

ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОСТУПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЯГОДЫ ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ



М.Н. КУЗНЕЦОВ (фото), кандидат сельскохозяйственных наук, директор, Е.В. ЛЕОНИЧЕВА, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Т.А. РОЕВА, научный сотрудник, ГНУ ВНИИСПК Россельхозакадемии, д. Жилина, Орловский район, Орловская область

Ключевые слова: *тяжелые металлы, черная смородина, цеолитсодержащие породы, экологически чистая продукция.*

Нарастание антропогенного потока тяжелых металлов (ТМ) в окружающую среду отмечено для большинства промышленно развитых областей РФ [1, 2]. Показано загрязнение тяжелыми металлами ягодной продукции при повышенном содержании ТМ в окружающей среде [3, 4].

Выращивание высококачественных ягод черной смородины, богатых витаминами и свободных от различных загрязнителей, опасных для здоровья человека, является актуальной задачей адаптивного садоводства. Поэтому важным представляется разработка агротехнических приемов, снижающих поступление тяжелых металлов в плодово-ягодную продукцию. До настоящего времени практически не проводилось комплексных исследований поведения ТМ в ягодных агроценозах с учетом специфики этих агроэкосистем.

Интерес представляет использование нетрадиционных методов, таких как применение природных цеолитов. Природный минерал цеолит обладает уникальными сорбционными, ионообменными, селективными и пролонгирующими свойствами, что обуславливает использование цеолитсодержащих пород в земледелии в качестве высокопродук-

тивных сорбентов-мелиорантов. В настоящее время сведения о применении природных цеолитов для снижения поступления ТМ в растения накоплены преимущественно для однолетних полевых и овощных растений [5, 6]. Плодовые и ягодные культуры исследованы в этом плане недостаточно. В научной литературе нет данных об эффективных для ягодных культур (в частности, для черной смородины) дозах цеолита при конкретной антропогенной нагрузке.

Цель и методика исследований

Цель исследований – оценить количественные возможности цеолитсодержащих трепелов Хотынецкого месторождения Орловской области (содержание клиноптилолита – 34%) для снижения экологического риска загрязнения тяжелыми металлами ягод черной смородины в условиях повышенного содержания ТМ в почве. Исследования проводились в микрополевым опыте с черной смородиной сорта Кипиана в 2005-2007 годах. Схема опыта включает возрастающие дозы цеолита 3-24 т/га без удобрений и на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$. Удобрения и мелиоранты вносили при посадке в слой почвы 0-20 см. Схема посадки – 0,7х3 м. Площадь делянки – 14 м².

Почва опытного участка – серая лес-

ная среднесуглинистая. Агрохимическая характеристика почвы: рН_{ксл} 5,4±0,15 (ГОСТ 26483-85); содержание подвижного фосфора – 43,78±3,7 (ГОСТ 26204-84); обменного калия – 29,7±5,3 мг/100 г почвы (ГОСТ 26204-84); содержание гумуса – 3,7±0,14% (ГОСТ 26213-84). Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почве (в вытяжке CH_3COONH_4 , рН=4,8) определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии, валовое содержание ТМ – рентгенфлуоресцентным методом.

Содержание ТМ (Pb, Ni, Zn, Cu) в растительных пробах определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии по МУК 4.1.053-96.

Результаты исследований

Опытный участок в течение 50 лет использовался для возделывания плодовых и ягодных культур, технология производства которых предусматривала регулярные обработки защитными препаратами, содержащими ТМ. Валовое содержание ТМ в почве опытного участка превысило регионально-фоновую концентрацию в 2 раза для Pb и Ni, в 3 раза – для Zn, в 6 раз – для Cu. Валовое содержание Cu было выше ОДК (доп. №1 к пер. ПДК и ОДК №6229-91) [7] (табл. 1). Превышения ОДК и регионально-фоновой содержания ТМ в почве свидетельствуют о потенциальном экологическом риске получения загрязненной продукции.

