

УДК 631.415.1+631.416.1+631.416.2+631.417.2

Д.В. Сыщиков, И.В. Агурова

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭДАФОТОПА В УСЛОВИЯХ ОТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Государственное учреждение «Донецкий ботанический сад»

В результате проведенных исследований эдафотопов на мониторинговых участках отвалов угольных шахт отмечена сезонная динамика изменения основных элементов минерального питания растений. Показана неравномерность накопления органического вещества, подвижного фосфора, аммонийного и нитритного азота на выбранных модельных объектах. Выявлено, что на скорость накопления и содержание исследованных элементов минерального питания растений влияют такие факторы как тип участка, проективное покрытие растений, климатические условия и пр. Наименее благоприятные условия для роста и развития растений складываются на участке с монодоминантным сообществом *Oberna behen* (L.) Kopp. С увеличением проективного покрытия и многообразия растений увеличивается и содержание элементов минерального питания.

Ключевые слова: эдафотоп, гумус, элементы минерального питания, кислотность, мониторинговый участок

Введение

Оптимизация окружающей среды относится к первоочередному для промышленного региона направлению, которое чрезвычайно актуально для Донбасса. Вопросу рекультивации техногенно нарушенных земель в этом регионе отводится значительная роль, что объясняется наличием большого количества разнообразных техногенно нарушенных земель, а именно отвалов угольных шахт, промышленных площадок предприятий горнометаллургического комплекса, шламохранилищ и пр.

Нарушение почвенного покрова, уничтожение гумусового слоя, загрязнение почв, эрозия и деградация приводят к сокращению биологического и почвенного разнообразия [2]. Несмотря на то, что Донецкий регион характеризуется значительным земельным фондом с достаточно высоким биопродуктивным потенциалом, нерациональная эксплуатация земельных ресурсов без учета ландшафтных и почвенно-климатических особенностей приводит к усилению деградационных процессов в почвах.

Мониторинг изменения почвенных показателей относится к одному из перспективных направлений в изучении техногенно нарушенных

земель, поскольку позволяет осуществлять прогнозы относительно развития почвенного покрова и принимать адекватные меры по замедлению протекания деградационных процессов.

Цель и задачи исследований

Целью наших исследований является выявление особенностей формирования почв в условиях техногенно нарушенных земель. В задачи проведенных работ входили: изучение pH и общей засоленности почв мониторинговых участков; оценка сезонной динамики изменения содержания элементов минерального питания (аммонийного азота, нитритного азота и фосфора); изучение содержания органического вещества.

Объекты и методики исследований

Исследования проводили на мониторинговых участках, расположенных в южной и юго-западной части Донецко-Макеевской промышленной агломерации. На территории выбранных мониторинговых участков отвалов угольных шахт не проводилась горнотехническая и биологическая рекультивация.

Описание почвенных разрезов проводили согласно общепринятым методам [4, 5]. Отбор почвенных образцов проводили по почвенным горизонтам [3] в весенний, летний и осенний периоды (в характерное время для каждого сезона в нашем регионе). Так, весной образцы отбирали в период начального зарастания экотопов растениями при наличии достаточного количества осадков; летом – в период продолжительной засухи; осенью – после выпадения осадков и понижения температурных показателей по сравнению с летним периодом.

Описание мониторинговых участков приведены ниже.

Мониторинговый участок № 1. Территория, прилегающая к южной части отвала шахты № 12 «Наклонная» (Пролетарский район г. Донецка). Общее проективное покрытие (ОПП) растений составляет 95–100 %.

В растительном покрове доминируют *Elytrigia repens* (L.) Nevski и *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. Из эфемеров отмечены такие виды как *Holosteum umbellatum* L. и *Lepidium perforiatum* L.

Почвы на данном участке отнесены к чернозему обыкновенному среднегумусированному, в разрезе которого выделены следующие генетические горизонты:

Н – 0–47 см. Свежий, темно-бурый, однородный, легкосуглинистый, среднезернистый, умеренно плотный. Новообразований и включений не выявлено. Отмечается большое количество корней. Переход в горизонт Н_р ясный по цвету и структуре.

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

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

Р – глубже 110 см. Суховатый, коричневато-оранжевый, однородный, суглинистый, пластин-

чатый, плотный. Новообразований и включений не отмечено. Корни отсутствуют. Данный участок рассматривается нами как условный контроль.

