

УДК 631.423.3.4:630\*181.351

DOI: 10.37482/0536-1036-2022-2-118-131

## ПОЧВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭМБРИОЗЕМОВ ПОД ПОКРОВОМ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ТЕХНОГЕННЫХ ЭЛЮВИЯХ КУЗБАССА

*Е.Ю. Колмогорова, канд. биол. наук; ResearcherID: J-4549-2018,*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5703-7168>

*В.И. Уфимцев, канд. биол. наук; ResearcherID: J-9268-2018,*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5854-5802>

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения РАН, просп. Ленинградский, д. 10, г. Кемерово, Россия, 650065; e-mail: kolmogorova\_elena@bk.ru, uwy2079@gmail.com

Оригинальная статья / Поступила в редакцию 27.03.20 / Принята к печати 08.08.20

**Аннотация.** Изучена эдификаторная роль сосны на техногенных ландшафтах Кузнецкого угольного бассейна. Рассмотрено влияние насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с разной сомкнутостью крон на основные характеристики эмбриоземов на отвалах вскрышных пород угольной промышленности. Объектом исследования служили образцы почвы, собранные в различных зонах фитогенных полей сосны, произрастающей на бестранспортном отвале Кедровского угольного разреза. При выборе пробных площадей проведено ранжирование насаждений по сомкнутости крон на несомкнутые (сомкнутость крон около 30 %), среднесомкнутые (около 60 %) и сомкнутые (около 90 %). В каждой градации сомкнутости выделены зоны влияния (фитогенных полей) деревьев – подкроновые, прикроновые (промежуточные). Точки отбора выбирали с учетом наличия идентификационных признаков – сплошного опада сосны (подкроновая зона), развитого мохового покрова (прикроновая зона), развитой луговой растительности (внешняя зона). В несомкнутых и среднесомкнутых насаждениях внешние зоны не встречаются. Всего по степени сомкнутости крон и зонированию фитогенных полей выделено 7 участков насаждений *P. sylvestris*. Образцы почвы отбирали на каждом из них с глубины 0–20 см в III декаде сентября. Активность ферментов изучали в свежесобранной почве в 3-кратной повторности; фракционный состав почв и их агрохимические свойства – в высушенной почве. Показано, что сосновые насаждения способствуют ускорению дезинтеграции техногенных элювиев с образованием мелкоземных фракций, имеющих важное почвенно-экологическое значение. Формирование подстилки, содержащей значительную долю опада травянистой растительности, в несомкнутых насаждениях сосны благоприятствует накоплению в эмбриоземах общего азота. Выявлена зависимость количества легкодоступных форм фосфора и калия от литогенных, а не от фитоценологических факторов. Изучение ферментативной активности почв показало снижение фосфатазной активности с увеличением содержания фосфора и повышение протеазной активности с увеличением содержания азота. Агрохимические показатели эмбриоземов благоприятны для произрастания травянистых растений ввиду горизонтальной дифференциации пространства под влиянием древостоев сосны обыкновенной.

**Для цитирования:** Колмогорова Е.Ю., Уфимцев В.И. Почвенные характеристики эмбриоземов под покровом сосновых насаждений на техногенных элювиях Кузбасса // Изв. вузов. Лесн. журн. 2022. № 2. С. 118–131. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-2-118-131

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках проекта № АААА-А17-117041410053-1 (0352-2019-0015 VI.52. Оценка состояния и охрана флористического разнообразия под влиянием антропогенных и техногенных факторов *in situ* и *ex situ*).

**Ключевые слова:** эмбриоземы, фракционный состав почвы, агрохимические характеристики почвы, фосфатаза, протеаза, сосна обыкновенная, фитогенное поле.

## SOIL CHARACTERISTICS OF EMBRYOZEMS UNDER COVER OF PINE PLANTATIONS ON TECHNOGENIC RESIDUAL ROCKS OF KUZBASS

*Elena Yu. Kolmogorova*, Candidate of Biology; ResearcherID: [J-4549-2018](https://orcid.org/0000-0002-5703-7168),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5703-7168>

*Vladimir I. Ufimtsev*, Candidate of Biology; ResearcherID: [J-9268-2018](https://orcid.org/0000-0001-5854-5802),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5854-5802>

The Federal Research Center of Coal and Coal-Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, prosp. Leningradskiy, 10, Kemerovo, 650065, Russian Federation; e-mail: kolmogorova\_elena@bk.ru, uwy2079@gmail.com

