

Д.В. Сыщиков, И.В. Агурова, С.П. Жуков

ВЛИЯНИЕ МОНОВИДОВЫХ СООБЩЕСТВ РАСТЕНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ АЗОТА В ЭДАФОТОПАХ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Государственное учреждение «Донецкий ботанический сад»

В результате проведенных исследований установлено, что независимо от типа почв сезонная динамика содержания нитритной и нитратной форм азота в эдафотопях изучаемых мониторинговых участков достаточно монотонна: наибольшее их количество наблюдается весной, снижается летом и вновь возрастает осенью. Для аммонийного азота отмеченная закономерность сохраняется не на всех мониторинговых участках, поскольку в примитивных неразвитых почвах на песчанике не зафиксировано сезонных колебаний концентрации обменного аммония. При проведении фиторекультивации превалирующей тенденцией является увеличение концентрации минеральных соединений азота в почве.

Ключевые слова: нитратный азот, обменный аммоний, нитритный азот, мониторинговый участок, эдафотоп

Цитирование: Сыщиков Д.В., Агурова И.В., Жуков С.П. Влияние моновидовых сообществ растений на содержание различных форм азота в эдафотопях нарушенных земель // Промышленная ботаника. 2021. Вып. 21, № 2. С. 46–53.

Введение

В результате хозяйственной деятельности человека и влияния абиотических факторов происходит разрушение земель, заключающееся в изменении их целостности и перемещении почвенного, напочвенного покрова и подстилающих горных пород, а также естественного режима грунтовых и поверхностных вод [2].

Техногенное воздействие замедляет развитие и дальнейшее формирование почвенного покрова, в связи с чем в условиях техногенеза мы часто имеем дело с неразвитым почвенным покровом, в котором нарушены все его основные составляющие, а количество элементов минерального питания снижено до критически низких величин.

Изучение почв техногенных ландшафтов, а именно механизмов их функционирования и путей эволюции, становится предметом пристального внимания ученых-почвоведов. Придерживаясь профильно-генетической классификации почв техногенных экотопов [3], мы рассматриваем антропогенно трансформированные почвы

как своего рода экоклин, внедренный в естественные ландшафты. В связи с нарушением взаимосвязи составных элементов экосистем эдафотопы техногенных экотопов можно рассматривать как особую категорию почв, которая лишь весьма поверхностно может напоминать сформированный почвенный покров. Это касается не только механизмов формирования почвенных горизонтов, но и ряда физических и химических свойств, содержания жизненно необходимых для произрастания растений элементов минерального питания, таких как фосфор, азот, калий, органического вещества и пр.

Одним из эффективных и недорогостоящих методов устранения вредоносного влияния техногенных объектов, в частности, отвалов угольных шахт, на окружающую среду является фиторекультивация, которая может стать механизмом, позволяющим приблизить условия почв техногенных экотопов к условиям естественных ландшафтов, устранить вредоносное воздействие тех-

ногенно загрязненных земель на прилегающие территории, вернув им биологическую и социально-экономическую ценность [12].

Цель и задачи исследований

Целью настоящих исследований было выявление закономерностей сезонной динамики различных форм минерального азота в эдафотонах техногенно нарушенных экосистем. В задачи исследований входило изучение влияния моновидовых сообществ растений на содержание доступных для растений форм азота, таких как нитратный, нитритный азот и обменный аммоний.

Объекты и методики исследований

Для исследования влияния моновидовых сообществ на содержание различных форм азота в эдафотонах нарушенных земель из общего количества мониторинговых участков, на которых проводятся целенаправленные фитоэкологические исследования, были выбраны пять. Именно на этих 5 участках был проведен высеv семян *Kitaibelia vitifolia* Willd. и *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC. на площади 1 м². При выборе участков принимали во внимание такие факторы как распространенность типа нарушения в пределах района исследований, степень антропогенной трансформации, возможность восстановления биологической продуктивности и вовлечения в экономическую деятельность, потенциальный экологический эффект при проведении рекультивационных мероприятий.

Описание почвенных разрезов проводили согласно общепринятым методикам [6, 10]. Отбор почвенных образцов осуществляли в течение 2020 г. по почвенным горизонтам [7] в весенний, летний и осенний сезоны.

Мониторинговый участок № 6. Территория, прилегающая к южной части отвала шахты № 12 «Наклонная» (Пролетарский район, г. Донецк, N 47°57'00.8", E 38°00'17.3"). Общее проективное покрытие 95–100 %. Доминируют *Elytrigia repens* (L.) Nevski и растущий группами *Vicia cracca* L. Рассеянно встречаются *Artemisia absinthium* L., *Verbascum lychnitis* L., *Achillea pannonica* Scheele, *Euphorbia virgata* Waldst. & Kit. Единично растут *Linaria vulgaris* L. и *Pilosella echinoides* (Lumn.) F. Schult. & Sch. Bip.

