

Д.В. Сыщиков, И.В. Агурова

ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ В ЭДАФОТОПАХ ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Государственное учреждение «Донецкий ботанический сад»

В процессе работы проведены исследования, по изучению накопления элементов минерального питания растений (аммонийного и нитритного азота, подвижных соединений фосфора) и органического вещества в эдафотопях техногенно нарушенных экосистем. Установлено пониженное содержание гумуса и элементов минерального питания в субстрате шламохранилища. Концентрация аммонийного азота уменьшается к осени, поскольку его содержание расходуется в процессе вегетации как наиболее доступная для растений форма азота. Такая же тенденция характерна для изменения содержания фосфора. Наибольшее количество нитритного азота зафиксировано в осенний период. Низкое содержание элементов минерального питания в субстрате шламохранилища связано с крайне неблагоприятными физическими свойствами субстрата, кислой реакцией среды и слабой сформированностью растительного покрова.

Ключевые слова: эдафотоп, аммонийный азот, нитритный азот, фосфор, гумус, шламохранилище, карьер

Введение

Быстрый рост городов и развитие промышленности в экологически напряженных регионах приводят к коренным, часто необратимым изменениям ландшафта. Продолжающаяся деградация земель в настоящее время представляет одну из важнейших социально-экономических проблем, которая создает угрозу экологической и экономической безопасности Донецкой Народной Республики. В Донецком регионе, наряду с предприятиями угледобывающей промышленности развиты и другие отрасли промышленности, в результате деятельности которых образуются техногенные ландшафты, оказывающие негативное влияние на окружающую среду. К таким ландшафтам относят хвостохранилища, промышленные участки предприятий, отвалы вскрыши, отходов стройматериалов, золоотвалы, шламовые отвалы и др.

В связи с этим актуальность проведения исследований по изучению условий произрастания растений с выявлением особенностей накопле-

ния элементов минерального питания не вызывает сомнений.

Цель исследований

Целью исследований является изучение особенностей динамики накопления элементов минерального питания (аммонийного и нитритного азота, подвижных соединений фосфора) и органического вещества в эдафотопях техногенно нарушенных экосистем.

Объекты и методики исследований

Объектом исследования являются эдафотопы техногенных экосистем Донецко-Макеевской промышленной агломерации. Исследования проводились на мониторинговых участках, расположенных в юго-западной части Донецко-Макеевской промышленной агломерации (в пределах Горняцкого административного района г. Макеевки и прилегающих территорий).

Описание почвенных разрезов проводили по И.И. Назаренко и Н.И. Полупану [1, 2]. Отбор почвенных образцов проводили по почвенным горизонталам [3]. Отбор проб грунта производился в

характерное для каждого сезона время, условно названные нами «весна», «лето», «осень». Так, весной образцы отбирались после выпадения осадков, летом – после продолжительной засухи с высокими температурными показателями, осенью – во время незначительного понижения температуры, сопровождающегося атмосферными осадками.

Определение актуальной кислотности, засоления, сухого остатка водной вытяжки и катионно-анионного состава проводили общепринятыми методами [4, 5]. Содержание органического вещества по методу Тюрина со спектрофотометрическим окончанием по Орлову-Гриндель [5]. Концентрация аммонийного азота (обменного аммония) определялась колориметрически с реактивом Несслера [4]. Содержание нитритного азота по взаимодействию с альфа-нафтиламином и сульфаниловой кислотой [5]. Определение подвижных форм фосфора проводили согласно методу Чирикова [5].

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась по общепринятым методам параметрической статистики на 95% уровне значимости по Б.А. Доспехову [6].

Предварительный выбор объектов для изучения базировался на анализе данных спутниковых снимков бесплатного картографического сервиса Google Maps с последующей идентификацией объектов и характера нарушений на местности.

Для исследования почвенного покрова деградированных экосистем были выбраны следующие модельные участки, с учетом таких факторов, 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.