---

Original article / Received on March 27, 2020 / Accepted on August 8, 2020

---

**Abstract.** The article studies the edificatory role of pine growing on the technogenic landscapes of the Kuznetsk coal basin and considers the influence of plantations of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) with different crown density on the main characteristics of embryozems on the overburden dumps of the coal mining industry. The object of the study was soil samples collected in various zones of the phytogenic fields of pine growing on the transport-free dump of the Kedrovsky coal mine. When choosing test plots, the plantations were ranked according to crown density into unclosed (crown density about 30 %), medium-closed (about 60 %) and closed (about 90 %). In each gradation of closeness, the following zones of influence (phytogenic fields) of trees were identified: undercrown, near-crown (intermediate). The selection of sampling points was carried out taking into account the presence of the identification signs: solid pine litter (undercrown zone), developed moss cover (near-crown zone) and developed meadow vegetation (outer zone). External zones are not found in unclosed and medium-closed plantations. In total, according to the degree of crown density and zoning of phytogenic fields, 7 plantation sites of *Pinus sylvestris* were identified. Soil samples were taken at each of them from a depth of 0–20 cm in the 3rd decade of September. The enzyme activity was studied in recently collected soil in 3-fold replications. The fractional composition of soils and their agrochemical properties were determined in dried soil on the basis of the Center for Agrochemical Service “Kemerovo”. The analysis of the results showed that pine stands contribute to accelerated disintegration of technogenic residual rocks with the formation of fine-grained fractions, which are of great soil and environmental importance. Litter combined with grassy vegetation in open pine stands favors the accumulation of total nitrogen in embryozems. It was revealed that the content of readily available forms of phosphorus and potassium depends on lithogenic rather than phytocenotic factors. The study of the enzymatic activity of soils showed that the phosphatase activity decreases with an increase in the phosphorus content, and the protease activity increases with an increase in the nitrogen content. Agrochemical indicators of embryozems are favorable for the growth of herbaceous plants due to horizontal differentiation of space under the influence of stands of Scots pine.

**For citation:** Kolmogorova E.Yu., Ufimtsev V.I. Soil Characteristics of Embryozems under Cover of Pine Plantations on Technogenic Residual Rocks of Kuzbass. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2022, no. 2, pp. 118–131. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-2-118-131

**Funding:** The work was carried out within the project No. AAAA-A17-117041410053-1 (0352-2019-0015 VI.52. Assessment of the State and Protection of Floristic Diversity under the Impact of Anthropogenic and Technogenic Factors *in situ* and *ex situ*).

**Keywords:** embryozems, soil fractional composition, soil agrochemical characteristics, phosphatase, protease, Scots pine, phytogenic field.

### Введение

Деревья-лесообразователи, играя роль эдификатора, прямым или косвенным образом оказывают существенное влияние на все компоненты экосистемы [22, 26]. Особенно это влияние распространяется на почвенные характеристики в пределах досягаемости корневых систем за счет механического и биохимического преобразования ими почвенных агрегатов и в пределах наземных частей деревьев – крон и вторичных метаболитов подстилки [11, 21, 24].

В естественных лесных экосистемах Кемеровской области сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) не является основной лесообразующей породой, занимая всего 148,9 тыс. га, или 2,8 % площади лесного фонда [6]. Однако на отвалах вскрышных пород угольной промышленности значение сосны существенно возрастает – до 12–15 тыс. га, или почти 50 % всех рекультивированных земель в регионе, что позволяет рассматривать эту древесную породу как основной эдификатор техногенных лесных экосистем.

Особенностью сосновых насаждений на участках рекультивации становится широкий спектр густоты – от 0,2 до 4,0 тыс./га, и сомкнутости лесного полога – от 20 до 90 % [16]. Такая вариабельность древостоев способствует формированию живого напочвенного покрова с совершенно различными характеристиками [18] и подстилки с неодинаковыми фракциями опада в зависимости от особенностей насаждений и расположения относительно деревьев. В результате воздействия многогранного сочетания факторов под покровом сосновых насаждений молодой почвенный покров техногенных экосистем трансформируется в соответствии с особенностями растительных сукцессий и формирующейся горизонтальной дифференциацией пространства.

Актуальность исследования обусловлена тем, что до последнего времени древесные насаждения на отвалах изучались как однородные участки древесной растительности, без учета ранжирования древостоев по сомкнутости крон. Подобным образом проводились и почвенные исследования, которые часто отражали лишь характеристики эмбриоземов под покровом высокосомкнутых насаждений, в связи с чем складывается общее представление об однозначно неблагоприятном влиянии лесных насаждений на эволюцию эмбриоземов. Сосна и в естественных условиях на нелесных территориях способствует подкислению почв в подкروновых пространствах [7]. В то же время исследованиями не подтверждается тезис об однозначном ухудшении характеристик почв под сосновыми культурами [25].

Контрастная дифференциация насаждений на отвалах как по сомкнутости крон, так и по мозаичности живого напочвенного покрова позволяет утверждать, что и характеристики эмбриоземов могут претерпевать различную трансформацию под воздействием названных особенностей. Изучение почв техногенных ландшафтов под лесными культурами также показало мозаичность почвенного

покрова [2], однако специальных работ о влиянии вариаций сомкнутости лесного полога на изменение характеристик эмбриоземов нет.

Цель исследования – выявление особенностей гранулометрического состава и основных агрохимических свойств эбриоземов под покровом разносомкнутых сосновых насаждений, произрастающих на участках рекультивации угольной промышленности.

#### Объекты и методы исследования

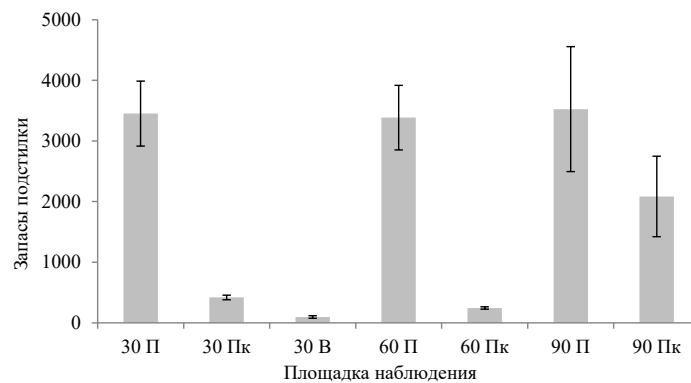
Исследования проводились на постоянных пробных площадях, заложенных в 2014 г. в сосновых насаждениях на бестранспортном отвале Кедровского угольного разреза в Кемеровской области. Насаждения относятся ко II классу возраста (28–30 лет), I–II классам бонитета, характеризуются благонадежным жизненным состоянием [16].

