

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ В АГРОЦЕНОЗАХ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

УДК 631.416.9(470.324)

DOI: 10.25684/NBG.scbook.148.2019.16

### ВОЗМОЖНОСТЬ ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЧЕРНОЗЕМОВ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ НИКЕЛЕМ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОРОСИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ

Надежда Сергеевна Горбунова<sup>1</sup>, Аркадий Игоревич Громовик<sup>2</sup>,  
Елена Владимировна Куликова<sup>3</sup>, Юрий Алексеевич Куликов<sup>4</sup>

<sup>1-2</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,  
394018, Россия, г. Воронеж, Университетская пл. 1, ВГУ  
e-mail: vilian@list.ru

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Воронежский государственный аграрный университет им. императора  
Петра I, 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1  
e-mail: milenica@mail.ru

<sup>3</sup>ООО «ИнфоБиС», 410056, Россия, г. Саратов, ул. Чернышевского, 94б  
e-mail: juriy.kulikov@yandex.ru

**Аннотация.** *Цель.* Исследовано влияние орошения на свойства черноземов выщелоченных, а также на возможность вторичного загрязнения почв никелем (Ni). Важной геохимической особенностью региона, на территории которого проводились исследования является обогащенность почвообразующих пород Ni. Как известно, почвообразующие породы оказывают прямое влияние на химический состав почв, вод и косвенное на содержание элемента в живых организмах. *Методы.* С целью определения возможного загрязнения почв Ni в результате орошения природными водами, содержащими данный элемент в большом количестве, были подробно исследованы основные химические и физико-химические показатели изучаемых черноземов. Определено валовое содержание и профильное распределение Ni, а также его обменные соединения в черноземах выщелоченных тяжелосуглинистых, интенсивно используемых в орошаемом земледелии. Полученные данные сравнивались с показателями, полученными в аналогичных почвах, расположенных на залежи (фоновые участки). *Результаты.* Показано, что в условиях орошения в черноземах происходит снижение процентного содержания гумуса и увеличение мощности гумусового профиля. В орошаемых почвах отмечается снижение величины pH и увеличение гидролитической кислотности. Выявлено, что максимальное содержание Ni отмечается в верхнем горизонте орошаемых черноземов. Вниз по профилю происходит постепенное снижение содержания металла, а в почвообразующей породе отмечается наличие второго максимума в профильном распределении Ni. Данное явление связано с обогащенностью почвообразующих пород элементом. *Выводы.* Полученные данные по валовому содержанию Ni и его обменным соединениям не превышают ПДК, принятых для черноземных почв. Длительное орошение не приводит к загрязнению черноземов выщелоченных Ni, однако почвы и оросительные воды нуждаются в постоянном мониторинге.

**Ключевые слова:** Тяжелые металлы; биогеохимические особенности никеля; валовое содержание никеля; обменные формы никеля; процент подвижности; трансформация черноземов; предельно допустимые концентрации.

### Введение

Орошение, как частный случай мелиорации почв, направлено на эффективное использование природного потенциала почв, что достигается при соблюдении всех экологических требований как к оросительным водам, технике полива, так и с учетом особенностей почвообразовательного процесса, а также четким научным обоснованием. При несоблюдении одного из требований орошение может приводить к деградации

почвенного покрова, которое отмечается рядом исследователей. Например, длительное орошение, приводит к таким деградационным процессам как переувлажнение, уплотнение, огливание, ощелачивание, декальцинирование, дегумификация, обезиливание, вторичное засоление [1, 2, 4, 7].

Большинство исследований посвящено изучению орошения почвенного покрова аридных территорий с засоленными почвами [1, 2, 4, 7]. Процессам, происходящим в незасоленных почвах, уделено значительно меньше внимания. Работ, посвященных проблеме влияния орошения на содержание, внутрипрофильное распределение, подвижность и возможное накопление тяжелых металлов (ТМ) в черноземах крайне мало.

