

**УДК 631.42**

**DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-78-91**

**ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ АГРОГЕННОГО РЯДА  
ПОД МНОГОЛЕТНИМИ ПОСАДКАМИ ЛАВАНДЫ УЗКОЛИСТНОЙ  
(LAVANDULA OFFICINALIS)**

*Дубас В. В.<sup>1,2,3</sup>, Алексашкин И. В.<sup>2,3</sup>, Пласкальная Е. И.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь,  
Российская Федерация*

<sup>2</sup>*Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН,  
Феодосия, Российская Федерация*

<sup>3</sup>*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь,  
Российская Федерация*

*E-mail: victoriadubas.VD@gmail.com*

В агрогенных почвах Предгорного Крыма с использованием метода рентгенофлуоресцентной спектроскопии было определено содержание валовых концентраций химических элементов, величины основных агрохимических показателей почв. Установлено три основных для района исследования типа почв. Произведен отбор почвенного материала и его анализ в современных условиях окружающей среды с введением элементов ретроспективного анализа – сопоставлены текущие полученные данные с фоновыми материалами 1980-х годов. Содержание химических элементов характеризуется их рассеянием, накопительным эффектом обладают такие элементы как Ca, K, а также Br и As. Наибольшие их концентрации фиксируются в пахотных горизонтах, уменьшаясь с глубиной по мере приближения к карбонатной подстилающей породе. Такое распределение элементов, вероятнее всего, обусловлено связыванием химических элементов вследствие повышенной карбонатности и значений рН.

**Ключевые слова:** микроэлементы, тяжелые металлы, органическое вещество, рН, почвы, миграция.

## **ВВЕДЕНИЕ**

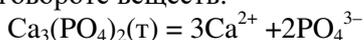
Существующие геохимические процессы, обеспечивающие цикличность и непрерывность, к сожалению, также способствуют распространению и миграции загрязнителей в большинстве своем негативно влияя на существование и развитие не только текущих, но и заведомо будущих экосистем. Дополнительное воздействие со стороны антропогенных факторов неуклонно приводит к нарушению естественных потоков и перераспределению химических элементов в компонентах окружающей среды [1].

В современной литературе экологическое значение почв уже давно рассматривается как самостоятельное направление, обособленное, но тесно связанное с сельскохозяйственными работами. Достоверно определено, что биогеохимических барьером для так называемых «аэротехногенных» тяжелых металлов и металлоидов, способных проникать в грунтовые воды является ничто

иное как почва [2]. Кроме того, в условиях длительного воздействия антропогенного характера, оказываемого на почвы, возникает процесс интенсивного снижения ее сорбционных свойств и приводит к деградации в целом. Среди работ, описывающих подобные процессы, явления и последствия, происходящие по всему Миру, стоит отметить следующие [3–6].

Поступление загрязняющих веществ, например, тяжелых металлов и металлоидов, с атмосферными осадками заведомо предопределяет зависимость экологического состояния почв от поведения и перераспределения тех или иных элементов по почвенному профилю. В ходе длительного антропогенного воздействия непременно происходит значительное насыщение почв загрязняющими их элементами, изменения их соотношений между различными формами нахождения [7].

Доподлинно известно, что не все и не всегда химические соединения, содержащие микро- и макроэлементы, являются доступными для агрокультур. Так, например, при слабощелочной реакции почвенной среды (pH=7,5 и более) в комплексе со значительными концентрациями кальция, фосфор переходит в труднодоступную форму и в дальнейшем не участвует в геохимическом круговороте веществ:



Выражение для произведения растворимости будет:

$$K_s(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = [\text{Ca}^{2+}]_3 \cdot [\text{PO}_4^{3-}]_2$$

Молярная концентрация соли в насыщенном растворе – растворимость  $s$  (моль/л).

Тогда концентрация  $\text{Ca}^{2+}$  над осадком  $[\text{Ca}^{2+}] = 3s$  (т.к. при диссоциации 1 моля соли образуется 3 моль  $\text{Ca}^{2+}$ ), а концентрация  $\text{PO}_4^{3-}$  ионов в растворе, как это следует из уравнения фазового равновесия, окажется равной  $[\text{PO}_4^{3-}] = 2s$ .

Отсюда при концентрации  $10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>:

$$K_s(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = [\text{Ca}^{2+}]_3 \cdot [\text{PO}_4^{3-}]_2 = (3s)^3 \cdot (2s)^2 = 9 \cdot 4 \cdot s^5 = 36s^5$$

$$K_s(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 36 \cdot (10^{-3})^5 = 3,6 \cdot 10^{-16} \text{ (моль/дм}^3\text{)}$$

$$\text{Величина ПР } \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(\text{т}) = 2,0 \cdot 10^{-9}$$

В тоже время, нехватка, ровно, как и избыток тех или иных химических элементов способны приводить к заболеваниям, мутациям или даже гибели растений, что чревато снижением основных критериев ведения земледелия – плодородия почв и урожайности агрокультур. Все это обуславливает актуальность проведения многостадийных комплексных исследований почв агрогенного ряда.

Цель исследования – комплексное установление содержания химических элементов, в том числе токсичных и их влияния на миграционные процессы в почвах агроземного ряда, распространенных в северной части предгорной зоны Крыма, занятых под многолетними посадками лаванды узколистной (*Lavandula officinalis*).

