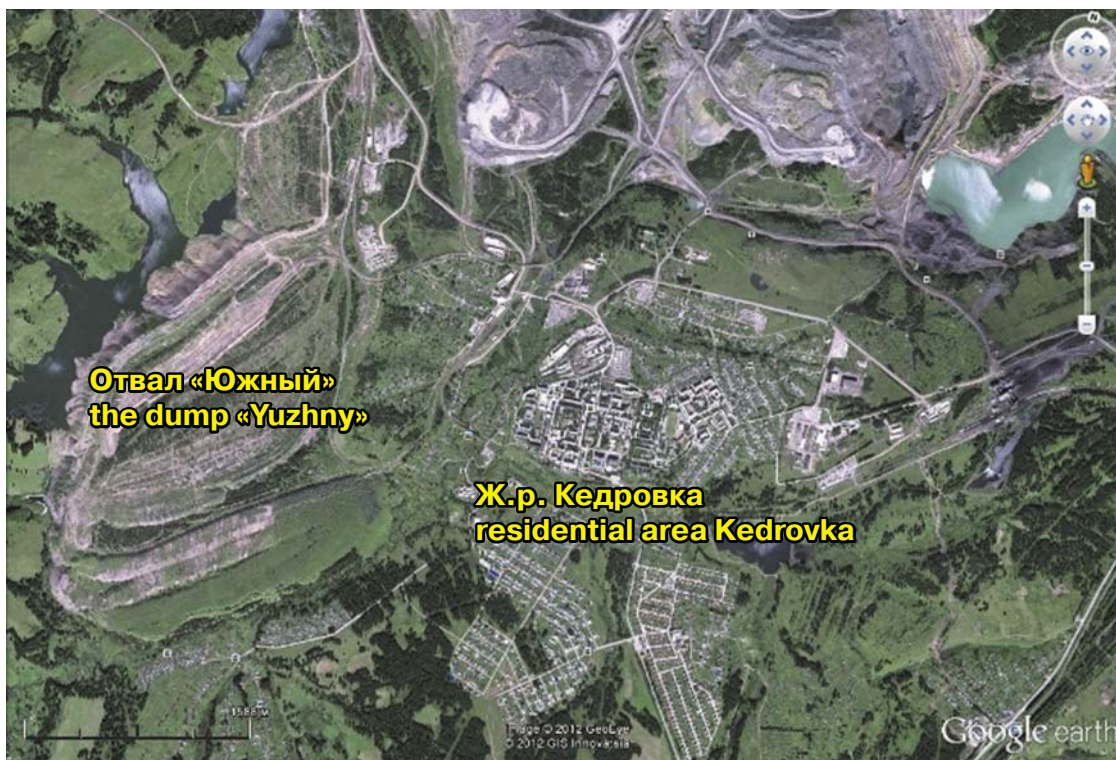


Рис. 1. Расположение отвала «Южный» Кедровского угольного разреза  
Fig. 1. Location of the Yuzhny dump of the Kedrovsky coal mine

интервалом 10 дней в прикромовой зоне березы и сосны 10–15-летнего возраста на периферии лесного массива.

Учет численности микроорганизмов основных эколого-трофических групп проводили методом посева почвенной суспензии на агаризованные среды в трехкратной повторности. Для определения микроорганизмов, использующих органический азот, применяли мясо-пептонный агар (МПА); для определения микроорганизмов, использующих минеральный азот, – крахмало-аммиачный агар (КАА); для определения микроскопических грибов – среду Сабуро. По числу колоний рассчитывали наиболее вероятное количество микроорганизмов в 1 г сухой почвы при уровне достоверности 95 % (P0,95) [Нетрусов, Котова, 2005].

Почвенные ферменты выделяли общепринятыми методами из смешанной пробы в трехкратной повторности. Определение протеазной активности проводили по Галстяну и Арутюнян [Титова, Козлов, 2012], общую фосфатазную активность определяли на фенолфталеинфосфатном субстрате [Минеев, 2001]. Для оценки биологической активности почв использовали общепринятые шкалы биохимической активности [Титова, Козлов, 2012].

Математическую и статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием стандартного пакета MS Excel [Бараз, Пегашкин, 2014].

