

УДК 631.41:633.8:631.53:58.006(470.21)

АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ КОЛЛЕКЦИОННОГО ПИТОМНИКА ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ ПОЛЯРНО-АЛЬПИЙСКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА

© 2021 г. Г. М. Кашулина^{1,*}, Н. М. Коробейникова¹, Л. Л. Виравчева¹, Н. В. Чуева¹

¹ Полярно-альпийский ботанический сад-институт КНЦ РАН
184209 Апатиты, Мурманская обл., ул. Ферсмана, 18а, Россия

*E-mail: galina.kashulina@gmail.com

Поступила в редакцию 30.03.2021 г.

После доработки 22.04.2021 г.

Принята к публикации 11.06.2021 г.

Проведено агрохимическое обследование искусственно созданного гумусового горизонта Prh агрозема альфегумусового на 27-ми участках коллекционного питомника интродуцированных лекарственных травянистых растений. Гумусовый горизонт был создан из смеси песка, торфа, навоза и извести в 1987 г. Более 10 последних лет почву не пополняли свежим органическим веществом, ежегодно в нее вносили только азофоску (АЗФК) ≈ 40 г/м². В смешанных образцах гумусового горизонта определяли гранулометрический состав, полевую влажность, содержание органического вещества по потере при прокаливании, рН_{KCl}, доступные для растений формы фосфора и калия по Кирсанову, аммиачный и нитратный азот в вытяжке 2% K₂SO₄. Исследования показали, что почва на 82% участков коллекционного питомника является кислой и нуждается в известковании. В условиях промывного водного режима эффект от разового внесения доломитовой муки 200 г/м², в зависимости от исходной кислотности, составил 1–2 года. Содержание в почвах коллекционного питомника доступных для растений форм фосфора и калия было высоким, минеральных форм азота, наоборот, очень низким. Первоочередными задачами повышения плодородия почв коллекционного питомника является внесение больших доз свежих органических удобрений, проведение известкования и увеличение дозы азотных удобрений. Из-за высоких различий между площадками всех агрохимических показателей необходимо разрабатывать индивидуальную для каждой площадки систему агроуправляющих мероприятий.

Ключевые слова: гранулометрический состав, рН_{KCl}, доступные для растений формы фосфора и калия, нитратный азот, аммиачный азот, известкование, антропогенные почвы ботанических садов, Кольский полуостров.

DOI: 10.31857/S0002188121090076

ВВЕДЕНИЕ

Антропогенно преобразованные почвы ботанических садов занимают небольшие территории, но играют огромную роль в сохранении биологического разнообразия. Создание коллекций растений с широкой географией и изучение адаптационных механизмов к новым условиям окружающей среды приобретают особую ценность и в связи с современными проблемами изменения климата. Специфические почвы искусственных ценозов, в том числе ботанических садов, начали привлекать все большее внимание исследователей в последнее время [1–5]. Основной направленностью в этих работах было исследование разнообразия, генезиса и систематики антропогенных почв, а также их экологического состояния. Для характеристики плодородия почв ботаниче-

ских садов в этих работах использовали лишь небольшое число показателей.

Вместе с тем создание и использование плодородного слоя в коллекционных питомниках ботанических садов имеет свои специфические особенности, зависящие не только от природных условий территории, но и от биологических особенностей выращиваемых видов растений и их требований к почвенным условиям [6]. Для более эффективного использования генетического потенциала интродуцированных растений в научных и прикладных целях необходимо более подробное изучение антропогенных почв с точки зрения продукционной основы этих уникальных искусственных экосистем.

Полярно-альпийский ботанический сад КНЦ РАН (ПАБСИ) является самым северным бота-

Таблица 1. Среднемесячная температура и месячная сумма осадков за вегетационный период в годы исследования (по данным метеостанции Апатиты) (<http://www.rp5.ru>)

Месяц	2016 г.		2017 г.		2018 г.		2019 г.	
	<i>t</i> , °С	осадки, мм	<i>t</i> , °С	осадки, мм	<i>t</i> , °С	осадки, мм	<i>t</i> , °С	осадки, мм
Май	8.7	26	1.6	28	7.8	38	4.9	31
Июнь	11.3	58	8.2	71	10.5	72	10.8	111
Июль	17.4	99	14	85	18.8	20	12.4	43
Август	13.1	138	11.4	123	13.3	55	11	82
Сентябрь	7.7	81	6.4	44	8.5	35	8	47
Сумма		402		351		220		314

ническим садом в России. За 90 лет здесь было акклиматизировано к суровым условиям субарктики более 2500 видов растений из различных природных зон. Морфолого-генетические и эколого-геохимические особенности антропогенно-преобразованных почв в горно-лесотундровой и горнолесной части ПАБСИ (Кировская площадка) были подробно изучены в работе В.И. Чупиной [7]. Коллекция многолетних травянистых растений ПАБСИ в окрестностях г. Апатиты была создана в 1987 г. с целью подбора ассортимента лекарственных растений для Кольского севера и разработки приемов их агротехники [8]. Она включает >300 видов интродуцентов из различных уголков мира. Поскольку каждый вид растений в процессе своей эволюции выработал определенные требования к условиям произрастания, для их успешной интродукции необходимо создание оптимальных почвенных условий. Естественные почвы на Кольском полуострове характеризуются низким естественным плодородием [9, 10] и для успешного выращивания культурных растений требуют применения целого комплекса агротехнических и агрохимических мероприятий, включая регулярное внесение больших доз органических и минеральных удобрений, а также известкование [11–13].

