

Воздействие вулканического пепла на развитие некоторых видов сельскохозяйственных культур в условиях лабораторного эксперимента

Матвеева Е.В.¹, Позолотина Л.А.², Климова А.В.^{1,3}, Клочкова Т.А.¹

The impact of volcanic ash on the development of certain species of crops in the laboratory experiment

Matveeva E.V., Pozolotina L.A., Klimova A.V., Klochkova T.A.

¹ Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский;

e-mail: annaklimovae@mail.ru

² Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

³ Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

В работе представлены данные по биотестированию пепла вулкана Шивелуч, изверженного в апреле 2023 г. Водные вытяжки пепла в концентрациях 100, 300 и 500 г/л обладали слабым стимулирующим рост растений кресс-салата и свеклы эффектом и не проявляли токсичных свойств. При этом проростки в значительной мере аккумулировали из водных растворов пепла Pb, Ni, Sr, Cu и Mn.

Введение

Территория северо-восточной части Камчатки, а именно район вулканов Северной группы, относится к зоне активного вулканизма с частыми пеплопадами [6]. Здесь продукты вулканической деятельности регулярно поступают в растительно-почвенный покров. Так, в апреле 2023 г. произошло пароксизмальное эксплозивное извержение вулкана Шивелуч, мощность слоя пепла в расположенных в непосредственной близости к вулкану поселках достигала 8 см [2, 6]. Определение воздействия пеплов на плодородие почв и биопродуктивность экосистем остается до сих пор актуальной задачей [4]. Поэтому целью настоящей работы было определение влияния пепла вулкана Шивелуч, изверженного в апреле 2023 г., на энергию роста, всхожесть и химический состав проростков сельскохозяйственных культур.

Материалы и методы

Образцы пепла вулкана Шивелуч, изверженного 10-13 апреля 2023 г., были отобраны в пос. Ключи (Камчатский край) в период 10-20 апреля 2023 г. Для проведения всех лабораторных работ образцы высушивали при температуре 105 °С. Далее были приготовлены водные вытяжки с содержанием пепла 100, 300 и 500 г в 1 л дистиллированной воды. После фильтрации вытяжки использовали для оценки токсичности и биологической активности образцов пепла, рН полученных растворов варьировал в пределах 4.5-4.7.

Для фитотестирования использовали семена кресс-салата (*Lepidium sativum* L., 1753), сорта Ванька кучерявый, Весенний и Обильнолистный, и свеклы обыкновенной подвид мангольд (*Beta vulgaris* L. subsp. *vulgaris* var. *vulgaris*) – сорта Изумруд и Рубин. Условия проведения лабораторных экспериментов для определения энергии прорастания и всхожести семян сельскохозяйственных культур соответствовали ГОСТ 12038-84 [3], для определения фитотоксичности – СанПин 2.1.7.573-96 [5].

В образце пепла, из которого готовились водные вытяжки, а также в проростках кресс-салата и свеклы после лабораторных экспериментов был определен микроэлементный состав. Содержание элементов Co, Mo, Cd, Pb, Ni, Cr, Ba, Sr, Cu, Zn, Mn и Al во всех образцах определяли с помощью атомно-эмиссионного спектрометра с микроволновой плазмой AES-MP 4200 (Agilent Technologies, США) [1, 7].

Результаты и обсуждение

Развитие семян кресс-салата в испытуемых группах, в средах с добавлением пепла, и контрольной группе не отличалось по показателям энергии прорастания и всхожести (табл. 1). Однако после проведения эксперимента общая сухая масса проростков кресс-салата во всех испытуемых группах превышала контрольные значения на 48-81 %. Вероятно, подобная прибавка общей фитомассы растений связана с улучшением и активизацией их питательного режима благодаря внесенному пеплу вулкана Шивелуч. Ранее в условиях полевого эксперимента было показано увеличение урожайности картофеля при внесении пепла в почву [4].