Многолетние посадки лаванды, также, как и некоторых других культур, произрастающих на высококарбонатных почвах с высокой долей нерастворимых соединений в их составе, являются одним из наиболее оптимальных решений для аграриев. Это непосредственно связано с морфофизиологической способностью

корневой системы растений добывать и переводить из нерастворимой формы в растворимую необходимые для них элементы питания.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Пробные площадки для исследования расположены, согласно физико-географическому районированию, в пределах восточной части северного Предгорья Крыма. В качестве проектных участков исследований – пробных площадок, выбрано несколько сельхозугодий, которые в крайние 40 лет стабильно заняты под многолетними посадками лаванды узколистной (*Lavandula officinalis*). Размер элементарной единицы площади составлял не менее 100 м на 100 м, где закладывались почвенные разрезы. Отбор проб почвенного материала производился согласно общепринятым методикам (ГОСТ 17.4.3.01 – 2017, ГОСТ 17.4.4.02 – 2017, ГОСТ 58595 – 2019). Пробоподготовка образцов включала в себя высушивание почвенного материала в атмосфере воздуха при комнатной температуре в течение 5–7 дней и дальнейшее его измельчение путем перетирания в агатовой ступке.

Диагностика и классификация почв проводились согласно сложившимся к настоящему времени представлениям [8, 9].

Для всех анализируемых почвенных образцов осуществляли определение аналогичного набора параметров. Производили определение гранулометрического состава в полевых условиях, рН, содержание гумуса определяли в условиях лаборатории по общепринятым методикам [10].

Качественное и количественное содержание химических элементов в образцах почв устанавливали с помощью рентгеновского флуоресцентного спектрометра Supermini 200 (Rigaku, Япония). Диапазон определения элементов от кислорода до урана. Съёмка спектральных данных образцов происходит в вакууме и носит неразрушающий характер. Относительная ошибка находится в пределах 0,1 %. Полученные полуколичественные результаты в массовых долях, выраженных в % пересчитывали в мг/кг. Масса навески для элементного анализа составляла 1,0 г.

Статистическая обработка данных производилась посредством использования программного пакета Statistica и Microsoft Excel.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

*Общая характеристика почвенных разрезов.* Первое известное крупномасштабное обследование почв на исследуемых территориях было проведено в 1956 году, после чего в 1986 было дополнено исследованиями некоторых агрохимических показателей (обменный калий, подвижный фосфор, содержание гумуса, нитрификационная способность), а затем в 1991 году подвергалось полной корректировке установленных почвенных контуров. По результатам полевого обследования, проведенного в весенне-летний период 2024 года в границах сельхозугодий, занятых под многолетними посадками лаванды узколистной (*Lavandula officinalis*), выделены 7 разновидностей почв агрогенного ряда (рис. 1). Почвы в разной степени подвержены эрозии: от средне- до сильноэродированных. Наиболее типичными и представленными к исследованию в настоящей статье являются следующие разновидности почв:

– 1 – агрозем текстурно-карбонатный остаточно-карбонатный легкоглинистый слабощебнисто-каменистый на хрящевато-глинистом делювии. Формула: P–CAT–Cca;

– 2 – агрозем темный остаточно-карбонатный легкоглинистый сильнощебнисто-каменистый на щебнисто-каменистом делювии известняка (плотный известняк с глубины 60 см). Формула: PU–Cca–R;

– 3 – агрозем темный остаточно-карбонатный легкоглинистый среднещебнисто-каменистый на щебнисто-каменистом делювии мергеля (плотный мергель с глубины 60 см). Формула: PU–Cca–R.

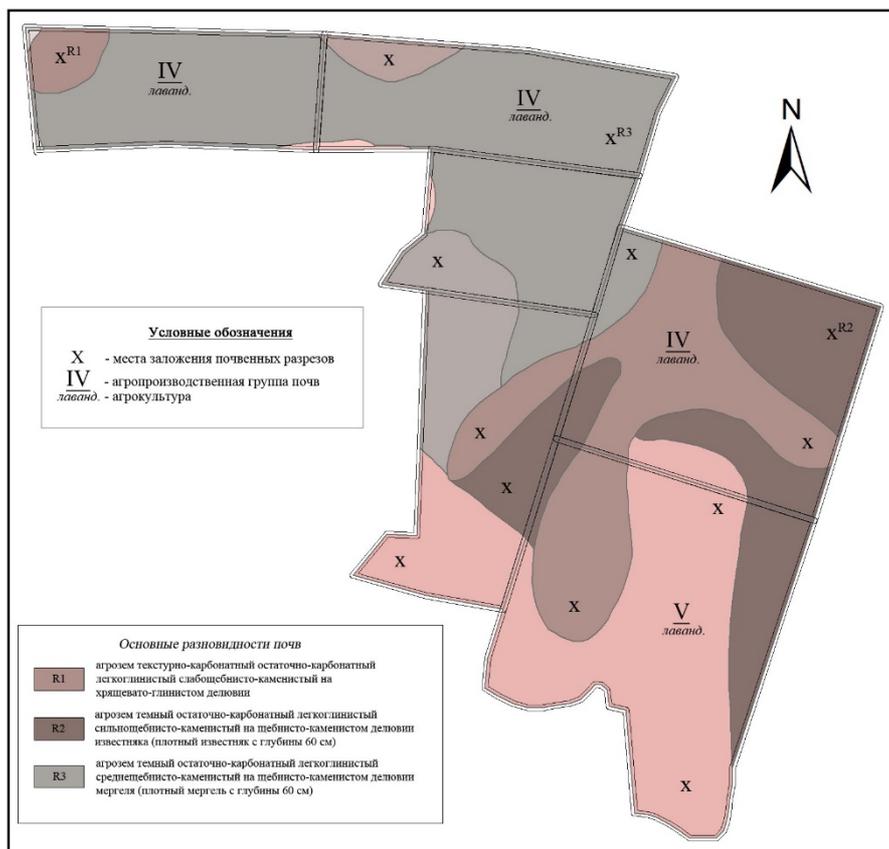


Рис. 1. Почвенный план сельхозугодий, занятых под многолетними посадками лаванды узколистной (*Lavandula officinalis*).

