

УДК 631.45:552.313

ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ПЕПЛЫ КАМЧАТКИ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК УЛУЧШЕНИЯ БИОПРОДУКТИВНОСТИ ПОЧВ

© 2020 г. Л. В. Захарихина^{1,*}, Ю. С. Литвиненко², В. В. Гайнатулина³,
Н. Ю. Аргунеева³, М. А. Макарова³, О. В. Бредун⁴, Н. И. Ряховская⁵

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур*
354002 Сочи, Краснодарский край, ул. Яна Фабрициуса, 2/28, Россия

² *ООО ЭкоГеоЛит*
Москва 119330, ул. Мосфильмовская, 17б, Россия

³ *Камчатский научно-исследовательский институт сельского хозяйства*
684033 с. Сосновка, Елизовский р-н, Камчатский край, ул. Центральная, 4, Россия

⁴ *ФГУП “Сосновское”*
684033 с. Сосновка, Елизовский р-н, Камчатский край, ул. Центральная, 3, Россия

⁵ *Российский университет кооперации, Камчатский филиал*
683003 Петропавловск-Камчатский, Камчатский край, ул. Ключевская, 11, Россия

*E-mail: zlv63@yandex.ru

Поступила в редакцию 22.07.2019 г.

После доработки 05.11.2019 г.

Принята к публикации 13.01.2020 г.

Впервые в международной практике проведены сельскохозяйственные опыты по внесению вулканических пеплов Камчатки в сочетании с традиционными минеральными удобрениями в охристые вулканические почвы (Andosols Acrisic). В результате в разных вариантах полевого опыта были получены прибавки урожайности относительно фона: картофеля в 2014 г. — на 31–63, в 2017 г. — на 7–19, в 2018 г. — на 14–31%; тимopheевки луговой в 2015 г. — на 21–50%. Производственный опыт по выращиванию однолетних кормовых трав в 2016 г. показал увеличение урожайности на 32%. После снятия урожая в почвах установлено увеличение содержания подвижного фосфора (по Кирсанову) на 7–21%, подвижного калия — на 16–77%, отмечен рост степени насыщенности почв основаниями на 9–27%. Относительно фона установлено увеличение содержания подвижных (ацетатно-аммонийная вытяжка) форм Со (на 32%), Мп (на 29%), S (на 20%), Zn (на 23%) и Cu (на 8%). Кроме повышения урожайности агрокультур в кормовых травах отмечено увеличение содержания сырого протеина, в клубнях картофеля — содержания крахмала, улучшилась его устойчивость к заболеваниям.

Ключевые слова: вулканические пеплы, Камчатка, биопродуктивность почв, урожайность, агроценозы.

DOI: 10.31857/S0002188120040134

ВВЕДЕНИЕ

Повышение биопродуктивности экосистем при поступлении продуктов вулканической деятельности связывают с наиболее очевидной и часто обсуждаемой причиной — привнесом дополнительных элементов питания минерального происхождения с вулканическими пеплами [1–4]. Однако при достаточно обширных сведениях о благоприятных свойствах вулканических пеплов специфика изменений свойств экосистем при поступлении в них свежих продуктов вулканической деятельности и механизм повышения био-

продуктивности почв до настоящего времени остаются мало изученными.

Цель работы — в полевых и производственных опытах исследовать эффективность применения вулканических пеплов при выращивании агрокультур и провести анализ механизмов повышения биопродуктивности почв.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые опыты проводили в 2014–2018 гг. в центральном районе южной почвенной провинции Камчатки [5, 6] на опытных полях Камчат-

ского научно-исследовательского института сельского хозяйства (КНИИСХ). Земли КНИИСХ (юг Камчатки, долина р. Авача) располагаются в типичных условиях южной сельскохозяйственной зоны полуострова. Производственный опыт выполняли в этом же районе на полях сельскохозяйственного предприятия “Сосновское”. Для района характерны охристые вулканические почвы, относящиеся по классификации почв России (2004 г.) к стволу синлитогенных почв, к отделу вулканических [7]. В соответствии с мировой коррелятивной базой почвенных ресурсов [8] данные почвы являются Andosols Acroxic.

Территории опытных полей КНИИСХ заняты агрогенно-преобразованными почвами – вулканическими агроохристыми гетерогенными. Почвы характеризуются высоким содержанием органического вещества. Потери при прокаливании в поверхностных грубогумусовых горизонтах составляют ~53–80%. Содержание гумуса в органоминеральных горизонтах высокое – до 7–10%. Реакция среды в почвах кислая и слабокислая. Степень насыщенности основаниями низкая, в среднем 30–40%. Наиболее насыщены основаниями поверхностные грубогумусные горизонты (40–60%). Для почв, за исключением охристого (срединного) суглинистого горизонта VAN, характерен супесчаный гранулометрический состав. Содержание фракций <0.01 мм составляет от 5.6 до 7.7% в органогенных и от 10 до 14.5% – в пепловых горизонтах. Почвы отличаются низкой плотностью <0.9 г/см³ и хорошей водоудерживающей способностью [5, 9–11].