Таблица 1. Развитие семян салата, выращенных на средах с добавлением пепла

Группа	pH	Количество семян	Энергия прорастания, % (5 день)	Всхожесть, % (10 день)	Общая масса проростков, г
контроль	7.2	200	99.9	99.9	0.21
ДВ+пепел 100 г/л	4.7	200	99.9	99.9	0.31
ДВ+пепел 300 г/л	4.5	200	99.9	99.9	0.35
ДВ+пепел 500 г/л	4.5	200	99.9	99.9	0.38

Показатели энергии прорастания и всхожести семян свеклы во всех группах были низкими, однако в испытуемых группах превышали контрольные значения на 2.5-3.7 % (табл. 2). Вероятно, медленное прорастание семян растений в целом обусловлено их сортовой принадлежностью. Общая масса проростков свеклы, наоборот, во всех испытуемых группах снижалась в зависимости от увеличения концентрации пепла в среде и едва достигала 75 % от контрольных значений. При этом длина корней проростков только в группе с максимальным добавлением пепла превышала контрольные показатели на 15 %, что указывает на слабый стимулирующий рост растений эффект. В целом, протестированные водные вытяжки пепла не обладали фитотоксичными свойствами, ингибирующими развитие семян как свеклы, так и кресс-салата (табл. 1, 2).

Таблица 2. Развитие семян свеклы, выращенных на средах с добавлением пепла

Группа	pH	Кол-во семян	Энергия прорастания, % (5 день)	Всхожесть, % (10 день)	Общая масса проростков, г	Длина корня	
						мм	% от контроля
контроль	7.2	885	5.8	5.8	0.50	75.3	100
ДВ+пепел 100 г/л	4.7	885	8.7	8.7	0.35	71.0	94.3
ДВ+пепел 300 г/л	4.5	885	9.5	9.5	0.38	69.7	98.1
ДВ+пепел 500 г/л	4.5	885	8.3	8.3	0.32	80.7	115.8

Химический состав пепла вулкана Шивелуч, изверженного в апреле 2023 г., характеризовался широким спектром элементов (табл. 3). Исследованные образцы пепла включали повышенное содержание Al, Mn, Zn, Cu, Sr, Ba, Cr. Следует также отметить наличие в собранных образцах пепла токсичных металлов – Pb и Cd, однако последний определен в следовых количествах. В водных вытяжках пепла все указанные выше элементы, за исключением Pb, присутствовали в детектируемых концентрациях.

Элементный анализ проростков кресс-салата и свеклы выявил схожие тенденции в накоплении Pb, Ni, Sr, Cu и Mn (табл. 3). Для указанных выше металлов отмечено многократное превышение их содержания в проростках из групп с максимальным содержанием пепла в сравнении с растениями из контрольных групп. Особенно

выраженный эффект накопления элементов растениями отмечен для Ni, Mn, Cu и Pb. Последний накапливался у проростков свеклы в концентрациях более чем 2.6-4.2 раз в сравнение с контрольными образцами, у проростков кресс-салата – свыше 8.9-14.0 раз. Аккумуляция Sr прослеживалась у проростков тестируемых видов растений только в группах, выращенных на водных вытяжках пепла 500 г/л (табл. 3). В условиях лабораторного эксперимента не выявлено различий в накоплении проростками кресс-салата Cd, Ba и Zn и проростками свеклы – Cd, Ba и Al. Отмеченные выше особенности содержания элементов в растениях, в первую очередь, характеризуются их видоспецифичностью и ролью некоторых металлов в процессах жизнедеятельности.