Морфогенетические особенности для аналогичных наиболее представительных почвенных разрезов отражены в [11].

Все почвы высококарбонатные, от 10 % HCl происходит вскипание с поверхности. Продукты выветривания осадочных пород (глины, известняки и

мергели) выступают в качестве почвообразующих пород. Гранулометрический состав исследуемых почв варьирует от супесчаного до тяжелосуглинистого. Количество гумуса в гумусовых горизонтах варьирует в пределах от 2,7 % до 6,9 %. На глубине более 50–60 см его содержание резко падает и находится в пределах от 1,3 % до 2,2 %.

Среди используемых для характеристики агроэкологического состояния почв, особое место отводится для обеспеченности их гумусом и биогенными элементами. Снижение их содержания во времени и пространстве может рассматриваться как критерий деградации почвенного покрова на рассматриваемых площадях [12]. Агрохимическая характеристика почв проектных площадок под многолетними посадками лаванды узколистной (*Lavandula officinalis*) с использованием элементов ретроспективного анализа представлена в таблице 1.

**Таблица 1**  
**Ретроспективный анализ основных агрохимических показателей почв агрогенного ряда в пределах проектных площадок, занятых под многолетними посадками лаванды узколистной (*Lavandula officinalis*)**

Почвенный горизонт	Глубина, см	Гумус, %		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/100 г		K <sub>2</sub> O, мг/100 г		pH <sub>KCl</sub>	
		1986	2024	1986	2024	1986	2024	1991	2024
1 – агрозем текстурно-карбонатный остаточно-карбонатный легкоглинистый слабощебнисто-каменистый на хрящевато-глинистом делювии									
P	0–20	5,86	5,32	11–20	24	16–30	31	7,9	8,1
САТ	40–60	2,6	1,94		18		24	8,3	8,4
2 – агрозем темный остаточно-карбонатный легкоглинистый сильнощебнисто-каменистый на щебнисто-каменистом делювии известняка (плотный известняк с глубины 60 см)									
PU	0–40	5,0	4,96	11–20	19	16–30	27	8,4	8,3
3 – агрозем темный остаточно-карбонатный легкоглинистый среднещебнисто-каменистый на щебнисто-каменистом делювии мергеля (плотный мергель с глубины 60 см)									
PU	0–40	5,31	5,42	11–20	23	16–30	29	8,0	8,1

По содержанию гумуса, согласно устоявшейся в научной литературе шкале Л. А. Гришиной и Д. С. Орлова (1978), исследуемые почвы могут быть отнесены и охарактеризованы как среднегумусные. Значительное варьирование показателей во времени не обнаружено и составляет в пределах десятых долей единиц.

По содержанию подвижного фосфора для рассматриваемых почв характерен высокий уровень обеспеченности. Как можно заметить из табл. 1, верхние приповерхностные гумусовые горизонты содержат значительно больше обменного фосфора, по сравнению с нижележащими горизонтами и, тем более материнской породой. В тоже время, среднещелочная реакция среды рассматриваемых почв предопределяет формирование труднорастворимых соединений, в т.ч. фосфора,

которые превращаются в слабо доступные агрокультурам формы. По содержанию обменного калия почвы характеризуются очень высоким уровнем.

Реакция почвенной среды в данных условиях является наиболее устойчивым генетическим показателем. Изменение реакции среды в большую или меньшую стороны приводит не только к резкой смене характера почвообразования и экологических условий обитания организмов, но и смене условий геохимической миграции химических элементов, аккумуляции и образованию геохимических барьеров. Как можно заметить, уровень рН почв находится в пределах среднещелочных значений в верхней и нижней частях профилей. Согласно существующим экологическим прогнозам, такого рода показатели со временем способствуют возрастанию дефицита подвижных соединений фосфора, железа, цинка и марганца.

*Распределение химических элементов в почвах.* Почва, по своей природе является наиболее устойчивой в пространстве и времени средой, способной накапливать химические элементы. Особенно важным это проявляется в условиях длительной антропогенной нагрузки [13]. Вопросы использования и состояния почв агрогенного ряда Крыма достаточно хорошо изучены и представлены в [14–16]. Содержание и распределение химических элементов в почвах проектных площадок крайне неравномерно (рис. 1–2). Наибольшими концентрациями представлен ряд химических элементов: Ca-Si-Al-K-Ti, а наименьшими концентрациями характеризуется ряд химических элементов: Mn-Sr-Mg-P-S-Zr-Zn-Rb-Ni-Cu-As-Co.