Мониторинговый участок № 1. Выведенное из эксплуатации шламохранилище (Горняцкий район г. Макеевка). В составе растительного покрова доминирует *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. Общее проективное покрытие (ОПП) в зарослях *Phragmites australis* доходит до 100%. Поскольку в шламоотстойниках осветляются шахтные воды перед сбросом в гидрологическую сеть и улавливается мелкодисперсный уголь для дальнейшего использования, то соответственно

сбрасываемые воды часто имеют высокое содержание солей, переходящих и в субстрат шламохранилища, и из прибрежно-водных растений поселяются наиболее устойчивые, в основном доминирует *Phragmites australis*.

Разрез № 1-ш. Субстрат (черный песчаный шлам) с признаками почвообразования. Черный, бесструктурный, плотносложенный, мелкопластинчатый, порошистый. Генетические горизонты не выражены. В профиле наблюдается первичное агрегатообразование на корнях растений, накопление гумуса не имеет морфологического выражения вследствие слабого развития глинистой составляющей. Включений, ходов и пор зоогенной природы не выявлено. Отбор почвенных образцов проводился по слоям 0–10 см, 10–20 см и 20–30 см.

Мониторинговый участок № 2. Выведенный из эксплуатации карьер по добыче строительного камня (балка Калиновая, Горняцкий район, г. Макеевка). Растительный покров с высокой мозаичностью, имеются пятна как сорно-рудеральных видов, так и видов степного ценоэлемента. ОПП (за вычетом поверхности крупнообломочного камня) 70-80%.

Разрез № 1-к. Примитивные неразвитые почвы на песчанике.

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

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

Почвообразование по дерновому типу (выражен дерновый гумусоаккумулятивный процесс).

Результаты исследований и их обсуждение

В результате проведенных исследований установлено, что наименьшие показатели pH (2,75–3,84), а соответственно и наихудшие условия для произрастания растений наблюдаются в субстрате шламохранилища. Сильнокислая реакция среды будет негативно отражаться на росте и развитии растений и, соответственно, на доступности элементов минерального питания растений. Благоприятные по этому показателю условия для произрастания растений (значения pH близкие к

нейтральным) складываются в генетических горизонтах почвы на участке № 2.

Образцы субстрата, отобранные с участка №1, оценены как сильнозасоленные, для почвы участка № 2 характерно отсутствие засоления. Для изученных образцов шламохранилища по анионам характерен хлоридно-сульфатный тип засоления, а по катионам – магниевно-кальциевый.

Содержание гумуса является наиболее важным показателем плодородия и экологического состояния почвы [7, 8]. Установлено, что весной в техноземах шламохранилища уровень содержания гумуса является крайне низким (около 0,8%) и практически не изменяется при прохождении вниз по почвенному профилю (табл. 1). По сравнению с шламохранилищем в указанный период исследований гумусо-аккумулятивный горизонт (Н) участка № 2 характеризовался повышенным содержанием гумуса (по сравнению с верхним слоем технозема шламохранилища более чем в 6 раз).

Таблица 1. Содержание гумуса (%) в техноземах мониторинговых участков

Участок	Весна		Лето		Осень	
	M ± m	%	M ± m	%	M ± m	%
№ 1 0-10, см	0,83±0,01	–	0,72±0,03	–	0,78±0,02	–
№ 1 10-20, см	0,8±0,02	–	0,69±0,03	–	0,74±0,02	–
№ 1 20-30, см	0,77±0,02	–	0,63±0,02	–	0,72±0,02	–
№ 2 Н	5,46±0,05*	658,4	3,32±0,16*	461,34	5,52±0,05*	580,8
№ 2 Р	1,57±0,07*	203,4	0,64±0,07	101,6	1,22±0,09*	169,2

Примечание: здесь и в таблицах 2–3, % – процент превышения значений по отношению к аналогичным почвенным горизонтам участка № 1, * – различия статистически достоверны при $p < 0,05$

Полученные данные могут быть объяснены наличием достаточно хорошо сформированного дернового слоя, содержащего предгумусовую фракцию органических веществ, в состав которой входят растительные остатки прошлых лет. В почве нижележащего генетического горизонта данного участка также зафиксировано превышение значений исследуемого показателя в 2 раза по сравнению со слоем 20-30 см шламохранилища.