## Результаты и обсуждение

Результаты проведенных исследований показали, что численный состав почвенных микроорганизмов как на отвале, так и в контроле существенно меняется в течение года и в значительной мере зависит от степени увлажненности и температуры почвы (при этом нами выявлены отдельные тенденции их изменения). Преобладающей группой на всех площадках наблюдения являются микроорганизмы, использующие минеральные формы азота (табл.). Высокая численность данных микроорганизмов свидетельствует о повышении содержания в почве азота, а значит, и об интенсивном протекании процессов минерализации. Стоит отметить, что наименьшее количество микроорганизмов, утилизирующих органические и минеральные соединения азота, в течение вегетации наблюдается под березой, произрастающей на отвале, что может быть вызвано более высокой освещенностью по сравнению с остальными площадками и, как следствие, пониженной влажностью почвы. Существенных различий в количестве данных групп микроорганизмов в почве под сосной на отвале и в контроле в период с июня по июль не выявлено, тогда как в августе отмечается увеличение численности микроорганизмов в грунте, взятом на отвале. В течение вегетации отмечены достоверные отличия от контроля для эмбриоземов в прикромовой зоне сосны и березы.

Сезонная динамика численности почвенных микроорганизмов в эмбриоземах отвала и контроле (средние данные), тыс. КОЕ / г абс. почвы

Seasonal dynamics of the number of soil microorganisms in the embryozems of the dump and control (average data), thousand CFU / g abs. dry soil

Площадка Area	Дата наблюдения Date of observation								
	5.06	15.06	25.06	5.07	15.07	25.07	4.08	14.08	24.08
<i>Микроорганизмы, использующие органический азот</i> <i>Microorganisms using organic nitrogen</i>									
1	6998	13067	2771	6610	1705	4177	3938	15349	7142
2	8894	14988	4182	6672	4300	3934	2044	6747	3135
3	929	751	682	734	858	721	1562	562	8483
4	13266	7313	5124	4506	8748	2581	1250	7433	6650
<i>Микроорганизмы, использующие минеральный азот</i> <i>Microorganisms using mineral nitrogen</i>									
1	7332	11968	4586	8667	4830	7461	8245	17946	16472
2	5075	11702	7302	17529	3321	6368	2948	9438	5539
3	2396	1826	669	1759	1097	601	1495	2082	10886
4	17813	9321	11551	10327	4039	4157	10438	15670	15107
<i>Микроскопические грибы</i> <i>Microscopic fungi</i>									
1	293	240	235	598	141	855	593	519	169
2	570	286	237	253	275	820	548	478	389
3	282	325	481	709	275	432	706	689	125
4	323	469	447	1734	257	595	721	613	202

Примечание. Здесь и далее: 1 – сосна отвал, 2 – сосна контроль, 3 – береза отвал, 4 – береза контроль.

Note. Here and hereafter: 1 – pine dump, 2 – pine control, 3 – birch dump, 4 – birch control.

Численность и активность микроскопических грибов, как гетеротрофов, определяется наличием органического вещества, поскольку они разлагают растительные и животные остатки в почве, то есть выполняют функцию минерализации органических веществ [Domsh et al., 2007]. Установлено, что на начальных стадиях заселения отвалов грибы преобладают по численности над бактериями [Клебенская и др., 1985]. Поскольку возраст исследуемых отвалов составляет более 30 лет, микроскопические грибы являются наименее численной группой почвенных микроорганизмов. Данная тенденция наблюдается и на других породных отвалах [Кулебакин, 1979; Макеева, Неверова, 2015]. В течение периода вегетации количество микроскопических грибов обычно находится на одном уровне, однако установлены достоверные отличия между почвами контроля и отвала под сосной (при  $p < 0,05$ ). Несмотря на то что на микромицеты, как и другие микроорганизмы, большое влияние оказывает гидротермический режим почвы, их мицеллярное строение позволяет переносить кратковременные изменения влажности и температуры без сильных колебаний численности.

В эмбриоземах, взятых под сосной и березой, а также в прикромовой зоне березы контроля установлена положительная достоверная корреляция ( $r = 0,47$ ;  $0,93$  и  $0,42$  соответственно при  $p < 0,05$ ) между численностью микроорганизмов, утилизирующих органический азот, и микроорганизмов, утилизирующих минеральные формы азота; для эмбриоземов под сосной – между численностью микроорганизмов, утилизирующих минеральные формы азота, и микроскопическими грибами ( $r = 0,46$  при  $p < 0,05$ ).

Для вскрышных пород отвалов характерны незначительное содержание микрофлоры, неблагоприятный химический состав, слабо выраженные биохимические процессы, что и определяет их низкую биогенность [Красавин и др., 1979]. Присутствие основных эколого-трофических групп почвенных микроорганизмов свидетельствует о потенциальной способности отвальных пород к почвообразовательным процессам и принципиальной возможности их биологического восстановления. Изменение биогенных свойств эмбриоземов породных отвалов может служить показателем посттехногенного развития молодых почв [Курачев, Андроханов, 2002].

