

УДК 634.8.631.5:632.122.1:634.8

## ВЛИЯНИЕ ПРИЕМОВ БИОЛОГИЗАЦИИ НА СОДЕРЖАНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И ВИНОГРАДНОМ РАСТЕНИИ

© 2019 г. О. Е. Клименко<sup>1,\*</sup>, Ю. В. Плугатарь<sup>1</sup>, Н. И. Клименко<sup>1</sup>, Н. Н. Клименко<sup>2,\*\*</sup>

<sup>1</sup> Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН  
298648 Ялта, пгт. Никита, Никитский спуск, 52, Россия

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма  
295043 Симферополь, ул. Киевская, 150, Россия

\*E-mail: olga.gnbs@mail.ru

\*\*E-mail: ninaklymenko@yandex.ru

Поступила в редакцию 29.03.2018 г.

После доработки 17.07.2018 г.

Принята к публикации 10.04.2019 г.

Исследовано изменение содержания подвижных форм Pb, Co и Cd в лугово-аллювиальной почве Крыма и растениях винограда (*Vitis vinifera* L.) при применении приемов биологизации (многолетние травы для задернения междурядий и микробные препараты (МП) как биоудобрения). Установлено, что как многолетние травы, так и МП способствовали некоторому увеличению подвижности Pb в почве, снижали содержание Co и по-разному влияли на содержание подвижного Cd. Совместное применение задернения и МП приводило к снижению подвижности ТМ в почве, наиболее эффективными оказалась комбинация смеси райграса и люцерны с биопрепаратами биополицид (Pb) и фосфоэнтерин (Co, Cd), а также люцерны с препаратом диазофит (Co, Cd). Примененные приемы биологизации оказали значительное защитное влияние на поглощение ТМ растением винограда, наиболее существенное – МП. Установлен синергический эффект трав и МП на связывание ТМ, их адсорбцию и снижение поглощения виноградным растением. Более эффективными были фосфоэнтерин и биополицид на всех фонах задернения. В большей мере указанные приемы влияли на изменение концентрации ТМ в ягодах, чем в листьях.

**Ключевые слова:** приемы биологизации, содержание тяжелых металлов, подвижные формы Pb, Co, Cd, лугово-аллювиальная почва, виноградное растение.

DOI: 10.1134/S0002188119070056

### ВВЕДЕНИЕ

Содержание тяжелых металлов (ТМ) в почвах определяет, прежде всего, их количество в почвообразующих породах, а также процессы почвообразования и концентрация во вторичных минералах. Значительный вклад в пул ТМ в почвах принадлежит агротехнике (вспашке, поливу, внесению удобрений и пестицидов), а также наличию антропогенных источников загрязнения окружающей среды [1, 2]. Установлено, что основными источниками антропогенного загрязнения среды ТМ являются выбросы предприятий металлургической, горнодобывающей и химической промышленности, атомных электростанций, а также сжигание различных видов топлива [3].

Длительное использование почвы под многолетние насаждения (сады и виноградники) связано с применением больших количеств пестицидов, со-

держащих ТМ, которые могут накапливаться в почве, растении и продукции плодового хозяйства [4].

Содержание в почве ТМ и сопряженная с этим транслокация их в растения – сложный процесс, на который влияет много факторов: почвенно-климатические условия, свойства загрязняющих веществ и их химический состав, вид и возраст растения, и др. [5, 6]. Наиболее токсичными из ТМ, которые считаются условно необходимыми, являются Cd, Pb, Sn и Rb. Роль их в организме животных, растений и человека еще не до конца выяснена, и поэтому они опасны даже при относительно низких концентрациях [7, 8]. Кобальт традиционно считается эссенциальным элементом, который участвует в процессах фотосинтеза, активирования ферментов белкового обмена, положительно влияет на устойчивость растения к неблагоприятным условиям среды [9]. Но если

содержание этого элемента в почве превышает 3–5 мг/кг, это может привести к угнетению растений, следовательно, его относят и к ТМ.

В настоящее время стоит задача снизить техногенную нагрузку на окружающую среду за счет уменьшения доз минеральных удобрений и пестицидов путем введения органического садоводства и виноградарства [10, 11]. Эта система предусматривает снижение химической нагрузки и повышение биологического потенциала агроэкосистемы [12], является одним из условий биологизации интенсификационных процессов. По определению Жученко [13], за счет замены техногенных факторов интенсификации функционально адекватными биологическими сохраняется единство технологического процесса и переход к низкозатратным технологиям. Элементами биологизации могут быть: задернение междурядий смесью многолетних трав, содержащих бобовый компонент, а также применение на их фоне бактериальных удобрений – микробных препаратов (МП). Бактерии, используя органическое вещество, накапливаемое травами, активно фиксируют азот из воздуха, улучшают усвояемость растением труднорастворимых фосфатов, выступают как биопротекторы и иммуномодуляторы [14]. Все это приводит к повышению продуктивности растений и качества продукции. Однако использование этой системы в плодоводстве и виноградарстве еще очень незначительно (в мире до 1%), а ее воздействие на содержание ТМ в почвах, а также их транслокацию в растение и продукцию виноградарства мало изучено [15]. Известно, что повышенное содержание органического вещества в почве или внесение органических удобрений-мелиорантов (навоза, соломы, дефекаата и др.) приводит к снижению подвижных форм ТМ [5, 16, 17]. Есть сведения, что наиболее высоким коэффициентом транслокации ТМ характеризуются кормовые травы (например, эспарцет) [18].

В сложных биокосных системах, каковыми являются почвы, важную роль в биохимических циклах элементов играют микроорганизмы. Они могут принимать участие в различных процессах трансформации, поглощения, сорбции, аккумуляции и мобилизации химических элементов, в том числе и ТМ [19–22]. Однако исследования совместного влияния многолетних трав и полезных ризосферных микроорганизмов на содержание подвижных форм микроэлементов и ТМ в почве, их поглощения растениями винограда и распределения в растении малочисленны [23, 24].

Кроме того, в настоящее время мало сведений о содержании в почвах подвижных форм Pb, Cd,

Cr, Hg и других элементов, которые наиболее активно поглощают растения. Считается, что эти формы элементов извлекаются аммонийно-ацетатным буфером pH 4.8 и характеризуют актуальный запас элементов в почве [25–27].

В связи с этим цель работы – изучение влияния приемов биологизации (применения многолетних трав и бактериальных удобрений) в ампелоценозе на содержание подвижных форм Pb, Cd и Co в почве, а также поступление их в листья и ягоды винограда.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2008–2012 гг. в двухфакторном полевом эксперименте на винограднике, который находится в долине р. Черная в районе г. Севастополь (Республика Крым). Сорт винограда (*Vitis vinifera* L.) – Мускат белый на подвое Шасла × Берландиери 41 Б. Схема посадки растений 2.5 × 0.9 м. Перед посадкой корневую систему саженцев винограда обрабатывали суспензией следующих микробных препаратов и их комплекса (фактор МП), варианты: 1 – препарат диазофит (штамм *Agrobacterium radiobacter* 204) – ассоциативный азотфиксатор, 2 – фосфоэнтерин (ФЭ) (штамм *Enterobacter nimipressuralis* 32-3) – фосфатмобилизатор, обладает фитогормональным и фунгицидным эффектом, 3 – биополицид (БП) – на основе штамма-антагониста патогенной микрофлоры *Paenibacillus polymyxa* П, подавляющего 14 видов патогенных микромицетов, а также продуцирующего физиологически активные вещества, 4 – комплекс микробных препаратов (КМП), состоящий из смеси вышеперечисленных препаратов в соотношении 1 : 1 : 1. Биоагенты этих препаратов хорошо совместимы и обладают синергическим эффектом, 5 – контроль без применения МП.

Все перечисленные препараты разработаны и предоставлены отделом микробиологии НИИ сельского хозяйства Крыма. В дальнейшем ежегодно весной почву ризосферы винограда инокулировали соответствующими МП в дозе 200 мг разбавленной суспензии на куст.