Цель работы – анализ результатов агрохимического обследования почв коллекционного питомника лекарственных травянистых растений, расположенного в лесной зоне ПАБСИ в окрестностях г. Апатиты.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для создания искусственного гумусового горизонт R_{gh} на площадках коллекционного питомника использовали естественный грунт с добавлением компоста, составленного из смеси торфа, песка, навоза и извести. Его мощность на момент исследования составила 12–15 см. Под ним залегает иллювиальный горизонт ВНФ подзола коренной экосистемы. Почва была диагностирована

как агрозем альфегумусовый гумусово-стратифицированный [14]. В последние 10 лет уход за почвами включал ежегодное весеннее внесение азофоски (АЗФК) в дозе ≈40 г/м² (N60P60K60) на поверхность, а также 1–2-кратную прополку за вегетационный сезон с удалением сорняков вместе с корнями и комом земли.

Среднемесячная температура и месячная сумма осадков за вегетационный период в годы исследования, по данным ближайшей метеостанции в г. Апатиты, представлены в табл. 1.

Первичное агрохимическое опробование искусственного гумусового горизонт R_{gh} на 27-ми площадках коллекционного питомника интродуцированных лекарственных травянистых растений было проведено 12 сентября 2016 г. Размер делянок варьировал от 1 до 5 м². С каждой площадки составлялся один смешанный образец из 10-ти индивидуальных образцов, отобранных почвенным буром-тростью равномерно со всей площади. Повторное обследование этих площадок было проведено 4 сентября 2017 г. На все площадки в течение проведения наблюдений ежегодно в начале вегетационного сезона вносили АЗФК 40 г/м² (N60P60K60).

Для изучения влияния известкования на кислотный статус почв было отобрано 5 площадок, характеризующихся различными уровнями кислотности: пл. 5, 11, 15, 25 и 29. На этих площадках опробование было проведено 26 июня 2017 г. перед внесением удобрений, после чего вместе с минеральными удобрениями была поверхностно внесена доломитовая мука (CaCO₃ · MgCO₃) 200 г/м². Через неделю (3 июля) эти почвы были снова опробованы. Опробование почв на этих площадках было проведено также в начале сентября 2017, 2018 и 2019 гг.

Подготовка образцов к химическому анализу включала протирание свежего образца через сито 2 мм. Агрохимический анализ включал определение потери при прокаливании при температуре

Таблица 2. Агрохимические показатели почвы коллекционного питомника лекарственных травянистых растений по результатам опробования 12.09.2016 г. и 3.09.2017 г. (на абсолютно сухую почву)

Показатель	12.09.2016 г.			3.09.2017 г.		
	Min	Медиана	Max	Min	Медиана	Max
ППП, %	7.4	9.6	15.4	6.9	9.6	14.3
pH _{KCl}	4.5	5.1	6.3	4.5	5.2	6.6
N-NH ₄ , мг/100 г	0.2	0.6	1.4	0.4	1.1	1.8
N-NO ₃ , мг/100 г	0.0	0.1	0.7	0.0	0.2	0.6
N-NO ₃ + N-NH ₄ , мг/100 г	0.3	0.7	1.7	0.5	1.2	2.2
P ₂ O ₅ , мг/100 г	41.8	57.9	96.5	26.4	41.1	94.0
K ₂ O, мг/100 г	8.0	16.5	30.5	7.0	13.0	35.5
H _r , смоль/кг	0.8	3.2	6.1	0.8	2.7	5.8
Влажность, %	24.1	30.7	39.9	21.7	27.6	37.7

600°C (ППП), полевой влажности, величины pH_{KCl} при соотношении почва : раствор = 20 : 50, нитратного и аммиачного азота, извлеченного 2%-ным K₂SO₄ в соотношении 10 : 150. Нитратный азот определяли дисульфифеноловым методом, аммиачный – с реактивом Несслера. Фосфор и калий извлекали 0.2 н. HCl-вытяжкой в соотношении почва : раствор = 1 : 50, фосфор определяли методом Кирсанова, калий – пламенно-фотометрическим методом [15].

В 12-ти образцах 2017 г. был также определен гранулометрический состав по Н.А. Качинскому во фракции <1 мм [16].

Обработка данных включала определение основных статистических параметров распределения (медианы, минимума, максимума) агрохимических показателей, расчеты коэффициентов корреляции и построение диаграмм с использованием Microsoft Excel 2010. Для оценки достоверности различий между наборами данных использовали *U*-критерий Манна–Уитни (http://www.psychol_ok.ru/statistics/mann_whitney).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Гранулометрический состав. В составе мелкозема искусственного гумусового горизонт P_{rh} на площадках коллекционного питомника травянистых лекарственных растений значительно преобладали песчаные фракции. Сумма песчаных фракций (фракции 0.25–1 мм) варьировала от 74 до 84%. Минимальная доля физической глины (фракция <0.01 мм) составляла 6.6, максимальная – 13.2%. Согласно классификации Н.А. Качинского, почвы на 33% площадок характеризовались как связный песок, на 67% – как супесь.

