

УДК 582:581(082)  
ББК 28.59я43  
И73

**Редакционная коллегия:**

д.б.н., чл.-корр. НАН Беларуси *В. В. Титок* (ответственный редактор),  
к.б.н. *П. Н. Белый*; к.б.н. *И. М. Гаранович*; д.б.н. *Н. В. Гетко*;  
к.б.н. *Л. А. Головченко*; *С. М. Кузьменкова*; д.б.н. *Е. Н. Кутас*;  
к.б.н. *Н. М. Лунина*; к.б.н. *О. В. Чижик*; к.б.н. *А. П. Яковлев*

**Рецензенты:**

доктор биологических наук, Ботанический институт  
имени В. Л. Комарова Российской академии наук *К. Г. Ткаченко*;  
кандидат биологических наук, Институт экспериментальной  
ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси  
*А. В. Пугачевский*

**Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия флоры** : материалы международной научной конференции, посвященной 90-летию Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси (Минск, 28 июня – 1 июля 2022 г.). В 2 ч. Ч. 1 / Нац. акад. наук Беларуси [и др.] ; редкол.: В.В. Титок [и др.] – Минск : Белтаможсервис, 2022. – 526 с.

ISBN 978-985-7004-74-4

В сборнике представлены материалы международной научной конференции, посвященной 90-летию Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси. Часть 1: секция 1 «Теоретические основы и практические результаты интродукции растений» и секция 2 «Экология, физиология и биохимия интродуцированных растений».

УДК 582:581(082)  
ББК 28.59я43

ISBN 978-985-7004-74-4 (ч. 1)  
ISBN 978-985-7004-72-0

© ГНУ «Центральный ботанический сад  
Национальной академии наук Беларуси», 2022  
© Оформление. РУП «Белтаможсервис», 2022

## АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ФОРМИРУЮЩИХСЯ ПОЧВ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫХ КАРЬЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ

**Яковлев А. П., Булавко Г. И., Белый П. Н. Вашкевич М. Н.,  
Антохина С. П., Козырь О. С., Лешков А. А.**

*Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь*

**Резюме.** Выполнены исследования агрохимических свойств и микробиологической активности формирующихся почв песчано-гравийных карьерных комплексов на разных стадиях восстановительной сукцессии в ходе лесной рекультивации. На начальном этапе наблюдения почвенный микробиоценоз и агрохимические характеристики имеют невысокие показатели активности, однако уже наблюдаются признаки формирования почвенного профиля.

## AGROCHEMICAL CHARACTERISTICS AND MICROBIOLOGICAL ACTIVITY OF FORMING SOILS OF SAND AND GRAVEL QUARRY COMPLEXES

**Yakovlev A. P., Bulavko G. I., Bely P. N. Vashkevich M. N.,  
Antokhina S. P., Kozyr O. S., Leshkov A. A.**

**Summary.** The agrochemical properties and microbiological activity of the emerging soils of sand and gravel quarry complexes at different stages of restorative succession during forest reclamation have been studied. At the initial stage of observation, the soil microbiocenosis and agrochemical characteristics have low activity indicators, however, signs of the formation of a soil profile are already observed.

Деградация земель относится к числу наиболее актуальных экологических проблем Беларуси, Одним из сдерживающих факторов ее устойчивого развития. Основными ее причинами являются трансформация земель при добыче и переработке полезных ископаемых и ведении строительных работ. Наиболее опасным является открытый способ разработки, поскольку карьеры добычи минерального сырья меняют рельеф территории, гидрологический режим, могут являться дополнительным источником большого количества выбросов углекислого газа в атмосферу, также они влияют на круговорот веществ и снижают уровень биоразнообразия. Все перечисленное обосновывает необходимость исследования механизмов восстановления процессов педогенеза для научного обоснования проведения рекультивации.

При непосредственном техногенном воздействии на почвенный покров в первую очередь происходит трансформирование или уничтожение гумусовых и/или органогенных горизонтов, вследствие чего значительно увеличивается неоднородность почвенного покрова, усложняется его структура, приводящие к снижению производственной способности техногенного субстрата. Бедность субстрата элементами питания, неблагоприятный механический состав и водно-физические свойства пород являются дополнительными препятствиями для восстановления посттехногенных участков.

Целью исследований являлось изучение агрохимических свойств и микробиологической активности формирующихся почв песчано-гравийных карьерных комплексов на разных стадиях восстановительной сукцессии в ходе лесной рекультивации.