Вторым фактором, изученным в опыте, было задернение междурядий многолетними травами (фактор задернение), варианты: 1 – райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.), 2 – люцерна посевная (*Medicago sativa* L.), 3 – смесь райграса и люцерны в соотношении 1 : 1 (далее – смесь трав), 4 – контроль (черный пар).

Площадь элементарной делянки 45 м<sup>2</sup>. На делянке было 20 учетных кустов. Повторность опы-

та четырехкратная. Размещение вариантов рендомизированное.

Почва в опыте – лугово-аллювиальная карбонатная на современном карбонатном аллювии [28]. Более подробно характеристика свойств почвы, условия, методика и ход проведения эксперимента описаны ранее [23].

Подвижные формы ТМ экстрагировали из почвы 1 н. ацетатно-аммонийным буфером ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ) pH 4.8 [29]. ТМ в листьях и ягодах винограда определяли методом мокрого озоления смесью кислот  $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$  с последующим определением на “ААС С-115” по ГОСТ 26929-94 и ГОСТ 30178-96. Ошибка определения не превышала 10%. Чувствительность метода составляла 0.01–0.03 мкг/л.

Для оценки миграции ТМ в системе почва–виноградное растение рассчитаны коэффициенты накопления (*КН*) или транслокации и относительного поглощения (*КОП*) по следующим формулам:  $КН = l/m$ , где *l* – содержание элемента в золе растений, *m* – содержание подвижных форм элемента в почве, на которой произрастало данное растение [30];  $КОП = C_p/C_k$ , где  $C_p$  – концентрация элемента в золе растений (листья, ягоды) изученного варианта,  $C_k$  – концентрация того же элемента в золе растений эталонного варианта.

Статистическую обработку полученных данных проводили методом дисперсионного анализа с использованием программ ANOVA Statistica 07. Достоверным принят 5%-ный уровень значимости.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенного исследования показали, что в начале проведения эксперимента (2008 г.) содержание подвижных форм Pb и Co в слое 0–40 см почвы в варианте черного пара было повышенным и находилось на уровне 4.16 и 4.36 соответственно, что не превышало ПДК (6.0 и 5.0 мг/кг соответственно) [31] (рис. 1). Для Pb это превышало фоновый уровень в 3.6 раза, для Co – в 6.6 раза. Фоновый уровень для почв Украины для Pb составил 0.5 мг/кг. Концентрация Cd в почве была низкой и близкой к фоновому уровню (0.10 мг/кг) [32]. Низкое содержание последнего отчасти определялось щелочной реакцией почвенного раствора карбонатных почв [33].

Через год (2009 г.) содержание всех этих элементов резко сократилось, Cd – до нуля. Это было связано с интенсивным орошением и частыми механическими обработками почвы в ампелоценозе. В дальнейшем (2012 г.) содержание Pb в

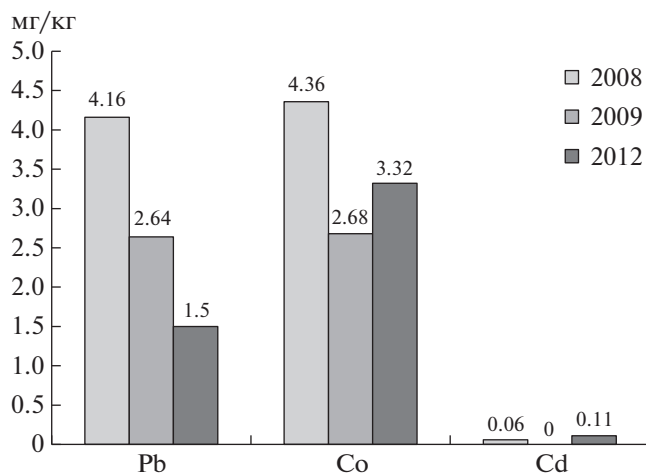


Рис. 1. Изменение содержания подвижных форм Pb и Co и Cd в лугово-аллювиальной карбонатной почве (контроль) под виноградником сорта Мускат белый в годы исследования.

верхнем 40 см слое почвы продолжало уменьшаться, содержание Co и Cd несколько увеличилось, что могло быть следствием интенсивных обработок пестицидами, содержащими эти элементы, а также с внутрипочвенным выветриванием и привнесением поллютантов из воздуха и с поливной водой [6].

На 4-й год после закладки опыта (2012 г.), когда проективное покрытие трав достигло 100%, определяли содержание подвижных форм ТМ в слое 0–40 см почвы, где располагалась основная масса корней трав. Установлено, что содержание изученных ТМ в почве контроля составило следующий ряд  $\text{Co} > \text{Pb} > \text{Cd}$  (табл. 1). При внесении МП в варианте черного пара происходило увеличение содержания подвижного Pb, достоверное при применении ФЭ и БП на 0.55–0.63 мг/кг почвы. Подобные процессы наблюдали Белоголова с соавторами [19] на незагрязненных почвах. Известно, что микроорганизмы в некоторых случаях могут увеличивать подвижность ТМ за счет образования комплексов металл–органический лиганд в виде хелатов и внутрикомплексных соединений [34, 35].

Содержание Co и Cd при применении МП в варианте черного пара снижалось: Co – незначительно, Cd – иногда существенно, при внесении ФЭ – на 0.035 мг/кг или на 33% от контроля. Способность активно сорбировать Cd и другие металлы описана для многих представителей ризосферной микрофлоры – *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus* и др. [35].

Задернение почвы междурядий винограда различными травами и их смесями без примене-

**Таблица 1.** Содержание подвижных форм Рb, Со и Сd в почве виноградника (слой 0–40 см) при использовании задернения и МП, мг/кг