Влажность. Из-за легкого гранулометрического состава, минеральные почвы в регионе обладают низкой влагоемкостью. Например, в пахотном горизонте окультуренного песчаного подзола с 3.5% гумуса и 4% физической глины в мелкоземе полная влагоемкость составила 58.5%, наименьшая влагоемкость – 23.9% [17]. Поэтому, несмотря на гумидный климат, урожайность культурных растений на песчаных почвах в регионе в значительной степени зависит от гидрологических особенностей вегетационного сезона [18].

На площадках коллекционного питомника даже в наиболее влажный 2016 г. (табл. 1) полевая влажность варьировала от 24 до 40% (табл. 2, рис. 1). Влажность в 2017 г. была значимо, согласно *U*-критерию Манна–Уитни ($U_{\text{эмп}} = 224$, $U_{\text{кр. 0.01}} = 229$), меньше по сравнению с 2016 г. и варьировала от 22 до 38%. В распределении между площадками полевая влажность достоверно при $p \leq 0.01$ положительно коррелировала с ППП ($r = 0.66$ в 2016 г. и $r = 0.91$ в 2017 г.) и содержанием физической глины ($r = 0.72$) в мелкоземе и, наоборот, достоверно отрицательно при $p \leq 0.05$ – с суммой песчаных фракций ($r = -0.58$).

Наблюдения на 5-ти площадках (рис. 2) показали, что наиболее высокая влажность во все сроки отбора образцов была отмечена на площадках с высоким содержанием органического вещества – пл. 5 или 29. И, наоборот, самая низкая – на пл. 25 с самым низким содержанием органического вещества. Согласно *U*-критерию Манна–Уитни, при $p \leq 0.01$, влажность на пл. 25 была значимо меньше по сравнению с пл. 5 и 29. То есть, на некоторых площадках устойчиво сохранялся более высокий уровень влажности, на некоторых, наоборот, – низкий.

На всех 5-ти площадках максимальная влажность пришлась на осень самого влажного 2016 г.

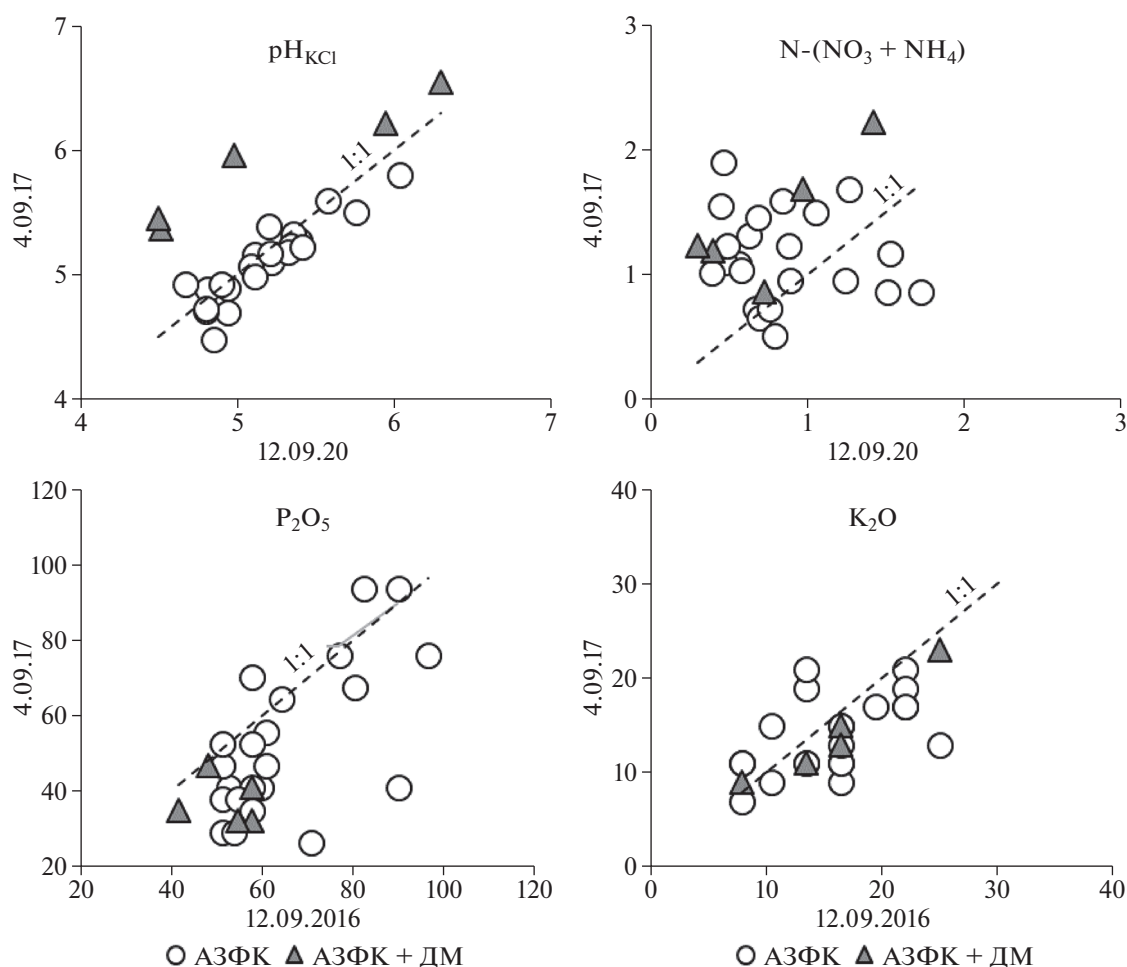


Рис. 1. Соотношение агрохимических показателей почв на площадках коллекционного питомника по результатам обследования осени 12.09.2016 г. и 4.09.2017 г. На все площадки в начале вегетационного периода 2016 и 2017 гг. была внесена азофоска (АЗФК), на 5-ти площадках в начале вегетационного периода 2017 г. дополнительно была внесена доломитовая мука (АЗФК+ДМ). Содержание (N-NH₄ + N-NO₃), P₂O₅ K₂O приведено в мг/100 г почвы.