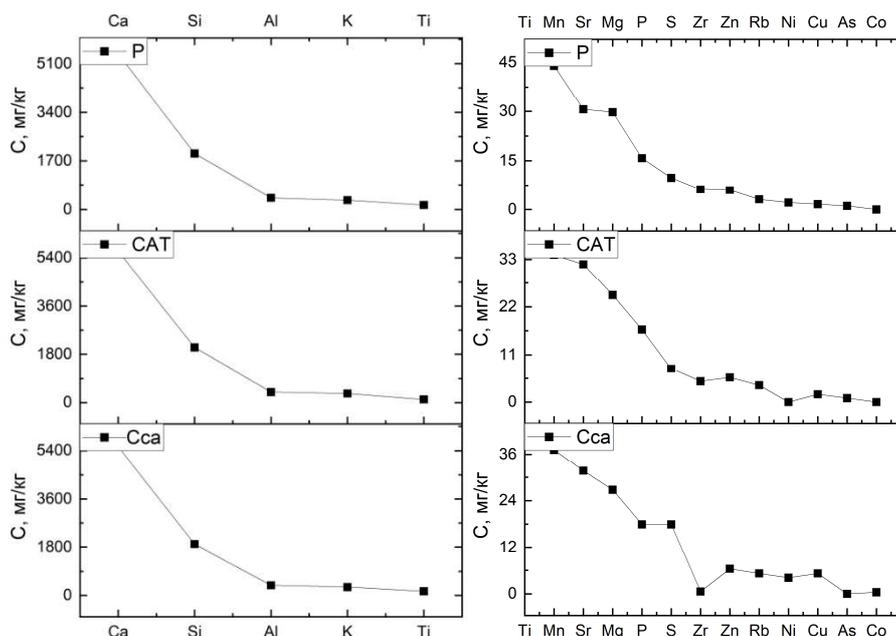


Рис. 1. Распределение химических элементов в почвах под многолетними посадками лаванды узколистной (*Lavandula officinalis*) по горизонтам – разрез R1.

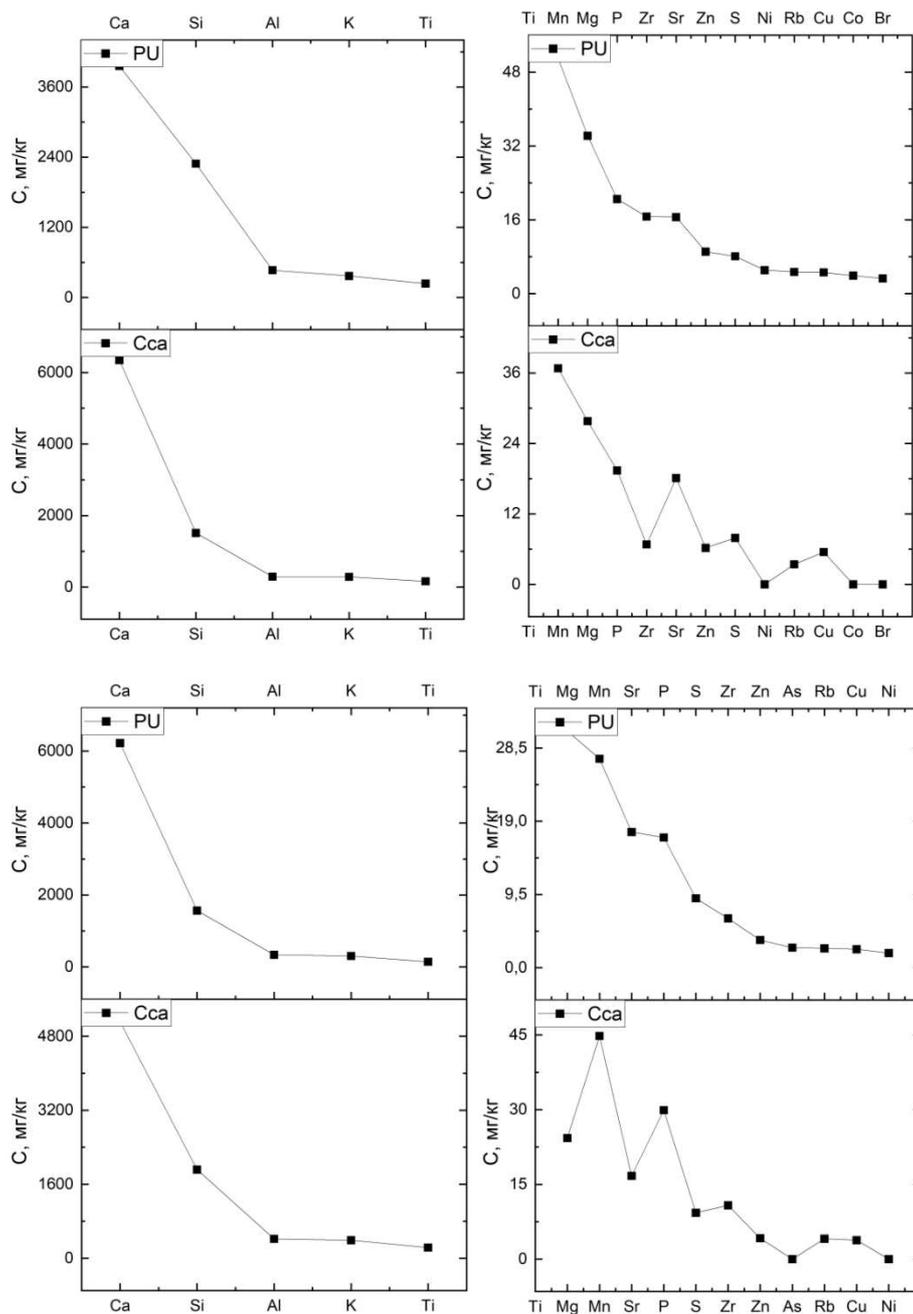


Рис. 2. Распределение химических элементов в почвах под многолетними посадками лаванды узколистной (*Lavandula officinalis*) по горизонтам – разрез R2 (сверху) и разрез R3 (снизу).

По сравнению с кларками верхней части континентальной коры по К. Wedepohl [17] для рассматриваемых почв наблюдается пониженное содержание большинства элементов, что обусловлено их нахождением в рассеянном виде (рис. 3). Для верхних пахотных горизонтов, представленных к исследованию разрезов, характерна аккумуляция ограниченного количества химических элементов: Ca, K, Br и As.

