

31. Sergaliev N.Kh., Akhmedenov K.M., Spiegelman M.I. Necrophagous birds in the West Kazakhstan region (Vulture *Neophron percnopterus*, Griffon vulture *Gyps fulvus*, Cinereous vulture *Aegypius monachus*) // Bulletin WKU. – 2020. – No. 1(77). – P. 126-133.

32. Taggart M.A., Senacha K.R., Green R.E., Jhala Y.V., Raghavan B., Rahmani A.R., Cuthbert R., Pain D.J., Meharg A.A. Diclofenac residues in carcasses of domestic ungulates available to vultures in India // Environment International. – 2007. – Vol. 33, Iss. 6. – P. 759-765. – DOI: 10.1016/j.envint.2007.02.010

33. Tahir K., Arzu M. The Status of Vultures *Neophron percnopterus*, *Gypaetus barbatus*, *Gyps fulvus*, *Aegypius monachus* (Accipitriformes) in Azerbaijan // Ukrainian Journal of Ecology. – 2019. – 9(4). – P. 565-570.

Статья поступила в редакцию 17.05.2024 г.

Kostin S.Yu., Bagrikova N.A. To a strategy for the protection of scavenging birds in the Crimea // Bull. of the State Nikita Botan. Gard. – 2024. – No 151. – P. 107-116

As a result of the analysis of the biological parameters of Crimean scavenging birds based on the theory of ecological niche, it is shown that resource factors that directly depend on anthropogenic activity - the amount of meat production waste and their availability – are limiting for the existence of populations. Interspecific competition for food and the anxiety factor also have a significant impact. The localization and number of nesting groups of scavenging birds varies dynamically depending on the location of the concentration of forage resources. It is proposed in the new edition of the Red Book of the Republic of the Crimea to determine the rare status of *Aegypius monachus* and *Gyps fulvus* as rare, vulnerable species and requiring the implementation of a set of special protection measures.

Key words: Black Vulture; Griffon Vulture; ecological niche; limiting factors; rare species; Crimean Peninsula

УДК 630*114.3:582.475

ВЛИЯНИЕ СОМКНУТОСТИ КРОН СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ТЕХНОЗЁМОВ ПОРОДНОГО ОТВАЛА

Наталья Александровна Макеева, Елена Юрьевна Колмогорова

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии
Сибирского отделения Российской академии наук»,
650065, Россия, Кемеровская область, г. Кемерово, пр-т Ленинградский, 10
E-mail: natykor@bk.ru, kolmogorova_elena@bk.ru

В настоящей работе представлены результаты исследования численности почвенных микроорганизмов и активности ферментов (инвертаза, протеаза, фосфатаза) технозёмов в насаждениях *Pinus sylvestris* L. различной степени сомкнутости кроны на породных отвалах. Исследования проведены в 2020-2022 гг. на участках породного отвала с нанесением и без нанесения потенциально плодородного слоя. Технозёмы отвала характеризуются низким содержанием нитратов и фосфора, при высоком обеспечении калием. Количество всех групп микроорганизмов в технозёмах отвалов без ППС и с ППС ниже, чем в контроле, поскольку процессы почвообразования в технозёмах еще не завершены. Установлено, что на всех площадках наблюдения активность инвертазы выше по сравнению с активностью протеазы и фосфатазы. Выявлена зависимость накопления почвенных ферментов от степени сомкнутости кроны. Для значений активности фосфатазы достоверных отличий в зависимости от фитогенного поля и зоны не установлено.

Ключевые слова: породный отвал; технозём; рекультивация; сомкнутость кроны; фитогенная зона; биологическая активность; почвенные микроорганизмы; инвертаза; протеаза; фосфатаза

Введение

Общая площадь лесов Кемеровской области на 01.01.2018 г. составляет 6335,9 тыс. га, что занимает 66,2% общей площади региона [15]. При этом площадь сосновых лесов составляет 142,6 тыс. га. В настоящее время сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) используется как в городском озеленении [1, 13, 19, 22], так и на нарушенных землях [4, 17, 20, 21]. В Кузбассе применение сосны обыкновенной в лесной рекультивации отвалов угольных предприятий получило наиболее широкое распространение по сравнению с другими древесными культурами. Так общая площадь насаждений *Pinus sylvestris* L. на рекультивированных участках составляет около 11 тыс. га [18].

