

Содержание микроэлементов в дикорастущих ягодных растениях Усть-Камчатского района после пеплопада вулкана Шивелуч в августе 2024 г.

Матвеева Е.В., Клочкова Т.А.

Content of trace elements in wild berry plants from Ust-Kamchatka region after the ashfall of the Shiveluch volcano in August 2024

Matveeva Ye.V., Klochkova T.A.

Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский;

e-mail: matveeva.lena.15@mail.ru

Обсуждаются данные по содержанию микроэлементов в почве и дикорастущих ягодных растениях *Empetrum nigrum* (водяника) и *Vaccinium uliginosum* (голубика) из Усть-Камчатского района. Образцы для анализа были собраны на расстоянии 18 и 35 км от п. Усть-Камчатск после многочисленных выбросов тефры вулканом Шивелуч в августе 2024 г.

Введение

Территория Усть-Камчатского района расположена в зоне активного вулканизма и подвержена частым пеплопадам [2]. Тефра здесь регулярно поступает в почвенный покров и оказывает воздействие на биоту на расстоянии многих десятков километров от самих вулканов.

Опубликованные данные о воздействии пеплопадов на растения имеют скорее эпизодический, чем регулярный характер, что отмечено в отечественной [1] и зарубежной литературе [3]. В нашей работе приводятся данные о содержании микроэлементов в почве и дикорастущих съедобных ягодных растениях, зафиксированные после многочисленных выбросов тефры вулканом Шивелуч в августе 2024 г.

Материалы и методы

Для анализа были использованы ветви, листья и плоды (ягоды) водяники (*E. nigrum*) и голубики (*V. uliginosum*), собранные в зоне регулярных пеплопадов Ключевской группы вулканов, а также почва под этими растениями. Первую партию образцов собрали непосредственно в день пеплопада 17.08.2024 г. (35 км от п. Усть-Камчатск; 56°28.117' с.ш., 162°01.266' в.д.), вторую – 24.08.2024 г. (18 км от п. Усть-Камчатск; 56°16.170' с.ш., 162°15.589' в.д.). За прошедшую неделю было зафиксировано несколько пеплопадов, шлейф пепла протянулся на 492-1520 км на восток-юго-восток от вулкана Шивелуч (https://t.me/IViS_DVO_RAN).

Содержание элементов во всех образцах определяли с помощью атомно-эмиссионного спектрометра с микроволновой плазмой AES-MP 4200 (Agilent Technologies, США) [2]. Для более наглядного сравнения результатов провели перерасчет содержания элементов в проценты, для чего их количество в почве брали за 100 % и далее высчитывали в растениях от него (табл. 1, 2).

Результаты и обсуждение

Несмотря на то, что в местах сбора образцов следы тефры были едва различимы и визуально кустики и плоды казались чистыми, концентрация металлов Al, Mn, Zn, Ba, Ni, Pb, Cr, Sr в листьях и ветвях в большинстве случаев была выше, чем в поверхностном горизонте почвы под самими растениями. В листьях и ветвях обнаружена более высокая концентрация металлов, чем в плодах, за исключением свинца (Pb), содержание которого в ягодах водяники (табл. 1) и голубики (табл. 2), собранных 17.08.2024 г. в 35 км от п. Усть-Камчатск, оказалось, соответственно, в 1.7 и 1.5 раза выше, чем в почве (2.72 и 2.35 мг/кг сухого веса). Отметим, что плоды водяники покрыты жесткой кожистой оболочкой, а у голубики они мягкие с тонкой оболочкой, т.е., исходя из морфологических особенностей плодов этих видов, мы

ожидали получить противоположный результат. При этом листья голубики имели повреждения, поскольку на них присутствовали мелкие перфорации и желтовато-бурые пятнышки, а кожистые узкие листья водяники были без признаков повреждений.

Таблица 1. Содержание элементов в разных частях растений водяники (*Empetrum nigrum*) и в почве под ними (наиболее высокие концентрации отмечены заливкой фона)

Образец	Al		Mn		Zn		Ba		Sr		Cu	
	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%
17.08.2024 г., 35 км от п. Усть-Камчатск												
Почва	1929.97	100	96	100	13.9	100	9.57	100	12.29	100	16.24	100
Ветви	518.65	27	536.59	559	20.84	150	38.55	403	10.24	83	6.69	41
Листья	1179.62	61	339.85	354	18.52	133	32.97	345	12.37	101	7.54	46
Плоды	110.6	6	19.76	21	8.3	60	4.6	48	3.12	25	4.46	27
24.08.2024 г., 18 км от п. Усть-Камчатск												
Почва	719.67	100	123.42	100	20.62	100	20.92	100	16.34	100	20.2	100
Ветви	666.58	93	684.05	554	21.82	106	39.57	189	12.96	79	7.23	36
Листья	1357.39	189	315.95	256	19.23	93	39.27	188	17.35	106	8.19	41
Плоды	128.62	18	26.25	21	8.51	41	4.18	20	3.33	20	4.67	23