Особенности количественного состава и жизнедеятельности почвенной микрофлоры отражаются на ходе биохимических процессов в почве, поэтому наряду с изучением

численности микроорганизмов определение активности основных ферментов, играющих важную роль в трансформации органических веществ и мобилизации питательных элементов в почве, дает более полное представление о ее биологическом состоянии [Абросимова и др., 2012; Moghimian et al., 2017]. Использование ряда ферментативных показателей при оценке общей биологической активности и плодородия почвы является в настоящее время общепринятым, поскольку ферментативная активность почвы определяет направленность и интенсивность биохимических процессов в ней [Галстян, 1974; Utobo, Tewari, 2015; Хазиев, 2018; Li et al., 2018].

Важную роль в обеспечении растений элементами минерального питания играет фосфатаза – фермент, отвечающий за минерализацию органического фосфора. Источником фосфатаз в почве являются микроорганизмы. Фосфатазы гидролизуют разнообразные фосфомоноэфиры, осуществляют мобилизацию закрепленного в органическом веществе фосфора. Уровень активности фосфатазы обусловлен гранулометрическими и физико-химическими свойствами почвы, содержанием гумуса и кислотностью почв [Казеев, 2003; Хазиев, 2018].

В ходе проведенных исследований установлено, что на протяжении двух лет активность фосфатазы в эмбриоземе ниже (при  $p < 0,05$ ), чем в контрольных образцах (рис. 2), – в прикромовой зоне сосны на отвале наблюдалась минимальная активность данного фермента ( $11,97$ – $30,54$  мг  $P_2O_5$  / 100 г почвы), максимальная – на контрольных участках под березой ( $20,26$ – $77,01$  мг  $P_2O_5$  / 100 г почвы). При этом для всех участков характерна более низкая фосфатазная активность в начале и конце периода вегетации и возрастание в период с 5 июля по 4 августа, что в первую очередь связано с повышением температуры воздуха и влажности почвы.

Протеазная активность отражает интенсивность иммобилизации азота в почве, который в доступной для высших растений форме выделяется при последовательном расщеплении белковых веществ [Биологический..., 2008]. Для протеазы, так же как и для фосфатазы, установлены прямые связи с содержанием и динамикой неспецифических органических соединений в составе гумуса, в частности, с азоторганическими соединениями [Хазиев, 2018].

На всех исследуемых площадках слабая активность протеазы, как и фосфатазы, зафиксирована в конце периода вегетации, очень

высокая – в середине (рис. 3). При этом количество данного фермента на отвале несколько ниже по сравнению с контролем, а максимальные значения отмечаются под березой (6,77–17,22 мг глицина / 100 г почвы за 24 ч.). Согласно

но шкале сравнительной оценки биохимической активности почвы [Минеев, 2001], степень активности фосфатазы и протеазы в исследуемых образцах изменяется в пределах от слабой до очень высокой.