Из большой группы ТМ был выбран Ni, из-за своих биогеохимических особенностей. О роли Ni в живых организмах существует множество данных, которые достаточно противоречивы. Некоторые растения и микроорганизмы являются «концентраторами» никеля – они накапливают и содержат в тысячи и сотни тысяч раз больше металла, чем окружающая среда [9]. Биологическая роль элемента не вполне выяснена, несмотря на его широкое распространение в растительных и животных организмах. Очень важно участие Ni во многих биогенных процессах. Ni оказывает неспецифическое влияние на ряд металлоферментных комплексов. Он способствует формированию спиральной структуры нуклеиновых кислот, входит в состав гормона инсулина, активизирует аргиназу, трипсин, ряд пептидаз, действующих на азотсодержащие группировки, является катализатором окисления лецитина и линолевой кислоты. Для злаковых растений получены данные о влиянии Ni на активность нитратредуктазы, играющей важную роль как в восстановлении нитратов, так и в азотофиксации. Выявлено участие Ni в стабилизации структуры рибосом. Но следует отметить, что исследуемый металл также отрицательно влияет на живые организмы – вызывает нарушение в функционировании ядра, ДНК и сбой митоза и цитокинеза, приводит к хлорозам и некрозам [9].

Известно, что основным источником поступления Ni (как и других ТМ) в почвах не подверженных техногенному загрязнению, является почвообразующая порода. Геохимической особенностью почвообразующих пород Центрально-черноземного региона является их обогащенность Ni [5]. Как следствие, данным элементом обогащены природные источники, вода которых используется для орошения.

Химически Ni малоактивен, поскольку его атомы имеют внешнюю электронную конфигурацию  $3d^8 4s^2$ . Но элемент способен интенсивно сорбироваться органическим веществом почв. Так адсорбция Ni гумусом происходит с участием карбоксильных и фенольных групп, путем замещения водорода на ионы металла. В результате реакции образуются хелаты, в которых Ni входит в анионную часть молекул органического вещества. Таким образом, Ni соединяется координационными связями и не проявляет себя как катион. Помимо этого, Ni как поливалентный металл образует комплексно-гетерополярные соли при взаимодействии с гуминовыми кислотами, которыми обогащены верхние горизонты черноземов. Металл в комплексно-гетерополярных солях входит в анионную часть молекул и не способен к обменным реакциям [3].

Все вышеизложенное указывает на актуальность и необходимость изучения данной проблемы. Поэтому целью настоящей работы было изучение влияния длительного орошения на основные химические, физико-химические свойства, а также на валовое содержание и обменные соединения Ni в незасоленных черноземах выщелоченных.

### Объекты и методы исследования

Объектом исследования послужили черноземы выщелоченные среднемошные мало- и среднегумусные тяжелосуглинистые, расположенные в Хлевенском районе Липецкой области. Почвообразующими породами являются покровные карбонатные тяжелые суглинки и глины. Исследовались три участка – залежь, пашня без орошения и орошаемая пашня (площадь участка 250 га). Орошение производилось в течение 25 лет дождевальными установками «Фрегат» по типу радиального полива. Поливная норма – 250 м<sup>3</sup>/га.

На участках закладывались почвенные разрезы, вскрывающие почвообразующую породу. Отбор почвенных образцов проводился через каждые 10 см (0-10, 20-30...140-150 см). В почвенных образцах определялись рН водной суспензии, обменные катионы Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>, гидролитическая кислотность, содержание гумуса по общепринятым методикам [6]. Валовое содержание Ni определяли методом спекания почвы с карбонатом натрия, дальнейшей обработкой HNO<sub>3</sub> (1:1) и H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (конц.). Его обменные соединения определяли в вытяжке ацетатно-аммонийного буфера (ААБ, рН = 4,8) в соотношении почва раствор 1:10. Химическому анализу подвергалась и поливная вода. Определена общая минерализация поливной воды и ее ионный состав: HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, рассчитано отношение катионов Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup>. Для анализа содержания Ni пробы воды подкисляли 2-3 каплями концентрированной HNO<sub>3</sub> и выпаривали досуха. Сухой остаток растворяли в 2 мл 2М HNO<sub>3</sub>. Конечное определение Ni проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре КВАНТ-Z.ЭТА, чувствительность определения 0,01 мкг/л, неопределенность измерения 4 %. Вариационно-статистическая обработка проводилась с использованием программы Microsoft Excel.