Образец	Ni		Pb		Cr		Cd		Co		Mo	
	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%
17.08.2024 г., 35 км от п. Усть-Камчатск												
Почва	6.98	100	1.6	100	13.91	100	0.27	100	0.05	100	0	–
Ветви	28.72	411	0	–	54.08	389	0.16	59	1.38	2760	0	–
Листья	8.83	127	0.17	11	15.71	113	0.08	30	1	2000	0	–
Плоды	2.67	38	2.72	170	1.49	11	0.03	11	0.92	1840	0	–
24.08.2024 г., 18 км от п. Усть-Камчатск												
Почва	1.25	100	2.31	100	13.74	100	0.56	100	0	–	0	–
Ветви	21.24	1699	0	–	40.9	298	0.22	39	1.31	131	0	–
Листья	6.26	501	6.26	501	0.44	19	0	–	0	–	0	–
Плоды	0.99	79	0.99	79	2.71	117	0	–	0	–	0	–

В плодах голубики содержалось 42.2-89.3 мг/кг (сухого веса) алюминия, т.е. меньше, чем в плодах водяники из того же места – 110.6-128.62 мг/кг. Европейским агентством по безопасности пищевых продуктов (EFSA) установлен максимально допустимый уровень миграции алюминия из контактирующих с пищей материалов на уровне 5 мг/л. В соответствии с исследованиями Европейского союза от 2008 г., суточное потребление алюминия с пищей составляет 1.6-13.0 мг, что соответствует 0.2-1.5 мг/кг в неделю при массе тела взрослого человека 60 кг [5]. Содержание алюминия в наших образцах водяники и голубики оказалось предсказуемо высоким из-за геохимических особенностей региона, однако в 5.6-17.5 и 17-21.6 раз ниже, чем в почве, соответственно.

В научной литературе сообщалось, что осаждение тefры на листья вызывает ингибицию фотосинтеза [3], на цветы – невозможность опыления. Описывалась практически полная дефолиация и остановка роста крупных вечнозеленых деревьев из-за регулярных выбросов тefры в течение двух лет [3]. Локальный некроз листьев может происходить из-за химического ожога и механического (абразивного) воздействия частиц тefры, при этом глянцевые кожистые листья считаются более устойчивыми [3]. В научной литературе сообщалось об изменениях физиологических реакций у присыпанных тefрой растений. Например, под воздействием пеплопадов хвоинки пихтовых деревьев вытягивались, и внутри них происходило повышение температуры до 35-45 °С, что вызывало их массовую гибель и осыпание [3].

Таблица 2. Содержание элементов в разных частях растений голубики (*Vaccinium uliginosum*) и в почве под ними (наиболее высокие концентрации отмечены заливкой фона)

Образец	Al		Mn		Zn		Ba		Sr		Cu	
	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%
17.08.2024 г., 35 км от п. Усть-Камчатск												
Почва	1929.97	100	96	100	13.9	100	9.57	100	12.29	100	16.24	100
Ветви стар.	199.41	10	718.17	748	40.45	291	41.66	435	9.16	75	5.41	33
Ветви нов.	48.93	3	938.91	978	35.91	258	52.35	547	9.39	76	4.69	29
Листья	131.73	7	560.94	584	23.33	168	30.92	323	9.19	75	3.35	21
Плоды	89.3	5	78.76	82	13.85	100	9.01	94	3.88	32	2.15	13
24.08.2024 г., 18 км от п. Усть-Камчатск												
Почва	719.67	100	123.42	100	20.62	100	20.92	100	16.34	100	20.2	100
Ветви стар.	271.01	38	1090.3	883	54.38	264	53.47	256	10.13	62	7.35	36
Ветви нов.	107.37	15	1886.61	1529	65.61	318	67.9	325	12.11	74	6.96	34
Листья	238.72	33	1043.57	846	30.97	150	38.14	182	11.96	73	4.1	20
Плоды	42.2	6	155.37	126	14.17	69	32.22	154	4.53	28	2.75	14