Почве свойственна значительная неоднородность пространственного распределения микроэлементов [8]. В нашем случае наблюдалось сильное пространственное варьирование содержа-

Hard metals, black currant, zeolite rocks, ecologically pure production.

ния подвижных форм ТМ в почве опытного участка (табл. 1). Из-за высокого варьирования различия между опытными делянками могут превосходить различия, полученные в результате действия цеолита. Дисперсионный анализ содержания ТМ в почве по окончании второго периода вегетации показал, что содержание подвижных Ni и Zn было достоверно ниже контроля при внесении возрастающих доз цеолита, а различия между вариантами опыта по содержанию подвижных Pb и Cu были незначительны (табл. 2).

Для более точной оценки влияния цеолита на подвижность ТМ в почве мы сравнили содержание подвижных форм ТМ не только по вариантам опыта, но и с содержанием до внесения удобрений и цеолита. Был дополнительно использован показатель отношения содержания ТМ в почве до посадки к содержанию их по окончании второго периода вегетации, рассчитываемый по формуле:

$$TM_{I \div TM_{II}}$$

где TM_I – исходное содержание подвижных форм элемента, мг/кг почвы;

TM_{II} – содержание элемента в почве после внесения цеолита.

Если это отношение близко к 1, то содержание ТМ в почве не изменилось под влиянием цеолита, если < 1, то увеличилось, если > 1, то уменьшилось.

При внесении цеолита отмечено достоверно более высокое значение показателя $TM_{I \div TM_{II}}$ для всех изучаемых ТМ как в слое почвы 0-20 см, так и в слое 20-40 см (табл. 3). Показатель отношения содержания подвижных форм ТМ достоверно выше контроля в вариантах с дозами цеолита 8, 16 и 24 т/га, а различия между этими дозами несущественны. Таким образом, внесение цеолита свыше 8 т/га не приводило к дальнейшему значительному снижению содержания подвижных форм ТМ в почве.

В задачи исследования входило изучение влияния цеолита на содержание тяжелых металлов в листьях черной смородины, поскольку недостаток и избыток микроэлементов нарушает деятельность ферментативного аппарата и обмен веществ у растений.

Внесение цеолита оказало достоверное влияние на содержание ТМ в листьях черной смородины, которое зависело от физиологической значимости элемента и агрохимического фона (табл. 4).

Содержание в листьях токсичных Pb и Ni (которые поступают в растение преимущественно пассивным путем) снижалось при уменьшении содержания в почве подвижных форм элементов. При внесении цеолита в дозе 3 т/га на фоне минеральных удобрений содержание свинца снизилось на 60%. На столько же оно снизилось в варианте 16 т/га без удобрений.

Содержание в листьях необходимых для растений элементов Zn и Cu снижалось при малых дозах цеолита и возрастало при дальнейшем увеличении дозы.

Для оценки влияния цеолита на ха-

рактер аккумуляции ТМ в растениях были рассчитаны коэффициенты накопления, которые представляют отношение концентрации элемента в растении к его содержанию в почве в доступной форме. Показатель Кн является комплексным, учитывающим состояние микроэлемента в системе «почва-растение». По интенсивности накопления листьями черной смородины ТМ образуют ряд: $Kn_{Zn} (0,5) < Kn_{Pb} (29) < Kn_{Ni} (35) = Kn_{Cu} (35)$.

В почве опытного участка содержание подвижных форм Zn наибольшее по сравнению с другими металлами (табл. 1), а на 10% опытных делянок превышало ПДК_{подв.} В то же время Кн Zn в десятки

раз ниже этого показателя для других ТМ. Это свидетельствует о том, что растения не испытывают дефицита цинка и содержание его в листьях определяется метаболическими потребностями.

Минимальные значения Кн в листьях всех изученных микроэлементов отмечены в варианте 3 т/га цеолита на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$ (рис.). Таким образом, в данном варианте риск полиэлементного загрязнения растений черной смородины минимален.