| Вариант   | Задернение               |         |         |            |                                 |
|---|--------------------------|---------|---------|------------|---------------------------------|
|   | контроль<br>(черный пар) | райграс | люцерна | смесь трав | среднее                         |
| Почва   |                          |         |         |            |                                 |
| Рb  |                          |         |         |            |                                 |
| Контроль (без МП)                                   | 1.50                     | 1.74    | 1.79    | 2.35       | 1.85                            |
| Диазофит  | 1.62                     | 1.65    | 1.96    | 1.78       | 1.75                            |
| ФЭ  | 2.05                     | 1.58    | 1.49    | 2.02       | 1.78                            |
| БП  | 2.13                     | 1.82    | 2.32    | 1.20       | 1.87                            |
| КМП   | 1.68                     | 1.84    | 1.88    | 1.90       | 1.82                            |
| Среднее   | 1.80                     | 1.73    | 1.89    | 1.85       |                                 |
| <i>HCP</i> <sub>05</sub> = 0.32                     |                          |         |         |            |                                 |
| Со  |                          |         |         |            |                                 |
| Контроль (без МП)                                   | 3.32                     | 3.06    | 3.02    | 3.38       | 3.20                            |
| Диазофит  | 3.17                     | 3.50    | 2.97    | 3.31       | 3.24                            |
| ФЭ  | 3.23                     | 3.13    | 3.30    | 3.11       | 3.19                            |
| БП  | 3.11                     | 3.31    | 3.12    | 3.16       | 3.18                            |
| КМП   | 3.15                     | 3.31    | 3.12    | 3.38       | 3.24                            |
| Среднее $F_{\phi} < F_{05}$                         | 3.20                     | 3.26    | 3.11    | 3.27       |                                 |
| Cd  |                          |         |         |            |                                 |
| Контроль (без МП)                                   | 0.105                    | 0.095   | 0.098   | 0.080      | 0.095                           |
| Диазофит  | 0.090                    | 0.112   | 0.080   | 0.085      | 0.092                           |
| ФЭ  | 0.070                    | 0.102   | 0.105   | 0.080      | 0.089                           |
| БП  | 0.098                    | 0.088   | 0.088   | 0.118      | 0.098                           |
| КМП   | 0.105                    | 0.105   | 0.088   | 0.092      | 0.098                           |
| Среднее   | 0.094                    | 0.100   | 0.092   | 0.091      |                                 |
| <i>HCP</i> <sub>05</sub> = 0.024                    |                          |         |         |            |                                 |
| Листья  |                          |         |         |            |                                 |
| Рb  |                          |         |         |            |                                 |
| Контроль (без МП)                                   | 1.18                     | 1.18    | 1.26    | 1.53       | 1.29                            |
| Диазофит  | 1.20                     | 0.90    | 1.70    | 1.26       | 1.27                            |
| ФЭ  | 1.06                     | 1.50    | 0.70    | 0.95       | 1.05                            |
| БП  | 0.96                     | 1.58    | 1.04    | 1.35       | 1.24                            |
| КМП   | 0.80                     | 0.78    | 1.12    | 1.14       | 0.96                            |
| Среднее, <i>HCP</i> <sub>05</sub> = 0.12            | 1.04                     | 1.19    | 1.16    | 1.25       | <i>HCP</i> <sub>05</sub> = 0.15 |
| <i>HCP</i> <sub>05</sub> для частных средних = 0.22 |                          |         |         |            |                                 |
| Со  |                          |         |         |            |                                 |
| Контроль (без МП)                                   | 2.62                     | 2.79    | 2.82    | 2.61       | 2.71                            |
| Диазофит  | 2.53                     | 2.67    | 2.46    | 2.24       | 2.47                            |
| ФЭ  | 2.54                     | 2.20    | 2.69    | 2.33       | 2.44                            |
| БП  | 2.75                     | 2.42    | 2.90    | 2.32       | 2.60                            |
| КМП   | 2.78                     | 2.22    | 2.32    | 2.18       | 2.37                            |
| Среднее, <i>HCP</i> <sub>05</sub> = 0.12            | 2.64                     | 2.46    | 2.64    | 2.34       | <i>HCP</i> <sub>05</sub> = 0.15 |
| <i>HCP</i> <sub>05</sub> для частных средних = 0.21 |                          |         |         |            |                                 |

Таблица 1. Окончание

| Вариант                                | Задержание               |         |         |            |                    |
|--|--------------------------|---------|---------|------------|--------------------|
|  | контроль<br>(черный пар) | райграс | люцерна | смесь трав | среднее            |
| Cd                                     |                          |         |         |            |                    |
| Контроль (без МП)                      | 0.38                     | 0.32    | 0.34    | 0.32       | 0.34               |
| Диазофит                               | 0.37                     | 0.36    | 0.32    | 0.34       | 0.35               |
| ФЭ                                     | 0.36                     | 0.39    | 0.33    | 0.32       | 0.35               |
| БП                                     | 0.32                     | 0.36    | 0.32    | 0.36       | 0.34               |
| КМП                                    | 0.34                     | 0.32    | 0.32    | 0.34       | 0.33               |
| Среднее $F_{\phi} < F_{05}$            | 0.35                     | 0.35    | 0.33    | 0.34       |                    |
| Ягоды                                  |                          |         |         |            |                    |
| Pb                                     |                          |         |         |            |                    |
| Контроль (без МП)                      | 0.195                    | 0.135   | 0.285   | 0.195      | 0.202              |
| Диазофит                               | 0.205                    | 0.155   | 0.170   | 0.110      | 0.160              |
| ФЭ                                     | 0.155                    | 0.210   | 0.285   | 0.255      | 0.226              |
| БП                                     | 0.250                    | 0.130   | 0.190   | 0.215      | 0.196              |
| КМП                                    | 0.195                    | 0.145   | 0.260   | 0.200      | 0.200              |
| Среднее $HCP_{05} = 0.029$             | 0.200                    | 0.155   | 0.238   | 0.195      | $HCP_{05} = 0.036$ |
| $HCP_{05}$ для частных средних = 0.051 |                          |         |         |            |                    |
| Co                                     |                          |         |         |            |                    |
| Контроль (без МП)                      | 0.095                    | 0.105   | 0.150   | 0.175      | 0.131              |
| Диазофит                               | 0.130                    | 0.135   | 0.120   | 0.180      | 0.141              |
| ФЭ                                     | 0.155                    | 0.120   | 0.090   | 0.105      | 0.118              |
| БП                                     | 0.070                    | 0.180   | 0.075   | 0.150      | 0.119              |
| КМП                                    | 0.150                    | 0.105   | 0.090   | 0.135      | 0.120              |
| Среднее $HCP_{05} = 0.016$             | 0.120                    | 0.129   | 0.105   | 0.149      | $HCP_{05} = 0.020$ |
| $HCP_{05}$ для частных средних = 0.028 |                          |         |         |            |                    |

Примечание. ПДК Pb в ягодах – 0.4 мг/кг, Co – не нормируется [29].

ния МП приводило к накоплению подвижных форм Pb в почве, при задержании смесью трав – существенному (на 0.85 мг/кг по сравнению с вариантом черного пара). Возможно, это было связано со снижением содержания активных карбонатов экссудатами трав, что вызывало повышение растворимости соединений ТМ [36]. Содержание Co в этих условиях снижалось, особенно при задержании люцерной, или оставалось на уровне контроля. Концентрация подвижных форм Cd в почве также уменьшалась при задержании, достоверно при применении смеси трав. Это подтвердило мнение, что кормовые травы, как лучший ассимилянт ТМ, могут накапливать его в корнях, служить в качестве культуры-буфера и снижать количество растворимых форм ТМ в рекультивированных почвах [18, 27].

Совместное применение задержания и ежегодной бактериализации почвы МП могло приводить как к увеличению, так и снижению содержания ТМ в почве. Что касается Pb, то практически все сочетания МП с многолетними травами способствовали увеличению его подвижности в почве или не изменяли ее по сравнению с контролем черного пара без применения МП. И только препарат БП на фоне задержания смесью трав способствовал достоверному снижению содержания этого элемента в почве на 0.3 мг/кг или на 25% от контроля.

Содержание подвижного Co в почве при совместном применении 2-х приемов биологизации изменялось незначительно. Однако тенденция к снижению содержания этого элемента отмечена при сочетании препарата диазофит с люцерной на 0.35 мг/кг (на 12%), а также препарата ФЭ при

задернении смесью трав на 0.21 мг/кг (на 7%). В целом в вариантах фактора МП в наибольшей степени снижали содержание Со в почве препараты БП и КМП, в вариантах фактора травы интенсивнее воздействовала люцерна.

Содержание подвижного Cd в почве под действием комплекса МП–травы наиболее эффективно снижалось при сочетании люцерны с препаратом диазофит и препарата ФЭ со смесью трав. Применение других сочетаний либо не изменяло, либо создавало тенденцию к увеличению содержания Cd в почве. Такие изменения в содержании этого металла можно объяснить высокой подвижностью Cd в почвах, т.к. в почвенном растворе металл присутствует в виде  $Cd^{2+}$  и образует комплексные ионы и органические хелаты [37]. В целом в вариантах фактора МП более эффективным для снижения содержания Cd в почве был препарат ФЭ, в вариантах фактора травы – люцерна и смесь трав.

Таким образом, биологизация в ампелоценозе способствовала некоторому увеличению подвижности Pb в почве, снижала содержание Со и по-разному влияла на содержание подвижного Cd. Все зависело от свойств самого металла и сочетания МП–травы. Наиболее эффективными для снижения подвижности ТМ в почве оказалась смесь райграса и люцерны в сочетании с препаратом БП (Pb) и применение препарата ФЭ (Со, Cd). Сочетание люцерны с препаратом диазофит приводило к снижению содержания Со и Cd почве, последнего – существенно и достоверно относительно варианта черного пара. В целом в вариантах фактора МП наиболее эффективными для снижения содержания Со и Cd в почве были препараты ФЭ и БП, в вариантах фактора травы – люцерна и смесь трав.