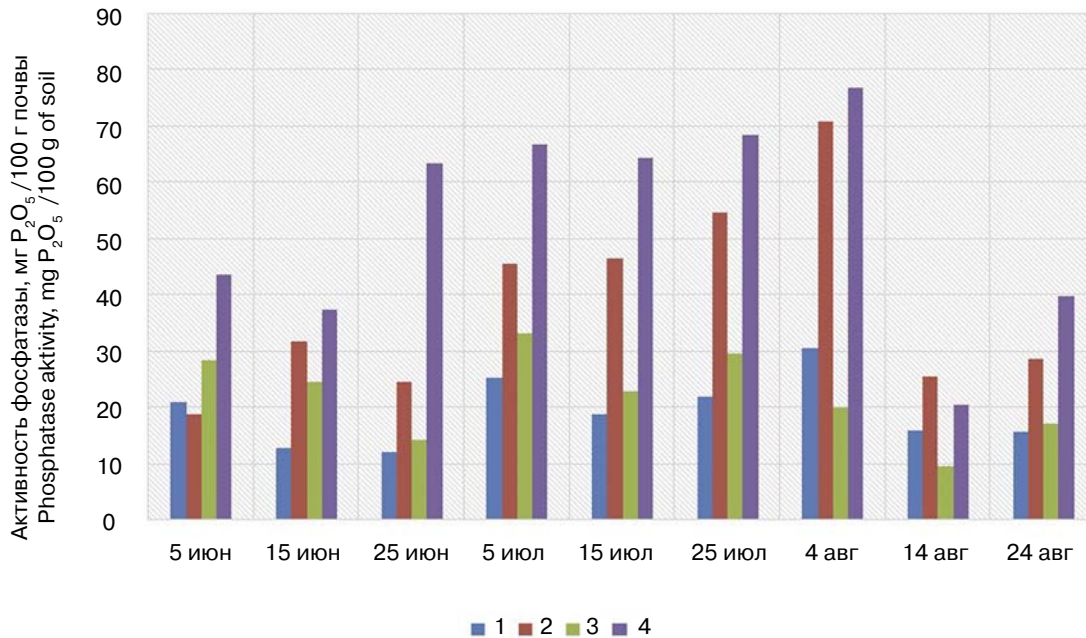


Рис. 2. Динамика активности фосфатазы

Fig. 2. Dynamics of phosphatase activity

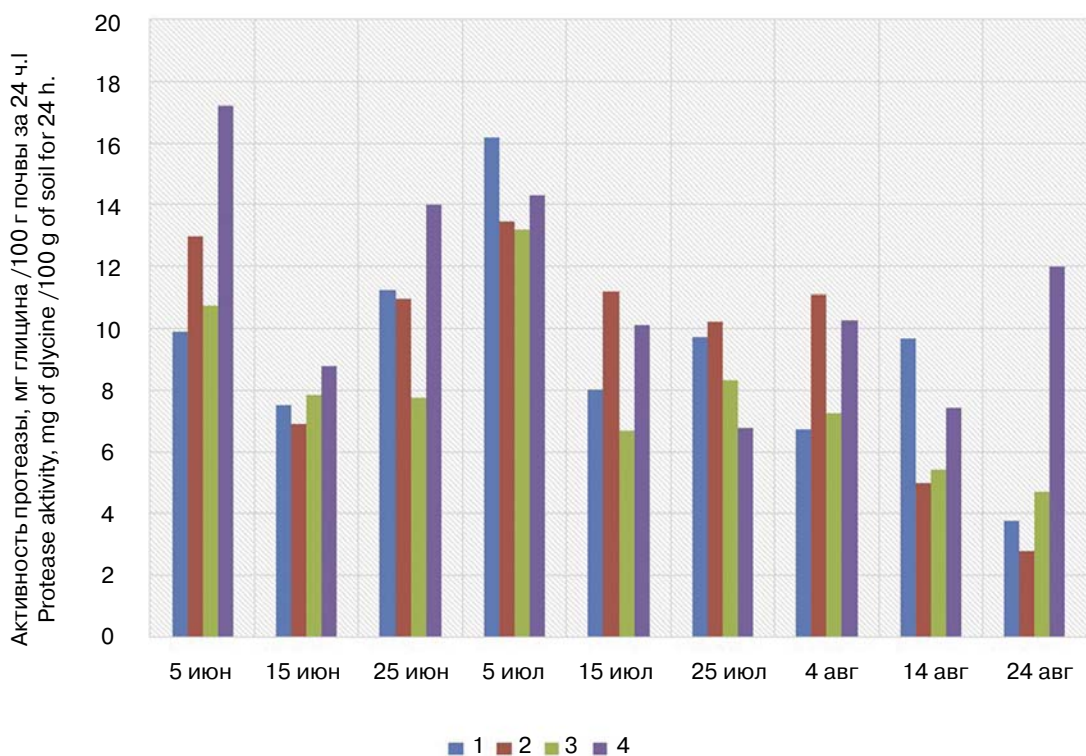


Рис. 3. Динамика активности протеазы

Fig. 3. Dynamics of protease activity

## Выводы

1. Для биологической активности как эмбриоземов, так и контрольных почв характерны сезонные колебания, связанные с изменением гидротермического режима почвы. Наибольшая численность микроорганизмов наблюдается в начале и в конце периода вегетации и существенно уменьшается в середине при одновременном повышении температуры воздуха и снижении количества атмосферных осадков. Слабая ферментативная активность зафиксирована в конце периода вегетации, очень высокая – в середине.

2. В течение периода вегетации количество микроскопических грибов в основном находится на одном уровне, однако установлены достоверные отличия между почвами контроля и отвала под сосной (при  $p < 0,05$ ). В течение вегетации отмечены достоверные отличия от контроля для эмбриоземов в прикромовой зоне сосны и березы. Наименьшее количество микроорганизмов, утилизирующих органические и минеральные соединения азота, в течение вегетации наблюдается под березой, произрастающей на отвале, что может быть вызвано более высокой освещенностью по сравнению с остальными площадками и, как следствие, пониженной влажностью почвы. В то же время более высокая ферментативная активность характерна для почвы под березой.