Минимальная влажность была обнаружена в начале июля сезона 2017 г. и варьировала от 17.5 (пл. 25) до 25.7% (пл. 29), т.е. была близкой к приведенной выше величине наименьшей влагоемкости. Приуроченность максимальной влажности к ранневесеннему и осеннему периодам, а минимальной, опускающейся до величины наименьшей влагоемкости, на июль месяц, является характерной особенностью гидрологического режима всех почв в регионе [17]. Несмотря на то, что отобранные образцы с площадок представляли разные по увлажнению годы (табл. 1) и разные гидрологические периоды (рис. 2), влажность почвы на площадках за время наблюдений варьировала незначительно: коэффициент варьирования на пл. 29 составил 5.4, на пл. 25 – 11%.

Содержание органического вещества. Как показали результаты агрохимического анализа (табл. 2), несмотря на относительно небольшой размер

участка, занимаемого коллекционным питомником, содержание органического вещества, оцененного по величине ППП, между площадками в 2016 и 2017 гг. различалось в 2 раза. Как одно из фундаментальных свойств почв, содержание органического вещества мало менялось в многолетней динамике: коэффициент варьирования ППП в многолетней динамике на пл. 25 составил 3, на пл. 11 – 9.4%. То есть, площадки существенно различались по уровню содержания органического вещества. Например, величина ППП в почве на пл. 5 была больше (значимо, согласно *U*-критерию Манна–Уитни при $p \leq 0.01$) по сравнению с площадками 11, 14, 25 и 29 во все сроки опробования. Различия по величине ППП между остальными площадками (11, 14, 25 и 29) не были значимыми.

Корреляционный анализ показал, что содержание органического вещества (ППП) является фактором, с которым достоверно ($p \leq 0.01$) связа-