Исследование содержания Pb, Со и Cd в листьях винограда показало, что их содержание было невысоким (табл. 1). Данные элементы составили следующий убывающий ряд: Со > Pb > Cd, что соответствовало их относительному содержанию в почве.

Преобладание Со могло быть связано с выполнением этим элементом ряда физиологических функций в растении, как микроэлемента. Коэффициенты накопления данных элементов в листьях варианта черного пара были равны: для Pb и Со – 0.79, для Cd – 3.62, т.е. в листья Pb и Со транспортировались частично, некоторая часть этих металлов накапливалась в корнях [24, 30] и была переведена в неподвижные формы изученными приемами, как было показано выше. С другой стороны, обнаружено значительное относи-

тельное накопление Cd в листьях по сравнению с почвой (в 34.5 раза в контроле).

Применение всех МП в контроле (черный пар) приводило в основном к снижению содержания ТМ в листьях, особенно существенному и достоверному для Pb при применении препаратов БП и КМП на 19 и 32% соответственно, что можно объяснить частичной аккумуляцией ТМ бактериями, входящими в МП [38], а также избирательным поглощением ТМ растением.

Задернение почвы травами без применения МП вызвало снижение содержания Cd в листьях на 0.04–0.06 мг/кг, но различия с вариантом черного пара были несущественными. Содержание Со и Pb в листьях винограда при применении задернения в основном незначительно увеличивались или не изменялось.

При совместном использовании задернения и различных МП установлено снижение содержания Pb в листьях, особенно существенное при применении препарата ФЭ на фоне задернения люцерной и смесью трав и препарата КМП при задернении райграсом. В целом влияние МП на снижение поступления Pb в листья было более эффективным, чем влияние трав.

Содержание Со в листьях при совместном влиянии трав и МП наиболее значительно и достоверно снижалось при сочетании препаратов ФЭ и КМП с райграсом и препарата КМП на фоне смеси трав. В целом одинаково сильное влияние на снижение содержания этого элемента в листьях оказали как МП, так и травы.

Примененные приемы создавали тенденцию к снижению содержания Cd в листьях. Наибольшее влияние на уменьшение поглощения этого элемента листьями оказало сочетание каждого из МП с люцерной, особенно значительное при применении препаратов БП и КМП.

Таким образом, примененные приемы биологизации оказали значительное защитное влияние на поглощение ТМ растением винограда, наиболее существенным было влияние МП, т.к. его активные штаммы поселялись на корнях и непосредственно контактировали с растением. Наиболее значительное влияние на снижение биопоглощения Pb и Cd оказали препараты БП и КМП, Со – препарат диазофит. Влияние трав было не столь значительным. Совместное применение 2-х приемов в наибольшей степени снижало поглощение этих элементов растением и предотвращало накопление их в листьях. Особенно это касается Со, содержание которого в листьях было высоким. Наиболее эффективными сочетаниями были: люцерна и смесь трав в сочетании с препаратом

ФЭ, райграс с препаратом КМП (Pb), райграс с препаратами ФЭ и КМП (Co) и люцерна в сочетании с препаратами БП и КМП (Cd). Это могло свидетельствовать о синергическом эффекте влияния бактерий и выделений трав и специфичность этого сочетания на связывание ТМ, их адсорбцию и снижение их поглощения виноградным растением.

Существенным являлось влияние изученных агротехнических приемов и их сочетаний на накопление ТМ в ягодах винограда, т.к. потребление человеком ягод и продуктов их переработки (сок, вино, сухофрукты и т.п.) может привести к дальнейшему накоплению ТМ в организме (табл. 1). Полученные данные содержания ТМ в ягодах свидетельствовали о том, что в контроле и в вариантах опыта содержание Pb и Co было невысоким, не превышало ПДК, а Cd отсутствовал. В отличие от листьев, в ягодах было больше Pb, чем Co. Применение БП в вариантах черного пара существенно увеличивало содержание Pb в ягодах (различия с контролем без БП были значимы). Применение препарата ФЭ, наоборот, снижало содержание этого элемента. Из трав (без применения МП) только райграс существенно снижал концентрацию Pb в ягодах на 0.06 мг/кг, люцерна способствовала значительному его накоплению.

Совместное применение трав и МП могло приводить как к увеличению содержания Pb в ягодах — препарат ФЭ на фоне всех трав, препарат КМП на фоне люцерны, так и к существенному уменьшению — препарат БП на фоне задернения райграсом (на 0.065 мг/кг или на 50%), препарата диазофит при задернении смесью трав (на 0.085 мг/кг или на 77%). В целом в вариантах фактора МП наибольшее и существенное влияние на уменьшение концентрации Pb в ягодах оказал препарат диазофит, в вариантах фактора травы — райграс по сравнению с контролем (без МП) и черным паром соответственно.

Содержание Co в ягодах винограда при применении МП в основном увеличивалось и только препарат БП способствовал снижению его содержания на 0.025 мг/кг. Использование трав в ампелоценозе приводило к накоплению Co в ягодах, что, возможно, было обусловлено повышением его содержания в листьях под действием трав и усилением интенсивности физиологических процессов с участием этого микроэлемента.

Совместное применение МП и задернения междурядий травами снижало содержание Co в ягодах при использовании БП на фоне люцерны

(различия с контролем незначимы). Это позволило свидетельствовать о протекторной роли БП при поступлении данного элемента в ягоды, как при его одиночном применении, так и в сочетании с люцерной.

Таким образом, содержание ТМ в ягодах винограда Мускат белый на карбонатной почве было невысоким и значительно меньше ПДК. Используемые варианты биологизации могли способствовать как накоплению, так и снижению поступления Pb и Co в ягоды в пределах ПДК. Лучшим для защиты ягод от поступления Pb было применение препарата ФЭ, райграса, а также препарата БП при задернении райграсом и препарата диазофит при задернении смесью трав. Биопротекторную роль для защиты ягод от накопления Co играл препарат БП, а также его сочетание с люцерной.

Для оценки миграции ТМ в ампелоценозе и влияния на нее примененных способов биологизации, были использованы коэффициенты накопления (*КН*) элементов в листьях и ягодах относительно содержания их подвижных форм в почве. Данные показали, что по величине миграции ТМ в листья изученные элементы составили следующий ряд:  $Cd > Co = Pb$  (табл. 2).

Применение МП в варианте черного пара способствовало снижению накопления Pb в листьях, особенно значительному при применении БП и КМП. Воздействие задернения без применения МП также приводило к уменьшению миграции Pb в листья, особенно под действием смеси трав. Совместное применение 2-х приемов в основном снижало поступление этого элемента в листья, а препарат КМП на фоне райграса снизил этот показатель почти в 2 раза по сравнению с контролем (черный пар).

Что касается Co, то влияние изученных приемов на величину *КН* этого элемента листьями было не столь значительным, как *КН* Pb. В большей мере препятствовало его поступлению в листья применение райграса и смеси трав в сочетании со всеми МП, особенно значительно с препаратом КМП.

*КН* Cd листьями винограда были очень высокими в контроле и в вариантах опыта и достигали 3.2–5.1. Лучшими МП, снижающими его поглощение, были препараты БП и КМП, из трав — райграс. Совместное влияние 2-х факторов на снижение накопления Cd листьями в большей мере проявилось при применении препарата КМП при задернении райграсом и препарата БП при задернении смесью трав.