По данным Камчатского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, вегетационный период 2014 г. на Камчатке был теплее обычного (сумма $t > 10^{\circ}\text{C}$ на 23% выше средней многолетней). При этом общее количество осадков за летне-осенний период 2014 г. было меньше среднемноголетней нормы на 24%. Самым неблагоприятным по климатическим условиям был 2015 г., который отличался обилием осадков (на 36% выше среднемноголетних показателей) и самыми низкими температурами. 2016 и 2017 гг. по температурному режиму были близки к теплоте 2014 г. (сумма $t > 10^{\circ}\text{C}$ на 18 и 22% выше среднемноголетней нормы соответственно), однако количество осадков в эти годы было существенно больше, чем в 2014 г., и превышало среднемноголетнюю норму. Повышенная влажность отмечена как в начале вегетационного периода, так и в конце лета–начале осени при созревании агрокультур. В сравнении с 2016 и 2017 гг. 2018 г. был несколько холоднее, но близким по количеству осадков.

В почвы вносили свежевывавшие вулканические супесчаные пеплы средне-основного состава извержений вулканов Шивелуч и Безымянный.

Учеты и наблюдения были проведены в соответствии с общепринятыми методиками [12]. Для оценки существенности различий изученных показателей в вариантах опытов устанавливали наименьшую существенную разность на 5%-ном уровне значимости (HCP_{05}). Определяли ошибку разности Sd с учетом ошибки выборки Sx_1 , рассчитанной по данным всех повторений вариантов опыта с внесением пеплов, и величины Sx_2 , установленной по результатам повторений в фоновом варианте опыта без внесения пепла.

Полевые опыты заложены на участках, на которых за 4 года до проведения опыта в течение 3-х лет был чистый пар, а в предыдущий год перед экспериментом они были засеяны овсом. Средняя урожайность овса в вариантах опыта составила 26.6 т/га, отклонения от среднего в вариантах находились в интервале от –0.7 до +0.9 т/га. Расчет наименьшей существенной разности ($HCP_{05} = 1.35$ т/га) показал отсутствие статистически значимых различий урожайности овса в вариантах, что свидетельствовало о выравнивании опытных площадок.

Опыт закладывали в 4-х повторениях. Размер опытных делянок в 2014 и 2015 гг. составлял 10, в 2017 и 2018 гг. – 25 м², размещение вариантов – систематическое, шахматным способом. Ширина торцевых защиток составляла 2 м, междуярусных полос – 1 м.

Под картофель пеплы вносили в количестве 2.5–7.5 т/га в сочетании с минеральными удобрениями. В качестве традиционной минеральной добавки использовали удобрения, содержащие основные элементы питания, – азот, фосфор, калий в дозах N120P120K120. В 2017, 2018 гг. исследовали действие вулканических пеплов на урожайность картофеля как на фоне минеральных удобрений, так и без их внесения.

При выращивании тимофеевки исследовали влияние вулканических пеплов на урожайность трав на фоне минеральных удобрений (N90P90K90) и без их применения. Дозы пепла и в первом и во втором случаях составляли 2.5–5.0 т/га.

Производственный опыт был реализован в 2016 г. также на агроохристых вулканических почвах на базе производственного сельскохозяйственного предприятия ФГУП “Сосновское” (п. Сосновка). Опыт заложили на площади 10 га для однолетних кормовых трав, представленных смесью овса (сорт Кречет яровой, посев 160 кг семян/га, доля 82.05%), вики сорта Льговская-22,

Таблица 1. Эффективность применения вулканических пеплов при выращивании картофеля

Вариант	Урожайность		Крахмал		Поражение клубней ризоктониозом		Лежкость картофеля		Экономическая эффективность
	т/га	± к фону, %	%	± к фону, %	%	± к фону, %	здоровые клубни, %	±, %	тыс. руб./га
2014 г.									
Без удобрений (контроль)	6.2	—	11.0	—	14.5	—	—	—	—
(НРК)120 (фон 1)	11.8	—	10.2	—	9.25	—	66.1	—	—
Фон 1 + пепел _c 2.5 т/га	15.6	+32.0	10.5	+2.94	12.0	+2.8	77.7	+11.6	50.0
Фон 1 + пепел _c 5.0 т/га	15.5	+31.0	11.0	+7.84	8.0	-1.3	85.0	+18.9	—
Фон 1 + пепел _c 7.5 т/га	16.3	+38.0	10.2	+0.00	10.75	+1.5	70.9	+4.8	—
HCP _{0.5}	1.2	—	—	0.52	—	—	6.6	—	—
(НРК)60 (фон 2)	10.5	—	11.2	—	14.5	—	63.0	—	—
Фон 2 + пепел _c 2.5 т/га	16.5	+57.0	11.5	+2.68	7.5	-7.0	71.8	+8.8	262.4
Фон 2 + пепел _c 5.0 т/га	17.1	+63.0	11.0	-1.79	7.0	-7.5	84.3	+21.3	242.5
Фон 2 + пепел _c 7.5 т/га	17.2	+63.0	10.7	-4.46	8.5	-6.0	67.5	+4.5	197.5
HCP _{0.5}	1.2	—	—	0.67	—	—	8.2	—	—
2017 г.									
Без удобрений (контроль)	9.3	—	10.6	—	2.7	—	95.6	—	—
(НРК)120 (хозяйственный контроль)	23.2	—	10.7	—	3.7	—	94.7	—	—
(НРК)90 (фон 1)	22.7	—	10.3	—	3.9	—	87.4	—	—
Фон 1 + пепел _c 2.5 т/га	23.3	+2.6	11.1	+7.8	3.2	-17.9	92.1	4.7	—
Фон 1 + пепел _c 5.0 т/га	23.1	+1.8	11.0	+6.8	3.5	-10.3	89.0	1.6	—
Фон 1 + пепел _б 2.5 т/га	24.2	+6.6	11.0	+6.8	3.6	-7.7	92.4	5.0	33.3
Фон 1 + пепел _б 5.0 т/га	26.9	+18.5	11.0	+6.8	3.7	-5.1	94.1	6.7	118.3
Пепел _c 2.5 т/га	10.5	12.9	10.6	—	5.0	—	94.1	6.7	—
Пепел _c 5.0 т/га	8.4	-9.7	10.2	—	3.7	—	91.0	3.6	—
(НРК)60 (фон 2)	21.8	—	10.5	—	1.8	—	93.2	—	—
Фон 2 + пепел _c 2.5 т/га	22.1	+1.4	10.7	+1.9	4.3	+13.9	93.7	0.5	—