Работы проводились на территории Витебской области (Глубокский район), в границах которого расположены вспомогательные производства по переработке песчано-гравийной смеси «Крулевщина» и «Боровое». С целью получения информации о влиянии карьерного способа добычи минерального сырья на состояние почвы и растительности заложена сеть временных пробных площадей (ВПП). В пределах каждого участка были сделаны почвенные прикопки (от 1 до 3 на 1 участок), для которых выполнены полевые описания почв, с отдельно взятого почвенного горизонта отобраны образцы для выполнения лабораторных анализов по общепринятым методикам [1]. Для определения активности микроорганизмов, участвующих в процессе почвообразования использовали общепринятые методы [2, 3].

Недостаток или избыток определенных минеральных веществ в почве способен значительно сдерживать сукцессионные процессы. В первую очередь принято оценивать содержание азота, фосфора и калия [4]. В таблице приведены данные лабораторных исследований.

**Таблица. Агрохимическая характеристика почвенного субстрата песчано-гравийных карьеров, 2021**

Место отбора Глубина, см	pH <sub>KCl</sub>	pH <sub>H2O</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	Гумус,%	
			мг/кг почвы							
<i>карьер ПГС «Боровое»</i>										
<b>ВПП-1</b> 0-10	7,7	7,8	471,1	1,7	569,6	5,1	0,0	534,3	0,8	
10-20	7,8	7,8	366,2	1,5	598,6	1,1	0,0	261,3	0,8	
20-30	8,0	8,0	456,4	1,3	827,8	0,9	0,0	392,6	-	
30-40	8,2	8,2	576,1	1,8	668,5	2,3	0,0	711,1	-	
40-50	8,1	8,2	576,1	2,3	926,7	3,3	0,0	504,0	-	
<b>ВПП-2</b> 0-10	7,4	7,7	492,1	2,6	849,5	2,1	0,0	233,4	0,8	
10-20	7,3	7,5	607,5	3,8	921,9	2,9	0,0	317,3	0,6	
20-30	7,3	7,4	561,4	2,7	748,2	3,8	0,5	161,8	-	
30-40	7,2	7,3	599,1	1,9	917,1	3,5	0,0	184,3	-	
40-50	7,4	7,4	550,9	2,1	707,2	0,6	0,0	107,7	-	
<b>ВПП-3</b> 0-10	7,2	7,6	307,4	1,8	458,6	3,8	1,0	340,0	0,4	
10-20	7,4	7,6	338,9	2,0	731,3	3,9	1,5	481,9	0,0	
20-30	7,6	7,7	328,4	1,6	598,6	2,9	0,0	429,3	-	
30-40	7,6	7,6	343,1	2,3	774,7	3,3	2,1	364,5	-	
40-50	7,7	7,8	647,4	1,6	475,5	4,4	1,2	490,6	-	
<b>ВПП-4</b> 0-10	7,8	7,7	651,6	1,8	765,1	0,9	0,0	313,7	0,7	
10-20	7,4	7,8	563,5	1,3	796,4	1,7	0,0	305,0	0,7	
20-30	7,7	7,9	414,5	1,2	1196,9	1,1	0,0	123,4	-	
30-40	7,5	7,8	397,7	1,5	1168,0	2,0	0,0	208,8	-	
40-50	7,5	7,6	462,7	1,4	680,6	1,8	0,0	233,3	-	
<b>ВПП-5</b> 0-10	6,3	6,8	500,5	1,5	210,1	5,6	0,4	147,4	1,1	
10-20	7,2	7,6	632,7	1,7	712,0	2,9	0,0	397,9	0,6	
20-30	7,7	8,0	636,9	2,2	538,3	2,3	0,0	952,0	-	
30-40	7,7	7,8	727,1	2,4	502,1	2,1	0,0	1826,1	-	
40-50	7,5	7,6	681,0	1,8	473,1	3,8	0,0	1232,0	-	
<b>ВПП-6</b> 0-10	6,6	7,0	462,7	2,9	572,0	5,0	3,4	289,3	1,7	
10-20	6,2	6,8	844,7	3,0	610,6	7,1	2,7	175,5	2,9	
20-30	6,7	7,4	687,3	3,5	876,0	4,3	1,2	385,5	-	
30-40	6,8	7,3	341,0	6,1	516,6	5,0	6,1	264,8	-	
40-50	7,1	7,2	487,9	4,6	470,7	5,0	2,6	181,0	-	
<i>карьер ПГС «Крулевицзна»</i>										
<b>ВПП-7</b> 0-20	7,2	7,5	96,5	10,9	705,9	22,1	7,3	5686,5	1,3	
20-40	7,2	7,7	90,25	14,1	800,5	11,3	0	8347,9	0,5	
40-50	7,5	7,8	101,8	10,1	662,2	10,9	0,7	8674,8	0,6	
<b>ВПП-8</b> 0-20	7,4	7,6	154,2	13,4	848,5	26,4	12,7	7131,3	1,7	
20-40	7,2	7,8	129,1	17,4	876,7	10,6	0,0	9110,5	0,6	