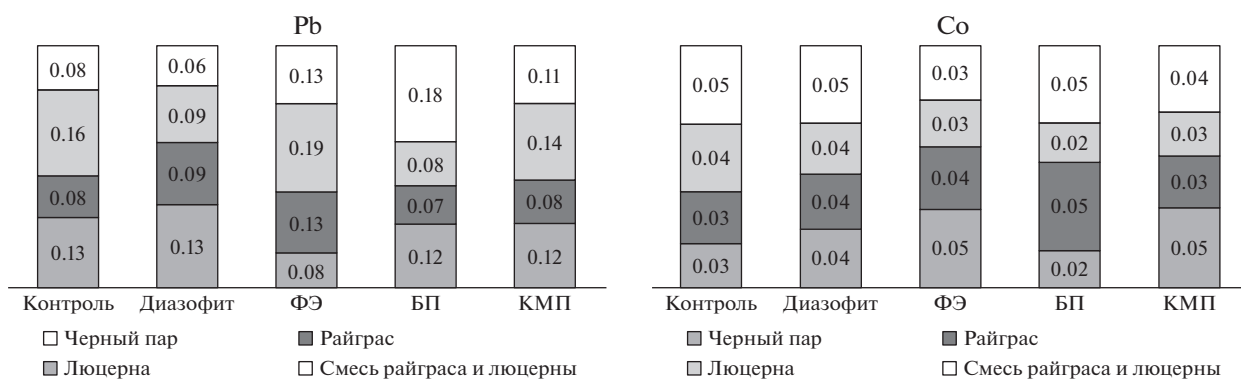
**Таблица 2.** Влияние приемов биологизации ампелоценоза на величину коэффициентов накопления (КН) ТМ в листьях винограда Мускат белый

| Вариант   | Черный пар | Райграс | Люцерна | Смесь райграса и люцерны | Среднее             |
|---|------------|---------|---------|--------------------------|---------------------|
| <b>Pb</b>                                       |            |         |         |                          |                     |
| Контроль (без МП)                               | 0.79       | 0.68    | 0.70    | 0.65                     | 0.72                |
| Диазофит  | 0.74       | 0.55    | 0.87    | 0.71                     | 0.76                |
| ФЭ  | 0.52       | 0.95    | 0.47    | 0.47                     | 0.60                |
| БП  | 0.45       | 0.87    | 0.45    | 1.13                     | 0.74                |
| КМП   | 0.48       | 0.42    | 0.60    | 0.60                     | 0.52                |
| Среднее, $HCP_{05} = 0.08$                      | 0.60       | 0.70    | 0.63    | 0.74                     | $HCP_{05} = 0.10$   |
| $HCP_{05} = 0.14$ для сравнения частных средних |            |         |         |                          |                     |
| <b>Co</b>                                       |            |         |         |                          |                     |
| Контроль (без МП)                               | 0.79       | 0.91    | 0.93    | 0.77                     | 0.88                |
| Диазофит  | 0.80       | 0.76    | 0.83    | 0.68                     | 0.76                |
| ФЭ  | 0.79       | 0.70    | 0.82    | 0.75                     | 0.78                |
| БП  | 0.88       | 0.73    | 0.93    | 0.73                     | 0.81                |
| КМП   | 0.88       | 0.67    | 0.74    | 0.64                     | 0.74                |
| Среднее $HCP_{05} = 0.09$                       | 0.83       | 0.77    | 0.85    | 0.72                     | $HCP_{05} = 0.10$   |
| $HCP_{05} = 0.14$ для сравнения частных средних |            |         |         |                          |                     |
| <b>Cd</b>                                       |            |         |         |                          |                     |
| Контроль (без МП)                               | 3.62       | 3.37    | 3.47    | 4.00                     | 3.73                |
| Диазофит  | 4.11       | 3.21    | 4.00    | 4.00                     | 3.97                |
| ФЭ  | 5.14       | 3.82    | 3.14    | 4.00                     | 4.52                |
| БП  | 3.27       | 4.09    | 3.64    | 3.05                     | 3.56                |
| КМП   | 3.24       | 3.05    | 3.64    | 3.70                     | 3.60                |
| Среднее, $F_{\phi} < F_{05}$                    | 4.27       | 3.66    | 3.63    | 3.94                     | $F_{\phi} < F_{05}$ |
| $HCP_{05} = 1.14$ для сравнения частных средних |            |         |         |                          |                     |

Важным свойством растения, особенно сельскохозяйственного, плоды которого используют в пищу, является способность не накапливать ТМ в генеративных органах. В нашем опыте коэффициенты накопления Pb и Co ягодами сорта Мускат белый

относительно содержания подвижных форм ТМ в почве были достаточно низкими в контроле, а Cd вообще не был обнаружен в ягодах (рис. 2).

Из МП в вариантах черного пара только препарат ФЭ способствовал снижению поглощения

**Рис. 2.** Коэффициенты накопления (КН) Pb и Co в ягодах винограда Мускат белый при применении МП и многолетних трав.



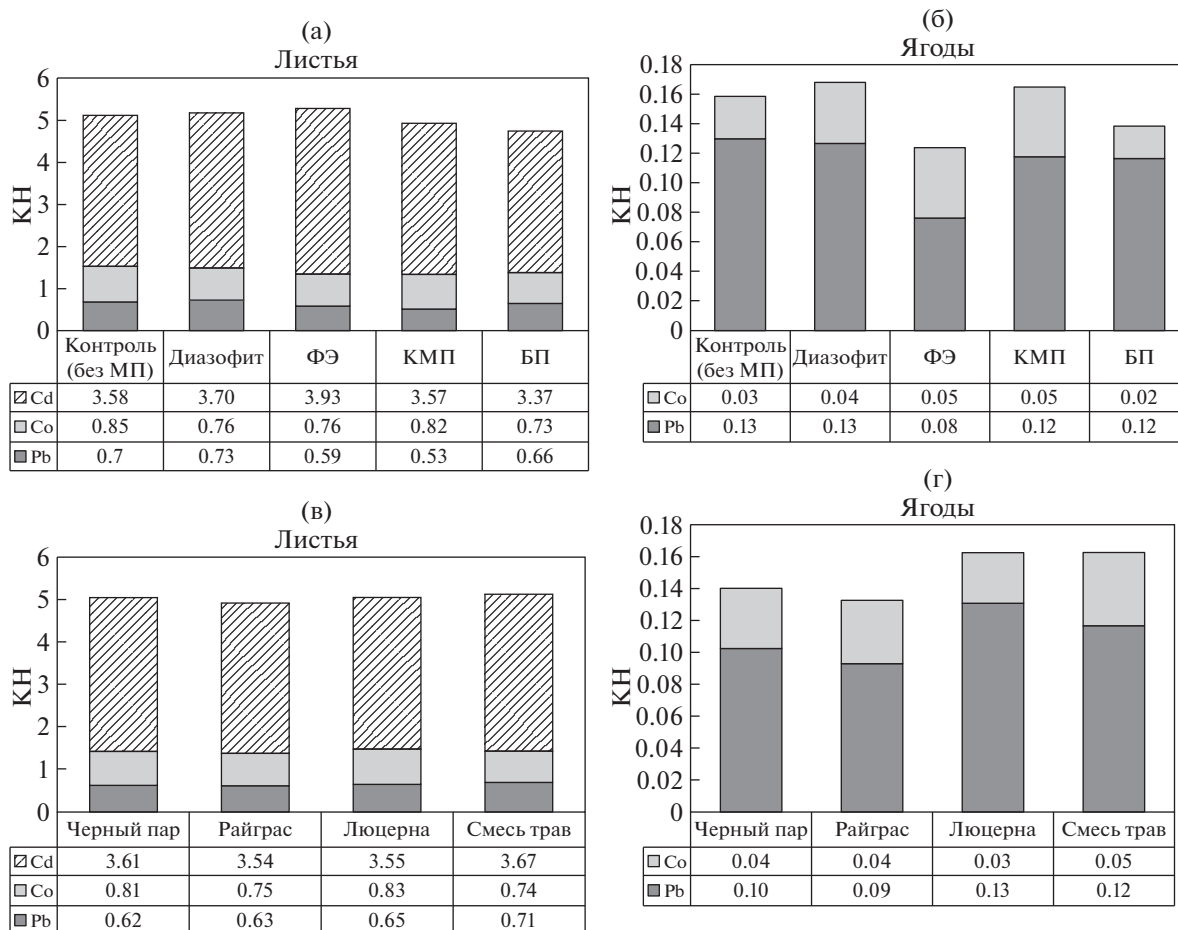


Рис. 3. Средние  $KH$  ТМ листьями (а, в) и ягодами (б, г) в зависимости от влияния факторов МП и травы.