Мониторинговый участок № 2. Склон отвала шахты им. Ленина южной экспозиции (Горняцкий район, г. Макеевки). В средней части склона угол поверхности составляет около 30°, поэтому ОПП достигает только 20–30 %, доминирует *Echium vulgare* L., также представлены *Picris hieracioides* L., *Senecio vernalis* Waldst. & Kit., *Linaria maeotica* Klokov, *Reseda lutea* L., *Oberna behen* (L.) Ikonn., из древесных растений в окружении участка и единично на пробной площади встречаются *Robinia pseudoacacia* L., *Acer negundo* L., *Juglans regia* L.

Субстрат с признаками почвообразования, в котором выделены два горизонта:

Нэ – 0–15 см. Коричневый, рыхлый, мелкозернистый, суховатый. Каменность – 5 %. Переход в горизонт Р – постепенный, по цвету – затеками. Густо пронизан корнями растений.

Р – палевый, прослежен до глубины 30 см. Каменность – 15 %. Единичные корни.

Мониторинговый участок № 3. Склон отвала шахты № 12 «Наклонная» восточной экспозиции (Пролетарский район г. Донецка). Моновидовая группировка *Oberna behen*. ОПП составляет примерно 10–15 %.

Эти почвы отнесены к примитивным неразвитым фрагментарным, в которых выделены следующие горизонты:

Н – 0–27 см. Сухой, темно-серый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменность 10 % от мелкообломочной фракции. Густо пронизан корнями растений. Переход в горизонт Р неясный, по цвету.

Р – 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 № 4. Склон отвала шахты № 12 «Наклонная» северной экспозиции (Пролетарский район г. Донецка).

ОПП 25–30 %. Довольно много *Echium vulgare*, *Oenothera biennis* L. Рассеянно произрастают *Ambrosia artemisiifolia* L., *Artemisia absinthium*, *Daucus carota* L., *Centaurea diffusa* Lam., *Linaria genistifolia* (L.) Mill., *Holosteum umbellatum* и *Senecio vernalis* Waldst. & Kit., единично встречаются *Rumex crispus* L. и однолетние всходы *Acer negundo* L. В нижней части участка добавляются *Achillea pannonica* и *Chondrilla juncea* L.

Примитивные неразвитые почвы.

Н – 0–20 см. Свежий, темно-бурый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменистость 25 %. Густо пронизан корнями растений. Переход в горизонт Р ясный по цвету.

Р – суховатый, темно-серый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменистость 40 %. Единичные корни. Прослежен до глубины 45 см.

Определение актуальной кислотности проводили общепринятыми методами [1, 6, 7]. Содержание органического вещества по методу Тюрина со спектрофотометрическим окончанием по Орлову-Гриндель [7]. Концентрация аммонийного азота (обменного аммония) определялась колориметрически с реактивом Несслера [7]. Содержание нитритного азота по взаимодействию с альфа-нафтиламином и сульфаниловой кислотой [7]. Определение подвижных форм фосфора проводили согласно методу Чирикова [7].

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась по общепринятым методам параметрической статистики на 95 % уровне значимости по Ю.Г. Приседскому [8].

Результаты исследований и их обсуждение

Первым этапом исследований было изучение кислотности почвенных образцов, отобранных с мониторинговых участков. От показателя рН зависит поселение и дальнейшее произрастание растений, поэтому проведению подобных работ уделяется особое внимание.

Результаты сезонного изменения показателей рН указаны в таблице 1.

Как показывают проведенные исследования, наиболее благоприятные условия с нейтральной (горизонт Н), а для горизонтов Нр, hP, Р – слабощелочной реакцией среды, складываются на черноземе обыкновенном (участок № 1), а значения рН находятся в пределах 6,65–7,68 (в зависимости

Таблица 1. Изменение значений рН в сезонной динамике

Номер участка	Время отбора проб		
	Весна	Лето	Осень
№ 1 Н	6,65	7,26	6,66
№ 1 Нр	7,28	7,66	7,57
№ 1 hP	7,32	7,68	7,52
№ 1 Р	7,38	7,65	7,46
№ 2 Нэ	4,92	4,65	4,02
№ 2 Р	4,65	4,48	5,03
№ 3 Н	4,38	4,60	5,40
№ 3 Р	4,06	4,33	4,66
№ 4 Н	4,82	4,38	5,00
№ 4 Р	4,45	4,89	5,15

от сезона исследований) и приближаются по этому показателю к значениям рН зональных почв.