Таблица 1. Окончание

Вариант	Урожайность		Крахмал		Поражение клубней ризоктониозом		Лежкость картофеля		Экономическая эффективность
	т/га	± к фону, %	%	± к фону, %	%	± к фону, %	здоровые клубни, %	±, %	тыс. руб./га
Фон 2 + пепел _с 5.0 т/га	22.5	+3.2	10.7	+1.9	2.4	+33.3	93.6	0.4	—
Фон 2 + пепел _б 2.5 т/га	23.7	+8.7	10.7	+1.9	2.3	+27.8	94.8	1.6	—
Фон 2 + пепел _б 5.0 т/га	22.1	+1.4	10.7	+1.9	3.3	+83.3	94.7	1.5	—
<i>HCP</i> ₀₅	1.4			0.7				4.2	
2018 г.									
Без удобрений (контроль)	9.8	—	9.7	—	3.0	—	—	—	—
(НРК)120 (хозяйственный контроль)	17.7	—	9.9	—	5.4	—	—	—	—
(НРК)90 (фон 1)	16.8	—	9.9	—	6.8	—	—	—	—
Фон 1 + пепел _с 2.5 т/га	19.5	16.1	10.2	+3.0	6.4	−5.9	—	—	93.3
Фон 1 + пепел _с 5.0 т/га	18.9	12.5	10.6	+7.1	5.3	−22.1	—	—	13.3
Фон 1 + пепел _б 2.5 т/га	20.2	20.2	10.3	+4.0	4.6	−32.4	—	—	128.3
Фон 1 + пепел _б 5 т/га	21.9	30.4	10.1	+2.0	3.8	−44.1	—	—	163.3
Пепел _с 2.5 т/га	11.0	12.2	9.6	−1.0	8.7	190	—	—	—
Пепел _с 5.0 т/га	11.8	20.4	10.4	+7.2	5.5	83.3	—	—	—
Пепел _б 2.5 т/га	11.4	16.3	10.3	+6.2	3.5	16.7	—	—	—
Пепел _б 5.0 т/га	12.6	28.6	10.2	+5.2	2.8	−6.7	—	—	—
(НРК)60 (фон 2)	13.7	—	10.2	—	2.1	—	—	—	—
Фон 2 + пепел _с 2.5 т/га	15.6	13.9	10.3	+1.0	3.8	81.0	—	—	53.3
Фон 2 + пепел _с 5.0 т/га	17.2	25.5	10.6	+4.0	2.2	4.8	—	—	83.3
Фон 2 + пепел _б 2.5 т/га	17.4	27.0	10.3	+1.0	3.5	66.7	—	—	143.3
Фон 2 + пепел _б 5.0 т/га	17.9	30.7	10.2	+0.0	4.2	100	—	—	118.3
<i>HCP</i> ₀₅	1.2			0.67					

Примечания. 1. Пепел_с – свежий пепел вулкана Шивелуч, пепел_б – пепел вулкана Безымянный (извержение 1956 г). То же в табл. 2–5. 2. Прочерк – нет данных. 3. Для полевых опытов все данные приведены как среднее в 4-х повторностях. То же в табл. 2

гороха сорта Аксайский усатый-55, ячменя сорта Ач (посев по 10 кг семян/га, доли по 5.13%) и ярового рапса сорта Лагонда (посев 5 кг семян/га, доля 2.56%). Пепел вносили в почву разбрасывателем минеральных удобрений МВУ-5 до применения минеральных удобрений, которые вносили позже в дозе N90P90K90. Заделку удобрений в почву выполняли вместе с пеплами перед посевом трав.

Для анализа химического состава вулканических пеплов и агроохристых почв в них определяли подвижные формы 65 элементов. Анализировали ацетатно-аммонийную вытяжку (рН 4.8) методами ICP-MS- и ICP-AES-анализов без разложения образцов по аттестованной методике НСАМ № 500-МС “Определение элементного состава азотнокислых и ацетатно-аммонийных вытяжек из почв методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой”. Отношение твердая фаза : раствор = 1 : 10. Необходимо уточнить, что на основе названной методики применяли технологию совместного использования ICP-MS- и ICP-AES-методов, которая расширяет спектр определяемых химических элементов и позволяет дополнительно устанавливать ICP-AES-методом содержание Na, Mg, Al, K, Ca, Ti, Fe, Si, P и S [13].