Место отбора Глубина, см	pH <sub>KCl</sub>	pH <sub>H2O</sub>	мг/кг почвы						Гумус, %
			N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	
40–50	7,6	7,8	74,5	10,8	693,2	10,5	1,4	7568,8	0,6
<b>ВПП-9</b> 0–20	7,0	7,4	38,8	8,3	563,3	17,7	1,8	4242,0	0,8
20–40	7,2	7,6	51,4	10,7	724,2	12,0	0,0	7585,4	0,4
40–50	7,4	7,7	129,1	9,4	631,1	11,4	0,0	9780,8	0,5

Согласно полученным результатам, содержание фосфора далеко не всегда было максимальным в верхнем горизонте. Измерения содержания этого элемента по всему профилю почв было неравномерным на всех площадках. Содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в первые годы зарастания варьирует от 569,6 до 921,9 мг/кг, к 10–15 годам концентрация несколько снижается (ВПП 3–458,6–774,7 мг/кг) или значительно возрастает ВПП 4 – до 1196,9 мг/кг. К 30 годам зарастания содержание фосфатов на ВПП 5 падает до минимума 210,1 мг/кг в верхнем 10-сантиметровом горизонте. Снижение концентрации со временем на карьере может быть вызвано выносом фосфора растениями, поскольку вследствие слабой подвижности, в почве практически отсутствуют естественные пути потерь Р.

Песчаные карьеры характеризуются минимальным содержанием обменного калия и, как правило, содержат небольшое его количество (от 0,6 до 7,1 мг/кг). Согласно нашим результатам, максимальным содержанием калия характеризовались ВПП 7–9, где в верхнем горизонте накапливается от 17,7 до 26,4 мг/кг.

Накопление аммонийного азота значительно варьирует на разных участках, в аналогичных горизонтах одного карьера кратность различий достигала 1,5–2,0. Выделить тенденции изменения этого показателя с глубиной сложно, хотя практически для всех пробных площадок карьера «Боровое» наблюдалось незначительное в 1,3–1,6 раза увеличение накопления аммонийного азота в горизонте 10–20 см, чем поверхностном слое. Только для ВПП-1 и ВПП-4 в горизонте 0–10 см накопление N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> оказалось более активным, чем в нижележащем горизонте. Если для первой площадки это вполне объяснимо, когда данный эффект может быть связан с еще недавно проведенными горнотехническими работами по распределению по площади плодородного грунта, то для 15-летних лесных культурах сосны и березы пока остается не совсем понятным. Обращает на себя внимание еще один факт, что с увеличением возраста лесных культур концентрация аммонийного азота в корнеобитаемом слое (0–20 см) незначительно увеличивается.

Содержание нитратов характеризует обеспеченность почв минеральным азотом. Значения этого показателя значительно ниже, чем аммонийного и варьируют в более узком диапазоне от 1,2 до 4,6 мг/кг. Низкая концентрация может быть объяснена высокой подвижностью элемента и его миграцией с осадками. Сложно выделить какие-либо тенденции, однако в отличие от предыдущего показателя в среднем на песчаном карьере «Крулевщизна» значения оказались на порядок выше, чем на ВПП-1–6.

Содержание элементов минерального питания хотя и является лимитирующим фактором для восстановления растительности, но иногда оно оказывалось большим, чем ожидалось согласно общепринятым представлениям о содержании того или иного вещества в рассматриваемом типе почв. Начальное почвообразование обусловлено не столько сроком зарастания, а скорее степенью сформированности растительного сообщества. Так, участки, лишённые растительного покрова, морфологически сильно отстают в развитии участков того же возраста, но имеющих сформированное растительное сообщество. При этом возможность поселения растений определяется в первую очередь субстратом. В случаях, когда растительное сообщество несформировано преобладает антропогенная трансформация субстрата. Это соответствует нулевому этапу сукцессии по классификации О. И. Суминой [5].