С увеличением длительности мониторинговых исследований показано снижение содержания гумуса в почвах всех мониторинговых участков, что выражалось в меньшем уровне превы-

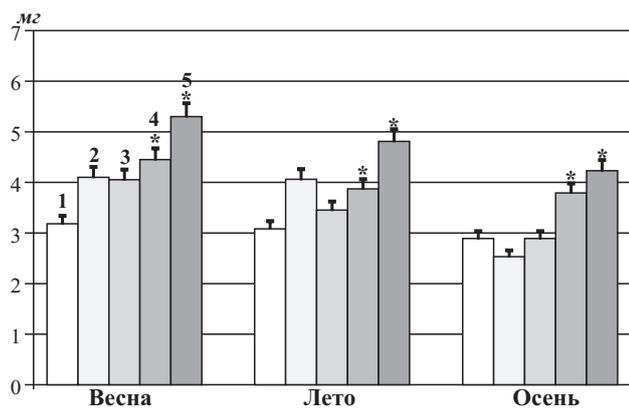
шения значений его концентрации в аналогичных слоях технозема шламохранилища по отношению к весеннему периоду. Полученные данные хорошо согласуются с результатами исследований В.Ф. Валькова, О.С. Безугловой и М.Т. Куприченкова, которыми зафиксировано значительное снижение содержания гумуса летом относительно его весенних и осенних запасов [9–11].

Проведенное определение концентрации гумуса в эдафотопях мониторинговых участков в осенний период позволило выявить усиление процессов его новообразования, преобладающих над минерализацией. По сравнению с летом зафиксировано увеличение содержания гумуса в почвах участка № 2, более явно выраженное в нижележащих почвенных горизонтах. Анализ распределения органического вещества на участке № 2 показал значительное превышение концентрации гумуса (в 1,9 раз) по отношению к технозему шламохранилища. Так, содержание органического вещества в гумусово-аккумулятивном слое участка № 2 превышает аналогичные показатели в поверхностном слое участка № 1 практически в 6 раз.

В целом отмечено, что почвы (субстраты) мониторинговых участков характеризуются крайне низким содержанием гумуса, что может быть обусловлено рядом физических (неразвитость почвенного профиля, жесткий гидротермический режим, низкие значения рН почвенного раствора и др.) и биологических (слабое развитие растительного покрова и его низкий видовой состав) факторов.

Агрохимические свойства почв связаны с динамикой почвенных процессов, интенсивность и цикличность которых регулируется жизнедеятельностью микроорганизмов, физико-химическими взаимодействиями и развитием растений. Азоту принадлежит очень важная роль в биохимии живых организмов и почв. Только почвы из-за уникальности своих свойств могут накапливать азот в составе гумуса и поэтому являются единственным природным резервуаром и источником доступных форм этого элемента [12, 13].

Установлено, что в весенний период в техноземах шламохранилища зафиксировано крайне низкое содержание аммонийного азота (3,18–4,10 мг/100 г почвы) (рис.). В генетических горизонтах примитивных неразвитых почв на песчанике зафиксировано повышение количества аммонийного азота по сравнению с субстратом шламохранилища.



В процессе мониторинговых исследований зафиксировано падение содержания аммонийного азота летом и осенью (по сравнению с весенним периодом), однако тенденция превышения значений исследуемого показателя в примитивных неразвитых почвах на песчанике по отношению к субстрату шламохранилища сохранялась.

Таким образом, показано, что содержание аммонийного азота в почвах мониторинговых участков изменяется в зависимости от сезона исследований (в сторону постепенного уменьшения к осени). Так, наименьшее количество обменного аммония зафиксировано осенью. Весной на участке № 1 количество аммонийного азота составляет 3,18–4,10 мг/100 г почвы, а к осени уменьшается и находится в пределах от 2,53 до 2,89 мг/100 г почвы. Такая же тенденция наблюдается в случае с участком № 2, где количество аммонийного азота уменьшается с 4,45 до 3,79 мг/100 г почвы, по-видимому, аммонийный азот как наиболее доступная для растений форма расходуется в процессе вегетации. По содержанию аммонийного азота для субстратов шламохранилища характерно очень низкое его содержание, для участка № 2 – среднее. Низкое содержание аммонийного азота в субстрате шламохранилища, по нашему мнению, связаны с крайне неблагоприятными физическими свойствами, кислой реакцией среды (рН) и слабой сформированностью растительного покрова.