Определение содержаний 69 химических элементов в растениях (клубнях картофеля) выполняли также с использованием количественных методов анализа ICP-MS и ICP-AES, по аттестованной методике НСАМ № 512/МС “Определения элементного состава пробы растительного происхождения атомно-эмиссионным с индуктивно связанной плазмой и масс-спектральным с индуктивно связанной плазмой методами анализа”.

В почвах оценивали следующие показатели: рН водной и солевой вытяжки (ГОСТ 26483-85), гидролитическую кислотность по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91), содержание обменных форм кальция и магния (комплексометрическим методом, ГОСТ 26487-85), подвижных соединений фосфора и калия (методом Кирсанова, ГОСТ Р 54650-2011). В клубнях картофеля определяли содержание нитратов и крахмала (ГОСТ 7194-81). Учет урожая проводили сплошным методом. Весной 2015 и 2018 гг. установлены также параметры лежкости опытного картофеля, заложенного после снятия урожая в хранилища КНИИСХ осенью 2014 и 2017 гг. Проведен поштучный учет клубней картофеля, пораженных различными заболеваниями, и установлена доля здоровых клубней от общей массы картофеля в каждом варианте опыта.

Пеплы вулкана Шивелуч, использованные в эксперименте, представлены преимущественно супесчаным, пылевидным материалом последних

современных извержений вулкана, отобранным из свежих наносов, снесенных водами к подножию вулканической постройки. Супесчаные пеплы вулкана Безымянный извержения 1956 г. отобраны из аэральных отложений на некотором удалении от вулкана.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полевые опыты. В разных вариантах опыта в 2014 г. (только пепел вулкана Шивелуч) были получены прибавки урожайности картофеля относительно фонового варианта от 31 до 63%, в среднем 47%. В 2017 г. достоверные прибавки урожайности при внесении пеплов были меньше – от 6.6 до 18.5% (табл. 1). При этом более высокая урожайность отмечена в вариантах с внесением пеплов вулкана Безымянный.

В 2018 г. прибавка урожайности в разных вариантах опыта составила от 14 до 31%. Вновь подтвердился вывод о более эффективном действии на урожайность картофеля пеплов вулкана Безымянный. При применении вулканических пеплов без внесения минеральных удобрений прибавка урожая относительно фона без внесения удобрений была также существенной – от 16 до 29%. Однако абсолютная величина урожайности в этом варианте была низкой – от 1.1 до 1.3 т/га.

Наряду с повышением урожайности отмечено улучшение лежкости картофеля. Для урожая 2014 г. статистически достоверное количество здоровых клубней картофеля к весне следующего года увеличилось относительно фона на 8.8–21.3%, для урожая 2017 г. – на 4.7–6.7%.

При дозе минеральных удобрений (NPK)60 в 2014 г., (NPK)90 в 2017 и 2018 гг. при внесении пеплов отмечено снижение показателя поражения клубней ризоктониозом. Во все годы эксперимента фактически во всех вариантах опытов с пеплом отмечен достоверный рост содержания крахмала в клубнях картофеля.

В опыте с тимофеевкой луговой в 2015 г. при применении вулканических пеплов вулкана Безымянный, без добавок минеральных удобрений статистически значимые прибавки урожайности относительно фона были получены при максимальной дозе пепла 5 т/га – на 29.4%, при дозе 2.5 т/га – на 23.5% (табл. 2). Внесение в почву только свежих вулканических пеплов вулкана Шивелуч фактически не привело к существенно положительному эффекту. Необходимо отметить, что как и в эксперименте с картофелем, во всех вариантах с применением одних вулканических пеплов абсолютная урожайность тимофеевки луговой была также довольно низкой – до 8.8 т/га. В то время как урожайность этой кормовой куль-

Таблица 2. Эффективность применения вулканических пеплов при выращивании тимофеевки (2015 г.)

Вариант	Урожайность, т/га	± к фону, т/га	± к фону, %	Экономическая эффективность, тыс. руб./га
Без удобрений (контроль)	6.8	—	—	—
Пепел _б 2.5 т/га	8.4	1.6	23.5	—
Пепел _б 5.0 т/га	8.8	2.0	29.4	—
Пепел _с 2.5 т/га	7.0	0.2	2.9	—
Пепел _с 5.0 т/га	6.8	0.0	1.0	—
<i>HCP</i> ₀₅			1.9	
(NPK)90 (фон)	16.5			—
Фон + пепел _б 2.5 т/га	21.3	4.8	29.0	105.52
Фон + пепел _б 5.0 т/га	24.7	8.2	49.6	165.68
Фон + пепел _с 2.5 т/га	20.9	4.4	26.6	92.56
Фон + пепел _с 5.0 т/га	20.0	3.5	21.4	13.4
<i>HCP</i> ₀₅			2.0	

туры в вариантах опыта с внесением пеплов совместно с минеральным удобрением достигала 24.7 т/га. Таким образом, установлено, что применение исследованных вулканических пеплов самостоятельно, без добавок традиционных минеральных удобрений, нельзя рассматривать как эффективный прием повышения урожайности.