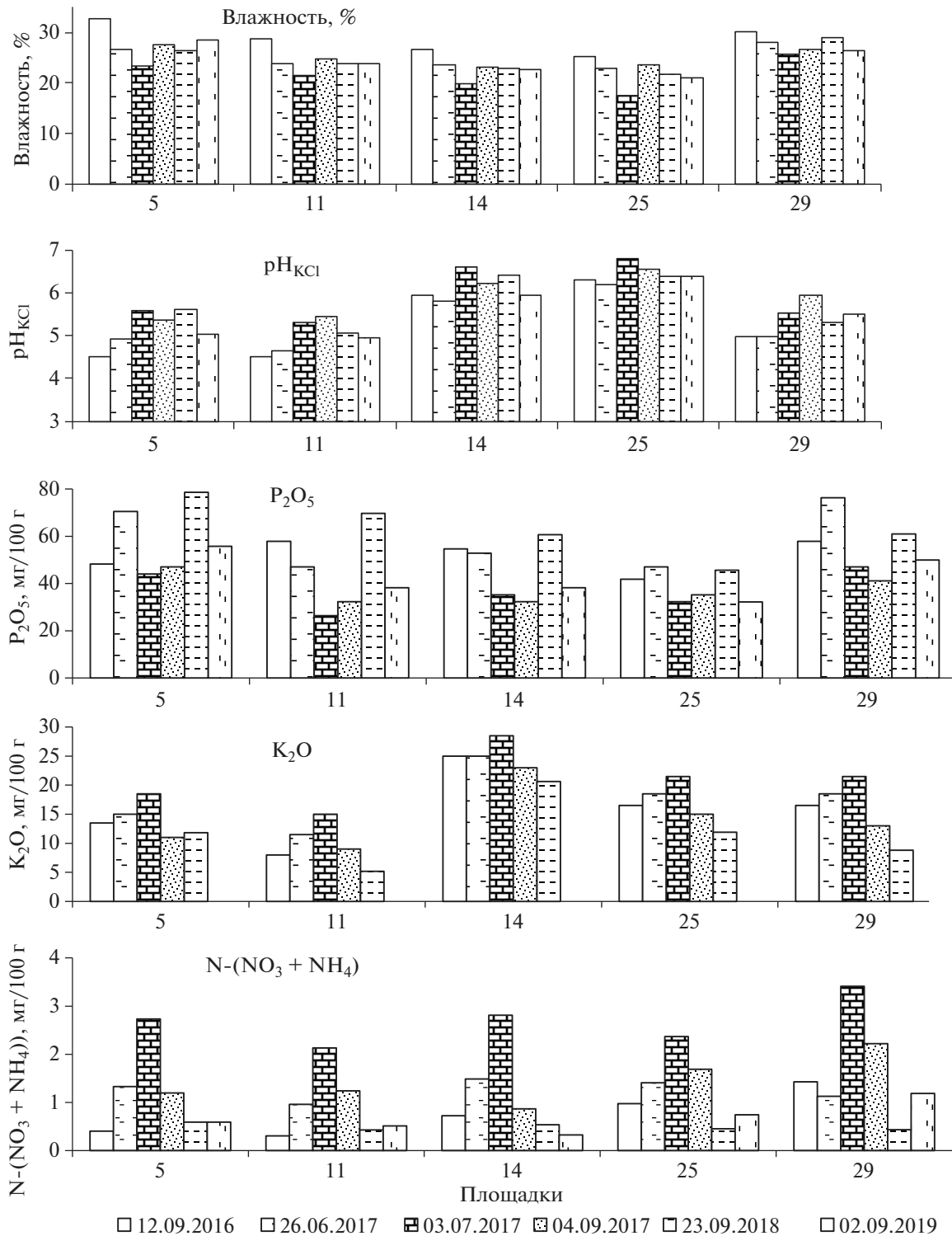


Рис. 2. Трехлетние наблюдения за агрохимическими показателями на 5-ти площадках (5, 11, 14, 25, 29), известкованных 26.06.2017 г.

но распределение между площадками не только влажности, как это было показано выше, но и таких важных агрохимических показателей, как обменная кислотность – pH_{KCl} ($r = -0.40$ для 2016 г.

и $r = -0.61$ для 2017 г.), гидролитическая кислотность – H_t ($r = 0.45$ для 2016 г. и $r = 0.72$ для 2017 г.) и содержание доступного фосфора ($r = 0.63$ для 2016 г. и $r = 0.83$ для 2017 г.).

Кислотность почвы. По результатам обследования осенью 2016 г. величина pH_{KCl} на разных площадках варьировала почти на 2 ед.: от 4.5 до 6.3 ед. pH . По кислотности образцы почв с площадок коллекционного питомника распределялись следующим образом: почва на 2-х площадках (7.4% площадок) характеризовалась как сильнокислая, на 9-ти площадках — как среднекислая (33.3% площадок), на 11-ти (40.7%) — как слабокислая, на 4-х (14.8%) — как близкая к нейтральной и на одной площадке — как нейтральная (3.7%). На неизвесткованных площадках осенью 2017 г. величина pH_{KCl} на большинстве (16 из 22) площадок была от 0.02 до 0.37 ед. ниже по сравнению с 2016 г., и в 6-ти образцах — от 0.02 до 0.26 ед. — выше (рис. 1). Но, согласно *U*-критерию Манна—Уитни, различия кислотности почв неизвесткованных площадок в 2016 и 2017 гг. не были значимыми.

Из-за высокой кислотности для поддержания плодородия окультуренных почв в регионе обязательным мероприятием также является ежегодное известкование почв [9, 11–13]. В соответствии с величиной pH_{KCl} по результатам обследования 2016 г. только на 5 площадках (18%) не требовалось проведение известкования почв [16]. На остальных 22 площадках (82%), в зависимости от кислотности, требовалось внесение извести от 0.3 до 0.5 кг/м². По данным 2017 г., почва на большинстве неизвесткованных площадок (на 19-ти из 22-х, или 86.4%), кроме пл. 15, 19 и 23, нуждалась в известковании.

Для выявления влияния известкования на обменную кислотность почв из 27 площадок было выбрано 5, которые наиболее значительно различались по агрохимическим свойствам: пл. 5, 11, 14, 25 и 29. На этих площадках опробование почв было проведено в начале вегетационного периода 26.06.2017 г. (в этот год начало вегетационного периода значительно задержалось из-за низких температур). После этого были внесены удобрения и известь. Через неделю после внесения мелиорантов на этих площадках снова были отобраны образцы почв на анализ. Изменение агрохимических свойств на 5-ти площадках в течение последующих двух лет после внесения извести представлены на рис. 2.

При опробовании почв в начале вегетационного сезона (26.06.2017) pH_{KCl} оказался близким с показателями осеннего опробования 2016 г. на всех площадках, за исключением пл. 5. На внесение извести положительно отреагировала почва на всех 5-ти площадках: через неделю после внесения извести величина pH_{KCl} возросла от 0.25 до 0.98 ед. То есть, почва на всех площадках оказалась очень восприимчивой к известкованию, и

даже небольшая доза доломитовой муки значительно изменила кислотные условия в почве.

К осени 2017 г. эффект от внесения извести был очевиден на всех 5-ти площадках. Осенью 2018 и 2019 гг. кислотность была ниже, но не достигла уровня 2016 г. При этом кислотность почвы на пл. 14 и 25 весь период наблюдений оставалась в области, благоприятной для роста большинства видов растений. На более кислых участках потребность в повторном известковании возникла уже через 1 год (пл. 11, 29) или 2 года (пл. 5) после внесения извести, т.е. исходная неоднородность кислотности почв на площадках коллекционного питомника требует постоянного слежения за этим параметром и разработки индивидуального для каждой площадки режима известкования.

Распределение величины pH_{KCl} между 5-ю площадками было противоположным содержанию органического вещества. Наиболее высокие величины pH_{KCl} (значимо бóльшие по сравнению с пл. 5, 11 и 29 согласно *U*-критерию Манна—Уитни) были свойственны пл. 14 и 25 с более низкими величинами ППП. Причиной более низкой кислотности почвы на площадках 14 и 25 могли быть и подкronовые выпадения березы, растущей рядом с пл. 14, и боярышника — рядом с пл. 25, а также поступлением их высокозольного опада.