Несмотря на то, что многими авторами [3, 6, 18] уже разработаны оптимальные схемы посадки, приемы выращивания и системы ухода за лесонасаждениями на отвалах разного типа в настоящее время имеются разновозрастные насаждения с различной густотой и степенью сомкнутости крон [9].

На сегодняшний день проведено большое количество исследований *Pinus sylvestris* L., произрастающей в условиях отвалов угольной промышленности, в частности изучены особенности жизненного состояния и показателей роста, механизмы устойчивости и адаптации, химический и микробиологический состав почвенного покрова и подстилки, влияние сосновых насаждений на формирование экологических условий внутри насаждений [4, 8, 9, 12]. Однако степень влияния густоты крон на почвенные процессы все еще недостаточно изучена.

Цель настоящего исследования – изучение влияния сомкнутости крон сосны обыкновенной на биологическую активность технозёмов породного отвала.

Объекты и методы исследования

Исследования проведены в 2020-2022 гг. Объектом исследований служили посадки сосны обыкновенной 20-25-летнего возраста. Работы проводились на участках рекультивации спланированного отвала Кедровского угольного разреза (опыт) без нанесения потенциально плодородного слоя (ППС) и с ППС (рис. 1). Контрольные участки заложены в насаждениях *P. sylvestris* в Кузбасском ботаническом саду.

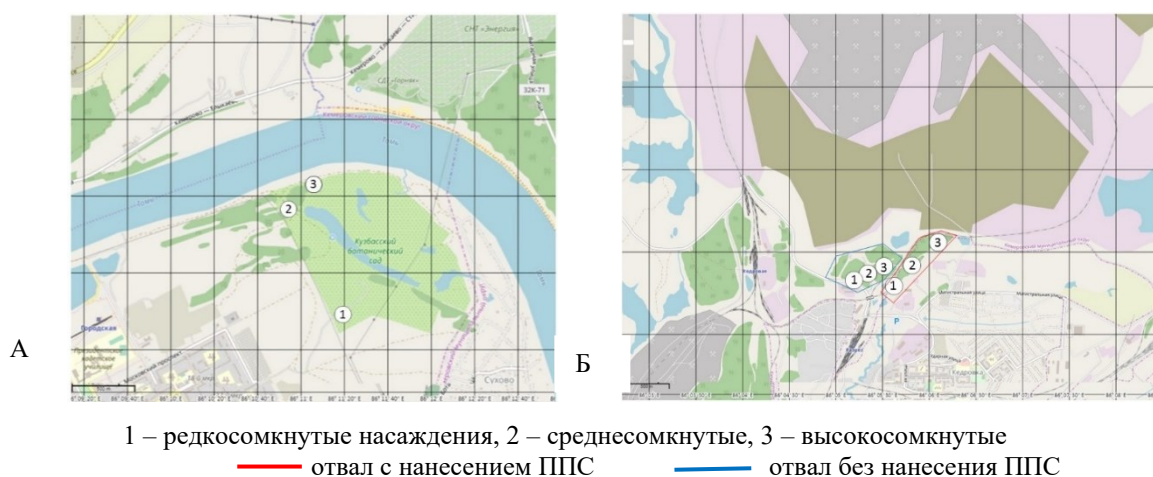


Рис. 1 Карта-схема расположения площадок наблюдения в ботаническом саду (А) и на отвале (Б)

Площадки наблюдения (ПН) установлены с учетом градации сомкнутости крон: редкосомкнутые (20-30%), среднесомкнутые (50-60%) и высокосомкнутые (80-90%). При проведении эксперимента нами учитывалось влияние фитогенных полей сосны. На площадках наблюдения под каждым деревом сосны выделялись подкروновая и прикroновая зоны, а в редианах еще и внешняя.

Почвенные образцы отбирали в 5 точках по периметру кроны на всех площадках наблюдения в конце мая, июля и сентября в годы исследования.

Методы определения количества почвенных микроорганизмов и ферментативной активности [11, 13, 16] подробно описывались ранее в наших публикациях [9, 10]. Математическая и статистическая обработка полученных нами данных проводилась с помощью стандартных методов «Пакета анализа» в программном приложении Excel. Агрохимический анализ проводили для почв редкосомкнутых насаждений [9] в аккредитованной лаборатории ФГБУ ЦАС «Кемеровский».