В основу ранжирования модельных площадок положены сомкнутость крон (СК) и зонирование фитогенных полей (ФП) в насаждениях. Выделено 7 участков: в несомкнутых насаждениях (СК 30 %) – подкроновые (30 П), прикроновые (30 Пк) и внешние (30 В) зоны, в среднесомкнутых (СК 60 %) – подкроновые (60 П) и прикроновые (60 Пк), в сомкнутых (СК 90 %) – подкроновые (90 П) и прикроновые (90 Пк). Зонирование ФП выполнялось в соответствии с применяемыми идентификационными признаками [8, 17].

Ранее нами проведены работы по оценке запасов подстилки на указанных площадках (рис. 1).

Рис. 1. Запасы подстилки ( $\text{г}/\text{м}^2$ ) по учетным площадкам

Fig. 1. Stocks of litter ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) at survey sites



В подкроновых зонах запасы подстилки в насаждениях с неодинаковой сомкнутостью крон различий не имеют и составляют в воздушно-сухом состоянии 2377–2966  $\text{г}/\text{м}^2$ . В прикроновых зонах несомкнутых и среднесомкнутых насаждений запасы подстилки по сравнению с подкроновыми снижаются в 8,2–13,8 раза, в сомкнутых насаждениях эти различия незначительны. Во внешней зоне несомкнутых насаждений запасы подстилки в 35,9 раза ниже, чем в подкроновой зоне. Таким образом, равномерность размещения подстилки в насаждениях обратно пропорциональна сомкнутости крон. В подкроновой зоне в опаде преобладают хвоя – 54–80 %, и шишки – 20–35 %. В прикроновой зоне доля хвои увеличивается до 64–83 %, опад травянистых растений составляет около 2 %. Во внешней зоне подстилка почти целиком состоит

из опада луговой растительности, хвоя не обнаружена, шишки встречаются единично.

Фракционный состав почв и их агрохимические свойства определяли в испытательном центре Федерального государственного бюджетного учреждения «Центр агрохимической службы «Кемеровский», аттестат аккредитации – RA.RU.21ПУ81.

Для оценки запасов гумуса и легкодоступных форм фосфора и калия использованы стандартные шкалы [5], обеспеченности доступными формами азота – шкала Г.П. Гамзикова [1], содержания общего азота – данные об этом показателе в почвах Кузнецкой котловины [13].

Почвы отбирали на каждом изучаемом участке с глубины 0–20 см, т. к. в верхних слоях почвы наблюдается наибольшая активность почвенных ферментов [19]. Сроки отбора образцов – III декада сентября. Ферменты изучали в свежесобранной почве в 3-кратной повторности из смешанной пробы. Активность протеазы определяли по методу А.Ш. Галстяна и Э.А. Арутюнян [10], фосфотазы – по методу А.Ш. Галстяна [14]. Для оценки биологической активности почв использовали общепринятые шкалы [10].

В целях выявления почвенного плодородия техногенных элювиев был заложен методом фитометров вегетационный опыт. Метод заключается в выращивании контрольных видов растений в лизиметрах с устранением эффекта факторов среды: освещенности, увлажнения, прямой конкуренции и др. Образцы субстрата эмбриоземов отбирались в 3-кратной повторности по всем учетным площадкам в несомкнутых насаждениях в подкрановой, прикрановой и внешней зонах ФП (как наиболее контрастных вариантах) и помещались в ящики-лизиметры размером 20×35×55 см. В почву каждой зоны высевали по 100 семян *Poa pratensis* L., *Melilotus officinalis* L. и *Trifolium hybridum* L. Выбор данных видов обусловлен их положительной, приспособительной и отрицательной реакцией соответственно на совместное произрастание под покровом сосны обыкновенной [27]. В качестве контроля использована лугово-черноземная почва, взятая в подкрановой зоне *Acer negundo* L., показавшая наилучший результат плодородия по этим же видам растений [20]. В конце вегетации определяли массу и высоту 30 особей каждого вида.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Одним из важнейших параметров, характеризующих направленность почвообразовательного процесса на эмбриоземах, является гранулометрический состав в корнеобитаемом слое [3]. Гранулометрический состав зависит от двух последовательных процессов – физического выветривания и биохимической дезинтеграции. Первый из них протекает под воздействием абиотических факторов и приводит к образованию скелета почвы – частиц размером более 0,01 мм. Однако многие важнейшие свойства почвы как базиса наземной экосистемы, такие как гумусонакопление, буферность, водоудерживающая способность, зависят от фракций размером менее 0,01 мм, генезис которых обусловлен вследствие биохимических процессов, в том числе действия вторичных метаболитов растительных видов первичных сукцессий [4].