При внесении в почву пеплов как вулкана Безымянный, так и вулкана Шивелуч, в сочетании с минеральными удобрениями в дозе N90P90K90 урожайность тимофеевки луговой увеличилась существенно относительно фона. Прибавки урожайности составили 29–50% при внесении пеплов вулкана Безымянного и 21–27% при внесении пеплов вулкана Шивелуч.

Производственный опыт. В 2016 г. применение пеплов с минеральными удобрениями в дозе N90P90K90 на поле однолетних кормовых трав показал прирост их урожайности на 32.2% (табл. 3). В зеленой массе трав отмечено повышение относительно фона содержания общего азота (на 25.8%), фосфора (на 50%), сырого протеина (на 12%).

Повышение продуктивности агроценозов при проведении опытов 2014–2018 гг. по использованию вулканических пеплов в сельском хозяйстве можно связывать с двумя возможными факторами:

– улучшением физических свойств почв, обусловленным поступлением дополнительного минерального вещества;

– изменением химического состава почв при внесении вулканических пеплов.

Внесение пеплов никак не могло повлиять на улучшение физических свойств почв, имеющих

механический состав (супесчаный), близкий к составу примененных пеплов. Водоудерживающая способность почв, зависящая от их гранулометрического и минералогического составов, содержания гумуса, структурного состояния, пористости и плотности, также не может меняться при внесении свежих пеплов. Последние не способны существенно изменить перечисленные показатели и без того рыхлых, пористых, с высокой водоудерживающей, но низкой водоподъемной способностью вулканических почв [5, 9–11], всегда содержащих в большем или меньшем количестве вулканические пеплы более древних извержений.

Таблица 3. Влияние минеральных удобрений и пепла вулкана Шивелуч на урожай и качество зеленой массы однолетних кормовых трав (производственный опыт 2016 г.)

Показатели урожайности и качества кормовых трав		Варианты	
		(NPK)90 (фон)	фон + пепел _с 2.0 т/га
Урожайность	т/га	15.6	19.5
	± к фону %	—	32.2
Азот	%	9.02	11.4
	± к фону, %	—	25.8
Фосфор	%	0.08	0.12
	± к фону, %	—	50.0
Сырой протеин	%	3.9	4.37
	± к фону, %	—	12.0
Экономическая эффективность, тыс. руб./га		—	196.39

Таблица 4. Изменение свойств почв при внесении вулканических пеплов при выращивании картофеля (2014 г.) и кормовых трав (2016 г.)

Вариант	pH _{H₂O}	pH _{KCl}	Гидроли- тическая кислотность	Сумма обменных оснований	Степень насыщенности почв основаниями		P ₂ O ₅		K ₂ O		
			мг-экв/100 г абсолютно сухой почвы	%	±, %*	подвижный (по Кирсанову)					
						мг/кг	±, %	мг/кг	±, %		
2014 г.											
Без удобрений – контроль	4.9	5.4	3.26	4.07	55.5	–	164	–	104	–	
N120P120K120 (фон 1)	4.7	5.6	4.14	3.13	43.1	–	180	–	150	–	
Фон 1 + пепел _c 2.5 т/га	4.7	5.7	3.26	4.07	55.5	+12.4	174	–3.5	204	+36.3	
Фон 1 + пепел _c 5.0 т/га	4.6	5.2	3.87	8.7	69.2	+26.2	218	+21.1	230	+53.6	
Фон 1 + пепел _c 7.5 т/га	4.6	5.2	3.96	9.10	69.7	+26.6	207	+14.8	265	+76.8	
N60P60K60 (фон 2)	4.6	5.2	3.96	4.65	54.0	–	157	–	123	–	
Фон 2 + пепел _c 2.5 т/га	4.7	5.7	3.56	5.10	58.9	+4.9	175	+11.3	175	+42.2	
Фон 2 + пепел _c 5.0 т/га	4.9	5.2	3.12	7.10	63.3	+9.3	168	+6.9	158.3	+28.6	
Фон 2 + пепел _c 7.5 т/га	4.7	5.7	3.05	6.90	69.3	+15.3	138	–12.4	142.3	+15.6	
2016 г.											
N90P90K90 (фон)	4.0	4.3	22.6	3.13	12.2	–	113	–	115	–	
Фон + пепел _c 2.0 т/га	4.1	4.3	28.3	8.76	23.6	+11.4	271	+140	167	+45.2	

* Относительно фона.

Полученные результаты позволили говорить о повышении биопродуктивности почв за счет изменения их химического состава при внесении пеплов. После снятия урожая картофеля в опыте 2014 г., несмотря на связанный с этим естественный вынос из почв элементов питания, в большинстве вариантов с внесением пепла установлено увеличение содержания подвижного фосфора на 7–21% и подвижного калия на 16–77% (табл. 4). Кроме того, в сравнении с фоном наблюдали снижение гидролитической кислотности, рост содержания суммы обменных оснований и соответственно увеличение такого важного для почвы показателя, как степень насыщенности почв основаниями при фактически неизменном pH. В производственном опыте по применению пеплов на однолетних кормовых травах наблюдали схожие изменения обсуждаемых показателей, а увеличение содержания подвижного фосфора достигало 140%.