Результаты и их обсуждение

В процессе отвалообразования на угольных предприятиях происходит неконтролируемое смешивание пород различного структурного, минералогического и химического состава. В результате педогенеза на отвалах формируются искусственные почвоподобные образования – технозёмы, в состав которых может входить в том числе насыпной гумусированный материал [2, 5].

Химические свойства технозёмов во многом зависят от минералогического состава отвалов. Однако в ходе проведенных исследований нами установлены некоторые отличия агрохимических показателей почв в зонах влияния финогенных полей сосны.

Технозёмы отвала без нанесения ППС в редкосомкнутых насаждениях характеризуется нейтральным уровнем pH во внешней зоне и слабокислым – в подкроновой и прикроновой зонах (pH 6,5-7,1), при этом в контроле данная закономерность отсутствует и все почвенные образцы имеют слабокислую или близкую к нейтральной реакцию (табл. 1). Подкисление субстрата в сосновых насаждениях является распространенным явлением [7] и вызвано органическими кислотами, выделяющимися при разложении опада, который в основном накапливается в подкроновой и прикроновой зонах. Таким образом, *P. sylvestris* воздействует на уровень pH уже на начальных стадиях формирования лесной экосистемы и тем самым обуславливает уровень активности почвенных микроорганизмов.

Уровень суммы поглощенных оснований в технозёмах отвала без ППС и с ППС в подкроновой и прикроновой определяется как повышенный (21,6-29,6 и 25,4-30,5 ммоль/100 г поглощенных оснований), во внешней зоне и всех зонах контроля – высокий (48,4-49,6 и 28,9-40,5 ммоль/100 г поглощенных оснований). Данный показатель характеризует уровень плодородия почвы и по нему можно косвенно судить о содержании органического вещества. Поэтому его высокие значения в технозёмах внешней зоны могут указывать на большее количество гумуса по сравнению с подкроновой и прикроновой зонами.

Количество подвижных соединений фосфора в почве отвалов с ППС и без ППС характеризуется как низкое (24-49 и 32-51 мг/кг, соответственно). При этом минимальные значения отмечены во внешней зоне. Источником фосфора в технозёмах являются породы, составляющие отвал, из которых фосфор переводится в легкоусваиваемые формы благодаря жизнедеятельности микроорганизмов либо самих растений.

Количество калия в почве отвала без ППС и с ППС изменяется в пределах от 160 до 185 мг/кг, что определяет высокую степень обеспеченности, при этом в контроле обеспеченность почвы калием оценивается как средняя [9]. Максимальное значение зафиксировано в подкроновой зоне, в прикроновой и внешней количество калия существенно не отличается. В почве основная часть соединений калия является минеральными. Количество калия находится в сильной зависимости от гранулометрического и минералогического состава. Минералы, в состав которых входят

калий, в основном формируют мелкодисперсные фракции, вследствие чего суглинистые и глинистые почвы содержат большее количество калия по сравнению с песчаными и супесчаными. Технозёмы отвала относятся к суглинку среднему [8], поэтому более высокое содержание калия на отвалах, вероятнее всего, обусловлено их гранулометрическим составом.

Таблица 1

Агрохимический анализ почв

Наименование показателей	Фитогенная зона	Контроль (ботанический сад)	Отвал без нанесения ППС	Отвал с нанесением ППС
рН водной вытяжки, ед. рН	Подкроновая	6,2 ± 0,1	6,6±0,1	6,4±0,1
	Прикроновая	5,8 ± 0,1	6,5±0,1	6,1±0,1
	Внешняя	6,3 ± 0,1	7,1±0,1	6,8±0,1
Сумма поглощенных оснований, ммоль/100 г	Подкроновая	38,9 ± 5,8	29,6±4,4	30,5±4,6
	Прикроновая	40,5 ± 6,1	21,6±3,2	25,4±3,6
	Внешняя	40,1 ± 6,0	48,4±7,3	49,6±6,2
Подвижные соединения фосфора (P ₂ O ₅), мг/кг	Подкроновая	85±3,6	49±7	51±8
	Прикроновая	87±3,1	41±6	39±5
	Внешняя	82±3,2	24±4	32±5
Подвижные соединения калия (K ₂ O), мг/кг	Подкроновая	84±3,5	180±18	185±18
	Прикроновая	83±3,4	160±16	170±17
	Внешняя	80±3,6	165±17	169±17
Нитраты, мг/кг	Подкроновая	11,8 ± 2,4	<2,8	<2,8
	Прикроновая	22,4 ± 4,5	<2,8	<2,8
	Внешняя	15,9 ± 3,2	<2,8	<2,8
Обменный аммоний, мг/кг	Подкроновая	12,0 ± 1,2	8,6±1,3	10,5±1,1
	Прикроновая	10,0 ± 1,0	12,7±1,3	14±1,5
	Внешняя	10,2 ± 1,0	5,0±0,8	9,6±0,8