Формирование физической глины при дезинтеграции песчаников, алевролитов и особенно аргиллитов происходит, как правило, параллельно обра-

зованию мелкоземных фракций, и наоборот, отсутствие физической глины вызвано слабым образованием мелкозема. Исследованиями лаборатории рекультивации почв Института почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук установлено, что процессы эволюции эмбриоземов на техногенных элювиях Кузбасса наиболее активны при содержании в почве мелкозема не менее 25 % и присутствии в нем фракций физической глины не менее 30 % [3]. Исходя из этого количество мелкозема > 25 % (30 П, 30 ПК, 90 П, 90 ПК) можно классифицировать как достаточное (++), < 25, (30 В, 60 П, 60 ПК) – как дефицитное (+). Данные, приведенные в табл. 1, свидетельствуют о более интенсивных процессах дезинтеграции во внутренних зонах фитогенных полей сосны на отвалах, что, вероятно, связано с активной корневой деятельностью и обилием эктомикориз.

Таблица 1

**Фракционный состав почв на отвалах**

Учетные площадки	Содержание фракций грунта, %, размерами, мм						Преобладающие фракции	Мелкозем, %, размером < 1 мм	Обеспеченность мелкоземом
	> 10	10–5	5–2	2–1	1–0,5	< 0,5			
	Глыбы	Камни	Гравий	Песок крупный	Песок мелкий	Песок мелкий, пыль и коллоиды			
30 П	18,68	8,27	14,28	17,18	17,22	24,37	< 1	41,59	++
30 ПК	4,58	10,84	21,47	17,74	21,01	24,36	< 1	45,37	++
30 В	29,64	20,56	21,55	10,41	7,82	10,02	> 5	17,84	+
60 П	6,11	23,40	33,99	17,35	9,84	9,31	10–2	19,15	+
60 ПК	8,83	18,19	32,58	17,92	11,36	11,12	10–2	22,48	+
90 П	6,68	7,71	18,05	20,23	20,38	26,95	< 1	47,33	++
90 ПК	10,05	11,67	18,29	18,56	16,54	24,89	< 1	41,43	++

Кислотность почвенного раствора в подкروновых зонах слабокислая – 6,0–6,6, и только во внешней зоне несомкнутых насаждений – нейтральная – 7,1 (табл. 2), что закономерно, т. к. опад хвойных пород при естественном облесении нелесных площадей приводит к подкислению почв [28]. Таким образом, уже на начальном этапе развития техногенной лесной экосистемы сосна обыкновенная оказывает влияние на кислотность почвы, с которой тесно связана жизнедеятельность почвенных организмов, формируются характерные для сосновых насаждений микомицеты [12].

Сумма поглощенных оснований в эмбриоземах колеблется от 19,2 до 48,4 ммоль/100 г. Наибольшее значение этого параметра отмечено во внешней зоне редин, что, вероятно, объясняется ее постоянным обогащением легкоразлагаемым органическим материалом травянистой растительности. Степень насыщенности почв основаниями показывает, сколько процентов общей емкости поглощения занимают основания, и является важной характеристикой буферности почв.

Таблица 2

## Агрохимические свойства почв на отвалах

Показатель	30 П	30 Пк	30 В	60 П	60 Пк	90 П	90 Пк
рН водной вытяжки	6,6±0,1	6,5±0,1	7,1±0,1	6,0±0,1	6,6±0,1	6,4±0,1	6,6±0,1
Органическое вещество, %	13,7±1,4	14,1±1,4	11,4±1,1	10,3±1,0	7,7±0,8	9,7±1,0	10,3±1,0
Фосфор подвижный, мг/кг	49±7	41±6	24±4	55±7	82±10	37±6	17±3
Калий обменный, мг/кг	180±18	160±16	165±17	180±18	170±17	125±13	100±15
Сумма поглощенных оснований, ммоль/100 г	29,6±4,4	21,6±3,2	48,4±7,3	21,2±3,2	20,8±3,1	19,2±2,9	40,8±6,1
Массовая доля общего азота, %	0,35±0,02	0,38±0,03	0,31±0,02	0,27±0,02	0,12±0,01	0,23±0,02	0,22±0,02
Массовая доля нитратного азота, мг/кг	< 2,8	< 2,8	< 2,8	< 2,8	< 2,8	< 2,8	< 2,8
Массовая доля аммонийного азота, мг/кг	8,6±1,3	12,7±1,3	5,0±0,8	5,2±0,8	5,0±0,8	2,6±0,4	3,1±0,5

Агрохимический анализ демонстрирует повышенное и высокое содержание органического вещества: максимальное его накопление отмечается в несомкнутых насаждениях 11,4–14,1 %, что связано, скорее всего, с сочетанием разложения древесного и травянистого опада на разных стадиях разложения и гумификации вследствие активного развития травостоя во всех зонах фитогенных полей одиноко стоящих деревьев. В подкروновых и прикноновых зонах количество органического вещества существенно выше, чем во внешней, где сосновый опад практически отсутствует. Это согласуется с особенностями накопления лесной подстилки в данных зонах (см. рис. 1).

Если рассматривать органическое вещество как биогенный источник элементов питания растений, который оказывает существенное влияние на структурное состояние эмбриоземов, физические, водно-физические и физико-механические свойства почв; играет ведущую роль в их биологическом режиме, способствуя поддержанию определенного уровня биологической активности, то в подкноновых и прикноновых зонах несомкнутых насаждений

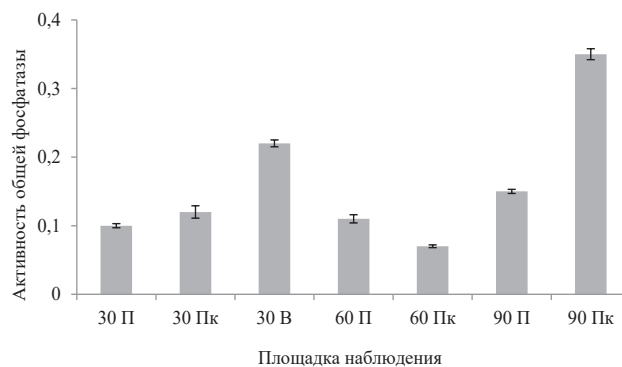
формируются наиболее благоприятные условия дезинтеграции техногенных элювиев.