Таблица 3. Элементный состав пепла, водной вытяжки и фитомассы проростков салата и свеклы

Исследованные образцы пепла и растений	Элемент, мг/кг											
	Co	Mo	Cd	Pb	Ni	Cr	Ba	Sr	Cu	Zn	Mn	Al
Пепел извержения вулкана Шивелуч, апрель 2023 г.												
Пепел, РФС*	–	–	–	16	30	86	426	374	37	113	–	–
Пепел, АЭС-МП**	<0.003	<0.001	0.93	<0.003	<0.001	21.95	10.8	20.31	20.95	19.14	68.94	2112.94
Водная вытяжка, ПФ***	0.12	–	0.38	<0.005	0.037	0.002	0.229	0.499	0.012	0.090	0.920	1.62
Проростки салата												
контроль	<0.003	<0.001	0.56	0.9	3.61	0.8	19.94	15.01	14.86	73.54	40.14	42.38
ДВ+пепел 100 г/л	<0.003	<0.001	0.52	2.35	3.96	0.8	12.43	20.54	26.45	63.17	48.49	64.08
ДВ+пепел 300 г/л	<0.003	<0.001	0.48	2.84	5.4	0.68	7.61	29.39	45.11	63.02	99.31	70.29
ДВ+пепел 500 г/л	<0.003	<0.001	0.61	3.74	7.97	3.83	9.67	34.05	86.32	73.37	108.24	104.49
Проростки свеклы												
контроль	<0.003	<0.001	0.60	0.34	2.14	3.52	16.9	14.86	13.72	43.41	90.49	93.87
ДВ+пепел 100 г/л	<0.003	<0.001	0.49	3.47	3.44	6.45	17.53	15.16	21.28	55.34	110.48	52.07
ДВ+пепел 300 г/л	<0.003	<0.001	0.33	4.75	4.41	3.73	14.12	21.17	28.65	55.15	193.95	88.74
ДВ+пепел 500 г/л	0.03	<0.001	0.38	3.03	5.08	6.85	16.99	21.69	29.21	57.79	208.64	99.60

Примечание. Элементный анализ пепла выполнен методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии* (мг/кг), для водной вытяжки – методом плазменной фотометрии*** (мг/л) и приведен по данным А.В. Сергеевой. Собственные данные по элементному составу пепла, выполненные с помощью атомно-эмиссионного спектрометра после кислотного озоления образцов, обозначены **.

Заключение

Полученные результаты могут быть использованы в сельском хозяйстве для повышения урожайности овощных культур, в частности проращивания микрозелени кресс-салата и свеклы. Продолжение экспериментов по подбору эффективных концентраций пепла и увеличению ассортимента тестируемых видов растений является перспективным направлением дальнейших исследований. Кроме того, выявленные особенности накопления растениями отдельных элементов дают представление об их вовлечении в биотические компоненты. Безусловно, это является важным для

понимания процессов поступления и перераспределения некоторых металлов в наземных экосистемах особенно в районах активного пеплопада.

Список литературы

1. *Авдощенко В.Г., Климова А.В.* Оценка загрязнения растительного покрова города Петропавловска-Камчатского (Камчатский край) тяжелыми металлами в 2017-2020 гг. // Вестник КамчатГТУ. 2021. № 55. С. 89-101. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2021-55-89-101>
2. *Гирина О.А., Лупян Е.А., Хорват А. и др.* Анализ развития пароксизмального извержения вулкана Шивелуч 10-13 апреля 2023 года на основе данных различных спутниковых систем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 2. С. 283-291. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-2-283-291>
3. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: Стандартинформ, 2011. 29 с.
4. *Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С., Ряховская Н.И. и др.* Особенности геохимической трансформации естественных почв и повышение продуктивности агроценозов при поступлении продуктов вулканических извержений // Вулканология и сейсмология. 2016. № 3. С. 52-72. <https://doi.org/10.7868/S0203030616030068>
5. СанПин 2.1.7.573-96. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения. Приложение 10. Методика биотестирования по проращиванию семян. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. 54 с.
6. *Озеров А.Ю., Гирина О.А., Жаринов Н.А. и др.* Извержения вулканов Северной группы Камчатки в начале XXI века // Вулканология и сейсмология. 2020. № 1. Р. 3-19. <https://doi.org/10.31857/S0203030620010058>
7. *Хеттинатирана Т., Мельник М.И.* Определение содержания тяжелых и токсичных металлов в почвах с использованием атомно-эмиссионного спектрометра с микроволновой плазмой // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Владивосток: Дальнаука, 2014. № 6. С. 728-733.