Доступные соединения фосфора. По результатам первого тура обследования осенью 2016 г., различия между площадками по содержанию доступного фосфора в почвах составили 2.3 раза, в 2017 г. — 3.6 раза. Сравнение полученных результатов и существующих шкал обеспеченности окультуренных почв элементами питания [19] показали, что почвы на всех площадках коллекционного питомника характеризовались очень высокой обеспеченностью доступным для растений фосфором. Однако, как показали эксперименты, несмотря на высокие показатели, сельскохозяйственные растения в регионе положительно отзывались на фосфорные удобрения, внесенные совместно с азотом и калием. Поэтому для поддержания плодородия окультуренных почв в регионе было рекомендовано внесение фосфора вместе с другими минеральными и органическими удобрениями [9, 11, 12].

Подвижный фосфор оказался элементом, значительно варьирующим по срокам отбора. Осенью 2017 г. его содержание на большинстве площадок (на 22-х из 27-ми) оказалось меньше по сравнению с 2016 г. (рис. 1). В среднем содержание фосфора к осени 2017 г. снизилось на 20% (среднее квадратичное отклонение было равно 20.6%). Однако уровни его содержания остались в области высокой обеспеченности. *U*-критерий

Манна–Уитни показал, что это снижение было значимым (при $p \leq 0.01$): $U_{\text{эмп}} = 181$, $U_{\text{кр}, 0.01} = 229$.

На большинстве известкованных площадок минимальное содержание подвижного фосфора было обнаружено через неделю после внесения мелиорантов и/или к концу вегетационного сезона 2017 г. (рис. 2). По сравнению с данными 26.06.2017 г., концентрация доступного фосфора через неделю после внесения извести и удобрений снизилась на 31–44%. Наиболее высокое содержание доступного фосфора на известкованных площадках пришлось на первый тур опробования осенью 2016 г., на начало вегетационного периода 2017 г. и на осень 2018 г. Различия между сроками отбора образцов на одной площадке составляли от 1.5 (пл. 25) до 2.6 (пл. 11) раза. Из-за высокого варьирования по срокам отбора образцов различия между площадками по содержанию доступного фосфора оказались незначимыми.

Доступные соединения калия. Для содержания подвижного калия было свойственно высокое пространственное варьирование (табл. 2, рис. 1). Различия между площадками по содержанию подвижного калия в почвах по результатам опробования 2016 г. составили 3.8, 2017 г. – 5.1 раза. По содержанию подвижного калия почвы на 6-ти площадках характеризовались средним уровнем обеспеченности калием, 13 (48%) – повышенным, 7 площадок (26%) – высоким и 1 площадка – очень высоким [19]. Содержание K_2O в почве в 2017 г. было на 20-ти площадках на 1–12 мг/100 г (на 8–42%) меньше по сравнению с 2016 г., на 7-ми площадках – больше от 1 до 7.5 мг/100 г (от 12 до 55%). Однако, согласно U -критерию Манна–Уитни, различия между 2016 и 2017 гг. по содержанию подвижного калия были незначимы ($U_{\text{эмп}} = 302$, $U_{\text{кр}, 0.01} = 229$).

Поскольку калий является подвижным элементом и легко вымывается из почв, регулярное внесение калийных удобрений также является необходимым мероприятием для поддержания плодородия окультуренных почв в регионе [9, 11, 12].

Многолетние наблюдения на 5-ти площадках показали, что почвы хорошо отзывались на внесение калия в комплексе с другими минеральными удобрениями в начале вегетационного сезона. Через неделю после их совместного с известкой внесения содержание подвижного калия повысилось на 3.0–3.5 мг/100 г, или на 14–30%. Однако уже к концу вегетационного периода 2017 г. его содержание уменьшилось ниже уровня осени 2016 г. То есть, эффект от внесения калия в условиях промывного водного режима на легких по гранулометрическому составу почвах был непродолжительным.

Наблюдения на 5-ти площадках также подтвердили наличие больших различий между площадками по содержанию подвижного калия в почвах, т.е. его высокое пространственное варьирование. Наиболее высоким содержанием подвижного калия во все сроки отбора образцов почв характеризовалась площадка 14, расположенная рядом с кроной березы, наиболее низким – площадки 5 и 11, расположенные на открытом месте. Согласно U -критерию Манна–Уитни, содержание подвижного калия в почве на пл. 14 были значимо больше по сравнению с остальными площадками ($U_{\text{эмп}} = 0$, $U_{\text{кр}, 0.01} = 1$).