Разрез № 6. Чернозем обыкновенный средне гумусированный.

A – 0–47 см. Свежий, темно-бурый однородный, легкосуглинистый, среднезернистый, умеренно плотный. Новообразований и включений не отмечено. Много корней. Переход в горизонт B_h ясный по цвету и структуре.

B_h – 47–86 см. Свежий, светло-каштановый-коричневый, неоднородный, легкосуглинистый, среднезернистый, умеренно плотный. Новообразований и включений не отмечено. Редкие корни. Переход в горизонт B резкий по цвету и структуре.

B – 86–110 см. Суховатый, светло-каштановый, однородный, суглинистый, пластинчатый, умеренно плотный. Новообразований и включений не отмечено. Единичные корни. Переход в горизонт C языковатый по цвету.

C – глубже 110 см. Суховатый, коричневато-оранжевый, однородный, суглинистый, пластинчатый, плотный. Новообразований и включений не отмечено. Корни отсутствуют.

Данный участок рассматривается нами как условный контроль.

Мониторинговый участок № 2. Выведенный из эксплуатации карьер по добыче строительного камня (балка Калиновая, Горняцкий район, г. Макеевка, N 48°02'24.6", E 37°58'54.8"). Растительный покров с высокой мозаичностью, имеются пятна как сорно-рудеральных видов, так и видов степного ценоэлемента. Общее проективное покрытие (за вычетом поверхности крупнообломочного камня) 70–80 %. Преобладающими являются такие виды растений: *Echium vulgare* L., *Stachys transsilvanica* Schur, *Anisantha tectorum* (L.) Nevski, *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Poa compressa* L., *P. angustifolia* L., *Galium humifusum* M. Bieb., *A. pannonica*, *A. absinthium*, *Centaurea diffusa* Lam., *Senecio vernalis* Waldst. & Kit., *Linaria maeotica* Klokov, *E. repens*, *Taraxacum officinale* Wigg., *Convolvulus arvensis* L., *Reseda lutea* L., *E. virgata*, *Berteroa incana* (L.) DC., *Hieracium virosum* Pall., *Melandrium album* (Mill.) Garcke, *Tragopogon dasyrhyinchus* Artemcz., *Falcaria vulgaris* Bernh., *Phalacrolooma annuum* (L.) Dumort s.l., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Medicago romanica* Prodán, *Tanacetum vulgare* L., *Oberna behen* (L.) Ikonn. В месте проведения почвенного разреза в июне красочный аспект создавала *Veronica opaca* Fr., формируя пятно в 15–20 м². Местами, особенно по периметру, ближе к стенам карьера, растут древесно-кустарниковые растения: *Robinia pseudoacacia* L., *Acer negundo* L., *Juglans*

regia L., *Ulmus pumila* L., *Fraxinus pennsylvanica* Marsh., *Rosa* sp.

Разрез № 2-к. Примитивные неразвитые почвы на песчанике.

А – 0–5 см. Черный, густо пронизан корнями растений. Структура мелкопорошистая, агрегаты 2 мм диаметром. Переход в горизонт С четкий по цвету, структуре и плотности. Отмечаются ходы зоогенной природы, выцветы солей (розоватые). Каменность – 5 %.

С – светло-коричневый, продукты метаморфизации песчаников. Каменность – 20 %, пронизан корнями растений. Прослежен до глубины 20 см.

Почвообразование по дерновому типу (выражен дерновый гумусоаккумулятивный процесс).

Мониторинговый участок № 7. Склон отвала шахты № 12 «Наклонная» восточной экспозиции (Пролетарский район, г. Донецк, N 47°56'46.4", E 37°59'49.9"). Моновидовая группировка *Oberna behen*. Общее проективное покрытие 10–15 %.

Разрез № 7-о. Примитивные неразвитые фрагментарные почвы.

А – 0–27 см. Сухой, темно-серый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменность 10 %. Переход в горизонт С неясный по цвету.

С – сухой, темно-коричневый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменность 50 %. Единичные корни. Прослежен до глубины 60 см.

В профиле наблюдается первичное агрегатобразование по корням растений, накопление гумуса не имеет морфологического выражения вследствие слабого развития глинистой составляющей. Имеющийся гумус «замаскирован» серым цветом измельченной породы.