В почвах после снятия урожая в вариантах с применением пеплов установлено увеличение относительно фона содержания подвижных форм

Co (на 32%), Mn (на 29%), S (на 20%), Zn (на 23%) и Cu (на 8%) (табл. 5).

Отмечено также увеличение содержания в клубнях картофеля крахмала, повышалась его устойчивость к заболеваниям за счет лежкости клубней, снижения их зараженности ризоктониозом (табл. 1).

Аналогичный эффект при внесении пеплов был отмечен при проведении по нашей инициативе вегетационного опыта с кукурузой в Кубанском аграрном университете [14]. На фоне увеличения в фазе трубкования высоты растений кукурузы, листостебельной массы, объема корневой системы при внесении пепла отмечали также повышение потребления растениями минерального азота (на 20–36%) и фосфора (на 25–43) из почвы вегетационных сосудов.

В целом внесение вулканических пеплов в почву не вызывало увеличения содержания химических элементов в клубнях картофеля (табл. 5). Напротив, содержание большинства из них в кар-

Таблица 5. Изменения содержания (мг/кг) подвижных форм (ацетатно-аммонийная вытяжка, рН 4.8) химических элементов в почвах и химического состава клубней картофеля (мг/кг) при внесении пепла вулкана Шивелуч с минеральными удобрениями в сравнении с фоновым вариантом (2014 г.)

Элемент	Почва			Клубни картофеля			Элемент	Почва			Клубни картофеля		
	N60P60K60 (фон)	фон + пепел _c 5.0 т/га	±, %*	N60P60K60 (фон)	фон + пепел _c 5.0 т/га	±, %*		N60P60K60 (фон)	фон + пепел _c 5.0 т/га	±, %*	N60P60K60 (фон)	фон + пепел _c 5.0 т/га	±, %*
Li	—**	—	—	0.011	0.011	0.0	Cd	0.04	0.04	+13.9	0.025	0.020	-20.0
Be	0.031	0.026	-16.1	—	—	—	Sn	—	—	—	0.054	0.047	-13.0
B	—	—	—	8	6.9	-13.8	Sb	—	—	—	0.004	0.003	-17.9
Na	23	21	-8.7	38	33	-13.2	Cs	0.031	0.034	-8.8	0.04	0.02	-35.1
Mg	21	18	-14.3	1100	870	-20.9	Ba	21	18	-14.3	1.5	1.2	-20.0
Al	950	800	-15.8	130	140	+7.7	La	0.260	0.260	0.0	0.0098	0.0082	-16.3
Si	110	90	-18.2	89	69	-22.5	Ce	0.450	0.450	0.0	0.0180	0.0160	-11.1
P	16	19	18.8	1500	1200	-20.0	Pr	0.065	0.065	0.0	—	—	—
S	55	66	+20.0	1900	1300	-31.6	Nd	0.280	0.280	0.0	0.0096	0.0074	-22.9
K	210	200	-4.8	23000	19000	-17.4	Sm	0.080	0.078	-2.5	—	—	—
Ca	800	600	-25.0	130	130	0.0	Eu	0.019	0.019	0.0	0.0009	0.0008	-4.7
Ti	0.92	0.80	-13.0	2.7	2.7	0.0	Gd	0.085	0.084	-1.2	0.0026	0.0022	-15.4
V	0.11	0.11	0.0	0.14	0.14	0.0	Tb	0.012	0.012	0.0	—	—	—
Cr	0.13	0.10	-23.0	0.34	0.29	-14.7	Dy	0.059	0.056	-5.1	0.0026	0.0021	-19.2
Mn	17	22	+29.4	15	14	-6.7	Ho	0.014	0.014	0.0	—	—	—
Fe	68	67	-1.5	46	41	-10.9	Er	0.038	0.037	-2.6	0.0016	0.0017	6.2
Co	0.091	0.120	+31.9	0.1	0.087	-13.0	Tm	0.0043	0.0043	0.0	—	—	—
Ni	0.25	0.25	0.0	0.53	0.33	-37.7	Yb	0.027	0.027	0.0	0.0015	0.0013	-13.3
Cu	0.91	0.98	+7.7	4.6	3.3	-28.3	Lu	0.0037	0.0038	-2.6	—	—	—
Zn	2.6	3.2	+23.1	12	8.5	-29.2	Hf	0.013	0.011	-15.4	0.0024	0.0017	-29.2
Ga	0.03	0.028	-6.7	0.034	0.031	-8.8	Ta	—	—	—	0.0022	0.0011	-50.0
Se	—	—	—	0.049	0.054	10.2	W	—	—	—	0.0120	0.0074	-38.3
Rb	0.25	0.24	-4.0	10	6.8	-32.0	Hg	—	—	—	0.0180	0.0140	-22.2
Sr	4.7	4.3	-8.5	0.95	0.085	-91.1	Tl	0.014	0.013	-7.1	0.0076	0.0057	-25.0
Y	0.39	0.39	0.0	0.014	0.011	-21.4	Pb	0.083	0.083	0.0	0.0780	0.0750	-3.8
Zr	0.33	0.27	-18.2	0.049	0.041	-16.3	Bi	0.0008	0.0009	-11.0	—	—	—
Nb	—	—	—	0.0027	0.018	-33.3	Th	0.017	0.017	0.0	0.0020	0.0012	-40.0
Mo	—	—	—	0.14	0.14	0.0	U	0.039	0.036	-7.7	0.0018	0.0012	-33.3

*Относительно фона.