Ягоды черной смородины в условиях опытного участка содержали ТМ в количествах, не превышающих принятые в настоящее время нормы ПДК, единые

Таблица 1
Содержание ТМ в почве опытного участка до внесения удобрений и цеолита (2004 г.), мг/кг почвы

	Pb		Ni		Zn		Cu	
	0-20 см	20-40 см	0-20 см	20-40 см	0-20 см	20-40 см	0-20 см	20-40 см
Валовое содержание	26,0	20,7	29,0	31,5	42,5	45,5	72,6	58,0
ОД _{квал}	65,0		40,0		110		66,0	
ФОН _{квал} региональный	12,7		15,0		13,4		12,3	
Подвижные формы	0,08	0,05	0,28	0,23	15,0	13,0	0,56	0,45
Коэффициент вариации, %	42	59	31	29	35	41	45	52
ПДК _{подв.}	6,0		4,0		23,0		3,0	

Таблица 2
Содержание подвижных форм ТМ в почве после внесения удобрений и цеолита, мг/кг почвы (2006 г.)

Варианты опыта	Pb		Ni		Zn		Cu	
	Слой почвы, см							
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
Контроль	0,108	0,064	0,251	0,221	18,644	14,122	0,497	0,375
Цеолит 3 т/га	0,055	0,025	0,170	0,205	10,390*	7,914*	0,433	0,317
Цеолит 8 т/га	0,077	0,030	0,176	0,171	9,553*	11,185	0,407	0,347
Цеолит 16 т/га	0,044	0,017	0,151*	0,110*	10,304*	9,058	0,267	0,281
Цеолит 24 т/га	0,031	0,017	0,132*	0,117*	9,638*	8,4013*	0,245	0,289
НPK	0,079	0,061	0,228	0,223	12,003*	10,415	0,378	0,267
НPK + цеолит 3 т/га	0,099	0,060	0,234	0,213	12,598*	13,994	0,635	0,475
НPK + цеолит 8 т/га	0,055	0,039	0,147*	0,156*	11,006*	10,716	0,470	0,389
НPK + цеолит 16 т/га	0,044	0,027	0,140*	0,163	11,844*	12,660	0,365	0,306
НPK + цеолит 24 т/га	0,031	0,018	0,134*	0,134*	12,194*	9,746	0,282	0,213
НСП _{0,5}	Fф<Fт	Fф<Fт	0,099	0,060	5,588	5,940	Fф<Fт	Fф<Fт

* Различия достоверны при 0,5-процентном уровне значимости.

Таблица 3
Отношение содержания подвижных форм $TM_{I \div TM_{II}}$ (2004, 2006 гг.)

Варианты опыта	Pb		Ni		Zn		Cu	
	Слой почвы, см							
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
Контроль	0,92	0,91	0,97	0,83	1,03	0,94	1,03	1,04
Цеолит 3 т/га	1,09	0,94	1,94*	1,14	1,19	0,93	1,91*	1,18
Цеолит 8 т/га	1,75*	2,72*	2,25*	1,81*	1,37*	1,13	1,84*	1,99*
Цеолит 16 т/га	1,63*	2,17*	1,95*	2,62*	1,40*	1,10	2,23*	1,91*
Цеолит 24 т/га	2,16*	2,23*	2,40*	2,50*	1,42*	1,48*	1,75	2,21*
НPK	1,14	1,03	1,10	1,10	0,97	1,01	1,08	1,21
НPK + цеолит 3 т/га	1,11	1,09	1,20	1,12	1,08	1,12	1,08	1,16
НPK + цеолит 8 т/га	1,54*	1,29	1,74*	1,50	1,26*	1,21	1,64	1,40
НPK + цеолит 16 т/га	1,50*	1,79	1,58	1,33	1,32*	1,25	1,63	1,53*
НPK + цеолит 24 т/га	2,48*	2,11*	1,75*	1,56	1,41*	1,68*	2,13*	1,63*
НСП _{0,5}	0,40	1,05	0,72	0,63	0,23	0,37	0,81	0,41