3. Установлена положительная достоверная корреляция между численностью микроорганизмов, утилизирующих органический азот, и микроорганизмов, утилизирующих минеральные формы азота, в прикромовой зоне сосны на отвале ( $r = 0,47$  при  $p < 0,05$ ), березы на отвале ( $r = 0,93$  при  $p < 0,05$ ) и березы в контроле ( $0,42$  при  $p < 0,05$ ), между численностью микроорганизмов, утилизирующих минеральные формы азота, и микроскопических грибов в прикромовой зоне сосны в контроле ( $r = 0,46$  при  $p < 0,05$ ).

4. Выявлены отдельные тенденции зависимости между количеством микроорганизмов и активностью ферментов: для эмбриоземов под сосной установлена достоверная отрицательная корреляция между численностью микроорганизмов, утилизирующих органические формы азота, и активностью фосфатазы ( $r = 0,48$  при  $p < 0,05$ ); установлены положительные достоверные корреляции в контроле прикромовой зоны сосны между содержанием протеазы и фосфатазы ( $r = 0,48$  при  $p < 0,05$ ) и в контроле прикромовой зоны березы между численностью микроскопических грибов и активностью протеазы ( $r = 0,54$  при  $p < 0,05$ ).

## Литература

Абросимова О. В., Трояновская Е. С., Меркулова М. Ю., Тихомирова Е. И. Оценка экологического состояния почвенного покрова г. Саратова // Поволжский экологический журнал. 2012. № 4. С. 376–384.

Бараз В. Р., Пегашкин В. Ф. Использование MS Excel для анализа статистических данных: учеб. пособие. Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2014. 181 с.

Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / Ред. О. П. Мелехова, Е. И. Сарапульцева. М.: Академия, 2010. 288 с.

Водолеев А. С., Черданцева Е. С. Биологическая активность техноземов на техногенных территориях // Природно-техногенные комплексы: рекультивация и устойчивое функционирование: Сб. материалов междунар. науч. конф. (10–15 июня 2013 г.) / Отв. ред. В. А. Андроханов. Новосибирск: Окарина, 2013. С. 74–77.

Галстян А. Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван: Айстен, 1974. 257 с.

Двуреченский В. Г. Особенности почвообразования в антропогенных ландшафтах юго-восточных районов Кузбасса // Почвоведение и агрохимия. 2013. № 1. С. 5–13.

Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2020 году / Администрация правительства Кузбасса. Министерство природных ресурсов и экологии Кузбасса. Кемерово, 2021. 239 с.

Казеев К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследования. Ростов н/Д, 2003. 204 с.

Клевенская И. Л., Трофимов С. С., Таранов С. А., Кандрашин Е. Р. Сукцессии и функционирование микробоценозов в молодых почвах техногенных экосистем Кузбасса // Микробоценозы почв при антропогенном воздействии. Новосибирск: Наука, 1985. С. 3–21.

Костенков Н. М., Пуртова Л. Н. Общие закономерности формирования почв на отвальных породах и их гумусовое состояние // Вестн. КрасГАУ. 2009. Вып. 6. С. 17–22.

Красавин А. П., Хорошавин А. Н., Катаева И. В. Оценка биологической активности пород отвалов угольных шахт и разрезов при их рекультивации // Растения и промышленная среда. 1979. № 6. С. 127–132.

Кулебакин В. Г. Микроорганизмы рекультивируемых отвалов Байдаевского углеразреза в Кузбассе и их окислительная активность // Почвообразование в техногенных ландшафтах. Новосибирск: Наука, 1979. С. 179–185.

Куминова А. В. Растительность Кемеровской области. Новосибирск, 1950. 170 с.

Курачев В. М., Андроханов В. А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. 2002. № 3. С. 255–261.

Макеева Н. А., Неверова О. А. Биогенность породного отвала при внесении почвенных микроорганизмов // Современные проблемы науки и образо-



вания. 2015. № 6. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=23216> (дата обращения: 06.12.2020).

Манаков Ю. А., Уфимцев В. И. Применение черенков ивы для биологической рекультивации склонов отвалов // Вестник НГАУ. 2010. № 4(16). С. 22–27.

Минеев В. Г. Практикум по агрохимии: учеб. пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 689 с.

Напрасникова Е. В. Биологические свойства почв на угольном отвале // Почвоведение. 2008. № 12. С. 1487–1493.

Нетрусов А. И., Котова И. Б. Микробиология: учебник. М.: Академия, 2005. 352 с.

Почвообразование в техногенных ландшафтах / Отв. ред. С. С. Трофимов. Новосибирск: Наука, 1979. С. 203–212.

Проект корректировки горнотранспортной части АООТ «Разрез Кедровский» АООТ «Кузбассразрез-уголь». Т. 1. Кн. 1. Кемерово, 1996. С. 17–53.