Среди факторов почвообразования именно микробиоту многие исследователи считают важнейшим. Без воздействия организмов на верхние горизонты земной коры не может существовать почвообразовательный процесс и формироваться почвенное плодородие.

Активность респирации на песчаных карьерах, после фиторекультивационных мероприятий на основе создания лесных культур с различным временным аспектом была в 2–5 раза ниже, чем

в сформированной почве, где исследуемая величина не превышала 1,0 мкг С-СО<sub>2</sub>/г почвы в час. Независимо от стадии формирования почвы при достаточной влажности микроорганизмы предпочитают верхний (0–10-сантиметровый) слой, где выше температура, степень аэрируемости и количество корней растений (корневых выделений). Возможно, поэтому не всегда активность микроорганизмов была высокой в слое 0–10 см, учитывая аномально высокую температуру летом 2021 г.

Если для 3-х и 10-ти летних посадок сосны и березы (ВПП-1–3) значения параметра в корнеобитаемом слое (0–20 см) были на уровне 0,42–0,56 мкг С-СО<sub>2</sub>/г почвы в час, то уже для 15-ти летних и более старшего возраста лесных культур активность дыхания микробиоты увеличивалась в 1,8 раза, причем наиболее высокая активность процесса отмечена на ВПП-5, где респирация верхнего корнеобитаемого слоя достигала 1,00 мкг С-СО<sub>2</sub>/г почвы в час, что на 20 % превышало аналогичные показатели для культур 65-летнего возраста (ВПП-6). Выявленные закономерности были характерны и для облесенных участков на карьере «Крулевщизна».

Поскольку в осуществлении почвенно-биологических процессов участвуют только активно функционирующие микроорганизмы, находящиеся в физиологически активном состоянии, характеристика величины микробоценоза проведена по оценке биомассы физиологически активных микроорганизмов, свидетельствующая об относительно невысоких запасах микробной массы корнеобитаемого слоя (0–20 см) – 120,8–183,1 мкг С/г почвы в карьере «Боровое» и 158,6–197,7 мкг С/г почвы в карьере «Крулевщизна». Но при этом изучаемый показатель на площадках более молодого возраста был выше, чем у 65-летних культур сосны и березы. Исключение составили только почвы ВВП-5, где количество микробиомассы также в 1,4–1,6 раза превышало характеристики молодых лесных культур. Вместе с тем, прослеживалась аналогичная тенденция снижения величины микробной массы вниз по почвенным горизонтам, что подтверждает высказанное нами ранее свидетельство о начальной стадии формирования почвенных горизонтов

Влияние микробоценоза для восстановления экосистемы достаточно значительно. Установлено, что на ранних стадиях почвообразования в техногенном элювии, где азот в доступных для растений формах жестко лимитирован, биомасса микроорганизмов является практически единственным и довольно значительным источником доступной формы элемента для обеспечения автотрофного синтеза органического вещества. На начальном этапе наблюдения почвенный микробоценоз имеет невысокие показатели активности, однако наблюдаются признаки формирования почвенного профиля. Существенные отличия от зональных почв прослеживаются в верхних слоях почвы. Активность дыхания в 2–5 раз, а величина биомассы в 1,5–2,0 раза ниже, чем в ненарушенных почвах данного типа.

### Список литературы

1. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 488 с.
2. Ананьева, Н. Д. Микробиологическая оценка почв в связи с самоочищением от пестицидов и устойчивостью к антропогенным воздействиям: автореф. дис. ... д-ра. биол. наук: 03.00.27 / Н. Д. Ананьева; – МГУ; Москва, 2001. – 50 с.
3. Anderson, J. P. S. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils / J. P. S. Anderson, K. Domsch // Soil Biol. Biochem. – 1978. – V. 10. – P. 215–221.
4. Никитишен, В. Н. Агрехимические основы эффективного применения удобрений в интенсивном земледелии / В. Н. Никитишен. – М. 1984. – 214 с.
5. Сумина, О. И. Формирование растительности на техногенных местообитаниях Крайнего Севера России: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.01 / О. И. Сумина; – СПбГУ; СПб., 2011. – 46 с.