Для участков № 2, 3 и 4 характерна среднекислая реакция среды, в случае с участком № 3 – приближенная к кислой. Следует отметить, что для участка № 3, расположенного на склоне отвала угольной шахты, с монодоминантным растительным сообществом характерны самые неблагоприятные условия, что и отражается в свою очередь на поселении растений. В данном случае, вероятнее всего, рН является лимитирующим фактором для поселения растений.

Следующий этап наших исследований был связан с изучением органического вещества, по содержанию которого возможно составлять представление о степени сформированности почвенного покрова.

При изучении содержания гумуса в весенний период на мониторинговых участках наименьшее его количество зафиксировано на участке № 3, в месте произрастания моновидовой группировки *Oberna behen* (рис. 1).

При этом содержание гумуса практически не изменяется при прохождении вниз по почвенному профилю (0,29–0,37 %). Несколько большим содержанием гумуса отличаются участки № 2 и № 4 (0,6–1,29 % и 0,56–0,71 % соответственно), что объясняется большей сформированностью растительного покрова на этих участках и присутствием в составе фитоценоза многолетних дернинных злаков. Отвал угольной шахты неоднороден по структуре, поэтому и почвообразование происходит с разной скоростью, в нашем

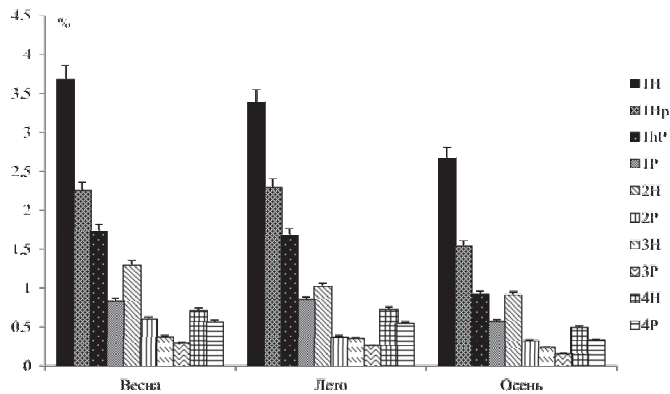


Рис. 1. Содержание гумуса (%) в эдафотонах мониторинговых участков

Fig. 1. Humus content (%) in edaphotopes of monitoring sites

случае – более интенсивно процесс почвообразования идет на участках № 2 и № 4.

Для участка № 1 (чернозем обыкновенный среднегумусированный) характерно варьирование и изменение содержания гумуса вниз по профилю (с 3,68 до 0,83 %). Наличие достаточного количества гумуса объясняется в первую очередь сформированностью растительного покрова, присутствием в составе сообществ многолетних дернинных злаков, растений семейства бобовые и пр. Кроме того, наши данные хорошо согласуются и с наличием в составе почвы достаточно сформированного дернового слоя, составными элементами которого являются растительные остатки прошлых лет.

В процессе исследований и изучения сезонной динамики выявлена общая тенденция снижения содержания гумуса на всех мониторинговых участках летом по сравнению с весенним периодом. Наиболее кардинальные изменения коснулись участка № 1 (поверхностный горизонт) и участка № 2 (горизонт Р). Существенных изменений концентрации гумуса для остальных участков как по горизонтам, так и по отдельным участкам не было зафиксировано (так, к примеру, содержание органического вещества для горизонта Н участка № 1 снижается с 3,68 до 3,38 %, а для горизонта Н участка № 3 с 0,37 до 0,35 % и т.д.).

Существенное снижение процентного содержания гумуса фиксируется в осенний период, что, вероятно, связано не только с усиленным его потреблением растениями, но и с неудовлетворительными климатическими условиями (продолжительным периодом засухи). Кардинальные

изменения в процентном содержании гумуса затронули чернозем, где содержание гумуса снизилось в гумусовом горизонте с 3,68 до 2,67 %, в переходном – с 2,25 до 1,53 %. Значительное понижение процентного содержания гумуса наблюдается и на мониторинговых участках № 3 и № 4 (так, к примеру, в гумусовом горизонте участка № 4 содержание органического вещества постепенно уменьшается с 0,71 до 0,49 %). Складывающиеся жесткие климатические условия на отвале, усиливающиеся постоянными процессами линейной водной эрозии и дефляции, наряду с несформированным растительным покровом, а, следовательно, и малым количеством растительных остатков привели к преобладанию процессов минерализации гумуса над его образованием.