В азотном питании растений наибольшее значение имеют минеральные формы азота: окисленная (NO³⁻) и восстановленная (NH⁴⁺). Обеспеченность технозёмов и почв контроля обменным аммонием низкая (5,0-14 мг/кг). Содержание нитратов в технозёмах отвала очень низкое, в контроле – низкое в подкроновой и внешней зонах и высокое – в прикроновой зоне. Зависимости содержания нитратов и обменного аммония от фитогенной зоны нами не выявлено. Было выявлено, что на отвалах без ППС преобладает аммонийный азот, который образуется в результате жизнедеятельности аммонифицирующих гетеротрофных микроорганизмов, превращающих органический азот растительных и животных остатков, а также азот гумуса в NH⁴⁺. Это может говорить о том, что в техноземах содержание аммонийного и органического азота является недостаточным для протекания процессов нитрификации, тогда как в контроле содержится большее количество растительных остатков, которые являются источником органического азота. Кроме того, азот в виде нитратов легко вымывается из почв осадками и дренажными водами, в то время как технозёмы отвалов угольных разрезов содержат значительную долю щебнисто-каменистых фракций и характеризуются высокой каменистостью, что способствует вымыванию минеральных веществ.

В результате агрохимического анализа почв установлено, что на отвалах наблюдается более четкая градиция по фитогенным зонам, что связано с характером распределения опада – максимальное количество в подкроновой и прикроновой зонах, минимальное – во внешней. На контрольном участке отмечается более мощный слой подстилки [8], поскольку охвоенность деревьев сосны выше, а жизненное состояние оценивается как более благополучное.

На формирование почв оказывает влияние большое количество факторов, основной из которых является биохимическая активность микроорганизмов и связанные с ней процессы минерализация растительных и животных остатков, а также синтеза и распада гумуса. При определении биологической активности почв учитывают такие

показатели, как количественный и видовой состав различных групп микроорганизмов, их соотношение, биомассу микроорганизмов, количество почвенных ферментов, уровень потребления кислорода и выделения углекислого газа (почвенное дыхание), активность процессов азотного цикла. В естественных условиях биологическая активность почв динамична и может меняться в зависимости от степени освещенности, уровня тепла и влаги на ее поверхности. При этом широкая вариабельность показателей может быть вызвана неравномерным распределением микроорганизмов в пространстве.

Проведенные исследования показали, что количество микроорганизмов в почве ботанического сада было, как правило, выше по сравнению с технозёмом отвала (рисунок 2). Во всех почвенных образцах преобладают микроорганизмы, утилизирующие минеральные формы азота. Как правило это связано с активным протеканием процессов минерализации органического вещества. В технозёмах отвала количество данных микроорганизмов существенно не изменяется и находится на одном уровне при разной степени сомкнутости крон, тогда как в контроле их численность изменяется в пределах 1297-8293 тыс. КОЕ/г сухой почвы. В контроле минимальное количество данных микроорганизмов наблюдалось в редкосомкнутых насаждениях, не зависимо от фитогенной зоны, тогда как на отвалах – в подкороновой зоне при любой сомкнутости крон.