### Результаты и обсуждение

Используемая хозяйством вода для орошения, согласно группировке природных вод по степени минерализации, относится к пресным, поскольку количество солей плотного остатка составляет 0,4 г/л. Ионный состав поливной воды – гидрокарбонатно-кальциевый, среднее содержание катионов Ca<sup>2+</sup> достигает 2,6 смоль(экв)/кг, в то время как количество Mg<sup>2+</sup> и Na<sup>+</sup> не превышает 1,0 и 1,1 смоль(экв)/кг. Среди анионов доминирует HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (3,1 смоль(экв)/кг), а содержание Cl<sup>-</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> составляет 0,8 и 0,9 смоль(экв)/кг соответственно. Количество Ni в поливной воде составляет 0,017 мг/л, что почти достигает значения ПДК = 0,02 мг/л. Вода, используемая для полива, по своему солевого составу обладает благоприятными химическими характеристиками для орошения всех сельскохозяйственных культур, но содержание Ni в ней близко к критическому.

Длительное орошение изучаемых черноземов выщелоченных привело к изменениям морфологического строения почвенного профиля, увеличению мощности гумусового профиля (А + АВ) в среднем на 13 см (по сравнению с фоновым участком). Границы перехода между горизонтами стали еще более постепенными, растянутыми и размытыми. Процентное содержание гумуса является ключевым показателем, определяющим почвенное плодородие. Известно, что в процессе сельскохозяйственного использования происходит трансформация органического вещества, что приводит к уменьшению содержания гумуса и снижению почвенного плодородия. Так исследуемые почвы по содержанию гумуса относятся к малогумусным, с содержанием гумуса в верхнем 0-10 см слое 5,8 % и к среднегумусным, с содержанием гумуса 6,6 %. (табл. 1). Уменьшение процентного

содержания гумуса происходит в результате интенсивного сельскохозяйственного использования, сопровождаемого орошением. Данное явление объясняется усиленной минерализацией органического вещества в результате распашки и перераспределением органического вещества в профиле почв при орошении. На это указывает заметно большее содержание гумуса в слоях 60-70 см в орошаемом черноземе по сравнению с залежным участком. Кривая профильного распределения органического вещества орошаемых черноземов характеризуется растянутостью и более плавным снижением содержания гумуса, чем в почвах фонового участка.

В почвах залежного участка величина гидролитической кислотности составляет 1,3 смоль(экв)/кг почвы. В орошаемых черноземах величина гидролитической кислотности возрастает до 3,4 смоль(экв)/кг почвы (табл. 1). Кроме того, в орошаемых черноземах гидролитическая кислотность отмечается и в более глубоких слоях почвенного профиля, достигая глубины 70-80 см по сравнению с залежными участками. Подкисление орошаемого чернозема связано с более интенсивными процессами выщелачивания карбонатов, которые усиливаются при сельскохозяйственном использовании почв.

Максимальное содержание обменного  $Ca^{2+}$  отмечается в верхнем 0-10 см слое залежи, в орошаемом черноземе его меньше (табл. 1). Данное явление объясняется связью обменных катионов с гуминовыми кислотами, которых больше в почвах фонового участка. Содержание обменного  $Mg^{2+}$  в почвах различных угодий мало отличается между собой, что связано с подтиповой особенностью выщелоченных черноземов. В процессе сельскохозяйственного использования черноземов происходит изменение основных химических и физико-химических свойств почв в сторону их ухудшения. Но, поскольку черноземы обладают высокой буферностью, данные изменения не привели к их полной деградации.

Таблица 1

Химические и физико-химические свойства изучаемых почв  
(усредненные данные, n = 5)

Table 1

Chemical and physico-chemical properties of the studied soils  
(average data, n = 5)