Содержание подвижного фосфора в почве отвала на большинстве учетных площадок характеризуется как очень низкое и низкое (17–49 мг/кг). Некоторый всплеск уровня этого элемента отмечается в эмбриоземах среднесомкнутых насаждений – средняя обеспеченность (55–82 мг/кг), что, возможно, объясняется спорадическим присутствием в составе техногенного элювия повышенной доли алевролитов, которые, разрушаясь, образуют соли ортофосфорной кислоты. Фосфор играет важную роль в делении и развитии клеток, связан с механизмом обмена энергии в них. Лишь незначительная часть фосфора может поступать с атмосферными осадками и атмосферной пылью, поэтому источником фосфора на участках рекультивации становятся сами эмбриоземы или насаждения, которые преобразуют соединения фосфора, поднимая их из нижележащих горизонтов породы, и способствуют аккумуляции фосфора в приповерхностном слое в составе корневых выделений и/или подстилки. Отсутствие закономерности в содержании фосфора по зонам ФП свидетельствует о том, что сосновые молодняки II класса возраста не влияют на режим накопления фосфора в эмбриоземах.

Стоит отметить, фосфорное питание растений зависит не только от содержания в почве доступного на данный момент фосфора, но и от активности ряда ферментов, участвующих в переводе фосфора из запасного фонда в подвижные формы. Фосфатазная активность образцов, собранных в конце вегетационного периода (III декада сентября), характеризуется как очень слабая. Меньше всего общей фосфатазы накапливается в прикромной зоне среднесомкнутых насаждений (60 Пк) – 0,07 мг  $P_2O_5$  / г почвы за 30 мин. Максимум отмечен в прикромной зоне высокосомкнутых насаждений (рис. 2).

Рис. 2. Фосфатазная активность эмбриоземов (мг  $P_2O_5$  / г почвы за 30 мин) на учетных площадках (сентябрь 2018 г.)

Fig. 2. Phosphatase activity of embryozems (mg  $P_2O_5$  / g soil for 30 min) at survey sites (September 2018)



Из литературных источников известно, что при увеличении содержания подвижного фосфора в почве активность фосфатазы уменьшается [15]. Наши исследования в целом подтверждают эту закономерность.

Массовая доля общего азота в почвах колеблется от 0,12 до 0,38 %. Максимальный уровень азота отмечается во всех зонах ФП несомкнутых насаждений и соответствует содержанию общего азота в зональных почвах,



что обусловлено деятельностью травянистых видов. Содержание во всех образцах почвы нитратного азота  $< 2,8$  мг/кг – ниже предела обнаружения; аммонийного азота – очень низкое с максимальным количеством 8,7–12,6 мг/кг во внутренних зонах несомкнутых насаждений и минимальным – 2,6–3,1 мг/кг – в сомкнутых насаждениях. Среднесомкнутые насаждения по содержанию аммонийного азота занимают промежуточное положение.

Азот – важнейший элемент, участвующий в почвообразовании, содержание азота интегральным образом свидетельствует об интенсивности этого процесса, поэтому можно считать, что на данном этапе почвообразование в эмбриоземах протекает слабо. Однако наиболее вероятные предпосылки для усиления почвенно-экологического эффекта отмечаются под покровом несомкнутых сосновых насаждений, причем как за счет травянистых видов, так и за счет сосны, которая в условиях слабой внутривидовой конкуренции характеризуется максимальным развитием подземных органов, обеспечивающих функционирование симбиотрофных макромицетов. В сомкнутых насаждениях, как и в среднесомкнутых, травянистый покров значительно менее развит или отсутствует, а деревья сосны менее устойчивы и, несмотря на свою эдификаторную роль и способность поддерживать собственное азотное питание [23], не обеспечивают бездефицитность азотного режима местообитания в целом.

Интенсивность разложения азотосодержащего органического вещества в почве оценивают по ее протолитической активности. Протеазы расщепляют белки до полипептидов и аминокислот, далее они подвергаются гидролизу до аммиака, диоксида углерода и воды. Протеазы имеют важнейшее значение в жизни почвы, т. к. с ними связаны изменение состава органических компонентов и динамика усвояемых для растений форм азота. В связи с этим протеазную активность можно рассматривать как прогнозный индикатор азотного режима.

Как было выявлено, в прикромовой зоне редины активность протеазы средняя – 3,5 мг глицина / г почвы за 24 ч; на остальных участках – слабая (рис. 3).

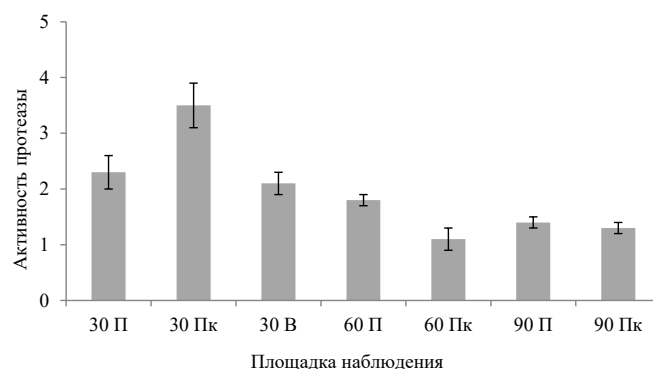


Рис. 3. Протеазная активность эмбриоземов (мг глицина / г почвы за 24 ч) на учетных площадках (сентябрь 2018 г.)