Микроорганизмы, утилизирующие органические формы азота, минерализуют органические соединения в почве, высвобождая минеральные формы азота. На всех участках максимальное количество данных микроорганизмов отмечалось в подкороновой зоне высокосомкнутых насаждений (средние значения 842-5298 тыс. КОЕ/г сухой почвы). На контрольном участке данная тенденция наблюдалась также в прикороновой зоне. В технозёмах отвала превышение контроля на 43 и 25% наблюдалось во внешней зоне редкосомкнутых насаждений ($p = 0,02$) за счет низких показателей в контроле.

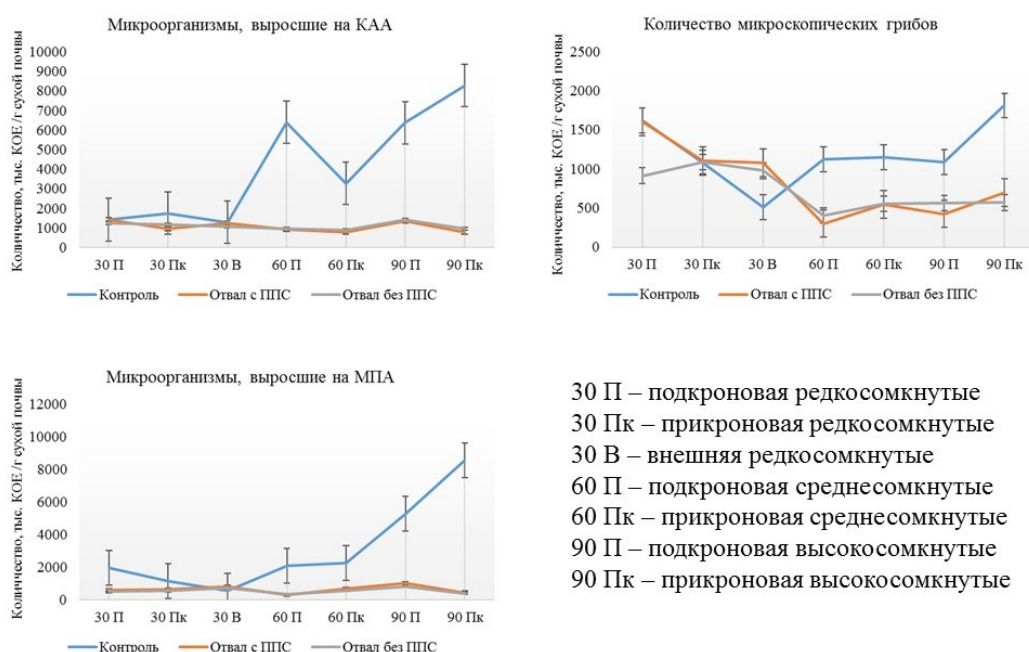


Рис. 2 Количество микроорганизмов в почве насаждений *Pinus sylvestris* L. (средние данные 2020-2022 гг.)

Максимальное содержание микроскопических грибов на отвале отмечалось в редкосомкнутых насаждениях, превышение контроля наблюдалось только во внешней

зоне, причем за счет низкого количества в контроле (511 тыс. КОЕ/г сухой почвы). Основная роль микроскопических грибов в почве заключается в трансформировании органических соединений, при этом только грибы участвуют в разложении лигнина. Исходя из этого, можно предположить, что в техноземах средне- и высокосомкнутых насаждениях на отвале содержание органических остатков ниже, чем в контроле. Статистический анализ показал, что между количеством микроскопических грибов и микроорганизмов, утилизирующих органический азот, в почве внешней зоны редкосомкнутых насаждений всех ПН установлена положительная корреляционная связь ($r = 0,45$, при $p < 0,05$).

Ферментативная активность почвы является не только показателем ее плодородия, но и позволяет судить об интенсивности протекания процессов почвообразования. Установлено, что активность инвертазы, как в почве отвалов, так и в контроле, превышала активность протеазы и фосфатазы. Активность инвертазы изменялась в пределах от 24,31 до 48,52 мг глюкозы/г за 24 ч. Данные значения соответствуют средней и высокой активности фермента в почве [16]. В редкосомкнутых и высокосомкнутых насаждениях *P. sylvestris* на отвале без нанесения ППС обнаружено большее количество инвертазы по сравнению с контролем на 1,9-25,6% (табл. 2). В среднесомкнутых насаждениях на отвалах с нанесением и без нанесения ППС отмечено снижение накопления инвертазы по сравнению с контролем. Наименьшее количество инвертазы отмечено на породном отвале с нанесением ППС во всех фитогенных зонах редкосомкнутых насаждений.