Образец	Ni		Pb		Cr		Cd		Co		Mo	
	мг/кг	%	мг/кг	%								
17.08.2024 г., 35 км от п. Усть-Камчатск												
Почва	6.98	100	1.6	100	13.91	100	0.27	100	0.05	100	0	–
Ветви стар.	8.07	116	0	–	9.4	68	0.53	196	0.99	1980	0	–
Ветви нов.	2.35	34	0	–	1.3	9	0.72	267	0.86	1720	0	–
Листья	1.59	23	0	–	0.68	5	0.44	163	0.85	1700	0	–
Плоды	2.84	41	2.35	147	0.75	5	0.1	37	0	–	0	–
24.08.2024 г., 18 км от п. Усть-Камчатск												
Почва	1.25	100	2.31	100	13.74	100	0.56	100	0	–	0	–
Ветви стар.	10.17	814	0	–	17.15	125	0.37	66	1.13	113	0	–
Ветви нов.	3.92	314	0	–	5.13	37	0.49	88	0.98	98	0	–
Листья	1.81	145	0	–	2.15	16	0.34	61	0.81	81	0	–
Плоды	3.63	290	0.86	37	0.49	4	0.22	39	1.77	177	0	–

Подверженные частым пеплопадам растения могут травмироваться во время выпадения осадков, когда присутствующий в тейфре гидротермальный пирит (FeS_2) при контакте с дождевой водой образует сульфат и оксигидроксиды железа [3]. Кислая среда повреждает кутикулу листьев, что делает их более уязвимыми к высыханию и некрозу. Кроме того, в процессе ионного обмена контактирующие с поверхностью листьев кислоты могут вызвать потерю таких крайне важных для растений элементов, как Ca, Mg и K. Чувствительность к воздействию кислот и солей также зависит от морфологии вида растения, например, считается, что широкая листовая пластина травмируется сильнее, чем узкая [3]. Это мы обнаружили и в наших наблюдениях, поскольку листья голубики были поврежденными, а игловидные листья водяники – здоровыми. Также отметим, что 17.08.2024 г. в районе сбора образцов было облачно, 24.08.2024 г. шел переменный дождь, местами ливень.

У растений химический ожог также вызывается выщелоченными из отложений тейфры галоидными солями, поскольку на поверхности листьев возникает избыток хлоридов и фторидов [3, 6]. Происходит ли их поглощение растениями, либо они

присутствуют на листовой поверхности вместе с частицами тефры – этот вопрос требует отдельного изучения и экспериментального подтверждения. Однако сообщалось, что в некоторых районах с активными пеплопадами отмечался рост смертности травоядных животных и одной из возможных причин указывали пероральный прием больших концентраций фтора, поступающего вместе с кормом [3].

На поверхности почвы слой тефры может привести к снижению скорости инфильтрации воды, изменить химический состав, тепловой режим, негативно влиять на биотический компонент (микробиоценоз) и скорость разложения органического вещества. Может произойти закисление почвы, сопровождающееся выбросом потенциально токсичных уровней алюминия (Al) и постоянной потерей некоторых обменных катионов, таких как Ca, Mg, K и Na [4]. Однако также известно, что благодаря ионному обмену и процессам выветривания вулканические почвы обладают способностью к нейтрализации кислот [3].

Заключение

На Камчатке плоды исследованных нами растений активно собираются и заготавливаются для употребления в пищу. Приведенная информация о содержании элементов в растениях из зоны активных пеплопадов может быть рекомендательной для определения пищевой безопасности этих дикоросов. Стоит учитывать, что после пеплопадов и последующих за ними осадков содержание в плодах определенных элементов, в том числе токсичных, может многократно возрастать.

Авторы выражают благодарность начальнику Сектора коллективного использования научного оборудования (СКИНО) ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» к.б.н. А.В. Климовой за возможность использовать научное оборудование и реактивы. Работа выполнена в рамках подготовки выпускной квалификационной работы студента магистратуры кафедры «Экология и природопользование» ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» (Матвеева Е.В.).

Список литературы

1. Гришин С.Ю., Перепелкина П.А., Бурдуковский М.Л., Лазарев А.Г. Пеплопад вулкана Шивелуч (Камчатка) 29 августа 2019 г. и его воздействие на растительность // Известия Русского географического общества. 2021. Т. 153. № 5. С. 34-47.
2. Матвеева Е.В., Позолотина Л.А., Климова А.В., Клочкова Т.А. Воздействие вулканического пепла на развитие некоторых видов сельскохозяйственных культур в условиях лабораторного эксперимента // Материалы XXVII региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога. 27-29 марта 2024 г. Петропавловск–Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2024. С. 306-309.
3. Ayris P.M., Delmelle P. The immediate environmental effects of tephra emission // Bulletin of Volcanology. 2012. V. 74. P. 1905-1936.
4. Dahlgren R.A. Acid deposition effects on soils. / Encyclopedia of soil science / Ed. W. Chesworth. Springer, Dordrecht, 2008. P. 2-7.
5. Statement of EFSA. On the evaluation of a new study related to the bioavailability of aluminium in food // EFSA Journal. 2011. V. 9. № 5. P. 2157-2173.
6. Weinstein L.H., Davison A. Fluorides in the environment: effects on plants and animals. CABI Publishing, Wallingford, 2004. 287 p.