Почвы (субстраты) 3-го и 4-го мониторинговых участков (примитивных неразвитых фрагментарных почв и примитивных неразвитых почв) характеризуются низким содержанием гумуса, критически низким в случае с участком № 3, что может быть обусловлено рядом физических и биологических факторов. Так, среди физических факторов, негативно влияющих на содержание гумуса, можно выделить такие как неразвитость или слабую развитость почвенного профиля, жесткие гидротермические условия, с минимальным количеством осадков и перепадами температур, грубый гранулометрический состав и пр. Среди биологических факторов выделяют слабую сформированность растительных сообществ, низкий видовой состав и пр. Достаточно четко прослеживается динамика изменения процентного содержания гумуса по горизонтам, с последующим уменьшением его количества с глубиной.

При изучении содержания аммонийного азота как наиболее доступной для поглощения растениями формы данного элемента, установлено, что его содержание в среднегумусированном черноземе в весенний период варьирует в пределах от 1,18 до 5,44 мг/100 г почвы (количество аммонийного азота с глубиной последовательно снижается) (рис. 2).

Пониженное содержание аммонийного азота в целом (по сравнению с другими участками) характерно для примитивных фрагментарных неразвитых почв и примитивных неразвитых почв (участки № 3 и № 4). Так, содержание аммонийного азота на этих участках колеблется в преде-

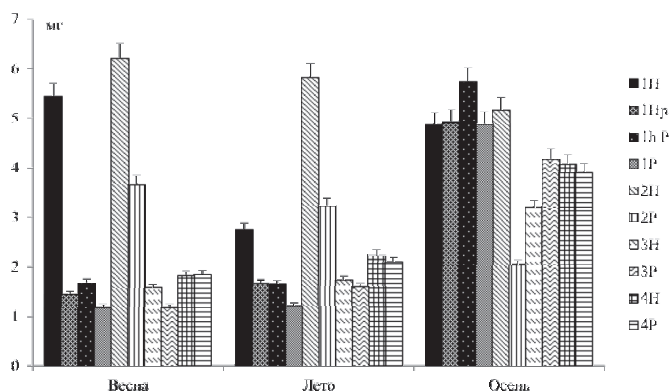


Рис. 2. Содержание аммонийного азота (мг N-NH₄/100 г почвы) в эдафотопях мониторинговых участков
Fig. 2. Ammonium nitrogen content (mg N-NH₄/100 g soil) in edaphotopes of monitoring sites

лах от 1,18 до 1,81 мг/100 г почвы. Жесткие гидротермические условия и неразвитость растительных сообществ повлияли на снижение количества аммонийного азота на почвах, сформированных в условиях отвалов угольных шахт.

По сравнению с весенним периодом исследований нами прослежено изменение в количественном содержании аммонийного азота летом. Так, в случае с участками № 1 и 2 отмечена тенденция снижения концентрации аммонийного азота (для горизонта Н участка № 1 с 5,44 до 2,75, для горизонта Н участка № 2 с 6,2 до 5,81 мг/100 г почвы соответственно). В связи со сформированностью растительного сообщества, в летний период аммонийный азот начинает усиленно расходоваться, что и отражается на его содержании. Наряду с этим, количество аммонийного азота в примитивных неразвитых фрагментарных и неразвитых почвах (участки № 3 и 4) практически не изменяется.

Осенью наблюдается повышение содержания аммонийного азота по сравнению с летним периодом исследований. Так, для среднегумусированного чернозема характерно повышение концентрации обменного аммония в 2 и более раз. Наиболее существенное увеличение содержания аммонийного азота зафиксировано для переходного горизонта участка № 1 (Нр) – с 1,66 до 4,92 мг/100 г почвы. Для участков № 3 и 4 также характерно повышение содержания аммонийного азота (в 1,5–2 раза) по сравнению с летним периодом.

Таким образом, в результате проведенных исследований показано, что содержание аммонийного азота в почвах мониторинговых участков

изменяется в зависимости от сезона исследований, степени сформированности растительного покрова и места расположения участка.