Середина В. П., Андроханов В. А., Алексеева Т. П., Сысоева Л. Н., Бурмистрова Т. И., Трунова Н. М. Экологические аспекты биологической рекультивации почв техногенных экосистем Кузбасса // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2008. № 2(3). С. 61–72.

Стратегия социально-экономического развития Кемеровской области до 2035 года // Администрация Правительства Кузбасса [Электронный ресурс]. URL: <https://ako.ru/deyatelnost/strategicheskoe-planirovanie-keмеровской-oblasti-.php> (дата обращения: 11.11.2021).

Таипова О. А., Семенова И. Н. Использование микробиологических показателей для оценки экологического состояния почв в зоне влияния Сибайского карьера (Республика Башкортостан) // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2. С. 343.

Титова В. И., Козлов А. В. Методы оценки функционирования микробиоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества: научно-методическое пособие / Нижегородская гос. с.-х. акад. Нижний Новгород, 2012. 64 с.

Трефилова О. В., Гродницкая И. Д., Ефимов Д. Ю. Динамика эколого-функциональных параметров реплантоземов на отвалах угольных разрезов Центральной Сибири // Почвоведение. 2014. № 1. С. 109. doi: 10.7868/S0032180X14010134

Трофимов С. С. Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области. Новосибирск: Наука, 1975. 299 с.

Уфимцев В. И., Беланов И. П. Динамика целлюлозоразрушающей активности эмбриоземов в фитогенном поле сосны обыкновенной на отвалах угольной промышленности // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=23335> (дата обращения: 11.11.2021).

Хазиев Ф. Х. Экологические связи ферментативной активности почв // Экобиотех. 2018. Т. 1, № 2. С. 80–92.

Шереметов Р. Т. Особенности снежного покрова в период максимума снегонакопления 2006 г. на отвалах Кедровского разреза // Рекультивация нарушенных земель в Сибири. Кемерово, 2009. Вып. 4. С. 35–39.

Шугалей Л. С., Горбунова Ю. В. Формирование гумусовой системы инициальных почв техногенных ландшафтов под культурами сосны // Вестн. КрасГАУ. 2006. № 5. С. 79–86.

Экологический мониторинг в районах угледобычи / Отв. ред. А. Н. Куприянов. Новосибирск: Гео, 2017. 208 с.

Albiach R., Canet R., Pomares F., Ingelmo F. Organic matter components, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years // *Bioresource Technology*. 2001. Vol. 77, no. 2. P. 109–114. doi: 10.1016/S0960-8524(00)00166-8

Baldrian P. Microbial enzyme-catalyzed processes in soils and their analysis // *Plant Soil Environment*. 2009. No. 55(9). P. 370–378. doi: 10.17221/134/2009-PSE

Domsh K. H., Gams W., Anderson T.-H. Compendium of soil fungi. IHW-Verlag Eching, 2007. 672 p.

Li J., Tang 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. doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.11.006

Makeeva N., Neverova O. The influence of soil microorganisms on heavy metal content in the substrate of waste rock dumps // *BIO Web of Conferences*. 2021. Vol. 31. doi: 10.1051/bioconf/20213100017

Misz-Kennan M., Fabiańska M. J. Thermal transformation of organic matter in coal waste from Rymer Cones (Upper Silesian Coal Basin, Poland) // *International J. of Coal Geology*. 2010. Vol. 81. P. 343–358. doi: 10.1016/j.coal.2009.08.009

Moghimiyan N., Hosseini S.M., Kooch Ya., Darki B. Z. Impacts of changes in land use/cover on soil microbial and enzyme activities // *Catena*. 2017. Vol. 157. P. 407–414. doi: 10.1016/j.catena.2017.06.003

Shekhovtsova O. G. Biological activity of the urbanized soils of Mariupol // *Gruntoznavstvo*. 2011. Vol. 12, no. 1–2. P. 88–91.

Utobo E. B., Tewari L. Soil enzymes as bioindicators of soil ecosystem status // *Appl. Ecol. Env. Res*. 2015. Vol. 13(1). P. 147–169. doi: 10.15666/aer/1301\_147169

## References

Abrosimova O. V., Troyanovskaya E. S., Merkuloва M. Yu., Tikhomirova E. I. Ecological status evaluation of soils in Saratov City]. *Povolzhskiy Journal of Ecology*. 2012;4:376–384. (In Russ.)