Мониторинговый участок № 11. Территория, загрязненная строительными отходами, прилегающая к реке Богодуховая (Буденновский район, г. Донецк, N 47°59'35.5", E 37°53'11.4"). Имеются разреженные древесные растения различного возраста на площадке над склоном: *Padellus mahaleb* (L.) Vassilcz., *Elaeagnus angustifolia* L., *F. pennsylvanica*, *A. negundo*. На выположенных участках в травянистом покрове доминируют *E. repens* и *P. angustifolia*, а на склонах *Marrubium praecox* Janka, *C. diffusa*, *Salvia tesquicola* Klokov & Pobed. Также представлены *Festuca valesiaca* Gaudin, *Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC., *B. incana*, *Artemisia austriaca* Jacq., *A. absinthium*, *Carduus*

acanthoides L., *A. artemisiifolia*, *E. vulgare*, *A. panonica*, *E. virgata*, *S. transsilvanica*, *M. romanica*, *G. humifusum*, *L. vulgaris*, *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Securigera varia* (L.) Lassen, *S. vernalis*, *Rumex crispus* L., *R. lutea* и *Melica transsilvanica* Schur. Общее проективное покрытие 70 %.

Разрез № 11. Примитивные неразвитые фрагментарные почвы.

А – 0–34 см. Сухой, светло-серый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменность 7 % от мелкообломочной фракции. Пронизан корнями растений. Переход в горизонт С постепенный по цвету.

С – сухой, коричневый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменность 20 %. Единичные корни. Прослежен до глубины 70 см.

Мониторинговый участок № 12. Культурозем Донецкого ботанического сада (Калининский район, г. Донецк, N 48°00'50.3", E 37°53'13.1"). Участок под паром. Растительный покров отсутствует.

Разрез № 12. Чернозем обыкновенный мало гумусированный.

Ап – 0–38 см. Свежий, коричнево-бурый однородный, легкосуглинистый, мелкозернистый, умеренно плотный. Новообразований и включений не отмечено. Переход в горизонт Bh постепенный по цвету и структуре.

Bh – 38–61 см. Свежий, светло-коричневый, однородный, легкосуглинистый, среднезернистый, умеренно плотный. Новообразований и включений не отмечено. Переход в горизонт В резкий по цвету и структуре.

В – 61–97 см. Суховатый, светло-каштановый, однородный, суглинистый, пластинчатый, умеренно плотный. Новообразований и включений не отмечено. Переход в горизонт С языковатый по цвету.

С – глубже 97 см. Суховатый, коричневато-оранжевый, однородный, суглинистый, пластинчатый, плотный. Новообразований и включений не отмечено.

Концентрацию аммонийного азота (обменно-го аммония) определяли колориметрически с реактивом Несслера, содержание нитритного азота – по взаимодействию с альфа-нафтиламином и сульфаниловой кислотой, нитратного – по методу Грандваль-Ляжу [8].

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили по общепринятым мето-

дам параметрической статистики на 95 % уровне значимости по Ю.Г. Приседскому [9].

Результаты исследований и их обсуждение

Азот относится к числу основных элементов питания для всех живых организмов, а содержание его в почвах, наряду с другими элементами (фосфор, калий), определяет уровень их плодородия. Аккумуляция азота в горных породах служит хорошим индикатором начавшегося процесса почвообразования [5]. Основную роль в азотном питании растений играют минеральные формы азота: окисленная (NO_3^-) и восстановленная (NH_4^+). Аммонийный азот образуется в почвах в результате жизнедеятельности аммонифицирующих гетеротрофных микроорганизмов. Большая часть аммония находится в обменной и необменной формах.

Изучение содержания обменного аммония в почвах техногенно нарушенных экосистем в весенний период показало неоднозначную картину его распределения по почвенному профилю мониторинговых участков. Так, в примитивных неразвитых почвах на песчанике (участок № 2) отмечена преимущественная его приуроченность к нижележащим генетическим горизонтам (превышение контрольных показателей в 3,4 раза), тогда как в эдафотопсах остальных участков наибольшее количество (по абсолютным значениям) данной формы минерального азота накапливается в пределах гумусо-аккумулятивного горизонта (табл. 1).

Высев на мониторинговых участках фитомелиорантов привел к увеличению содержания азо-

та аммонийных соединений на 10–38 % только в генетических горизонтах эдафотопов посттехногенных экосистем, тогда как в культуроземах ботанического сада (участок № 12) концентрация формы минерального азота статистически достоверно не отличалась от показателей участков без проведения биологической рекультивации.