По обеспеченности аммонийным азотом (принимая во внимание значения актуальной кислотности на мониторинговых участках) поверхностный слой среднегумусированного чернозема оценен как среднеобеспеченный, остальные характеризуются низким его содержанием. Примитивные неразвитые фрагментарные почвы и примитивные неразвитые почвы имеют очень низкое содержание аммонийного азота.

Нитритный азот – промежуточная стадия в цепи бактериальных процессов окисления аммония до нитратов. Изучение содержания нитритного азота проводилось также в сезонной динамике. Характер изменения этого показателя несколько иной (по сравнению с изменением содержания аммонийного азота) (рис. 3).

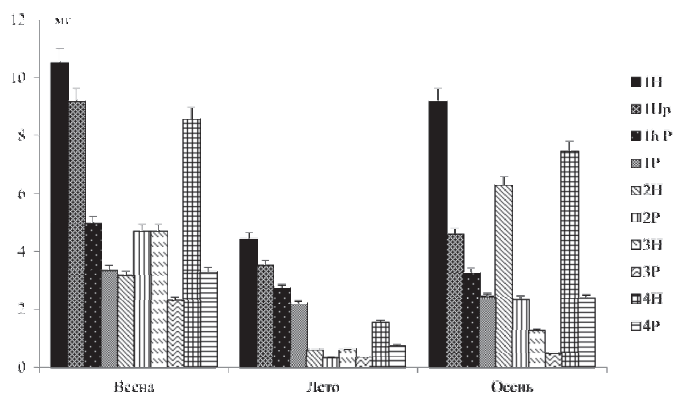


Рис. 3. Содержание нитритного азота (мг N-NO₂/100 г почвы) в эдафотопях мониторинговых участков
Fig. 3. Nitrite nitrogen content (mg N-NO₂/100 g soil) in edaphotopes of monitoring sites

С глубиной количество нитритного азота постепенно снижается, что согласуется и с литературными данными. При этом снижение концентрации данной формы азота характерно как для техногенно нарушенных земель, так и для зональной почвы. Наиболее существенное пониженное содержание нитритного азота по сравнению с черноземом было зафиксировано для участка № 2 в весенний период. Так, если в горизонте Н участка № 2 концентрация нитритного азота составляла 3,17 мг/100 г почвы, то в аналогичном генетическом горизонте чернозема составляла 10,49 мг/100 г почвы. Наименее существенная разница по количеству нитритного азота относительно кон-

троля зафиксирована для участка № 4 (8,55 и 10,49 мг/100 г почвы соответственно для горизонта Н; 3,28 и 3,35 до мг/100 г почвы для горизонта Р соответственно).

Летом нами отмечено существенное снижение содержания нитритного азота по сравнению с весенним периодом исследований. Так, на участке № 1 его количество уменьшилось в 2–3 раза, на участках № 2 и № 3 – в 4 раза, а на мониторинговом участке № 4 – в 8 раз. Тенденция к снижению содержания нитритного азота вниз по профилю сохраняется.

Осенью концентрация исследуемой формы азота практически на всех мониторинговых участках повысилась по сравнению с летним периодом исследований, однако максимальные значения характерны для весеннего периода исследований. В некоторых случаях (для поверхностного горизонта участка № 1) содержание нитритного азота приблизилось к значениям этого элемента в весенний период.

Таким образом, содержание нитритного азота в субстратах мониторинговых участков достаточно динамично, наибольшее его количество отмечается в весенний период. По сравнению с контролем для всех почв зафиксировано пониженное количество нитритного азота.

Доступный для питания растений фосфор находится в почве в форме легкорастворимых фосфатов. При изучении концентрации фосфора в эдафотонах мониторинговых участков его содержание весной оценено как очень низкое (участки № 3, № 1 Р, № 4 Р), низкое (переходный горизонт участка № 1 hP), среднее (участки № 1 Нр, № 2, № 4 Н), очень высокое (участок № 1 Н) (рис. 4).