Fig. 3. Protease activity of embryozems (mg glycine / g soil for 24 h) at survey sites (September 2018)

Установлено, что с ростом содержания в почве общего азота повышается ее протеазная активность [9]. Нитраты и обменный аммоний являются основными источниками азота, обеспечивающими питание растений. Большая часть аммонийного азота в почве находится в поглощенном или обменном состоянии.

Почвы исследуемых участков достаточно обеспечены калием. Меньше всего калия в почве подкроновой и прикроновой зон высокосомкнутых насаждений – 125 и 100 мг/кг (средняя и повышенная обеспеченность) соответственно. На остальных участках обеспеченность калием повышенная и высокая. Больше всего калия в подкроновых зонах редин и среднесомкнутых насаждений – 180 мг/кг. Высокое содержание этого элемента свидетельствует о возрастании роли почвенно-поглощающего комплекса эмбриоземов в результате разложения техногенного элювия со значительным содержанием глинистых минералов – к обменной форме калия относится калий диффузного слоя почвенных коллоидов, являющийся основным источником питания растений. Учитывая, что калий – один из основных макроэлементов минерального питания, который участвует в процессах синтеза и оттока углеводов в растениях, обуславливает водоудерживающую способность клеток и тканей, влияет на устойчивость растений к засухе и поражаемость культур болезнями, его высокое содержание под покровом сосновых насаждений можно рассматривать как один из признаков устойчивости сосны, произрастающей на техногенных элювиях угольных месторождений.

Оценка плодородия методом фитометров показала соответствие габитуальных характеристик исследуемых видов приуроченности к определенным зонам фитогенного поля сосны обыкновенной (табл. 3). *Melilotus officinalis* L., располагающийся в прикроновых зонах, во внешних зонах имеет минимальную массу, а *Poa pratensis* L., который формирует основное проективное покрытие в подкроновых зонах разреженных насаждений, – наименее развитые побеги в субстрате из прикроновых зон. *Trifolium hybridum* L. Произрастает во внешних зонах. Как и большинство луговых видов, он отрицательно реагирует на фитогенное поле сосны, не отвечает на различные субстраты изменением длины побега, но характеризуется максимальной фитомассой при выращивании на субстрате из внешней зоны.

Таблица 3

**Высота и масса побегов культур в почве, взятой в различных зонах фитогенного поля *Pinus sylvestris* L. на отвалах**

Зона произрастания	<i>Melilotus officinalis</i> L.	<i>Poa pratensis</i> L.	<i>Trifolium hybridum</i> L.
<i>Высота, см</i>			
Подкроновая	8,70±0,27	8,89±0,35	5,35±0,19
Прикроновая	6,42±0,30	5,79±0,23	5,45±0,26
Внешняя	4,86±0,25	6,26±0,29	5,50±0,29
<i>Масса, г</i>			
Подкроновая	1,315±0,005	0,340±0,003	0,642±0,003
Прикроновая	0,787±0,006	0,163±0,004	1,052±0,006
Внешняя	0,794±0,002	0,228±0,005	0,914±0,002

Таким образом, методом фитометров установлено, что реакция видов на произрастание с сосной обыкновенной на отвалах объясняется в том числе и почвенными условиями, характерными для каждой зоны фитогенного поля, поскольку каждый вид отвечает повышением ростовых процессов при выращивании в субстратах, взятых из этих зон.

### *Заключение*

Сосновые насаждения ускоряют дезинтеграцию техногенных элювиев с образованием мелкоземных фракций, имеющих важное почвенно-экологическое значение. Этот процесс наиболее выражен в подкروновых зонах несомкнутых насаждений. Резкое превышение здесь массы подстилки способствует накоплению органического вещества почвы, однако вследствие преобладания в подстилке опада сосны происходит подкисление эмбриоземов, в то время как во внешних зонах, где опад сосны не встречается, субстрат сохраняет нейтральную реакцию и обладает большей буферностью вследствие увеличения суммы поглощенных оснований под влиянием присутствия травянистой растительности.

Преобладание в подстилке опада травянистой растительности над опадом сосны в несомкнутых насаждениях благоприятствует накоплению в эмбриоземах общего азота и, в некоторой степени, его доступных форм. Недостаток аммонийного и особенно нитратного азота свидетельствует о начальной стадии становления режима питания местообитаний. Сосна обыкновенная не оказывает влияния на содержание легкодоступных форм фосфора и калия – оно зависит от литогенных, а не от фитоценологических факторов. Таким образом, эдификаторным механизмом сосны обыкновенной по преобразованию техногенных элювиев является накопление лесной подстилки, способствующей образованию органического вещества и улучшению азотного режима, и деятельность корневых систем, благоприятствующая дезинтеграции элювиев.