Степень активности протеазы изменялся от слабой – на отвале без ППС (1,74-1,88 мг глицина/г почвы за 24 часа), до высокой – на отвале с ППС и контроле (4,05-4,72 мг глицина/г почвы за 24 часа). В почвах отвала с нанесением и без нанесения ППС протеазы обнаружено меньше, чем в контроле на всех площадках наблюдения, наиболее выражена эта тенденция в среднесомкнутых насаждениях сосны на отвале без нанесения ППС (в 2,7 и 1,9 раза ниже контроля в подкроновой и прикроновой зоне соответственно).

Таблица 2

Содержание ферментов в почве насаждений *Pinus sylvestris* L. (средние данные 2020-2022 гг.)

Площадки наблюдения/фитогенные зоны	Инвертазная активность, мг глюкозы/г почвы за 24 часа*			Протолитическая активность, мг глицина/г почвы за 24 часа*			Активность фосфатазы, мг P_2O_5 /г почвы за 30 мин.*		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Отвал без нанесения ППС									
Подкроновая	47,35	43,53	46,35	3,09	1,74	2,54	0,88	0,64	1,13
Прикроновая	48,52	44,12	42,28	3,10	1,88	2,53	0,59	0,71	0,57
Внешняя	46,88	-	-	3,29	-	-	0,92	-	-
Отвал с нанесением ППС									
Подкроновая	24,31	35,39	48,13	3,30	2,43	3,56	0,32	0,23	0,64
Прикроновая	29,08	40,95	39,17	2,83	2,57	4,43	0,28	0,60	1,16
Внешняя	24,58	-	-	2,53	-	-	0,20	-	-
Контроль (ботанический сад)									
Подкроновая	45,18	52,24	40,91	4,05	4,72	3,64	0,37	0,47	0,47
Прикроновая	36,09	48,60	41,47	3,78	3,50	3,40	0,54	0,54	0,21
Внешняя	38,66	-	-	3,97	-	-	0,59	-	-

Примечание: 1 – редкосомкнутые, 2 – среднесомкнутые, 3 – высокосомкнутые насаждения сосны.

* отмечены достоверные отличия при $p < 0,05$

Максимальная активность фосфатазы наблюдалась в техноземах высокосомкнутых насаждений: в подкроновой зоне (отвал без ППС) она составляла 1,13 мг P_2O_5 /г почвы за 30 мин.; в прикроновой (отвал с ППС) – 1,16 мг P_2O_5 /г почвы за 30 мин. Однако согласно шкале биологической активности почвы активность фосфатазы на всех исследуемых участках определяется как слабая [16]. Проведенные нами

исследования не обнаружили зависимости активности фосфатазы от степени сомкнутости крон. Согласно литературным данным, активность фосфатазы уменьшается при увеличении количества подвижных соединений фосфора в почве [9]. Наши исследования в целом подтверждают эту закономерность ($r = -0,48$, при $p < 0,05$).

Статистический анализ позволил установить положительную зависимость между содержанием инвертазы и протеазы в подкроновой и прикроновой зоне редкосомкнутых насаждений и микроорганизмами, утилизирующими неорганический азот ($r = 0,47$ и $0,43$, при $p < 0,05$ соответственно). Отрицательные коэффициенты корреляции выявлены между активностью протеазы и количеством микроорганизмов, утилизирующих органический азот ($r = -0,54$, при $p < 0,05$) в подкроновой зоне высокосомкнутых насаждений; активностью инвертазы и протеазы в подкроновой зоне редкосомкнутых насаждений ($r = -0,51$, при $p < 0,05$).

Заключение

Низкое содержание нитратов и фосфора в технозёмах отвала, при высокой обеспеченности калием, предопределено химическим и гранулометрическим составом подстилающих пород. Для таких показателей, как реакция среды почвенного раствора и сумма поглощенных оснований, установлены достоверные отличия (при $p < 0,05$) по фитогенным зонам: в технозёме отвала без нанесения ППС подкроновой и прикроновой зонах отмечается слабокислый уровень pH (6,5-7,1); уровень суммы поглощенных оснований в технозёмах отвала в подкроновой и прикроновой определяется ниже, чем во внешней зоне и контроле. Это может быть обусловлено характером распределения опада – максимальное количество в подкроновой и прикроновой зонах, минимальное – во внешней, тогда как на контрольном участке отмечается более мощный и равномерно распределенный слой подстилки.