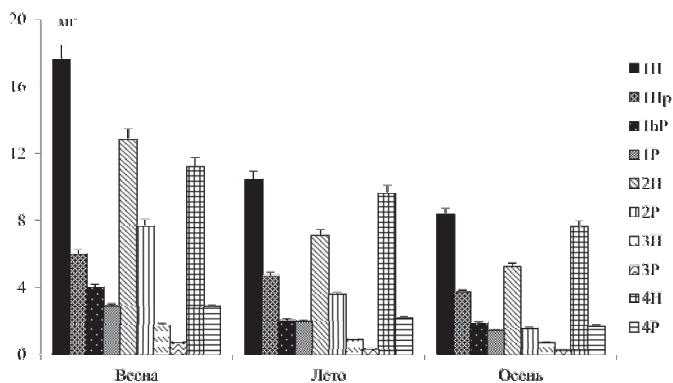


Рис. 4. Содержание фосфора (мг P₂O₅/100 г почвы) в эдафотонах мониторинговых участков

Fig. 4. Phosphorus content (mg P₂O₅/100 g soil) in edaphotopes of monitoring sites

Как и для других элементов минерального питания растений, прослеживается тенденция уменьшения процентного содержания фосфора по почвенному профилю.

Содержание подвижного фосфора постепенно снижается к осени, такое уменьшение его концентрации затронуло все участки и горизонты. Фосфор также усиленно расходуется в процессе вегетативного роста и развития растений, что отражается на его количестве летом и осенью.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что почвы (субстраты) мониторинговых участков № 3 и 4 (примитивных неразвитых фрагментарных почв и примитивных неразвитых почв) характеризуются низким содержанием гумуса, критически низким в случае с участком № 3, что может быть обусловлено рядом физических и биологических факторов.

По обеспеченности аммонийным азотом поверхностный слой среднегумусированного чернозема оценен как среднеобеспеченный, остальные характеризуются низким его содержанием. Примитивные неразвитые фрагментарные почвы и примитивные неразвитые почвы имеют очень низкое содержание аммонийного азота.

Содержание аммонийного азота в почвах мониторинговых участков изменяется в зависимости от сезона исследований, степени сформированности растительного покрова и места расположения участка.

Содержание нитритного азота в субстратах мониторинговых участков динамично: наибольшее количество нитритного азота зафиксировано в весенний период. По сравнению с контролем для всех почв зафиксировано пониженное количество нитритного азота.

При изучении концентрации подвижных фосфатов в эдафотонах мониторинговых участков содержание фосфора весной оценено как очень низкое (участки № 3, № 1 Р, № 4 Р), низкое (участок № 1 hP), среднее (участок № 1 Нр, № 2, № 4 Н), очень высокое (участок № 1 Н). Прослеживается тенденция уменьшения процентного содержания фосфора по почвенному профилю, а также в зависимости от сезона отбора проб.

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.

2. Климентьев А.И., Ложкин И.В., Трубин А.П. Опыт разработки и применения эколого-функциональной классификации почв урбанизированных территорий (на примере г. Оренбурга) // Биологическая рекультивация нарушенных земель. Матер. междунар. совещания. Екатеринбург, 2003. С. 187–201.
3. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
4. Назаренко И.И., Польшина С.М., Никорич В.А. Грунтознавство. Чернівці: Книги-XXI, 2004. 400 с.
5. Полупан М.І., Соловей В.Б., Величко В.А. Класифікація ґрунтів України. Київ: Аграрна наука, 2005. 300 с.
6. Почвоведение. М.: Колос, 1982. 435 с.
7. Практикум по агрохимии / под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
8. Приседський Ю.Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів: навчальний посібник. Донецьк: Касіопія, 1999. 210 с.

Поступила в редакцию: 15.04.2019

UDC 631.415.1+631.416.1+631.416.2+631.417.2

THE FEATURES OF EDAPHOTOPE FORMED IN COAL MINE DUMPS

D.V. Syshchykov, I.V. Agurova

Public Institution «Donetsk Botanical garden»

Seasonal dynamics of changes in the main elements of the plant's mineral nutrition on monitoring sites of coal mine dumps have been established as a result of the conducted research. The uneven accumulation of humus, ammonium nitrogen, nitrite nitrogen and phosphorus mobile forms on monitoring sites is shown. The rate of accumulation and the content of these elements of the plant's mineral nutrition are influenced by such factors as the type of site, the projective cover of plants, climatic factors, etc. The least favorable conditions for the growth and development of plants are formed in a site with a single-dominant community *Oberna behen* (L.) Ikonn. With an increase in the projective coverage and diversity of plants, the content of mineral nutrients also increases.

Key words: edaphotope, humus, elements of mineral nutrition, acidity, monitoring site