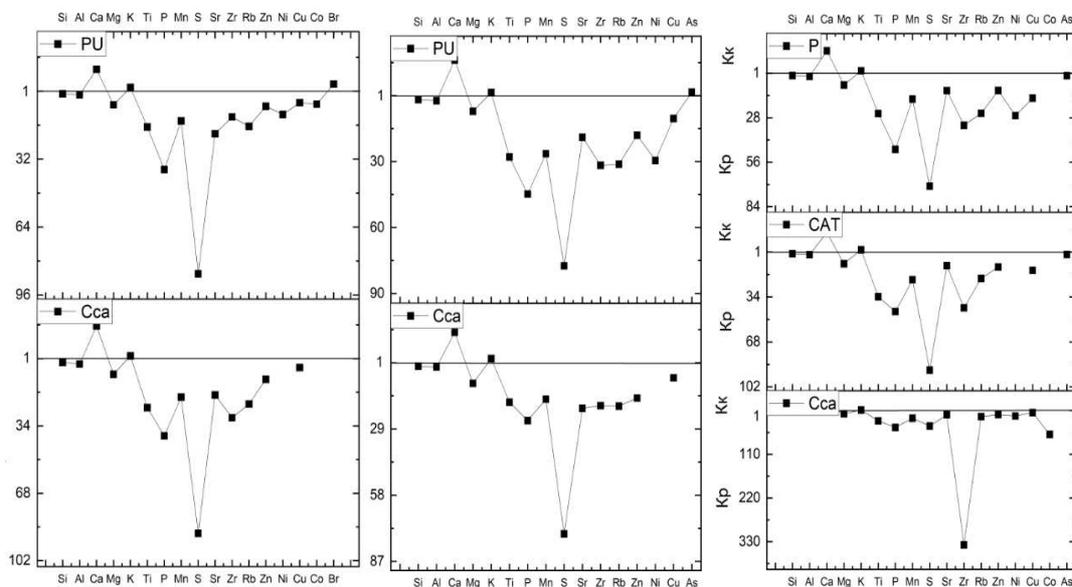


Рис. 3. Геохимические спектры для почв под многолетними посадками лаванды узколистной (*Lavandula officinalis*) по горизонтам – разрез R1 (слева) R2 (по центру) и разрез R3 (справа).

Геохимические ряды химических элементов приобретают следующий вид:

1) Разрез R1:

- Р горизонт:

Кк: К /1,53>Ca /14,16;

Кр: S /71,12>P /47,91>Zr /32,74>Ni /26,67 >Ti/25,33>Rb/25,16>Mn/16,27 >

Cu /15,63>Sr/10,88>Zn/10,83>Mg/7,41>Al/1,94>As/1,55>Si/1,47;

- CAT горизонт:

Кк: К /1,58>Ca /14,68;

Кр: S/89,36 >P/45,06>Zr/42,29>Ti/33,90>Mn/21,00>Rb/20,00>Cu/13,89>

Zn/11,40>Sr/10,44>Mg/8,91>Al/2,04>As/1,89>Si/1,40;

- Cca горизонт:

Кк: К/1,46> Ca/14,43;

Кр: Zr/338,33>Co/60,00>P/42,29>S /38,94>Ti/25,80>Mn/19,25>Rb/15,00

>Ni/13,66>Sr/10,50>Zn/10,16>Mg/8,21>Cu/4,81>Al/2,10>Si/1,50.

- 2) Разрез R2:  
- PU горизонт:  
Кк: K/1,72>Br/3,30>Ca/10,28;  
Кр: S/86,05>P/36,93>Sr/20,06>Ti/16,87>Rb/16,60> Mn/14,04>Zr/12,16>  
Ni/10,98>Zn/7,14>Mg/6,43>Co/6,15>Cu/5,43>Al/1,70>Si/1,26;  
- Cca горизонт:  
Кк: K/1,33>Ca/6,49;  
Кр: S/88,23>P/39,02>Zr/29,85>Ti/24,80>Rb/22,94>Mn/19,46>Sr/18,40>  
Zn /10,48>Mg/7,91>Cu/4,55>Al/2,75>Si/1,91.
- 3) Разрез R3:  
- PU горизонт:  
Кк: K/1,41>As/1,53>Ca/16,16;  
Кр: S/77,44 >P/44,79>Zr/31,72>Rb/31,20>Ni/29,47>Ti/27,91>Mn/26,42>  
Sr/18,92>Zn/18,06>Cu/10,42>Mg/7,17>Al/2,36>Si /1,84.  
- Cca горизонт:  
Кк: K/1,82>Ca/ 13,30;  
Кр: S/74,95>P/25,32>Sr/19,94>Rb/19,02>Zr/18,80>Ti/ 17,31>Mn/15,98>  
Zn/15,48>Mg/9,05>Cu/ 6,58>Al/1,89>Si/1,50.

*Особенности миграции химических элементов.* Степень опасности установленных концентраций химических элементов, содержащихся в анализируемых почвах, определяется не только путем установления их валового содержания, которое характеризует такие параметры, как геохимическая подвижность и токсическое действие загрязнителей, но и напрямую связывается с формами миграции и характером их закрепления различными минеральными и органическими носителями [18]. Те элементы, которые формируют соединения с органическим веществом при условии его низких и средних концентраций, вносят меньший вклад в формирование общего уровня содержания микроэлементов в почвах, доступных для растений, в особенности агрокультур, являющихся по своей природе более уязвимыми по отношению к изменениям факторов окружающей среды и обладающих меньшим порогом толерантности [7]. В [19] отражено, что фульвокислоты и гуминовые кислоты, представляя собой органические лиганды, способны формировать достаточно прочные комплексные соединения, где центральным ядром выступают металлы-лантаноиды, а также большинство тяжелых и редкоземельных элементов. В пахотном слое рассматриваемых почв фиксируется повышенное содержание калия и кальция, а также в разрезе R1 отмечается наличие повышенного содержания Br (Кк=3,30), а в R3 – As (Кк=1,53). Появление повышенных на общем фоне содержания данных элементов может быть объяснено их остаточными концентрациями после использования различного рода удобрений, пестицидов, инсектицидов и т.д. В природных условиях, Br редко образует собственные минералы [20], в большинстве своем обнаруживается в виде изоморфных примесей в минералах-галоидах: галите, сильвините и др., а также может встречаться в составе арагонита при этом обладает повышенной сорбируемостью со стороны Ca<sub>орг</sub>. Природное содержание Br в агрокультурах может