Количество всех групп микроорганизмов в технозёмах отвалов без ППС и с ППС ниже, чем в контроле, так как процессы почвообразования в технозёмах еще не завершены. Поскольку количество микроорганизмов, использующих минеральный азот, выше количества микроорганизмов, утилизирующих органический азот, можно говорить о протекании процессов иммобилизации азота в почве.

Установлено, что на всех площадках наблюдения активность инвертазы выше по сравнению с активностью протеазы и фосфатазы. Выявлена зависимость накопления инвертазы и протеазы от степени сомкнутости крон, так наибольшее количество достоверных корреляционных связей отмечено в почве редкосомкнутых и высокосомкнутых насаждений сосны на всех площадках наблюдения. Для фосфатазы подобных связей не выявлено.

Для почвы редкосомкнутых насаждений установлена прямая зависимость между уровнем ферментов (протеазы и инвертазы) и количеством микроорганизмов, использующих неорганические формы азота. В тоже время для почв высокосомкнутых насаждений выявлена обратная зависимость – чем больше микроорганизмов утилизирующих органический азот, тем ниже активность протеазы. Активность фосфатазы не связана с количеством изученных нами микроорганизмов, однако находится в обратной зависимости от количества подвижных соединений фосфора – при его увеличении наблюдается снижение активности фермента ($r = -0,48$, при $p < 0,05$).

Благодарность

*Работа выполнена по государственному заданию АААА-А21-121011590010-5
«Разработка научных основ оценки состояния и восстановления флористического разнообразия in situ и ex situ в регионах с высокой степенью деградации экосистем в результате антропогенного и техногенного воздействий»*

Список литературы

1. Авдеева Е.В., Панов А.И. Экологический мониторинг посадок сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на объектах озеленения города Красноярска // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2017. – № 49. – [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskiy-monitoring-posadok-sosny-obyknovennoy-pinus-sylvestris-l-na-obektah-ozeleneniya-goroda-krasnoyarska>
2. Артамонова В.С., Бортникова С.Б. Почвоподобные образования техногенных ландшафтов: история изучения, терминология, современные аспекты (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. – 2017. – № 1. – С. 4-13.
3. Баранник Л.П., Шмонов А.М., Николайченко В.П. Рекомендации по лесной рекультивации нарушенных угледобычей земель в Кузбассе. – Кемерово, 2005. – 28 с.
4. Данилов Ю.И., Смирнов А.П., Навалихин С.В., Фетисова А.А., Петров В.А. Рост культур сосны в условиях рекультивированных песчаных карьеров // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского институталесногохозяйства. – 2019. – № 1. – С. 40-53.
5. Етеревская Л.В., Донченко М.Т., Лехциер Л.В. Систематика и классификация техногенных почв // Растения и промышленная среда. – Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1984. – С. 14-21.
6. Зайцев Г.А., Моторина Л.В., Данько В.Н. Лесная рекультивация. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 130 с.
7. Колмогорова Е.Ю., Уфимцев В.И. Почвенные характеристики эмбриоземов под покровом сосновых насаждений на техногенных элювиях Кузбасса // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2022. – № 2(386). – С. 118-131. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-2-118-131.
8. Легощина О.М., Колмогорова Е.Ю., Уфимцев В.И. Влияние химического состава и запасов лесной подстилки на плодоношение макромицетов в сосновых насаждениях посттехногенных ландшафтов // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2022. – № 145. – С. 88-95. DOI: 10.36305/0513-1634-2022-145-88-95.
9. Макеева Н.А., Неверова О.А. Динамика биологической активности эмбриоземов в прикромовой зоне древесных растений на отвалах угольных разрезов // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2022. – № 3. – С. 42-52. DOI: 10.17076/esc01516.
10. Макеева Н.А., Колмогорова Е.Ю., Уфимцев В.И. Особенности биологической активности почвы в насаждениях сосны обыкновенной различной степени сомкнутости крон // Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология. – 2023. – № 16(2). – С. 178-192.
11. Минеев В.Г. Практикум по агрохимии: учеб. пособие. – М.: изд-во Московского университета, 2001. – 689 с.
12. Неверова О.А. Оценка устойчивости и детоксикационного потенциала древесных растений в техногенно измененной среде // Материалы научной сессии ИЭЧ СО РАН 2014 года, Кемерово, 12-31 января 2015 года. – Кемерово: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экологии человека Сибирского отделения Российской академии наук. – 2014. – Вып. 6. – С. 57-62.
13. Нетрусов А.И., Котова И.Б. Микробиология: учебник. – Москва: Академия, 2005. – 52 с.
14. Петункина Л.О. Разнообразие и состояние объектов озеленённых территорий общего пользования в г. Кемерово // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2015. – Т. 4-3. – С. 62-67.
15. Постановление Губернатора Кемеровской области от 27 декабря 2018 г. № 86-пг
16. Титова В.И., Козлов А.В. Методы оценки функционирования микробиоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества: научно-методическое