По сравнению с изменением содержания аммонийного азота отмечен несколько иной характер изменения концентрации нитритного азота, являющегося промежуточной стадией в цепи

Рис. Содержание обменного аммония (мг N-NH₄/100 г почвы) в техноземах мониторинговых участков. 1 – участок № 1 (0–10 см), 2 – участок № 1 (10–20 см), 3 – участок № 1 (20–30 см), 4 – участок № 2 (горизонт Н), 5 – участок № 2 (горизонт Р), * – различия статистически достоверны относительно аналогичных почвенных слоев участка № 1 при $p < 0,05$

Fig. The content of exchangeable ammonium (mg N-NH₄/100 g soil) in the monitoring areas technozems. 1 – site № 1 (0–10 cm), 2 – site № 1 (10–20 cm), 3 – site № 1 (20–30 cm), 4 – site № 2 (horizon H), 5 – site № 2 (horizon P), * – differences are statistically reliable relative to similar soil layers of site № 1 at $p < 0,05$

бактериальных процессов окисления аммония до нитратов [14].

Весной по сравнению с субстратом шламохранилища зафиксировано значительное повышение значений содержания нитритного азота, а наиболее существенные изменения характерны для гумусово-аккумулятивного горизонта участка № 2. Для эдафотопов изученных участков характерно уменьшение содержания нитритного азота при прохождении вниз по почвенному профилю (табл. 2).

Летом зафиксировано значительное уменьшение содержания нитритного азота по сравнению с весенним периодом (в 2 и более раз). Осенью содержание нитритного азота на участке №2 повысилось по сравнению с весенним и летним периодами (для сравнения в гумусово-аккумулятивном горизонте участка №2 весной содержание нитритного азота составляет 9,44 мг/100 г почвы, летом – 2,77 мг/100 г почвы, а осенью – 40,53 мг/100 г почвы). Наиболее существенное увеличение содержания нитритного азота зафиксировано для примитивных неразвитых почв на песчанике.

Таким образом, результаты проведенных исследований показывают, что содержание нитритного азота в субстратах мониторинговых участков – динамично, наибольшее его количество зафиксировано в осенний период. Кроме того, выявлено уменьшение значений этой формы азота при прохождении вниз по почвенному профилю.

Доступный для питания растений фосфор находится в почве в форме легкорастворимых фосфатов. Содержание подвижного фосфора весной

Таблица 2. Содержание нитритного азота (мг N-NO₂/кг почвы) в технозомах мониторинговых участков

Участок	Весна		Лето		Осень	
	M ± m	%	M ± m	%	M ± m	%
№ 1 0-10 см	0,72±0,16	–	0,3±0,03	–	0,16±0,05	–
№ 1 10-20 см	0,27±0,05	–	0,16±0,05	–	0,11±0,03	–
№ 1 20-30 см	0,14±0,03	–	0,11±0,03	–	0,09±0,01	–
№ 2 Н	9,44±1,47*	1311,1	2,77±0,08*	923,3	40,53±1,84*	25331,2
№ 2 Р	4,43±0,46*	3164,3	1,22±0,1*	1109,1	12,08±0,26*	13422,2

оценено нами как очень низкое (участок № 1) и повышенное (участок № 2). Прослеживается тенденция уменьшения процентного содержания фосфора по почвенному профилю. Содержание фосфора по сравнению с субстратом шламохранилища значительно (табл. 3). Значительное содержание подвижного фосфора в почвенных горизонтах участка № 2 (77,2 – 112,6 мг/100 г почвы) объясняется повышенным содержанием фосфора в породе.

На всех мониторинговых участках зафиксировано значительное уменьшение содержания фосфора в летний период исследований. К примеру, в гумусово-аккумулятивном горизонте участка № 2 значения его концентрации уменьшились с 112,6 до 103,1 мг/100 г почвы. Подобно весеннему уменьшению содержания фосфора снижаются и показатели его содержания при прохождении вниз по почвенному профилю.