Полученные данные, по нашему мнению, объясняются достаточным исходным уровнем пула соединений азота, а также сформированным микробным сообществом данной почвы и, следовательно, для сдвига равновесия в этой системе необходимо более существенное внешнее воздействие.

При увеличении длительности мониторинговых исследований отмечен разнонаправленный характер изменения содержания азота аммонийных соединений. Так, если в примитивных неразвитых почвах на песчанике и примитивных неразвитых фрагментарных почвах породного отвала (участки № 2 и № 7 соответственно) концентрация обменного аммония статистически достоверно не отличалась от значений, полученных в весенний период, то в эдафотопсах участков № 11 и № 12 зафиксировано снижение данной формы минерального азота (табл. 1).

Следует отметить, что проведение фитомелиоративных мероприятий в жестких экологических условиях склона породного отвала (низкая реакция рН почвенного раствора, усиленный поверхностный сток) наряду с недостаточным исходным уровнем аммонийного азота, усиленно расходующегося при формировании вегетатив-

Таблица 1. Содержание обменного аммония ($\text{мг N-NH}_4^+ / 100 \text{ г почвы}$) в почвах мониторинговых участков

Участок, горизонт	Весна				Лето				Осень			
	Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые	
	M±m	%	M±m	%	M±m	%	M±m	%	M±m	%	M±m	%
№ 2-э А	2,76±0,09*	48,0	3,21±0,14*	55,9	2,84±0,11*	74,9	3,11±0,17*	81,8	2,91±0,11*	55,6	3,17±0,15*	60,6
№ 2-э С	4,06±0,12*	338,3	3,91±0,25*	325,2	3,72±0,17*	379,6	3,87±0,12*	395,7	3,87±0,15*	328,0	3,83±0,14*	325,3
№ 2-к А	2,76±0,09*	48,0	3,05±0,17*	53,0	2,84±0,11*	74,9	2,96±0,24*	78,2	2,91±0,11*	55,6	2,97±0,24*	56,7
№ 2-к С	4,06±0,12*	338,3	3,84±0,21*	319,6	3,72±0,17*	379,6	3,60±0,11*	367,9	3,87±0,15*	328,0	3,76±0,22*	318,8
№ 7 А	1,57±0,07*	27,3	1,72±0,09*	29,9	1,63±0,09*	43,0	1,25±0,06*	32,8	2,18±0,07*	41,7	2,43±0,08*	46,5
№ 7 С	1,18±0,14	98,3	1,37±0,05	113,8	1,29±0,07*	131,6	0,84±0,03*	85,6	1,17±0,12	99,2	1,39±0,07	118,1
№ 11 А	3,76±0,22*	65,4	4,20±0,17*	73,1	1,51±0,12*	39,8	2,06±0,18*	54,3	3,63±0,13*	69,5	4,46±0,29*	85,2
№ 11 С	0,92±0,12*	76,4	1,27±0,07	105,5	0,71±0,03*	73,1	1,14±0,07	116,9	0,93±0,02*	79,2	1,45±0,08*	123,3
№ 12-э А	4,01±0,17*	69,7	4,19±0,28*	72,8	3,87±0,12	102,1	3,54±0,26	93,4	3,98±0,08*	76,1	4,20±0,22*	80,4
№ 12-э С	1,26±0,08	105,0	1,36±0,07	113,3	0,95±0,07	96,9	0,89±0,05	91,2	1,11±0,05	94,1	1,28±0,15	108,3
№ 12-к А	4,01±0,17*	69,7	3,58±0,41*	62,3	3,87±0,12	102,1	3,28±0,19*	86,6	3,98±0,08*	76,1	3,53±0,12*	67,4
№ 12-к С	1,26±0,08	105,0	1,31±0,06	109,0	0,95±0,07	96,9	0,83±0,04	85,1	1,11±0,05	94,1	1,33±0,07	112,7
№ 6 А	5,75±0,39				3,79±0,07				5,23±0,25			
№ 6 С	1,20±0,13				0,98±0,03				1,18±0,11			

Примечание. Здесь и в таблицах 2–3: э – посадки эспарцета песчаного (*Onobrychis arenaria* (Kit.) DC.), к – посадки китайбелии виноградолистной (*Kitaibelia vitifolia* Willd.), % – процентные значения по отношению к аналогичным почвенным горизонтам участка № 6, * – различия статистически достоверны при $p < 0,05$

ной массы растений, не позволили выявить позитивного влияния биологической рекультивации по исследуемому показателю на данном участке. Однако уменьшение количества аммонийного азота можно и не рассматривать в качестве отрицательного показателя, поскольку он не является конечным результатом минерализации азотсодержащих органических соединений [1]. Вместе с тем, в почвенных профилях участков № 2 и № 11 применение фитомелиорантов привело к возрастанию на 10–60 % концентрации обменного аммония по сравнению с участками с естественным растительным покровом (табл. 1).