пособие. – Нижний Новгород: Нижегородская сельскохозяйственная академия, 2012. – 64 с.

17. *Трещевская Э.И., Трещевская С.В., Бобрешов К.В.* Сосновые насаждения в разных лесорастительных условиях нарушенных земель // Лесотехнический журнал. – 2014. – № 3 (15) – [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sosnovye-nasazhdeniya-v-raznyh-lesorastitelnyh-usloviyah-narushennyh-zemel>

18. *Уфимцев В.И., Манаков Ю.А., Куприянов А.Н.* Методические рекомендации по лесной рекультивации нарушенных земель на предприятиях угольной промышленности в Кузбассе. – Кемерово: Кемеровская региональная экологическая общественная организация «Ирбис», 2017. – 44 с.

19. *Чернакова О.В., Чудновская Г.В.* Современное состояние, перспективы и проблемы в озеленении города Иркутска // Вестник ИрГСХА. – 2018. – № 88. – С. 97-107.

20. *Emmrich W.D.* Absterbeerscheinungen in kiefernstangenholzern auf kippenstandortten des lausitzer braunkohlenreviers // Рекультивация нарушенных земель в Сибири. – 2005. – Вып. 1. – С. 63-68.

21. *Heydeck P.* Zur forstwirtschaftlichen bedeutung des wurzelschwammes (heterobasidion annosum [fr.] bref.) under berucksichtigung seines vorkommens im nordostdeutschen tiefland // Рекультивация нарушенных земель в Сибири. – 2005. – Вып. 1. – С. 69-76.

22. *Lebedev A.V.* Changes in the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in an urban environment in European Russia since 1862 // Journal of Forestry Research. – 2022. – P. 1-9.

23. *Makeeva N., Neverova O.* The influence of soil microorganisms on heavy metal content in the substrate of waste rock dumps // VI International Scientific Conference «Problems of Industrial Botany of Industrially Developed Regions». – Kemerovo, 2021.

Статья поступила в редакцию 27. 02. 2024 г.

Makeeva N.A., Kolmogorova E.Yu. Effect of crown density of Scots pines on the biological activity of artificial soil of rock dumps // Bull. of the State Nikita Botan. Gard. – 2024. – № 151. – P. 116-124

This paper presents the results of a study of the number of soil microorganisms and the activity of enzymes (invertase, protease, phosphatase) of artificial soil in *Pinus sylvestris* L. plantations of various degrees of crown density on rock dumps. The studies were carried out in 2020-2022 on rock dump sites with and without applying a potentially fertile layer. The artificial soil of a dump is characterized by a low content of nitrates and phosphorus, with a high supply of potassium. The number of all groups of microorganisms in the artificial soil of dumps without potentially rich soil and with potentially rich soil is lower than in the control, since the processes of soil formation in artificial soil have not yet been completed. It was found that invertase activity was higher at all observation sites compared to protease and phosphatase activity. The dependence of the accumulation of soil enzymes on the degree of crown density has been revealed. No significant differences have been established for the values of phosphatase activity depending on the phytogenic field and zone.

Key words: rock dump; artificial soil; reclamation; crown density; phytogenic zone; biological activity; soil microorganisms; invertase; protease; phosphatase