достигать 120 мг/кг [21], что обусловлено его высокой подвижностью, оказывающей прямое воздействие на активизацию миграционных процессов в пределах системы «почва-растения». Оптимальное содержание мышьяка в верхнем горизонте техногенно незагрязненных почв может достигать 16 мг/кг [22]. Ограничения в миграции соединений мышьяка могут быть связаны, прежде всего, с его сорбцией на поверхности органических и минеральных фаз [23]. При этом, ограничением сорбционных процессов для мышьяка является понижение кислотно-щелочных условий – рН почв, что приводит к переходу из твердых фаз в почвенный раствор [24]. Таким образом, растворимость мышьяка в щелочных условиях, а также его подвижность возрастают [25]. Оба этих элемента высоко токсичны, обладают эмбриотропным, мутагенным эффектом [26, 27]. На сегодняшний день, в вопросах снижения и/или устранения загрязнения почв тяжелыми металлами, в т.ч. металлоидами и соединениями на их основе, хорошо зарекомендовали себя способы ремедиации, предполагающие использование мелиорантов, например известь, глинистые минералы, гуматы, торф, биоуголь, твердые вещества биологического происхождения и др. При существующих значениях рН для рассматриваемых почв в целом, характерно увеличение количества неподвижных соединений и более устойчивых органических комплексов, что характеризуется снижением миграционной активности и нахождением в недоступных для растений формах. Данный факт также способствует безопасному выращиванию агрокультур.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

По результатам полевого обследования установлено три основных типа почв, распространенных в восточной части северного Предгорья Крыма. Заложены проектные площадки, представленные к исследованию и определены основные агрохимические показатели почв, распространенных в их пределах, а также валовые концентрации химических элементов, которые накапливаются в большинстве своем в пахотном слое. По содержанию гумуса все почвы отнесены к среднегумусным. Содержание подвижного фосфора и обменного калия установленные для анализируемых почв характеризует их, как высоко и очень высоко содержащие оксиды данных элементов, соответственно. Слабо- и среднещелочная реакция почвенной среды накладывает некоторые ограничения в подвижности и доступности растениям соединений фосфора, железа, цинка и марганца.

Большинство из качественно установленных элементов находятся в рассеянном виде по всему почвенному профилю. Исключение составляют Са, К, а также Вг и As, которые склонны к накоплению в пахотном гумусовом горизонте агрогенных почв. Включение брома и мышьяка в биологические цепи в большей степени предопределяется антропогенным поступлением в почвы. По результатам проведенных исследований ясно, что почвы пригодны для безопасного выращивания многолетних эфиромасличных культур с рекомендуемым проведением контроля за содержанием загрязняющих химических элементов: тяжелых металлов и металлоидов, как в почвах, так и возделываемых агрокультурах.

*Работа выполнена в рамках темы №124052000057-0 «Мониторинг климатически активных веществ в наземных экосистемах Республики Крым в условиях изменения климата и антропогенного воздействия с применением дистанционных методов исследований».*