для всех плодов и ягод. В справочнике Нестерина и Скурихина [9] приведено среднее содержание микроэлементов в ягодах, характерное для нашей страны в 70-80-е годы, когда уже существовали эффективные методики определения ТМ в пищевых продуктах. Отсутствие в справочных таблицах данных по Pb и Ni свидетельствует, что 20 лет назад эти микроэлементы в ягодах не обнаруживались. Нашими исследованиями в яго-

дах обнаружены Pb и Ni. Это свидетельствует о необходимости оптимизации микроэлементного состава ягод.

Закономерности поступления ТМ в ягоды сходны с поступлением ТМ в листья. Это подтверждается корреляцией между содержанием микроэлементов в листьях и ягодах: $r_{Ni}=0,77$, $r_{Cu}=0,84$, $r_{Zn}=0,77$.

Внесение минеральных удобрений увеличивало содержание в ягодах Ni, Zn,

Cu на 20-30% по сравнению с контролем.

Качество ягод в условиях полиэлементного загрязнения оценивалось по суммарному показателю накопления ТМ (СПН). Наименьшая величина СПН Pb, Ni, Zn и Cu в ягодах отмечена в варианте 3 т/га цеолита на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$ (табл. 5).

По интенсивности накопления (величине Кн) в ягодах черной смородины микроэлементы располагаются в ряд: $Kn_{Zn}(0,02) < Kn_{Pb}(0,23) < Kn_{Ni}(0,67) < Kn_{Cu}(0,80)$. Как и для листьев черной смородины, минимальные значения Кн Ni, Zn и Cu отмечены в варианте 3 т/га цеолита на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$. Таким образом, внесение 3 т/га цеолита на фоне минеральных удобрений обеспечивало минимальный экологический риск получения загрязненных ТМ ягод черной смородины.

Выводы

Использование цеолитосодержащих пород Хотынецкого месторождения в дозах от 3 до 24 т/га оказывает влияние на подвижность Pb, Ni, Zn, Cu в серой лесной почве и поступление их в листья и ягоды черной смородины в условиях повышенного содержания ТМ в почве.

Из-за высокого варьирования содержания подвижных форм микроэлементов в почве оценку влияния агроприемов на поведение микроэлементов в системе «почва-растение» для ягодных агроценозов обоснованно проводить по совокупности показателей, сравнивая исходное содержание элементов в почве с содержанием по прошествии определенного периода времени, учитывая содержание микроэлементов в листьях и ягодах и используя системные показатели, такие как коэффициент накопления (Кн) и суммарный показатель накопления (СПН).

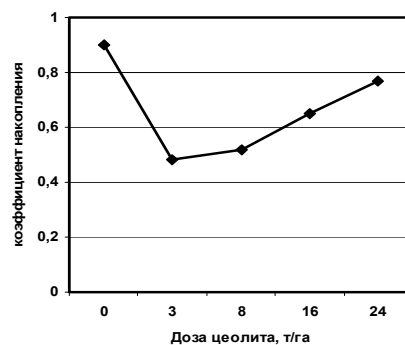
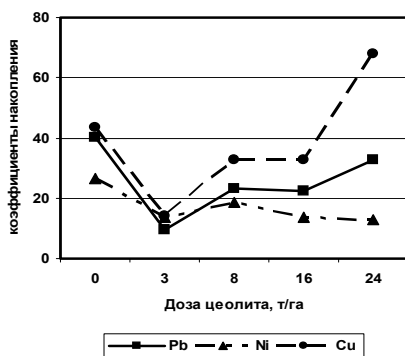
Анализ количественных возможностей применения цеолитосодержащих пород Хотынецкого месторождения позволяет рекомендовать для снижения экологического риска загрязнения ягод черной смородины тяжелыми металлами одновременное внесение при посадке 3 т/га цеолита на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$ на серой лесной среднесуглинистой почве, имеющей благоприятные агрохимические характеристики и содержание ТМ, превышающее фоновое в 2-6 раз.