Таблица 3. Содержание подвижных фосфатов (мг P₂O₅/кг почвы) в технозомах мониторинговых участков

Участок	Весна		Лето		Осень	
	M ± m	%	M ± m	%	M ± m	%
№ 1 0-10 см	0,88±0,1	–	0,54±0,15	–	0,46±0,08	–
№ 1 10-20 см	0,28±0,05	–	0,15±0,06	–	0,12±0,04	–
№ 1 20-30 см	0,18±0,03	–	0,08±0,02	–	0,06±0,01	–
№ 2 Н	112,60±14,64*	12795,4	103,1±32,02*	19092,5	95,9±6,21*	20847,8
№ 2 Р	95,20±12,6*	52888,9	77,2±16,71*	96500,0	88,4±17,95*	147333,3

Тенденция уменьшения содержания фосфора (по сравнению с осенним и весенним периодами исследований) сохраняется и для осеннего периода, кроме того, его концентрация минимальна для субстрата шламохранилища. Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о сезонном снижении содержания подвижных фосфатов и наименьшее содержание фосфора зафиксировано осенью, в конце вегетационного периода растений. Наименьшие значения фосфора характерны для субстрата шламохранилища.

Выводы

В результате изучения почв антропогенно трансформированных экосистем установлено пониженное содержание гумуса и элементов минерального питания в субстрате шламохранилища.

Концентрация аммонийного азота уменьшается к осеннему периоду исследований, поскольку его содержание расходуется в процессе вегетации как наиболее доступная для растений форма азота. Такая же тенденция изменения характерна

для изменения содержания фосфора. Наибольшее количество нитритного азота зафиксировано в осенний период. Низкое содержание элементов минерального питания в субстрате шламохранилища связано с крайне неблагоприятными физическими свойствами субстрата, кислой реакцией среды и слабой сформированностью растительного покрова.

1. Назаренко И.И., Польчина С.М., Никорич В.А. Грунтознавство. Чернівці: Книги-XXI, 2004. 400 с.
Nazarenko I.I., Polychina S.M., Nikorych V.A. Gruntoznavstvo [Edaphology]. Chernivtsi: Knigi, 2004. 400 p.
2. Полупан М.И., Соловей В.Б., Величко В.А. Класифікація ґрунтів України. К.: Аграрна наука, 2005. 300 с.
Polupan M.I., Solovey V.B., Velichko V.A. Klasyfikatsiya gruntiv Ukrainy [Classification of soils in Ukraine]. K.: Agrarna nauka, 2005. 300 p.