Pb ягодами. Задержание почвы райграсом и смесью трав также уменьшало накопление этого элемента в ягодах. Совместное применение данных приемов имело еще больший положительный эффект при сочетании препарат диазофит—смесь трав и препарат БП—райграс, где коэффициенты накопления снижались до 0.06—0.07, почти в 2 раза по сравнению с контролем.

Что касается Co, то его накопление в ягодах, как в контроле, так и в вариантах опыта было очень низким, и в 30—35 раз меньше содержания подвижного Co в почве и в 28 раз, чем в листьях. Из МП в вариантах черного пара препарат БП не изменял поглощение Co ягодами, остальные МП несколько увеличивали. Применение трав без МП не оказывало положительного эффекта по сравнению с черным паром. Совместное применение препаратов ФЭ, БП и КМП с люцерной несколько снижало накопление Co в ягодах по сравнению с черным паром. Препарат БП при задержании люцерной был более эффективным по сравнению с другими сочетаниями задержания и МП.

Для определения суммарного относительно эффекта влияния различных приемов биологизации на накопление ТМ в листьях и ягодах сравнивали средние величины  $KH$  в листьях и ягодах винограда Мускат белый в зависимости от 2-х изученных факторов (рис. 3).

Показано, что в листьях относительно почвы независимо от влияния факторов, изученных в опыте, больше всего накапливалось Cd, которого было в 3.6 раза больше, чем в почве. Возможно, это было связано с большой подвижностью соединений этого элемента в почве и пассивного его поглощения по градиенту концентрации [8]. На втором месте по степени накопления в листьях был Co. На таком же уровне, но несколько меньше, чем Co, поступал в листья Pb.

В ягодах Cd отсутствовал, что могло свидетельствовать о защитных механизмах в растении и его способности не транспортировать токсичные элементы в генеративные органы. На первом месте по накоплению в ягодах был Pb, однако его содержание в ягодах было в 10 раз меньше, чем в

**Таблица 3.** Коэффициенты относительного поглощения (*КОП*) ТМ листьями винограда под влиянием биологизации

| Вариант           | Райграс      | Люцерна | Смесь трав | Черный пар | Райграс | Люцерна | Смесь трав |
|-------------------|--------------|---------|------------|------------|---------|---------|------------|
|                   | фактор травы |         |            | фактор МП  |         |         |            |
| Pb                |              |         |            |            |         |         |            |
| Контроль (без МП) | 1.00         | 1.07    | 1.30       |            |         |         |            |
| Диазофит          | 0.75         | 1.42    | 1.05       | 1.02       | 0.76    | 1.35    | 0.82       |
| ФЭ                | 1.42         | 0.66    | 0.90       | 0.89       | 1.27    | 0.56    | 0.62       |
| БП                | 1.65         | 1.08    | 1.41       | 0.81       | 1.34    | 0.82    | 0.88       |
| КМП               | 0.98         | 1.40    | 1.43       | 0.68       | 0.66    | 0.89    | 0.74       |
| Co                |              |         |            |            |         |         |            |
| Контроль (без МП) | 1.06         | 1.08    | 1.00       |            |         |         |            |
| Диазофит          | 1.06         | 0.97    | 0.88       | 0.97       | 0.96    | 0.87    | 0.86       |
| ФЭ                | 0.89         | 1.06    | 0.92       | 0.97       | 0.79    | 0.95    | 0.89       |
| БП                | 0.88         | 1.05    | 0.84       | 1.05       | 0.87    | 1.03    | 0.89       |
| КМП               | 0.80         | 0.83    | 0.78       | 1.06       | 0.80    | 0.82    | 0.84       |
| Cd                |              |         |            |            |         |         |            |
| Контроль (без МП) | 0.84         | 0.89    | 0.84       |            |         |         |            |
| Диазофит          | 0.97         | 0.86    | 0.92       | 0.97       | 1.13    | 0.94    | 1.06       |
| ФЭ                | 1.08         | 0.92    | 0.89       | 0.95       | 1.22    | 0.97    | 1.00       |
| БП                | 1.13         | 1.00    | 1.13       | 0.84       | 1.13    | 0.94    | 1.13       |
| КМП               | 0.94         | 0.94    | 1.00       | 0.89       | 1.00    | 0.94    | 1.06       |

почве. Накопление Co в ягодах было незначительным – в 17 раз меньше, чем в почве.

Степень влияния исследованных факторов на поглощение ТМ растением была различной. Например, МП значительно меньше влияли на изменение концентрации ТМ в листьях, чем в ягодах (рис. 3а, б). В большей мере снижали поглощение листьями ТМ препараты КМП и БП во всех вариантах задержания. Первый в большей мере снижал содержание Pb, второй – Co и Cd. По уменьшению накопления ТМ в ягодах наиболее эффективными были препараты ФЭ и БП. Первый значительно снижал поглощение Pb, второй – Co.

Что касается влияния многолетних трав на транслокацию ТМ в листья, то больших различий в вариантах не было. Отмечена только тенденция к снижению их накопления при применении райграса (рис. 3в). В ягодах меньше всего накапливалось Co при использовании люцерны, Pb – при задержании райграсом (рис. 3г).

Закономерности поглощения ТМ растениями, их транслокации в различные органы и влияние

на них примененных приемов биологизации подтвердили коэффициенты относительного поглощения (*КОП*) (табл. 3).

Показано, что в листьях происходило в основном накопление Pb под действием задержания и применения МП, примененных отдельно. Под влиянием сочетания некоторых МП на фоне различного задержания отмечено снижение величин *КОП*, наиболее значительное под влиянием МП. Например, препарат диазофит в сочетании с задержанием райграсом и препарат ФЭ при задержании люцерной имели минимальные величины *КОП* Pb листьями (0.66–0.90) по сравнению с черным паром.

Если сравнивать варианты МП с контролем в разных вариантах задержания, то *КОП* тех же сочетаний были меньше и составляли 0.56–0.76. Это свидетельствовало о том, что МП в большей степени снижали содержание Pb в листьях, чем травы.

Величины *КОП* Co листьями большинства вариантов по сравнению с контролем и черным паром были близки к единице. Наибольшее влия-

**Таблица 4.** Влияние приемов биологизации на коэффициент относительного поглощения (*КОП*) ТМ ягодами винограда

| Вариант           | Райграс      | Люцерна | Смесь трав | Черный пар | Райграс   | Люцерна | Смесь трав |
|-------------------|--------------|---------|------------|------------|-----------|---------|------------|
|                   | фактор травы |         |            |            | фактор МП |         |            |
| Pb                |              |         |            |            |           |         |            |
| Контроль (без МП) | 0.69         | 1.46    | 1.00       |            |           |         |            |
| Диазофит          | 0.76         | 0.83    | 0.54       | 1.05       | 1.15      | 0.60    | 0.56       |
| ФЭ                | 1.35         | 1.84    | 1.65       | 0.79       | 1.56      | 1.00    | 1.31       |
| БП                | 0.52         | 0.76    | 0.86       | 1.28       | 0.96      | 0.67    | 1.10       |
| КМП               | 0.74         | 1.33    | 1.03       | 1.00       | 1.07      | 0.91    | 1.03       |
| Co                |              |         |            |            |           |         |            |
| Контроль (без МП) | 1.11         | 1.58    | 1.84       |            |           |         |            |
| Диазофит          | 1.04         | 0.92    | 1.38       | 1.37       | 1.29      | 0.80    | 1.03       |
| ФЭ                | 0.77         | 0.58    | 0.68       | 1.63       | 1.14      | 0.60    | 0.60       |
| БП                | 2.57         | 1.07    | 2.14       | 0.74       | 1.71      | 0.50    | 0.86       |
| КМП               | 0.70         | 0.60    | 0.90       | 1.58       | 1.00      | 0.60    | 0.77       |

ние по снижению *КОП* в листьях имело сочетание препарата КМП с задернением смесью трав. В данном случае большее влияние оказывали многолетние травы, чем МП (*КОП* = 0.78 и 0.82 соответственно).