Фосфатазная и протеазная активность почвы напрямую зависят от содержания в ней фосфора и азота. С увеличением содержания фосфора фосфатазная активность снижается, с увеличением содержания азота растет протеазная активность. По агрохимическим показателям эмбриоземы благоприятны для произрастания травянистых растений вследствие горизонтальной дифференциации пространства под влиянием древостоев сосны обыкновенной.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Акулов П.Г., Афанасьев Р.А., Гамзиков Г.П., Гетманский В.З., Гурова Э.С., Иванова Т.И., Коробской Н.Ф., Костина Л.П., Никитин В.В., Новоселов С.И., Окорков В.В., Потатурина Н.В., Доманов Н.М., Цыгуткин А.С., Чичкин А.П., Чуб М.П., Шафран С.А., Ширинян М.Х. Научные основы и рекомендации по диагностике и оптимизации минерального питания зерновых и других культур. М.: Агроконсалт, 2000. 100 с. Akulov P.G., Afanas'yev R.A., Gamzikov G.P., Getmanskiy V.Z., Gyurova E.S., Ivanova T.I., Korobskoy N.F., Kostina L.P., Nikitin V.V., Novoselov S.I., Okorkov V.V., Potaturina N.V., Domanov N.M., Tsygutkin A.S., Chichkin A.P., Chub M.P.,

Shafran S.A., Shirinyan M.Kh. *Scientific Basis and Recommendations for Diagnosis and Optimization of Mineral Nutrition of Cereals and Other Crops*. Moscow, Agrokonsalt Publ., 2000. 100 p.

2. Андроханов В.А., Берлякова О.Г. Состояние лесных культур и почвенного покрова на рекультивированном отвале угольного разреза // Сиб. лесн. журн. 2016. № 2. С. 22–31. Androkhonov V.A., Berlyakova O.G. Condition of Forest Crops and Soil Cover at Reclaimed Dump of Coal Mine. *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2016, no. 2, pp. 22–31. DOI: <https://doi.org/10.15372/SJFS20160202>

3. Андроханов В.А., Куляпина Е.Д., Курачев В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск: СО РАН, 2004. 151 с. Androkhonov V.A., Kulyapina E.D., Kurachev V.M. *Soils of Technogenic Landscapes: Genesis and Evolution*. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2004. 151 p.

4. Артемкина Н.А., Лукина Н.В., Орлова М.А. Пространственное варьирование содержания вторичных метаболитов, углерода и азота в подстилках северотаежных ельников // Лесоведение. 2018. № 1. С. 37–47. Artemkina N.A., Lukina N.V., Orlova M.A. Spatial Variability of Secondary Metabolites, Carbon and Nitrogen in Litters of Spruce Forests in Northern Taiga. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2018, no. 1, pp. 37–47. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0024114818010035>

5. ГОСТ Р 54650–2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. Технические требования: дата введения 2013-01-01. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с. *State Standard. GOST R 54650–2011. Soils. Determination of Mobile Phosphorus and Potassium Compounds by Kirsanov Method Modified by CINAO*. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 8 p.

6. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2014 году. Кемерово, 2015. 459 с. *Report on the State and Protection of the Environment of the Kemerovo Region in 2014*. Kemerovo, 2015. 459 p.

7. Журавлева Е.Н., Ипатов В.С., Лебедева В.Х., Тиходеева М.Ю. Изменение растительности на лугах под влиянием сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Вестн. СПбГУ. Сер. 3.: Биология. 2012. Вып. 2. С. 3–12. Zhuravleva E., Ipatov V., Lebedeva V., Tikhodeeva M. Vegetation Changes in Meadows under the Influence of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Vestnik SPbGU. Seriya 3: Biologiya* [Biological Communications], 2012, iss. 2, pp. 3–12.

8. Крышень А.М., Хокканен Т. Фитогенное поле сосны // Тез. докл. Междунар. конф. «Экология таежных лесов». Сыктывкар, 1998. С. 87–88. Kryshen' A.M., Hokkanen T. Phytogenic Field of Pine. *Proceedings of the International Conference "Ecology of Taiga Forests"*. Syktyvkar, 1998, pp. 87–88.

9. Муртазина С.Г. Динамика азота и ферментативной активности под влиянием эрозии в почвах Республики Татарстан // Агрохим. вестн. 2006. № 6. С. 6–7. Murtazina S.G. Dynamics of Nitrogen and Enzymatic Activity under the Influence of Erosion in Soils of the Republic of Tatarstan. *Agrokhimicheskiy vestnik* [Agrochemical Herald], 2006, no. 6, pp. 6–7.

10. Практикум по агрохимии / под ред. В.Г. Минеева. М.: МГУ, 2001. 689 с. *Workshop on Agrochemistry*. Ed. by V.G. Mineyev. Moscow, MSU Publ., 2001. 689 p.

11. Решетникова Т.В., Зырянова А.А., Ведрова Э.Ф. Трансформация органического вещества лесной подстилки (экспериментальное исследование) // Вестн. КрасГАУ. 2014. № 6. С. 80–93. Reshetnikova T.V., Zyryanova A.A., Vedrova E.F. The Organic Substance Transformation of the Forest Ground Litter (Experimental Research). *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2014, no. 6, pp. 80–93.

12. Сорокин Н.Д., Сорокина О.А. Изменение биологического состояния старопашотных почв под влиянием сосняков разного возраста (Среднее Приангарье) // Успехи современной биологии. 2008. Т. 128, № 2. С. 171–179. Sorokin N.D., Sorokina O.A. Changes in the Biological State of Old Plow Soils under the Influence of Pine Forests of Different Age (the Middle Angara River Basin). *Uspekhi sovremennoi biologii* [Biology Bulletin Reviews], 2008, vol. 128, no. 2, pp. 171–179.