**Прочерк — содержание в обоих вариантах опыта ниже предела обнаружения анализа.

тофеле в вариантах опыта с внесением пеплов снижалось относительно фонового варианта за счет увеличения урожая и связанного с этим поглощения химических элементов из почв большим количеством биомассы.

Согласно СанПиН 2.3.2.1078-01, допустимые уровни содержания токсичных элементов в заданной массе (объеме) свежего картофеля составляют (мг/кг): Pb – 0.5, As – 0.2, Cd – 0.03, Hg – 0.02. Концентрации этих элементов в картофеле в опыте с внесением вулканических пеплов в почвы составили (фон/с пеплом, мг/кг): Pb – 0.078/0.075, As – < 0.01/< 0.01, Cd – 0.025/0.020, Hg – 0.018/0.014 (табл. 6). Таким образом, содержание в исследованном картофеле токсичных элементов как в фоновом варианте, так и в вариантах с внесением вулканического пепла не превышало установленных норм.

Для оценки экономической эффективности (Э) применения вулканических пеплов при выращивании агрокультур выполнены расчеты этого показателя с использованием следующей формулы:

$$\text{Э} = (C_6 - C_n) + (Ц_n - Ц_6) \times n;$$

где C_6 , C_n – производственные затраты на 1 га (тыс. руб.) в базовом и новых вариантах; $Ц_n$, $Ц_6$ – стоимость валовой продукции с 1 га (тыс. руб.) в новых и базовом вариантах; n – площадь посадок, 1 га. При расчетах использованы следующие характеристики: базовые затраты на выращивание на 1 га: картофеля при применении (NPK)120 – 778.7 тыс. руб., при внесении (NPK)60 – 766.1 тыс. руб., однолетних трав при применении (NPK)90 – 49.423 тыс. руб., многолетних трав при внесении (NPK)90 – 35.688 тыс. руб., дополнительные затраты на внесение 1 т вулканических пеплов – 20.0 тыс. руб. Стоимость 1 т валовой продукции картофеля – 50.0 тыс. руб., однолетних трав – 40.1 тыс. руб., многолетних трав – 32.4 тыс. руб.

Анализ полученных данных показал, что значительный экономический эффект (196.4 тыс. руб./га) может быть получен при выращивании однолетних кормовых трав при внесении вулканического пепла в дозе 2.0 т/га на фоне традиционной для региона дозы минеральных удобрений (NPK)90 (табл. 3). В опыте с многолетними кормовыми травами самый высокий экономический эффект установлен для вариантов с применением пепла вулкана Безымянного в дозах 2.5 и 5.0 т/га (105.5 и 165.7 тыс. руб./га соответственно) на фоне минеральных удобрений в дозе (NPK)90 (табл. 2).

Различия экономической эффективности применения пепла при выращивании картофеля очевидно обусловлены существенными отличиями климатических показателей 2014–2018 гг.

(табл. 1). Наименьшая экономическая эффективность была установлена для 2018 г. – наиболее благоприятного и редкого для региона по климатическим условиям. В 2018 г. урожайность картофеля была самой высокой, а прибавка урожайности и соответственно экономическая эффективность от внесения пеплов были самыми малозначительными. Существенная экономическая выгода (118.3 тыс. руб./га) при таких климатических условиях может быть получена только при внесении пепла вулкана Безымянный в дозе 5 т/га на фоне пониженной (относительно традиционной) дозы минеральных удобрений. В 2014 г., когда сумма активных температур была также выше средней многолетней, однако осадков за летне-осенний период было меньше среднемноголетней нормы, экономическая эффективность новой методики даже при применении менее продуктивного пепла вулкана Шивелуч была самой существенной за все годы опыта и составила 262.4 и 242.5 тыс. руб./га при внесении пепла в дозах 2.5 и 5.0 т/га соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внесение в почву вулканических пеплов с обязательным применением минеральных удобрений повышало урожайность сельскохозяйственных культур. При этом отмечено усиление положительного эффекта от применения минеральных удобрений и улучшение качества продукции, когда происходило увеличение содержания сырого протеина в однолетних кормовых травах, повышение содержания крахмала в клубнях картофеля, увеличение устойчивости клубней картофеля к заболеваниям.

При любых климатических условиях внесение в почвы продуктов вулканической деятельности вулкана Безымянный на фоне пониженной (относительно традиционной) для картофеля и традиционной для кормовых трав дозы минеральных удобрений дало существенный экономический эффект (105–196 тыс. руб./га для трав и 118–262 тыс. руб./га для картофеля).