В осенний период в генетических горизонтах почв на всех мониторинговых участках отмечено восстановление значений концентрации аммонийного азота до уровня, зафиксированного при весеннем отборе проб. Кроме того, неизменным остался и характер его распределения как по участкам, так и по генетическим горизонтам. Параллельно с отмеченным в предыдущие периоды исследований позитивным влиянием посадок *K. vitifolia* и *O. arenaria* на содержание обменного аммония в эдафотопях участков № 2 и № 11 возрастание его концентрации на 11–19 % зафиксировано и в генетических горизонтах примитивных неразвитых фрагментарных почв породного отвала. Установленный факт, по-видимому, объясняется увеличением количества органического опада, обуславливающего усиление минерализации органических соединений азота с участием амилитического и целлюлозолитического компонентов микробного сообщества почв, для которых свежий растительный опад является хорошим энергетическим материалом (табл. 1).

Установлено, что в эдафотопях практически всех мониторинговых участков азот нитритных соединений аккумулируется в верхних генетических горизонтах (табл. 2). Исключение составляет только участок № 11, в почве которого не отмечено статистически достоверных отличий в содержании исследуемой формы минерального азота между генетическими горизонтами.

В примитивных неразвитых фрагментарных почвах породного отвала (участок № 7) зафиксировано существенное снижение концентрации нитритного азота (на 84–90 %), по-видимому, обусловленное как недостаточностью пула общего азота, так и активным окислением нитритов до нитратов. Проведение биологической рекультивации положительно сказалось на содержании азота нитритных соединений лишь в случае использования *O. arenaria*, а отмеченное увеличение составляло от 5–22 % на участках № 2 и № 11 до в среднем 110 % на участке № 7. По нашему мнению, это объясняется спецификой функционирования ризобиальной микробиоты растений семейства Fabaceae, осуществляющей процесс фиксации азота, входящего в состав воздушной фазы почв. В эдафотопях мониторинговых участков с посадками *K. vitifolia* не установлено статистически достоверных различий по сравнению с аналогичными генетическими горизонтами участков с естественной растительностью. Следует отметить, что зафиксированное повышение практически не изменило распределение значений относительно контроля.

При исследовании сезонной динамики содержания нитритов в почве установлено, что в летний период общей тенденцией является умень-

Таблица 2. Содержание нитритного азота (мг N-NO₂⁻/100 г почвы) в почвах мониторинговых участков

Участок, горизонт	Весна				Лето				Осень			
	Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые	
	M±m	%	M±m	%	M±m	%	M±m	%	M±m	%	M±m	%
№ 2-э А	41,26±0,21*	85,2	44,75±0,58*	92,4	28,43±0,14	90,8	32,89±1,37	105,0	36,92±0,38*	72,3	44,49±1,15*	87,1
№ 2-э С	23,05±0,17	100,7	24,99±0,79	109,2	16,18±0,16*	89,2	18,40±0,35	101,5	19,47±0,63	96,2	20,51±1,60	101,3
№ 2-к А	41,26±0,21*	85,2	41,85±0,95*	86,4	28,43±0,14	90,8	30,78±0,27	98,3	36,92±0,38*	72,3	41,59±0,91*	81,4
№ 2-к С	23,05±0,17	100,7	21,03±0,91	91,9	16,18±0,16*	89,2	17,61±0,53	97,1	19,47±0,63	96,2	19,98±1,15	98,7
№ 7 А	5,17±0,16*	10,7	10,76±0,53*	22,2	3,61±0,13*	11,5	5,70±0,16*	18,2	4,27±0,15*	8,4	8,65±0,26*	16,9
№ 7 С	3,63±0,11*	15,9	7,70±0,53*	33,7	2,35±0,13*	13,0	4,09±0,05*	22,6	2,88±0,09*	14,2	6,01±0,79*	29,7
№ 11 А	38,95±0,53*	80,4	46,33±0,91	95,6	35,79±0,82*	114,3	42,38±0,46*	135,3	38,69±0,70*	75,8	48,44±0,53	94,8
№ 11 С	35,79±0,70*	156,4	45,80±0,53*	200,2	30,52±0,91*	168,3	37,37±1,39*	206,1	35,26±1,65*	147,2	42,17±0,47*	208,3
№ 12-э А	45,11±0,37*	93,1	47,38±0,64	97,8	35,03±0,24	111,9	38,16±1,06*	121,9	44,28±0,83*	86,7	46,86±1,30	91,7
№ 12-э С	20,46±0,25*	89,4	21,56±0,15	94,2	16,18±0,17*	89,2	18,93±1,39	104,4	20,67±0,73	102,1	21,03±0,91	103,9
№ 12-к А	45,11±0,37*	93,1	46,59±0,25	96,2	35,03±0,24	111,9	39,74±1,15*	126,9	44,28±0,83*	86,7	46,33±1,81	90,7
№ 12-к С	20,46±0,25*	89,4	19,19±0,53	83,9	16,18±0,17*	89,2	17,08±0,31	94,2	20,67±0,73	102,1	19,45±2,42	96,1
№ 6 А	48,44±0,95				31,31±1,42				51,07±1,65			
№ 6 С	22,88±0,84				18,14±0,84				20,24±0,79			