13. Степанова О.И., Просьянников В.И., Клевлина Т.П. Справочник агрохимика Кемеровской области. Кемерово: Практика, 2018. 228 с. Stepanova O.I., Prosyannikov V.I., Klevlina T.P. *Handbook of Agricultural Chemist of the Kemerovo Region*. Kemerovo, Praktika Publ., 2018. 228 p.

14. Титова В.И., Козлов А.В. Методы оценки функционирования микробиоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества: науч.-метод. пособие. Н. Новгород: НГСХА, 2012. 64 с. Titova V.I., Kozlov A.V. *Methods for Assessing the Functioning of Soil Microbiocenosis Involved in the Transformation of Organic Matter*. Nizhny Novgorod, NNAА Publ., 2012. 64 p.

15. Турусов В.И., Гармашов В.М., Дьячкова Т.И. Ферментативная активность чернозема обыкновенного в различных севооборотах при разных способах обработки почвы // Агрохимия. 2012. № 9. С. 21–25. Turusov V.I., Garmachov V.M., Diachkova T.I. Enzymatic Activity of Ordinary Chernozem under Different Crop Rotations and Different Tillage Practices. *Agrohimia* [Eurasian Soil Science], 2012, no. 9, pp. 21–25.

16. Уфимцев В.И. Естественное возобновление и семеношение сосновых насаждений на отвалах Кузбасса // Сиб. лесн. журн. 2016. № 6. С. 84–93. Ufimtsev V.I. Natural Regeneration and Seed Production of Pine Stands on the Dumps of Coal Mining Industry in Kuzbass. *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2016, no. 6, pp. 84–93. DOI: <https://doi.org/10.15372/SJFS20160608>

17. Уфимцев В.И., Беланов И.П., Бочаров Д.А. Зонирование фитогенных полей деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающих на участках лесной рекультивации Кедровского угольного разреза // Вестн. КемГУ. 2015. № 1-2(61). С. 44–48. Ufimtsev V.I., Belanov I.P., Bocharov D.A. Zoning of Phytogeneous Fields of the Common Pine (*Pinus sylvestris* L.) Trees Growing on Reforestation Sites of Kedrovsky Coal Mine. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Kemerovo State University], 2015, no. 1-2(61), pp. 44–48.

18. Уфимцев В.И., Стрельникова Т.О., Куприянов О.А. Структура живого напочвенного покрова в сосняках на участках рекультивации Кузбасса // Вестн. ТГУ. Биология. 2018. № 44. С. 36–58. Ufimtsev V.I., Strelnikova T.O., Kupriyanov O.A. Structure of the Living Ground Cover in Pine Forests on Dumps of Kuzbass. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Biologiya* [Tomsk State University Journal of Biology], 2018, no. 44, pp. 36–58. DOI: <https://doi.org/10.17223/19988591/44/3>

19. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 192 с. Khaziyev F.Kh. *Methods of Soil Enzymology*. Moscow, Nauka Publ., 2005. 192 p.

20. Цандекова О.Л., Уфимцев В.И. Формирование подстилки пойменных лесных биогеоценозов с участием *Acer negundo* L. // Изв. вузов. Лесн. журн. 2019. № 3. С. 73–81. Tsandekova O.L., Ufimtsev V.I. Formation of Floodplain Forest Biogeocenosis Litter with the Participation of *Acer negundo* L. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forest Journal], 2019, no. 3, pp. 73–81. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.3.73>

21. Cotrufo F.M., Soong J.L., Horton A.J., Campbell E.E., Haddix M.L., Wall D.H., Parton W.J. Formation of Soil Organic Matter via Biochemical and Physical Pathways of Litter Mass Loss. *Nature Geoscience*, 2015, vol. 8, iss. 10, pp. 776–779. DOI: <https://doi.org/10.1038/ngeo2520>

- 
22. Grabherr G. Biodiversity in Mountain Forests. *Forest in Sustainable Mountain Development*. New York, CABI, 2000, pp. 28–38. DOI: <https://doi.org/10.1079/9780851994468.0028>
23. Kaar E. Coniferous Trees on Exhausted Oil-Shale Opencast Mines. *Forestry Studies*, 2002, vol. 36, pp. 120–125.
24. Kiikkilä V., Kitunen V., Spetz P., Smolander A. Characterization of Dissolved Organic Matter in Decomposing Norway Spruce and Silver Birch Litter. *European Journal of Soil Science*, 2012, vol. 63, iss. 4, pp. 476–486. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2012.01457.x>
25. Lyons A. Pines Do not Damage Soils. *Private Forests Tasmania*. 2001, pp. 1–4.
26. Rhoades C.C. Single-Tree Influences on Soil Properties in Agroforestry: Lessons from Natural Forest and Savanna Ecosystems. *Agroforestry Systems*, 1997, vol. 35, iss. 1, pp. 71–94. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02345330>
27. Ufimtsev V.I., Belanov I.P., Kupriyanov O.A. Ecological-Cenotic Role of Phyto-genous Fields of Scots Pine on Coal Dumps. *Contemporary Problems of Ecology*, 2016, vol. 9, iss. 1, pp. 140–149. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995425516010169>
28. Yashin I.M., Vasenev I.I., Valentini R., Petukhova A.A., Kogut L.P. Studies of the Influence of Soil Biogenic Acidity on Podzol Formation. *Izvestiya TSKhA* [Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy], 2013, iss. S, pp. 180–196.