По изменению величины *КОП* Cd в листьях между МП не выявлено значительных различий. Травы (райграс и смесь трав) оказывали большее влияние на снижение этого показателя, чем МП.

Оценка относительного поглощения ТМ ягодами винограда показала, что травы больше влияли на снижение поступления Pb, чем МП, а лучшими сочетаниями были райграс + препарат БП и смесь трав + препарат диазофит (табл. 4). Что касается Co, то фактор травы и фактор МП были равнозначными по степени влияния на снижение его накопления ягодами. Наиболее значительно это происходило под действием сочетания люцерны с препаратами ФЭ и КМП, а также смеси трав с препаратом ФЭ. Что касается фактора МП, то было обнаружено большее влияние препаратов ФЭ, КМП и БП, особенно в сочетании с люцерной и смесью трав, которые снижали накопление Co ягодами в 2 раза по сравнению с контролем.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлено влияние приемов биологизации производства винограда при введении в ампелоценоз многолетних трав и биоудоб-

рений на содержание подвижных форм тяжелых металлов (ТМ) – Pb, Co и Cd – в почве и накопление этих элементов в листьях и ягодах винограда. Показано, что высокое содержание подвижных Pb и Co в почве по отношению к фоновому могло как увеличиваться под действием данных приемов за счет образования микроорганизмами хелатов и комплексных соединений с этими металлами, особенно Pb, так и уменьшаться под действием биопрепаратов (Co) и их применения при задернении смесью трав (Pb) за счет способности микроорганизмов и трав сорбировать ТМ и переводить их в неподвижное состояние. Близкое к фоновому содержание подвижного Cd в почве активно снижали препараты диазофит и ФЭ, смесь трав и люцерна, а также их сочетания.

Установлено, что содержание Pb и Cd в листьях винограда было меньше, чем в почве (*КН* = 0.79), Co – в 3.62 раза больше, что связано с участием последнего в важных физиологических процессах в растении. Примененные приемы биологизации оказали значительное защитное влияние на поглощение ТМ растениями винограда, наиболее существенное – МП, т.к. активные штаммы бактерий непосредственно контактировали с растением. Применение задернения травами усиливало этот процесс за счет активизации микроорганизмов в присутствии большого количества свежего органического вещества. Значительно снижали накопление в листьях Pb и Cd со-

четания препарата ФЭ с люцерной и смесью трав, препарата КМП с райграсом, содержание Со мало менялось под действием данных приемов. Это могло свидетельствовать о синергическом эффекте влияния бактерий и выделений трав и специфичности этого сочетания на связывание ТМ, их адсорбцию и снижение их накопления в виноградных растениях.

В ягодах винограда сорта Мускат белый Cd не был обнаружен, а содержание Pb и Со было значительно меньше, чем в почве и листьях, и не превышало ПДК, что свидетельствовало об активных защитных механизмах в растении и его способности не транспортировать токсичные элементы в генеративные органы. Как микробные препараты (МП) (препарат БП), так и травы (особенно совместное применение препарата БП с люцерной и райграсом и препарата диазофит со смесью трав) способствовали существенному снижению содержания Pb в ягодах. Влияние примененных приемов было не столь существенным на содержание в ягодах Со, однако отмечена тенденция к снижению его концентрации в ягодах также под действием препарата БП на фоне задержания междурядий люцерной.

В целом МП и задержание травами значительно меньше влияли на изменение концентрации ТМ в листьях, чем в ягодах. В большей мере способствовали сокращению накопления ТМ в листьях препараты КМП и БП во всех вариантах задержания. По степени снижения содержания ТМ в ягодах наиболее эффективными были препараты ФЭ (Pb) и БП (Со) во всех вариантах задержания. Из трав наибольшую защитную роль продукции виноградарства от загрязнения играли райграс (Pb) и люцерна (Со). МП были более эффективными для снижения содержания Pb в листьях, чем травы. Травы в большей степени сокращали поглощение этого элемента ягодами, чем МП. По отношению к поглощению Со ягодами эти 2 приема были не столь эффективными и равнозначными по влиянию.

Следовательно, биологизация ампелоценоза может играть защитную роль от накопления ТМ в листьях и ягодах винограда. Особенно эффективным было применение препаратов ФЭ и БП совместно с задержанием междурядий люцерной, райграсом и их смесью. Важным является то, что виноград способен накапливать значительные количества Cd в листьях, но не транспортировать его в ягоды. Поэтому можно считать это растение индикатором на Cd и продолжить исследования с дикими формами или подвойными сортами винограда для их использования при фиторемедиации загрязненных данным элементом почв.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Наумов В.Д., Наумова Л.М.* Почвенно-геохимическая характеристика территорий под плодовыми насаждениями // Геохимия ландшафтов и география почв (к 100-летию М.А. Глазовской). Докл. Всеросс. научн. конф. Москва, 4–6 апреля 2012 г. М.: Географ. фак-т МГУ, 2012. С. 233–234.
2. *Protano G., Rossi S.* Relationship between soil geochemistry and grape composition in Tuscany (Italy) // J. Plant Nutr. Soil Sci. 2014. V. 177. P. 500–508.
3. *Сычевский М.Е., Святюк Ю.В.* Влияние 45-летнего внесения минеральных удобрений в полевых севооборотах Крыма на содержание в почве подвижных форм ряда тяжелых металлов // Тр. ЮФ НУБиП Украины “КАТУ”. 2012. Т. 145. С. 48–53.
4. *Иванова А.С.* Микроэлементы в почвах Крыма. Ялта, 2002. 36 с.
5. *Манджиева С.С., Минкина Т.М., Сушкова С.Н., Назаренко О.Г., Бакоев С.Ю., Антоненко Е.М.* Использование мелиорантов для предотвращения загрязнения растений цинком и свинцом [Электр. ресурс] // Научн. журн. Росс. НИИ проблем мелиорации. 2011. № 3(03). URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=37&id=49> (дата обращения 27.01.2018).
6. *Vystavna Yu., Rushenko L., Diadin D., Klymenko O., Klymenko M.* Trace metals in wine and vineyard environment in southern Ukraine // Food Chem. 2014. V. 146. P. 339–344. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.091>
7. *Ильин В.Б., Сысо А.И.* Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / Под ред. Хмелева В.А. Новосибирск: Изд-во СО АН, 2001. 229 с.
8. *Kabata-Pendias A., Pendias H.* Trace elements in soils and plants, 2001. 3<sup>rd</sup> ed. USA: CRC Press LLC, 2001. 331 p.
9. *Протасова Н.А., Щербаков А.П.* Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2003. 368 с.
10. *Дорошенко Т.Н., Бардин А.К., Остапенко В.И.* Системы современного садоводства: особенности функционирования [Электр. ресурс] // Научн. журн. КубГАУ. 2005. № 10. 9 с. URL: <http://ej.kubagro.ru/2005/02/pdf/06.pdf>. (Дата обращения 10.02.2018).
11. *Воробьева Т.Н., Волкова А.А., Ветер Ю.А.* Принципы биологического земледелия на виноградниках Тамани // <http://journalkubansad.ru/pdf/13/04/06.pdf>. (Дата обращения 10.02.2018).
12. *Миркин Б.М. Хазиахметов Р.М.* Устойчивое развитие – продовольственная безопасность – агроэкология // Экология. 2000. № 3. С. 180–184.
13. *Жученко А.А.* Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Теория и практика. В 3-х томах. М.: Изд-во Агрорус, 2008. Т. 1. 816 с.