### Список литературы

1. Елсукова Е. Ю. Техногенная трансформация потоков тяжелых металлов в почвах в зоне воздействия медно-никелевого производства / Елсукова Е. Ю., Опекунова М. Г., Опекунов А. Ю. // Международный научно-исследовательский журнал. – 2019. – № 12-1 (90). – С. 118–124. doi.org/10.23670/IRJ.2019.90.12.024
2. Евтюгина З. А. Особенности формирования состава инфильтрационных вод в условиях аэротехногенного загрязнения / Евтюгина З. А., Асминг В. Э. // Вестник МГТУ: труды Мурманского государственного технического университета. – 2013. – Т. 16, № 1. – С. 73–80.
3. Zhang X. Estimation of lead and zinc emissions from mineral exploitation based on characteristics of lead/zinc deposits in China / X. Zhang, L. Yang, Y. Li, H. Li, W. Wang, Q. Ge // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. – 2011. – V. 21, Iss. 11. – P. 2513–2519. doi.org/10.1016/S1003-6326(11)61044-3.
4. Ettl V. Soil contamination near non-ferrous metal smelters: a review / Ettl V. // Applied Geochemistry. – 2015. – V. 64. – P. 56–74. doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.09.020.
5. Ghayoraneh M. Concentration, distribution and speciation of toxic metals in soils along a transect around a Zn/Pb smelter in the northwest of Iran / Ghayoraneh M., Qishlaqi A. // Journal of Geochemical Exploration. – 2017. – V. 180. – P. 1–14. doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.05.007.10.
6. Wilkin R. T. Groundwater co-contaminant behavior of arsenic and selenium at a lead and zinc smelting facility / R. T. Wilkin, T. R. Lee, D. G. Beak, R. Anderson, B. Burns // Applied Geochemistry. – 2018. – V. 89. – P. 255–264. doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.12.011.
7. Мотузова Г. В. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг. 2-е изд. / Мотузова Г. В. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 168 с.
8. Полевой определитель почв России. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. – 182 с.
9. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. Коллективная монография / под ред. А. Л. Иванова, С. А. Шоба. – М.: Почвенный ин-т им В.В. Докучаева, 2014. – 768 с.
10. Агрохимические методы исследования почв / под ред А. В. Соколова. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
11. Дубас В. В. Особенности миграции свинца и цинка в агроземах предгорного Крыма / В. В. Дубас, И. В. Алексахин // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2022. – Т. 8, № 4. – С. 61–71.
12. Титова В. И. Агроэкосистемы: проблемы функционирования и сохранения устойчивости (теория и практика агронома-эколога). – 2-е изд., перераб. и доп. / Титова В. И., Дабахов М. В., Дабахова Е. В. – Н. Новгород: Изд-во НГСХА. – 2002. – 205 с.
13. Barsova N. Current state and dynamics of heavy metal soil pollution in Russian Federation – a review / N. Barsova, O. Yakimenko, I. Tolpeshta, G. Motuzova // Environmental Pollution. – 2019. – V. 249. – P. 200–207. doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.020.
14. Тронза Г. Е. Солевой режим солонцов луговых Крымского Причерноморья, освоенных под культурой риса / Тронза Г. Е. // Труды Крымского ГАТУ: Сельскохозяйственные науки. – 2002. – Вып. 91. – С. 242–247
15. Lisetskii F. N. Post-agrogenic evolution of soils in ancient greek land use areas in the Herakleian peninsula, southwestern Crimea / Lisetskii F. N., Rodionova M. E., Terekhin E. A., Stolba V. F., Ergina E. I. // The Holocene. – 2013. – Т. 23, № 4. – С. 504–514.
16. Ергина Е. И. Современное почвенно-экологическое состояние Крымского полуострова / Ергина Е. И., Тронза Г. Е. // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2016. – Том 2 (68), № 3. – С. 196–196.
17. Wedepohl K. H. The composition of the continental crust / Wedepohl K. H. // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1995. – Vol. 59, No. 7. – P. 1217–1232.

18. Водяницкий Ю. Н. Изучение тяжелых металлов в почвах. / Водяницкий Ю. Н. – М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 2005. – 109 с.
19. Переломов Л. В. Взаимодействие редкоземельных элементов с биотическими и абиотическими компонентами почв / Переломов Л. В. // Агрохимия. – 2007. – № 11. – С. 85–96.
20. Перельман А. И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. / Перельман А. И. – М.: Недра, 1972. – 288 с.
21. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов: Справочник. В 6 кн. / под ред. Э. К. Буренкова. Кн. 3: Редкие р-элементы. – М.: Недра, 1996. – 352 с.
22. Ковда В. А. Биогеохимия почвенного покрова / В. А. Ковда. – М.: Наука, 1985. – 263 с.
23. Kabata-Pendias A. Biogeochemia pierwiastków sladowych / A. Kabata-Pendias, H. Pendias. – PWN. Warszawa, 1999. – 398 p.
24. Водяницкий Ю. Н. Хром и мышьяк в загрязненных почвах. Обзор литературы / Ю. Н. Водяницкий // Почвоведение. – 2009. – № 5. – С. 551–559.
25. Пинский Д. Л. Ионнообменные процессы в почвах / Д. Л. Пинский. – Пущино, 1997. – 166 с.
26. Comparative study on susceptibility to 1-bromopropane in three mice strains / Liu Fang, Ichihara Sahoko, Mohideen Sahabudeen Sheik, Sai Uka, Kitoh Junzoh, Ichihara Gaku // Toxicological Sciences. – 2009. – V. 112, № 1. – P. 100–120.
27. Carr H. S. Mutagenicity of derivatives of the flame retardant tris (2,3-dibromopropyl)phosphate: halogenated-propanols / Carr H. S., Rozenkranz H. S. // Mutation Research. – 1978. – V. 57, № 7. – P. 381–384.

## GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF AGROGENIC SOILS UNDER PERENNIAL PLANTS OF LAVENDER (*LAVANDULA OFFICINALIS*)

*Dubas V. V.<sup>1,2,3</sup>, Aleksashkin I. V.<sup>2,3</sup>, Plaskalnaya E. I.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol', Russian Federation*

<sup>2</sup>*T. I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of RAS – Branch of A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Feodosia, Russian Federation*

<sup>3</sup>*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation*  
*E-mail: victoriadubas.VD@gmail.com*

Existing geochemical processes that ensure cyclicity and continuity, unfortunately, also contribute to the spread and migration of pollutants, mostly negatively affecting the existence and development of not only current but also obviously future ecosystems. The influx of pollutants, such as heavy metals and metalloids, with atmospheric precipitation obviously predetermines the dependence of the ecological state of soils on the behavior and redistribution of certain elements across the soil profile. At the same time, a deficiency, as well as an excess of certain chemical elements, can lead to diseases, mutations or even death of plants, which is fraught with a decrease in the main criteria for farming – soil fertility and crop yields. Several agricultural lands, which have been stably occupied by perennial plantings of narrow-leaved lavender (*Lavandula officinalis*) for the last 40 years, were selected as project research sites – test sites. In the agrogenic soils of the Crimean foothills, the content of gross concentrations of chemical elements and the values of the main agrochemical indicators of soils were determined using the method of X-ray fluorescence spectrometry. Three main types of soils have been identified for the

study area. All soils are highly carbonate, with 10 % HCl causing effervescence from the surface. Sedimentary rock weathering products (clays, limestones and marls) act as soil-forming rocks. The soil material was selected and analyzed under modern environmental conditions with the introduction of elements of retrospective analysis – the current data obtained were compared with the archive materials from the 1980s. The content of chemical elements is characterized by their dispersion; elements such as Ca, K, as well as Br and As have a cumulative effect. Their highest concentrations are recorded in arable horizons, decreasing with depth as they approach the carbonate underlying rock. Such distribution of elements is most likely due to the binding of chemical elements due to increased carbonate content and pH values.