Литература

- Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе «почва-растение». Новосибирск : Наука, 1991. 150 с.
- Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л. : Агропромиздат, 1987. 137 с.
- Мотылева С. М. Особенности содержания ТМ (Pb, Ni, Zn, Fe, Cu) в плодах, ягодах и атмосферных осадках в связи с оценкой сортов для использования в селекции : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Орел, 2000. С. 23.
- Сенновская Т. В., Сергиенко А. А. Особенности накопления тяжелых металлов в ягодах и листьях крыжовника // Плодоводство и ягодоводство России. М. : ВСТИСП, 2004. С. 281-295.

Таблица 4
Влияние цеолита на содержание ТМ в листьях черной смородины, мг/кг сырой массы (2005-2006 гг.)

Вариант	Без удобрений			
	Pb	Ni	Zn	Cu
Контроль	2,95	8,46	9,06	17,72
Цеолит 3 т/га	2,81	5,18*	5,54*	12,79*
Цеолит 8 т/га	1,67*	2,96*	5,71*	13,82*
Цеолит 16 т/га	1,08*	2,72*	5,29*	10,05*
Цеолит 24 т/га	0,88*	3,56*	6,15*	11,65*
HCP ₀₅	0,20	0,19	0,25	0,65
На фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$				
Контроль (фон)	3,26	6,09	10,85	16,70
Цеолит 3 т/га	1,27*	3,30*	5,84*	9,26*
Цеолит 8 т/га	1,29*	2,65*	5,82*	15,19*
Цеолит 16 т/га	0,95*	1,84*	8,15*	11,58*
Цеолит 24 т/га	1,10*	1,70*	9,25*	19,59*
HCP ₀₅	0,21	0,16	0,37	0,67



А

В

Рисунок. Коэффициенты накопления Pb, Ni, Cu (А) и Zn (В) листьями черной смородины (среднее, 2005-2006 гг.)

Таблица 5
Влияние цеолита на содержание ТМ в ягодах черной смородины, мг/кг сырой массы (2006-2007 гг.)

Вариант	Без удобрений				СПН
	Pb	Ni	Zn	Cu	
Контроль	0,025	0,15	0,48	0,26	0,23
Цеолит 3 т/га	0,032	0,08*	0,20*	0,15*	0,12
Цеолит 8 т/га	0,036	0,10	0,40*	0,21	0,19
Цеолит 16 т/га	0,028	0,07*	0,50	0,11*	0,18
Цеолит 24 т/га	0,021	0,10	0,44	0,18	0,19
HCP ₀₅	Fф < Fт	0,05	0,07	0,09	
На фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$					
Контроль	0,025	0,20	0,58	0,35	0,29
Цеолит 3 т/га	0,030	0,07*	0,15*	0,18*	0,10
Цеолит 8 т/га	0,025	0,05*	0,23*	0,20*	0,12
Цеолит 16 т/га	0,023	0,04*	0,34*	0,25*	0,16
Цеолит 24 т/га	0,015*	0,15	0,39*	0,40	0,24
HCP ₀₅	0,010	0,10	0,09	0,10	
ПДК (мг/кг)	0,4	0,5	10	5	

5. Дорошкевич С. Г., Убугунов Л. Л., Мангатаев Ц. Д., Бадмаев А. Б. Продуктивность и качество картофеля при использовании органико-минеральных удобрительных смесей на основе осадков сточных вод и цеолитов // Агрохимия. 2002. № 8. С. 41-48.

6. Мухаметдинова Г. А., Суяндуква М. Б., Суяндуква Я. Т. Природные цеолиты и продуктивность озимой ржи // Аграрная наука. 2007. № 9. С. 17-19.