3. *Методы почвенной микробиологии и биохимии* / под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
Metody pochvennoy mikrobiologii i biokhimii [Methods of soil microbiology and biochemistry] / pod red. D.G. Zvyagintseva. Moscow: Izd-vo MGU, 1991. 304 p.
4. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
Arinushkina E.V. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv [A guide to chemical analysis of soils]. Moscow: Izd-vo MGU, 1970. 487 p.
5. *Практикум по агрохимии* / под ред. В.Г. Минева. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
Praktikum po agrokhimii [A workshop on agrochemistry] / pod red. V.G. Mineeva. Moscow: Izd-vo MGU, 2001. 689 p.
6. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy) [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
7. *Александрова Л.Н.* Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. М.: Наука, 1980. 287 с.
Aleksandrova L.N. Organicheskoye veshchestvo pochvy i protsessy yego transformatsii [Organic matter of the soil and the processes of its transformation]. Moscow: Nauka, 1980. 287 p.
8. *Кононова М.М.* Органическое вещество и плодородие почвы // Почвоведение. 1984. № 8. С. 6–20.
Kononova M.M. Organicheskoye veshchestvo i plodorodiye pochvy [Organic matter and fertility of the soil] // Pochvovedeniye. 1984. №8. P. 6–20.
9. *Безуглова О.С.* Гумусное состояние почв юга России. Ростов-н/Д.: изд-во СКНЦ ВШ, 2001. 228 с.
Bezuglova O.S. Gumusnoye sostoyaniye pochv yuga Rossii [The humus condition of soils of the south of Russia]. Rostov-n/D.: Izd-vo SKNTS VSH, 2001. 228 p.
10. *Вальков В.Ф., Штомпель Ю.А., Трубилин И.Т.* и др. Почвы Краснодарского края, их использование и охрана. Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 1995. 192 с.
Valkov V.F., Shtompel Yu.A., Trubilin I.T. i dr. Pochvy Krasnodarskogo kraya, ikh ispolzovaniye i okhrana [Soils of the Krasnodar territory, their use and protection]. Rostov-on-Don: SKNTS VSH, 1995. 192 p.
11. *Куприченко М.Т.* Сезонная динамика химических и агрохимических свойств био- и агрочернозема // Достижение науки и техники АПК. 2013. № 7. С. 67–68.
Kuprichenkov M.T. Sezonnaya dinamika khimicheskikh i agrokhimicheskikh svoystv bio- i agrochernozema [Seasonal dynamics of chemical and agrochemical properties of bio- and agrochernozem] // Dostizheniye nauki i tekhniki APK. 2013. № 7. P. 67–68.
12. *Пивоварова Е.Г., Соврикова Е.М.* Сезонная динамика содержания подвижных питательных веществ и математическое обоснование сроков агрохимического обследования почв // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2005. №4. С. 11–16.
Pivovarova E.G., Sovrikova Ye.M. Sezonnaya dinamika sodержaniya podvizhnikh pitatelnykh veshchestv i matematicheskoye obosnovaniye srokov agrokhimicheskogo obsledovaniya pochv [Seasonal dynamics of the content of mobile nutrients and mathematical justification for the timing of agrochemical soil surveys] // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo universiteta. 2005. №4. P. 11–16.
13. *Мязин Н.Г., Кошелев Ю.А.* Агрохимические показатели чернозема и урожай озимой пшеницы при комплексном агрохимическом окультуривании // Плодородие. 2009. №1. С. 20–22.
Myazin N.G., Koshelev Yu.A. Agrokhimicheskiye pokazateli chernozema i urozhay ozimoy pshenitsy pri kompleksnom agrokhimicheskom okulturivanii [Agrochemical indicators of chernozem and winter wheat yield in complex agrochemical cultivation] // Plodorodiye. 2009. N 1. P. 20–22.
14. *Гамзиков Г.П., Кочегарова Н.Ф.* К вопросу о подвижных формах азота в черноземных почвах // Научные труды Сибирского НИИСХ. 1973. №5. С. 38–42.
Gamzikov G.P., Kochegarova N.F. K voprosu o podvizhnikh formakh azota v chernozemnykh pochvakh [On the question of mobile forms of nitrogen in chernozem soils] // Nauchniye trudy Sibirskogo NIISKH. 1973. №5. P. 38–42.

UDC 631.4:57.04

**DYNAMICS OF ELEMENTS OF MINERAL NUTRITION ACCUMULATION IN
EDAPHOTOPES OF TECHNOGENOUS DISTURBED SOILS**

D.V. Syshchykov, I.V. Agurova

Public Institution «Donetsk Botanical Garden»

In the course of work carried out researches related to the study of the elements of plants mineral nutrition accumulation (ammonium and nitrite nitrogen, mobile phosphorus compounds) and organic matter in edatopes of technogenous disturbed ecosystems. Established a lower content of humus and elements of mineral nutrition in the substrate of the slurry storage. The concentration of ammonium nitrogen decreases to the autumn, as its content is consumed during vegetation as the most accessible form of nitrogen for plants. The same trend of change is characteristic for the change in the content of phosphorus. The greatest amount of nitrite nitrogen was fixed in the autumn period. The low content of mineral nutrition elements in the substrate of the slurry storage is associated with extremely unfavorable physical properties of the substrate, acidic reaction of the environment and poorly formed vegetation cover.

Key words: edatope, ammonium nitrogen, nitrite nitrogen, phosphorus, humus, slurry storage, quarry