14. *Алещенкова З.М., Сафронова Г.В., Картыжова Л.Е., Васина Е.В., Федоренчик А.А., Соловьева Е.А., Семёнова И.В.* Роль микробно-растительных ассоциаций в восстановлении деградированных и загрязнённых почв // Микробные технологии. Фундаментальные и прикладные аспекты. Сб. науч. тр. Минск, 2011. Т. 3. С. 120–141.
15. *Воробьева Т.Н., Ветер Ю.А.* Продуктивность ампелоценозов и агротехнические новации в виноградарстве (изучение, экологизация производства). Краснодар: ООО “Альфа-полиграф”, 2001. 200 с.
16. *Салама Ф.С., Абузид М.М., Обухов А.И.* Влияние органических удобрений на подвижность свинца в почве и поступление его в растения // Вестн. МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 1993. № 4. С. 45–51.
17. *Минкина Т.М.* Трансформация соединений тяжелых металлов в почвах степной зоны // Почвоведение. 2008. № 7. С. 810–818.
18. *Шевченко А.А., Деркачев Э.А.* Особенности транслокации тяжелых металлов в почвах, рекультивированных с применением отходов угледобычи. URL: <http://www.ecologylife.ru/utilizatsiya-2000/osobennosti-translokatsii-tyazhelyih-metallor.html> (Дата обращения 10.02.2018).
19. *Белоголова Г.А., Соколова М.Г., Гордеева О.Н.* Влияние ризосферных бактерий на миграцию и биодоступность тяжелых металлов, мышьяка и фосфора в техногенно-загрязнённых экосистемах // Агрохимия. 2013. № 6. С. 69–77.
20. *Переломов Л.В., Переломова И.В., Пинский Д.Л.* Молекулярные механизмы взаимодействия между микроэлементами и микроорганизмами в биокосных системах (биосорбция и биоаккумуляция) // Агрохимия. 2013. № 3. С. 80–94.
21. *Овсиенко О.Л., Паштейцкий В.С., Чайковская Л.А.* Регулирование микробиологических процессов в ризосфере пшеницы при воздействии тяжелых металлов // Аграрн. вестн. Урала. 2017. № 5 (159). С. 44–52.
22. *Ledin M.* Accumulation of metals by microorganisms – processes and importance for soil systems // Earth-Sci. Rev. 2000. V. 51. № 1. P. 1–31.
23. *Клименко О.Е., Клименко Н.И., Акчурун А.Р., Клименко Н.Н.* Воздействие биоудобрений и многолетних трав на содержание некоторых биогенных элементов в почве и виноградном растении // Пробл. агрохим. и экол. 2016. № 4. С. 10–17.
24. *Vystavna Yu., Rätsep R., Klymenko N., Drozd O., Pidlisnyuk V., Klymenko M.* Comparison of soil-to-root transfer and translocation coefficients of trace elements in vines of Chardonnay and Muscat white grown in the same vineyard // Sci. Hort. 2015. V. 192. P. 89–96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.05.019>
25. *Панин М.С., Бирюкова Е.Н.* Закономерности аккумуляции меди и цинка в ризосфере растений // Агрохимия. 2005. № 1. С. 53–59.
26. *Лукин С.В., Авраменко П.М., Меленцова С.В.* Динамика содержания подвижных форм цинка и марганца в пахотных почвах Белгородской области // Агрохимия. 2006. № 7. С. 5–8.
27. *Титаренко В.О., Каунова А.А., Темердашев З.А., Попандопуло В.Г.* Исследование взаимосвязи между элементарным составом винограда и почвой региона его произрастания // Аналитика и контроль. 2016. Т. 20. № 2. С. 138–146.
28. *Акчурун А.Р., Костенко И.В.* К оценке пригодности аллювиально-луговых почв Крыма под виноградники // Экол. пробл. садоводства и интродукции растений. Тр. Гос. Никит. бот. сада. 2008. Т. 130. С. 16–24.
29. Методические указания по определению тяжелых металлов в кормах и растениях и их подвижных соединений в почвах. М.: ЦИНАО, 1993. 40 с.
30. *Минкина Т.М., Бурачевская М.В., Чаплыгин В.А., Бакоев С.Ю., Антоненко Е.М., Белогорская С.С.* Накопление тяжелых металлов в системе почва–растение в условиях загрязнения [Электр. ресурс] // Научн. журн. Росс. НИИ проблем мелиорации. № 4(04). 2011. [http://www.rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb13-rec68-field6.pdf](http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec68-field6.pdf). (Дата обращения 10.02.2018).
31. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / Под ред. Державина Л.М., Булгакова Д.С. М.: Росинформагротех, 2003. 240 с.
32. *Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України / Ред. А.І. Фатєєв, Я.В. Пашенко.* Харків, 2003. 117 с.
33. *Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И.* Химия почв. М.: Высш. шк., 2005. 558 с.
34. *Perelomov L., Cozzolino V., Pigna M., Violante A.* Adsorption of Cu and Pb on goethite in the presence of low-molecular mass aliphatic acids // Geomicrobiol. J. 2011. V. 28. № 7. P. 582–589.
35. *Белимов А.А., Тихонович И.А.* Микробиологические аспекты устойчивости и аккумуляции тяжелых металлов у растений (обзор) // Сел.-хоз. биол. 2011. № 3. С. 10–15.
36. *Клименко О.Е., Клименко М.И., Каменева И.А., Акчурун А.Р., Винник А.Л., Конюшко И.В., Боровик В.Д., Мережко В.М., Попова С.А., Клименко Н.Н.* Повышение плодородия почвы под виноградниками // Агроэкол. журн. 2012. № 4. С. 54–59.
37. *Убузунув В.Л., Кашин В.К.* Тяжелые металлы в садово-огородных почвах и растениях г. Улан-Удэ: Монография. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. 128 с.
38. *Белимов А.А.* Взаимодействие ассоциативных бактерий и растений в зависимости от биотических и абиотических факторов: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 2008. 46 с.

## Impact of Biologizatio on Content of Some Heavy Metals in Soil and Grape Plant

O. E. Klimenko<sup>a,#</sup>, Yu. V. Plugatar<sup>a</sup>, N. I. Klimenko<sup>a</sup>, and N. N. Klimenko<sup>b,##</sup>

<sup>a</sup> *Nikita Botanical Gardens—National Scientific Center of RAS  
Nikitsky spusk 52, Yalta, Nikita 298648, Russia*

<sup>b</sup> *Research Institute of Agriculture of Crimea  
ul. Kievskaya 150, Simferopol 295043, Russia*

<sup>#</sup> *E-mail: olga.gnbs@mail.ru*

<sup>##</sup> *E-mail: ninaklymenko@yandex.ru*

The changing mobile forms of Pb, Co, and Cd in meadow alluvial soil of Crimea and plants of grapes (*Vitis vinifera* L.) at biologization (application of perennial grasses and microbial preparations (MP) as biofertilizers) has been studied. It was established that both perennial grasses and MPs contributed to some increase mobility forms of Pb in the soil, decreased the Co content, and influenced the content of mobile Cd in different ways. The most effective in reducing the mobility form of TM in the soil was a mixture of ryegrass and alfalfa in combination with biopoliticide (Pb) and phosphoenterin (Co, Cd). The biologic methods used had a significant protective effect on the absorption of TM by the grape plant, the most significant being the MP. The synergistic effect of herbs and MP on the binding of TM, their adsorption and reduction of uptake by the grape plant was established. More effective were phosphoenterin and biopoliticide on all perennial grasses and their mix. To a greater extent these techniques influenced the change in the concentration of TM in berries than in leaves.

*Key words:* biologizatio, content of heavy metals, meadow alluvial soil of Crimea, grape plant.