Минеральные формы азота. Первичное опробование осенью 2016 г. показало, что содержание минеральных форм азота в почвах коллекционного питомника было очень низким: содержание аммиачного азота варьировало 0.23 до 1.43 (среднее 0.72 ± 0.33), нитратного – от 0 до 0.69 (среднее 0.11 ± 0.14) мг/100 г почвы (табл. 2, рис. 1). В соответствии со шкалой Г.П. Гамзикова [20], обеспеченность почв минеральными формами азота по величине суммарного содержания аммиачного и нитратного азота на 89% площадок характеризовалась как очень низкая, на 11% – как низкая. Результаты предшествующих исследований [18, 21] показали, что причиной столь низкого содержания минеральных форм азота была низкая микробиологическая активность почв из-за длительного отсутствия поступления в почву свежего органического вещества, содержащего легкодоступные для микроорганизмов формы органического вещества. Для поддержания достаточного уровня минеральных форм азота в окультуренных почвах региона рекомендуется ежегодное внесение навоза до 90 т/га и высоких доз (до 120 кг д.в./га) минеральных азотных удобрений [9, 11, 12]. В почву коллекционных питомников ежегодно весной вносили только N_{60} в виде АЗФК, а навоз не вносили уже более 10 лет. Кроме того, длительное время регулярно при прополке 1–2 раза за сезон из почв удаляли азот, связанный с сорными растениями.

Осенью 2017 г. содержание минерального азота в большинстве образцов почв (в 17-ти из 22-х) с неизвесткованных площадок было от 9 до 305% больше по сравнению с осенью 2016 г., хотя весной 2016 г. также вносили минеральные удобрения. Тем не менее, и осенью 2017 г. 77% площадок характеризовались очень низкой обеспеченностью минеральными формами азота, 23% – низкой. U -критерий Манна–Уитни показал, что содержание минеральных форм азота ($N-NO_3 + N-NH_4$) осенью 2017 г. было значимо ($p \leq 0.01$) больше по сравнению с осенью 2016 г.: $U_{\text{эмп}} = 156$, $U_{\text{кр}, 0.01} = 180$. То есть, в отличие от фосфора и калия, обеспе-

ченность почв коллекционных питомников доступными минеральными формами азота характеризовалась как очень низкая. Для поддержания плодородия почв коллекционного питомника на всех площадках требуется внесение больших доз азотных удобрений.

В начале вегетационного периода в 2017 г. содержание минеральных форм азота в почвах 5-ти площадок было значительно больше по сравнению с осенью 2016 г. на всех площадках, кроме пл. 29 (рис. 2), но все показатели оставались в очень низкой области обеспеченности азотом (<15 мг/кг). Повышение содержания минеральных форм азота в начале лета и снижение к осени является характерным для его сезонной динамики в регионе [22]. Через неделю после внесения удобрений и извести содержание минеральных форм азота увеличилось по сравнению с началом вегетационного периода от 68.1 (пл. 25) до 202% (пл. 29). Наибольший вклад в увеличение содержания минеральных форм азота внес аммиачный азот: от 52 (пл. 14) до 93% (пл. 11). При этом все площадки, кроме пл. 29, по содержанию минеральных форм азота остались в области низкой обеспеченности азотом. К осени 2017 г. содержание минеральных форм азота резко снизилось. Уровни содержания минеральных форм азота на 3-х площадках (пл. 5, 11, 14) характеризовались как очень низкие, на 2-х площадках (пл. 25 и 29) – как низкие. Осенью 2-х последующих лет (2018 и 2019 гг.) суммарное содержание аммиачного и нитратного азота на всех известкованных площадках не превышало 1.2 мг/100 г почвы, и обеспеченность минеральными формами азота характеризовалась как очень низкая. Из-за высокого временного варьирования, различия между площадками по содержанию минеральных форм азота не были значимыми.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Агрохимическое обследование показало, что искусственно созданный гумусовый горизонт P_{rh} на участках, длительно используемых под посадки интродуцированных многолетних лекарственных травянистых растений, в настоящее время характеризуется небольшой мощностью (12–15 см), легким песчаным или супесчаным гранулометрическим составом и низкой полевой влажностью. Несмотря на гумидный климат в отдельные гидрологические периоды вегетационного сезона влажность почв снижается до наименьшей влагоемкости.

При длительном отсутствии известкования, величина pH_{KCl} почв на обследованных площад-

ках коллекционного питомника варьировала от 4.5 до 6.4 ед. На 22-х площадках из 27-ми (82%) pH_{KCl} был ниже 5.5 ед., и почва нуждалась в известковании. На однократное внесение доломитовой муки почва на площадках коллекционного питомника среагировала значительным снижением кислотности, однако в условиях промывного режима эффект от внесения извести был непродолжительным. Через год или два, в зависимости от площадки, кислые почвы снова нуждались в известковании. В сельскохозяйственной практике в регионе ежегодное известкование почв является необходимым агротехническим мероприятием.

Как и окультуренные почвы в регионе, почвы на площадках коллекционного питомника характеризовались высоким содержанием доступного для растений фосфора и калия. Сельскохозяйственные растения хорошо отзываются на дополнительное внесение этих элементов, и ежегодное применение фосфорных и калийных удобрений также является обязательным агротехническим мероприятием для поддержания плодородия окультуренных почв в регионе.

Сложившаяся практика ухода за почвами коллекционного питомника с ежегодным внесением только небольших доз комплексных минеральных удобрений привела к обеднению почв минеральными формами азота, особенно нитратного. На 89% площадок почва характеризовалась очень низкой обеспеченностью минеральными формами азота. Даже через неделю после внесения азота с АЗФК в дозе N_{60} почвы оставались в области низкой обеспеченности минеральными формами азота. Как было показано в предыдущих исследованиях, активность микроорганизмов в окультуренных почвах в регионе зависит от наличия свежего органического вещества, поэтому для поддержания в почвах достаточного уровня доступного азота требуется ежегодное внесение больших доз органических удобрений (навоз 40–90 т/га) и минеральных форм азота (до N_{120}).