шение концентрации данной формы минерального азота по сравнению с предыдущим этапом исследований. Вероятнее всего, это связано с интенсификацией потребления растениями соединений азота в период вегетации, что в свою очередь, усиливает микробиологическую трансформацию нитритов. Проведение фиторекультивационных мероприятий также, как и в весенний период, привело к возрастанию концентрации нитритной формы азота в различных генетических горизонтах эдафотопов мониторинговых участков на 9–74 % по сравнению с участками с естественным растительным покровом. В отличие от весеннего отбора проб, летом, при использовании в качестве фитомелиоранта *K. vitifolia*, также отмечено увеличение содержания азота нитритных соединений на 6–13 % (табл. 2).

Поступление в почву растительного опада интенсифицировало функционирование деструкционного звена почвенной биоты, что, в свою очередь, отразилось на концентрации нитритного азота в осенний период, содержание которого возросло практически до уровня, зафиксированного при весеннем отборе проб. Несмотря на это характер аккумуляции азота нитритных соединений в генетических горизонтах почв мониторинговых участков и относительные показатели его накопления по сравнению с контрольными значениями остались неизменными. В отличие от предыдущих периодов исследований, позитивный эффект биологической рекультивации отмечен только для эдафотопов антропогенно трансформированных экосистем, в почвенном профиле которых возрастание содержания нитритного азота составило от 5–25 % (участки № 2 и № 11) до более чем 108 % (участок № 7) по отношению к вариантам опытов без проведения фиторекультивационных мероприятий, тогда как в культуроземе ботанического сада статистически достоверных различий концентрации исследуемой формы минерального азота зафиксировано не было.

Наряду с обменным аммонием, высокоподвижные нитратные соединения азота являются основными его источниками, обеспечивающими азотное питание растений, а поглощение азота корневыми системами происходит преимущественно в форме окисных (нитратных) соединений [11]. Накопление нитратного азота в почвах как продукта метаболизма микроорганизмов определяется уровнем их плодородия, запасами

свежего органического вещества и погодными условиями [4].

Увеличение нитрификационной микробиологической активности, обусловленной достаточным запасом влаги, накопленным за осенне-зимний период, и постепенным повышением температуры, способствующей активной минерализации органического вещества почвы, привело к тому, что наибольшее количество минерального азота нитратных соединений в почве мониторинговых участков отмечено в весенний период. Также прослеживается тенденция накопления данной формы азота в верхних почвенных горизонтах, обусловленная высокой биологической активностью верхнего слоя почвы и лучшими гидротермическими условиями (табл. 3). Исключения составляют только примитивные неразвитые фрагментарные почвы породного отвала (участок № 7), в которых не зафиксировано статистически достоверных различий между генетическими горизонтами, что объясняется как укороченностью почвенного профиля данного мониторингового участка, так и высокой мобильностью нитратного азота. Следует отметить, что в эдафотонах посттехногенных экосистем процесс аккумуляции азота нитратных соединений лимитируется не только ограниченностью запасов органического материала, но и неблагоприятными эдафическими условиями. Вероятнее всего, данные факторы обуславливают низкий уровень концентрации нитратного азота, значения которой находятся в пределах от 4 до 60 % по отношению к зональной почве и только в культуроземе ботанического сада не отличаются от контрольных показателей.

Выявленный позитивный эффект фиторекультивации наиболее ярко проявлялся в примитивных неразвитых почвах на песчанике (участок № 2), что привело к возрастанию содержания азота нитратных соединений на 94–207 % в сравнении с аналогичными генетическими горизонтами участка с естественным растительным покровом. Следует отметить, что в данном случае усиление аккумуляции азота имело видоспецифический характер, обусловленный особенностями ризобияльного комплекса азотфиксирующих микроорганизмов бобовых растений. Так, если при посеве *O. arenaria* концентрация нитратного азота возросла более чем в 3 раза, то использование *K. vitifolia* привело только к двукратному повышению значений (табл. 3).