**Keywords:** trace elements, heavy metals, organic matter, pH, soils, migration.

### References

1. Elsukova E. Yu., Opekunova M. G., Opekunov A. Yu. Technogenic transformation of heavy metal flows in soils in the zone of copper-nickel production impact. *International Research Journal*. **12-1 (90)**, 118 (2019).
2. Evtugina Z. A., Asming V. E. Features of the formation of the composition of infiltration waters under conditions of aerotechnogenic pollution. *Bulletin of MSTU: works of Murmansk State Technical University*. **16 (1)**, 73 (2013)
3. Zhang X., Yang L., Li Y., Li H., Wang W., Ge Q. Estimation of lead and zinc emissions from mineral exploitation based on characteristics of lead/zinc deposits in China. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. **21 (11)**, 2513 (2011) doi.org/10.1016/S1003-6326(11)61044-3.
4. Ettler V. Soil contamination near non-ferrous metal smelters: a review, *Applied Geochemistry*. **64**, 56 (2015) doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.09.020.
5. Ghayoraneh M., Qishlaqi A. Concentration, distribution and speciation of toxic metals in soils along a transect around a Zn/Pb smelter in the northwest of Iran. *Journal of Geochemical Exploration*. **180**, 1 (2017) doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.05.007.10.
6. Wilkin R. T., Lee T. R., Beak D. G., Anderson R., Burns B. Groundwater co-contaminant behavior of arsenic and selenium at a lead and zinc smelting facility. *Applied Geochemistry*. **89**, 255 (2018) doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.12.011.
7. Motuzova G. V. *Microelement compounds in soils: system organization, ecological significance, monitoring*. 2nd ed. 168 p. (Book House "LIBROKOM", M., 2009).
8. *Field determinant of Russian soils*. p. 182 (V. V. Dokuchaev Soil Inst., M., 2008).
9. *Unified State Register of Soil Resources of Russia. Version 1.0*. p. 768 (V. V. Dokuchaev Soil Inst., M., 2014).
10. *Agrochemical methods of soil research*. ed. by A. V. Sokolov. 656 p. (Moscow, Nauka, 1975)
11. Dubas V. V., Aleksashkin I. V. Features of lead and zinc migration in agrozems of the foothills of Crimea. *Scientific notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*. **8 (4)**, 61 (2022).
12. Titova V. I., Dabakhov M. V., Dabakhova E. V. *Agroecosystems: problems of functioning and maintaining stability (theory and practice of an agronomist-ecologist)*. 2nd ed., revised and enlarged. 205. (N. Novgorod: Publishing house of NGSKhA., 2002).
13. Barsova N., Yakimenko O., Tolpeshta I., Motuzova G. Current state and dynamics of heavy metal soil pollution in Russian Federation – a review. *Environmental Pollution*, 249, 200 doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.020. (2019).
14. Tronza G. E. Salt regime of meadow solonetz soils of the Crimean Black Sea region developed for rice cultivation. *Proceedings of the Crimean State Agricultural Technical University: Agricultural sciences*. **91**, 242 (2002).

15. Lisetskii F. N., Rodionova M. E., Terekhin E. A., Stolba V. F., Ergina E. I. Post-agrogenic evolution of soils in ancient greek land use areas in the Herakleian peninsula, southwestern Crimea. *The Holocene*. **23** (4), 504 (2013).
16. Ergina E. I., Tronza G. E. Current soil-ecological state of the Crimean peninsula. *Scientific notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Geography. Geology*. **2** (68), **3**, 196 (2016).
17. Wedepohl K. H. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. **59** (7), 1217 (1995).
18. Vodyanitsky Yu. N. *Study of heavy metals in soils*. Soil Institute named after V. V. Dokuchaev, 109. (M., 2005).
19. Perelomov L. V. Interaction of rare earth elements with biotic and abiotic components of soils. *Agrochemistry*. **11**, 85 (2007).
20. Perelman A. I. *Geochemistry of elements in the hypergenesis zone*. 288. (M.: Nedra, 1972).
21. Ivanov V. V. *Ecological geochemistry of elements: Handbook*. In 6 books. edited by E. K. Burenkov. Book 3: Rare p-elements. 352. (Moscow: Nedra, 1996).
22. Kovda V. A. *Biogeochemistry of soil cover*. 263. (M.: Nauka, 1985).
23. Kabata-Pendias A. Pendias H. *Biogeochemistry of trace elements*. 398. (PWN. Warszawa, 1999).
24. Vodyanitsky Yu. N. Chromium and arsenic in contaminated soils. Literature review. *Soil Science*. **5**, 551 (2009)
25. Pinsky D. L. *Ion exchange processes in soils*. 166. (Pushchino, 1997).
26. Liu Fang, Ichihara Sahoko, Mohideen Sahabudeen Sheik, Sai Uka, Kitoh Junzoh, Ichihara Gaku. Comparative study on susceptibility tu 1-bromopropane in three mice strains. *Toxicological Sciences*. **112** (1), 100 (2009).
27. Carr H. S., Rozenkranz H. S. Mutagenicity of derivatives of the flame retardant tris (2,3-dibromopropyl)phosphate: halogenated-propanols. *Mutation Research*. **57** (7), 381 (1978).