Поскольку многие агрохимические показатели плодородия зависят от содержания органического вещества, первоочередной задачей повышения плодородия искусственно-созданного гумусового горизонта коллекционного питомника травянистых лекарственных растений является повышение его содержания за счет внесения больших доз свежих органических удобрений. Необходимо также провести известкование на большей части площадок и значительно увеличить дозу минеральных азотных удобрений.

При этом, из-за высоких различий всех агрохимических показателей между площадками, не-

обходимо разрабатывать индивидуальную для каждой площадки систему агроメリоративных мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матинян Н.Н., Урусевская И.С. Почвы острова Валаам. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1999. 32 с.
2. Урусевская И.С., Матинян Н.Н. Антропогенно-преобразованные почвы островных монастырей таежно-лесной зоны России // Почвоведение. 2005. № 9. С. 1069–1079.
3. Строганова М.Н., Ратпопорт А.В. Антропогенные почвы ботанических садов крупных городов южной тайги // Там же. С. 1094–1101.
4. Чупина В.И. Антропогенные почвы ботанических садов (Обзор) // Почвоведение. 2020. № 4. С. 495–506. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20040048>
5. Чупина В.И. Почвы Никитского ботанического сада и их геохимические свойства // Вестн. МГУ. Сер. 5: География. 2020. № 1. С. 35–41.
6. Клименко О.Е., Орел Т.И., Новицкий М.Л. Оценка агроэкологических условий для закладки коллекционных насаждений плодовых культур // Бюл. Гос. Никитского бот. Сада. 2019. Вып. 131. С. 15–24. <https://doi.org/10.25684/NBG.boolt.131.2019.02>
7. Чупина В.И. Природные и антропогенные почвы Полярно-альпийского ботанического сада (г. Кировск) // Вестн. МГУ. Сер. 17: Почвоведение. 2020. № 2. С. 3–9.
8. Елсаков Г.В., Горелова А.П., Миронова Р.А. Роль удобрений при возделывании лекарственных культур в Заполярье // Агрохимия. 2001. № 2. С. 40–45.
9. Переверзев В.Н., Кислых Е.Е. Азот в почвах Кольского полуострова. Л.: Наука, 1978. 126 с.
10. Переверзев В.Н. Лесные почвы Кольского полуострова. М.: Наука, 2004. 232 с.
11. Елсаков Г.В. Влияние минеральных удобрений на урожай горохово-овсяной смеси // Агрохимия. 1978. № 6. С. 76–78.
12. Елсаков Г.В. Агрономическая эффективность органических удобрений в условиях Мурманской области // Агрохимия. 1983. № 1. С. 76–80.
13. Переверзев В.Н. Культурное почвообразование на Крайнем Севере. Апатиты: Кольский НЦ РАН, 1993. 156 с.
14. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 343 с.
15. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.
16. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
17. Семко А.П. Гидротермический режим почв лесной зоны Кольского полуострова. Апатиты: Кольский филиал АН СССР, 1982. 142 с.
18. Переверзев В.Н. Биохимия гумуса и азота почв Кольского полуострова. Л.: Наука, 1987. 303 с.
19. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / Под ред. Державина Л.М., Булгакова Д.С. М.: Росинформагротех, 2003. 240 с.
20. Гамзиков Г.П. Научные основы и рекомендации по диагностике и оптимизации минерального питания зерновых и других культур. М.: ВИАУ, 2000. 99 с.
21. Данилова А.А. Минерализационные процессы в криоаридных почвах Центральной Якутии // Агрохимия. 2018. № 8. С. 3–13. <https://doi.org/10.1134/S0002188118080069>
22. Барановская А.В., Левина В.И., Переверзев В.Н. Сезонная динамика почвенных процессов на Полярном Севере. Л.: Наука, 1969. 119 с.

Agrochemical Characteristic of the Soils of the Collection of Introduced Medicinal Herbaceous Plants of the Polar-Alpine Botanical Garden

G. M. Kashulina^{a, #}, N. M. Korobeynikova^a, L. L. Viracheva^a, and N. V. Chueva^a

^a Polar-Alpine Botanical Garden-Institute KSC RAS
ul. Fersmana 18a, Murmansk district, Apatity 194209, Russia

[#] E-mail: galina.kashulina@gmail.com

The agrochemical survey of the artificially created humus horizon on 27 sites of the collection of introduced medicinal herbaceous plants was carried out. Studies have shown that the soil in 82% of collectible sites is acidic and needs lime. Under the free drainage conditions, the effect of one-time application of 200 g/m² of dolomite flour remained only 1–2 years, depending on the original acidity. The content of the plant-available forms of phosphorus and potassium in the soils was high, mineral forms of nitrogen, on the contrary, very low. The first tasks of increasing the fertility of the soils are to make large doses of fresh organic fertilizers, carry out liming and increase the dose of mineral nitrogen fertilizers. Due to the high differences between the sites in all agrochemical parameters, it is necessary to develop an individual system of agro-ameliorative measures for each site.

Key words: gran size composition, pH_{KCl}, plant-available forms of phosphorus and potassium, nitrate nitrogen, ammonia nitrogen, liming, man-made soils of botanical garden, Kola Peninsula.