Таблица 3. Содержание нитратного азота ($\text{мг N-NO}_3^-/100 \text{ г почвы}$) в почвах мониторинговых участков

Участок, горизонт	Весна				Лето				Осень			
	Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые	
	M±m	%	M±m	%	M±m	%	M±m	%	M±m	%	M±m	%
№ 2-э А	0,45±0,03*	13,6	1,38±0,07*	43,2	0,21±0,04*	11,7	1,03±0,05*	57,3	0,42±0,08*	16,2	1,25±0,10*	48,0
№ 2-э С	0,16±0,01*	18,4	0,47±0,02*	53,6	0,07±0,01*	17,1	0,31±0,02*	76,9	0,13±0,02*	17,8	0,50±0,04*	68,3
№ 2-к А	0,45±0,03*	13,6	0,89±0,07*	28,0	0,21±0,04*	11,7	0,68±0,06*	37,9	0,42±0,08*	16,2	0,80±0,02*	30,8
№ 2-к С	0,16±0,01*	18,4	0,31±0,02*	35,6	0,07±0,01*	17,1	0,23±0,02*	56,1	0,13±0,02*	17,8	0,27±0,01*	36,4
№ 7 А	0,13±0,03*	3,9	0,20±0,01*	6,4	0,15±0,01*	8,3	0,24±0,02*	13,4	0,12±0,01*	4,6	0,23±0,01*	9,0
№ 7 С	0,11±0,01*	12,6	0,16±0,04*	18,6	0,12±0,02*	29,3	0,14±0,02*	35,7	0,13±0,02*	17,8	0,18±0,01*	25,1
№ 11 А	1,11±0,07*	34,9	1,26±0,07*	39,7	0,88±0,07*	48,7	1,04±0,06*	57,8	1,13±0,04*	43,4	1,27±0,05*	48,8
№ 11 С	0,53±0,04*	60,2	0,68±0,04*	76,9	0,38±0,01	94,6	0,46±0,04	113,7	0,49±0,06*	67,3	0,62±0,02*	84,3
№ 12-э А	3,12±0,14	94,5	3,97±0,07*	124,7	2,08±0,12	115,6	2,33±0,07*	129,4	2,89±0,08	111,2	3,60±0,21*	138,4
№ 12-э С	0,79±0,05	90,8	0,91±0,07	103,9	0,32±0,03*	78,0	0,41±0,09	100,3	0,72±0,04	98,6	0,85±0,05	116,4
№ 12-к А	3,12±0,14	94,5	3,72±0,13*	116,8	2,08±0,12	115,6	1,89±0,14	104,8	2,89±0,08	111,2	3,16±0,12*	121,7
№ 12-к С	0,79±0,05	90,8	0,80±0,07	90,9	0,32±0,03*	78,0	0,37±0,06	90,6	0,72±0,04	98,6	0,71±0,08	96,8
№ 6 А		3,30±0,14				1,80±0,03				2,60±0,30		
№ 6 С		0,87±0,07				0,41±0,05				0,73±0,07		

На остальных мониторинговых участках увеличение было выражено не так сильно и составило 15–46 %.

При исследовании сезонной динамики содержания нитратов в почве установлено, что в летний период при активном развитии растительности наблюдается резко выраженный минимум количества нитратов за счет интенсификации их потребления растениями в процессе усиленной вегетации, а также вследствие снижения процессов аммонификации и нитрификации, обусловленных ухудшением гидротермических условий (табл. 3). По отношению к зональной почве характер распределения азота нитратных соединений остался неизменным как по мониторинговым участкам, так и по их генетическим горизонтам. Также отмечен положительный эффект рекультивации, заключающийся в увеличении количества данной формы минерального азота более чем на 12–60 % в почвенном профиле примитивных неразвитых фрагментарных почв и культуросема ботанического сада (участки № 7, № 11 и № 12) и в 3,2–4,9 раза в примитивных неразвитых почвах на песчанике (участок № 2) по сравнению с аналогичными генетическими горизонтами участков без проведения рекультивационных мероприятий.