Albiach R., Canet R., Pomares F., Ingelmo F. Organic matter components, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years. *Bioresource Technology*. 2001;77(2):109–114. doi: 10.1016/S0960-8524(00)00166-8

Baldrian P. Microbial enzyme-catalyzed processes in soils and their analysis. *Plant Soil Environment*. 2009;55(9):370–378. doi: 10.17221/134/2009-PSE

Baraz V. R., Pegashkin V. F. Using MS Excel for statistical data analysis: A tutorial. Nizhnii Tagil: NTI UrFU; 2014. 181 p. (In Russ.)

Domsh K. H., Gams W., Anderson T.-H. Compendium of soil fungi. IHW-Verlag Eching; 2007. 672 p.

Dvurechenskii V. G. Features of soil formation in anthropogenic landscapes of the south-eastern regions of Kuzbass. *Pochvovedenie i agrokimiya = Soil Science and Agrochemistry*. 2013;1:5–13. (In Russ.)

Galstyan A. Sh. Enzymatic activity of Armenian soils. Erevan: Ajsten; 1974. 257 p. (In Russ.)

Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I., Val'kov V. F. Biological diagnostics and indication of soils: Methodology and research methods. Rostov-on-Don; 2003. 204 p. (In Russ.)

Khaziev F. X. Ecological connections of the enzymatic activity of soils. *Ecobiotech Journal*. 2018;1(2):80–92. (In Russ.)

Klevenskaya I. L., Trofimov S. S., Taranov S. A., Kandrashin E. R. Succession and functioning of microbocenoses in young soils of technogenic ecosystems of Kuzbass. *Mikrobotsenozy pochv pri antropogennom vozdeistvii = Soil microbiocenoses under man-induced impact*. Novosibirsk: Nauka; 1985. P. 3–21. (In Russ.)

Kostenkov N. M., Purtova L. N. General patterns of soil formation on dump rocks and their humus state. *The Bulletin of KrasGAU*. 2009;6:17–22. (In Russ.)

Krasavin A. P., Khoroshavin A. N., Kataeva I. V. Assessment of biological activity of coal mine dump rocks and sections during their reclamation. *Rasteniya i promyshlennaya sreda = Plants and Industrial Environment*. 1979;6:127–132. (In Russ.)

Kulebakin V. G. Microorganisms of recultivated dumps of the Baydaevsky coal mine in Kuzbass and their oxidative activity. *Pochvoobrazovanie v tekhnogennykh landshaftakh = Soil formation in technogenic landscapes*. Novosibirsk: Nauka; 1979. P. 179–185. (In Russ.)

Kuminova A. V. Vegetation of the Kemerovo Region. Novosibirsk; 1950. 170 p. (In Russ.)

Kupriyanov A. N. (ed.). Environmental monitoring in coal mining areas. Novosibirsk: Geo; 2017. 208 p. (In Russ.)

Kurachev V. M., Androkhanov V. A. Classification of soils of technogenic landscapes. *Sibirskii Ekologicheskii Zhurnal = Contemporary Problems of Ecology*. 2002;3:255–261. (In Russ.)

Li J., Tang 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;111:22–30. doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.11.006

Makeeva N., Neverova O. The influence of soil microorganisms on heavy metal content in the substrate of waste rock dumps. *BIO Web of Conferences*. 2021;31:00017. doi: 10.1051/bioconf/20213100017

Makeeva N. A., Neverova O. A. Biogenicity of the rock dump during the introduction of soil microorganisms. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education*. 2015;6. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=23216> (accessed: 06.12.2020). (In Russ.)

Manakov Yu. A., Ufimtsev V. I. Application of willow cuttings for biological reclamation of landfill slopes. *Bulletin of NSAU*. 2010;4(16):22–27. (In Russ.)

Melekhova O. P., Sarapul'tseva E. I. (eds.). Biological control of the environment: bioindication and biotesting. Moscow; 2008. 288 p. (In Russ.)

Mineev V. G. Workshop on agrochemistry. A textbook. Moscow: Mosk. un-t; 2001. 689 p. (In Russ.)

Misz-Kennan M., Fabiańska M. J. Thermal transformation of organic matter in coal waste from Rymer Cones (Upper Silesian Coal Basin, Poland). *International J. of Coal Geology*. 2010;81:343–358. doi: 10.1016/j.coal.2009.08.009

Moghimiyan N., Hosseini S. M., Kooch Ya., Darki B. Z. Impacts of changes in land use/cover on soil microbial and enzyme activities. *Catena*. 2017;157:407–414. doi: 10.1016/j.catena.2017.06.003

Naprasnikova E. V. Biological properties of soils on a coal dump. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 2008;12:1487–1493. (In Russ.)

Netrusov A. I., Kotova I. B. Microbiology. A textbook. Moscow: Akademiya; 2005. 352 p. (In Russ.)