Положительные результаты, полученные в деляночных и производственном опытах по внесению вулканических пеплов Камчатки в почвы при выращивании картофеля и кормовых трав, позволяют рассматривать вулканические пеплы как потенциальный источник улучшения биопродуктивности почв и рекомендовать их для использования в сельском хозяйстве. Получен патент на изобретение, в котором приведена формула, описывающая способ улучшения питательного режима растений, предусматривающая внесение в почвы с минеральными удобрениями вулканических пеплов [15].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреев В.И.* Положительный экологический эффект извержений вулканов и некоторых природных и техногенных аналогов (обрушений) // Мат-лы регион. конф., посвящ. Дню вулканолога. Вулканизм и связанные с ним процессы. г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2015. С. 9–12.
2. *Louder R.* Volcanic ash may be helping vegetation growth. Reykjavik: Grapevine, 2010. P. 24.
3. *Seward W., Edwards B.* Testing hypotheses for the use of Icelandic volcanic ashes as low cost, natural fertilizers // *Geophys. Res. Abstr.* 2012. P. 178.
4. *Wink M.* Introduction: biochemistry, role and biotechnology of secondary metabolites. Functions of plant secondary metabolites and their exploitation in biotechnology // *Annu. Plant Rev.* 1999. № 3. P. 1–16.
5. *Захарихина Л.В.* Особенности почвообразования и геохимии почв в условиях активного вулканизма (на примере Камчатки). Дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 2010. 310 с.
6. *Литвиненко Ю.С., Захарихина Л.В.* Почвенные провинции Камчатки и их геохимическая характеристика // *Вестн. Камчат. регион. организации “Учебно-научный центр”.* Сер. Науки о Земле. 2008. № 11. С. 98–112.
7. *Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И.* Классификация почв России М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН, 2004. С. 57–61.
8. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps // *World Soil Resources Reports.* № 106. FAO, Rome.
9. *Зонн С.В., Карпачевский Л.О., Стефин В.В.* Лесные почвы Камчатки. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 182–198.
10. *Карпачевский Л.О., Алябина И.О., Захарихина Л.В., Макеев А.О., Маречек М.С., Радюкин А.Ю., Шоба С.А., Таргульян В.О.* Почвы Камчатки. М.: Недра, 2009 г. 223 с.
11. *Соколов И.А.* Вулканизм и почвообразование. М.: Наука, 1973. 224 с.
12. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1985. 351 с.
13. *Карандашев В.К., Туранов А.Н., Орлова Т.А.* Использование метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в элементном анализе объектов окружающей среды // *Завод. лаборатория. Диагностика мат-лов.* № 1. 2007. Т. 73. С. 12–22.
14. *Минаев Н.С., Филипенко А.С., Лебедевский И.А.* Об использовании вулканического пепла в качестве природного минерального удобрения // *Научное обеспечение агропромышленного комплекса.* Сб. ст. по мат-лам IX Всерос. конф. молод. ученых. 2016. С. 45–46.
15. *Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С.* Способ улучшения питательного режима растений путем внесения в почвы вулканических пеплов: А.с. 2637319 (РФ) // *Б.И.* 2017. № 34.

Kamchatka Volcanic Ash as a Potential Source of Improving Soil Bioproductivity

L.V. Zakharikhina^{a, #}, Y.S. Litvinenko^b, V.V. Gainatulina^c, N.Yu. Arguneeva^c,
M.A. Makarova^c, O.V. Bredun^d, and N.I. Ryakhovskay^e

^a *The Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops
ul. Jana Fabritiusa 2/28, Krasnodar region, Sochi 354002, Russia*

^b *LLK “Ecogeolit”*

ul. Mosfilmovskaya 17B, Moscow 119330, Russia

^c *Kamchatsky Research Institute of Agriculture*

ul. Tsentralnaya 4, Kamchatka territory, Yelizovsky district, s. Sosnovka 684033, Russia

^d *Federal state unitary enterprise “Sosnovsky”*

ul. Tsentralnaya 3, Kamchatka territory, Yelizovsky district, s. Sosnovka 684033, Russia

^e *Russian University of Cooperation, Kamchatka Branch*

ul. Klyuchevskaya 11, Kamchatka territory, Petropavlovsk-Kamchatsky 683003, Russia

[#] *E-mail: zlv63@yandex.ru*

For the first time in international practice, agricultural experiments were carried out on the introduction of volcanic ash from Kamchatka in combination with traditional mineral fertilizers in ochreous volcanic soils (Andosols Acroxic). As a result, in different versions of the field experience, yield increases were obtained relative to the background: potatoes in 2014 – by 31–63, in 2017 – by 7–19, in 2018 – by 14–31%; Timothy meadow in 2015 – by 21–50%. Production experience in growing annual forage grasses in 2016 showed an increase in yield by 32%. After harvesting, the soils showed an increase in the content of mobile phosphorus (according to Kirsanov) by 7–21%, mobile potassium – by 16–77%, and an increase in the degree of soil saturation with bases by 9–27%. Relative to the background, an increase in the content of mobile (acetate-ammonium extract) forms of Co (by 32%), Mn (by 29%), S (by 20%), Zn (by 23%) and Cu (by 8%) was found. In addition to increasing the yield of agricultural crops in forage grasses, an increase in the content of raw protein was noted, in potato tubers – the content of starch, and its resistance to diseases improved.

Key words: volcanic ash, Kamchatka, soil bioproductivity, yield, agrocenoses.