При увеличении длительности исследований зафиксировано повышение концентрации азота нитратных соединений в эдафотопе всех исследуемых мониторинговых участков, приближающееся к значениям, полученным при весеннем отборе проб. Показанное накопление соединений азота в прикорневой зоне растений происхо-

дит в результате прекращения активной вегетации, а, следовательно, и активного поглощения элементов минерального питания, при продолжающихся микробиологических процессах аммонификации и нитрификации.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что вне зависимости от типа почв сезонная динамика содержания нитритной и нитратной форм азота в эдафотопе изучаемых мониторинговых участков достаточно монотонна: наибольшее их количество наблюдается весной, снижается летом и вновь возрастает осенью. Для аммонийного азота отмеченная закономерность сохраняется не на всех мониторинговых участках, поскольку в примитивных неразвитых почвах на песчанике не зафиксировано сезонных колебаний концентрации обменного аммония.

При проведении фиторекультивации преобладающей тенденцией является увеличение концентрации минеральных соединений азота в почве, однако в ряде случаев наблюдается видоспецифичность при использовании того или иного фитомелиоранта. Проведение биологической рекультивации положительно сказалось на содержании азота нитритных соединений в весенний период исследований лишь в случае использования *O. arenaria*, что объясняется спецификой функционирования ризобиальной микробиоты растений семейства Fabaceae, осуществляющей процесс фиксации азота, входящего в состав воздушной фазы почв.

Выявленное позитивное влияние фиторекультивации на содержание нитратной формы азота наиболее ярко проявлялся в примитивных неразвитых почвах на песчанике в случае посева *O. arenaria*, когда количество нитратного азота возросло более чем в 3 раза, тогда как использование *K. vitifolia* привело только к двукратному повышению значений.

1. *Александрова Л.Н.* Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Ленинград: Наука, 1980. 287 с.
2. *Алиев И.Н.* Естественное облесение и биологическая рекультивация нарушенных земель Северного Кавказа (на примере Кабардино-Балкарии): автореф. дис... д-ра с.-х. наук. Волгоград, 2012. 43 с.
3. *Гаджиев И.М., Курачев В.М., Рагим-заде Ф.К.* Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск: Наука, 1992. 303 с.
4. *Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я.* Азот в агросистеме на черноземных почвах. М.: РАН, 2018. 180 с.
5. *Махонина Г.И., Тихомирова Е.Б.* Азот в почвах техногенных экосистем Урала // Растения и промышленная среда. Вып. 13. 1990. С. 34–44.
6. *Методические рекомендации по морфологическому описанию почв* / сост. А.Г. Дюкарев, Н.Н. Пологова, Л.И. Герасько. Томск: Изд-во СО РАН, 1999. 39 с.
7. *Методы почвенной микробиологии и биохимии* / под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
8. *Практикум по агрохимии* / под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
9. *Приседський Ю.Г.* Статистична обробка результатів біологічних експериментів: навчальний посібник. Донецьк: Кассиопея, 1999. 210 с.
10. *Розанов Б.Г.* Морфология почв. М.: Изд-во МГУ, 1983. 320 с.
11. *Цыбулька Н.Н., Семененко Н.Н.* Азотный режим дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы и продуктивность озимой ржи // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. 1998. N 3. С. 46–52.
12. *Чибрик Т.С.* К вопросу о биологической рекультивации нарушенных земель угольных месторождений Урала // Биологическая рекультивация нарушенных земель. Материалы Международного совещания (Екатеринбург, 3–7 июня 2002 г.) Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2003. С. 542–557.

Поступила в редакцию: 16.05.2021

UDC 58.072+631.416.1

INFLUENCE OF MONOSPECIES PLANTS COMMUNITIES ON THE CONTENT OF VARIOUS NITROGEN FORMS IN EDAPHOTOPES OF DISTURBED LANDS

D.V. Syshchykov, I.V. Agurova, S.P. Zhukov

Public institution «Donetsk Botanical Garden»

As a result of the studies, it was found that, regardless of the type of soil, the seasonal dynamics of the content of nitrite and nitrate forms of nitrogen in the edaphotopes of the monitoring sites under study is rather monotonic: their greatest number is observed in spring, decreases in summer, and increases again in autumn. For ammonium nitrogen, this regularity is not retained at all monitoring sites, since no seasonal fluctuations in the concentration of exchangeable ammonium were recorded in primitive undeveloped soils on sandstone. When carrying out phytoremediation, the prevailing trend is an increase in the concentration of mineral nitrogen compounds in the soil.

Key words: nitrate nitrogen, exchangeable ammonium, nitrite nitrogen, monitoring site, edaphotope

Citation: Syshchykov D.V., Agurova I.V., Zhukov S.P. Influence of monospecies plants communities on the content of various nitrogen forms in edaphotopes of disturbed lands // Industrial Botany. 2021. Vol. 21, N 2. P. 46–53.