Project of adjustment of the mining and transport part of the OJSC “Kedrovsky section” OJSC “Kuzbassrazrezugol”. Vol. 1. Book. 1. Kemerovo; 1996. P. 17–53. (In Russ.)

Report on the state and environmental protection of the Kemerovo region - Kuzbass in 2020]. Administration of the government of Kuzbass. Ministry of Natural Resources and Ecology of Kuzbass. Kemerovo, 2021. 239 p. (In Russ.)

Seredina V. P., Androkhanov V. A., Alekseeva T. P., Syssoeva L. N., Burmistrova T. I., Trunova N. M. Ecological aspects of biological soil reclamation of technogenic ecosystems of Kuzbass. *Vestnik Tomskogo gos. universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2008;2(3):61–72. (In Russ.)

Shekhovtsova O. G. Biological activity of the urbanized soils of Mariupol. *Gruntoznnavstvo*. 2011;12(1–2):88–91.

Sheremetov R. T. Features of snow cover during the period of maximum snow accumulation in 2006 on the dumps of the Kedrovsky section. *Rekul'tivatsiya narushennykh zemel' v Sibiri = Reclamation of Disturbed Lands in Siberia*. Kemerovo; 2009. Iss. 4. P. 35–39. (In Russ.)

Shugalei L. S., Gorbunova Yu. V. Formation of the humus system of initial soils of technogenic landscapes under pine crops. *The Bulletin of KrasGAU*. 2006;5: 79–86. (In Russ.)

Strategy of socio-economic development of the Kemerovo region until 2035. *Sait Administratsii Pravitel'stva Kuzbassa = Administration of the Government of Kuzbass*. URL: <https://ako.ru/deyatelnost/strategicheskoe-planirovaniekemerovskoy-oblasti-.php> (accessed: 11.11.2021). (In Russ.)

Taipova O. A., Semenova I. N. The use of microbiological indicators to assess the ecological state of soils in the zone of influence of the Sibaysky quarry (Republic of Bashkortostan). *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education*. 2012;2:343. (In Russ.)

Titova V. I., Kozlov A. V. Methods for assessing the functioning of soil microbiocenosis involved in the transformation of organic matter: a scientific and methodological guide. Nizhny Novgorod State

Agricultural Academy. Nizhnii Novgorod; 2012. 64 p. (In Russ.)

*Trefilova O. V., Grodnitskaya I. D., Efimov D. Yu.* Dynamics of ecological and functional parameters of replantozems on the dumps of coal mines in Central Siberia. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 2014;1:109. doi: 10.7868/S0032180X14010134 (In Russ.)

*Trofimov S. S. (ed.)*. Soil formation in technogenic landscapes. Novosibirsk: Nauka; 1979. P. 203–212. (In Russ.)

*Trofimov S. S.* Soil ecology and soil resources of the Kemerovo region. Novosibirsk: Nauka; 1975. 299 p. (In Russ.)

*Ufimtsev V. I., Belanov I. P.* Dynamics of cellulose-destroying activity of embryozems in the phytogenic field of scots pine on coal industry dumps. *Sovremennye*

*problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education*. 2015;6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=23335> (accessed: 11.11.2021). (In Russ.)

*Utobo E. B., Tewari L.* Soil enzymes as bioindicators of soil ecosystem status. *Appl. Ecol. Env. Res.* 2015;13(1):147–169. doi: 10.15666/aeer/1301\_147169

*Vodoleev A. S., Cherdantseva E. S.* Biological activity of technozems in technogenic territories. *V. A. Androkhanov (ed.) Prirodno-tekhnogennye komplekсы: rekul'tivatsiya i ustoichivoe funktsionirovaniye: sbornik materialov mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (10–15 iyunya 2013 g.) = Natural-technogenic complexes: reclamation and sustainable functioning. Proceed. of the int. sci. conf. (June 10–15, 2013)*. Novosibirsk: Okarina; 2013. P. 74–77. (In Russ.)

*Поступила в редакцию / received: 15.11.2021; принята к публикации / accepted: 21.03.2022.*  
*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.*

#### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

##### **Макеева Наталья Александровна**

канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории рекультивации и биомониторинга

*e-mail: natykor@bk.ru*

##### **Неверова Ольга Александровна**

д-р биол. наук, профессор, директор Института биологии, экологии и природных ресурсов

*e-mail: neverova@kemsu.ru*

#### **CONTRIBUTORS:**

##### **Makeeva, Nataliya**

Cand. Sci. (Biol.), Researcher, Laboratory for Remediation and Biomonitoring

##### **Neverova, Olga**

Dr. Sci. (Biol.), Professor, Director, Institute of Biology, Ecology and Natural Resources