Глубина, см Depth, cm	Гумус, % Humus, %	рН водный pH water	Обменные катионы Exchange cations			
			$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	$Hr^{+}$
			смоль(экв)/кг cmol (eq) / kg			
<b>Чернозем выщелоченный среднегумусный среднемощный тяжелосуглинистый на покровном карбонатном суглинке (залежь – фоновый участок)</b> Leached chernozem medium-humus medium thick heavy loam on surface carbonate loam (deposit - background area)						
0-10	7,27	6,6	36,8	5,4	42,2	1,3
20-30	5,82	7,0	36,0	5,2	41,2	1,0
40-50	3,87	7,1	35,4	4,8	40,2	0,5
60-70	2,21	7,4	34,8	4,5	39,3	-
80-90	1,25	8,0	32,1	4,2	36,3	-
100-110	0,80	8,1	31,5	4,0	35,5	-
120-130	0,25	8,2	30,4	4,1	34,5	-
140-150	0,10	8,2	29,8	4,0	33,8	-
<b>Чернозем выщелоченный малогумусный среднемощный тяжелосуглинистый на покровном карбонатном суглинке (орошаемая пашня)</b> Leached chernozem low humus medium thick heavy loam on surface carbonate loam (irrigated arable land)						

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
0-10	5,61	5,8	31,4	5,4	36,8	3,4
20-30	4,47	6,0	30,9	5,3	36,2	2,3
40-50	3,42	6,5	29,8	5,1	34,9	1,5
60-70	2,94	6,9	25,4	4,9	30,3	1,0
80-90	1,27	7,5	24,7	4,3	29,0	-
100-110	0,73	8,0	22,6	3,8	26,4	-
120-130	0,40	8,2	21,5	3,2	24,7	-
140-150	0,10	8,3	20,1	3,0	23,1	-

В верхнем 0-10 см слое черноземов орошаемого участка отмечается большее количество Ni чем в черноземах залежи (табл. 2). Данное явление связано с поступлением элемента с оросительными водами, в составе которых концентрация Ni достигает 0,017 мг/л. Вниз по профилю происходит постепенное снижение содержания металла, а с глубины 80-90 см (табл. 2) количество элемента вновь начинает увеличиваться и достигает максимального значения в почвообразующей породе. Обогащенность никельсодержащими минералами лессовидных пород, на которых сформировались исследуемые почвы, объясняется особенностями геохимической провинции данного региона [5], в пределах которой находятся богатые месторождения Ni.

Таблица 2

Статистические показатели валового содержания и обменных соединений Ni в изучаемых почвах

Table 2

Statistical indicators of the total content and the exchange of Ni compounds in the studied soils

Глубина, см Depth, cm	n	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	min	max	V, %	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	min	max	V, %	% от валового % of gross
		Валовое содержание, мг/кг Gross content, mg/kg				Вытяжка ААБ, мг/кг Extract AAB, mg/kg				
<b>Чернозем выщелоченный среднегумусный среднетяжелосуглинистый на покровном карбонатном суглинке (залежь – фоновый участок)</b> Leached chernozem medium-humus medium thick heavy loam on surface carbonate loam (deposit - background area)										
0-10	5	34,7±1,77	32,5	36,2	8	1,18±0,27	1,03	1,34	17	3,4
20-30	5	33,0±1,35	31,4	35,1	6	1,11±0,25	0,94	1,21	15	3,4
40-50	5	26,5±1,18	24,3	27,9	9	1,00±0,20	0,81	1,17	16	3,8
60-70	5	26,0±1,93	25,0	28,4	5	0,89±0,21	0,67	1,03	18	3,4
80-90	5	28,3±1,52	26,2	30,2	7	0,75±0,20	0,54	0,94	11	2,7
100-110	5	30,8±1,24	28,3	31,8	4	0,69±0,23	0,47	0,85	12	2,2
120-130	5	32,4±1,83	30,5	33,9	3	0,62±0,21	0,41	0,71	13	1,9
140-150	5	36,8±1,12	34,1	39,0	3	0,59±0,21	0,32	0,70	14	1,6
<b>Чернозем выщелоченный малогумусный среднетяжелосуглинистый на покровном карбонатном суглинке (орошаемая пашня)</b> Leached chernozem low humus medium thick heavy loam on surface carbonate loam (irrigated arable land)										
0-10	5	35,9±1,70	33,4	37,0	9	1,29±0,23	1,08	1,40	15	3,6
20-30	5	34,6±1,65	32,9	36,5	8	1,17±0,26	0,92	1,38	12	3,4
40-50	5	28,9±1,37	26,5	31,0	9	1,04±0,22	0,83	1,16	11	3,6
60-70	5	26,1±1,22	24,3	27,9	7	0,91±0,16	0,75	1,05	13	3,5
80-90	5	29,3±1,96	27,2	31,2	6	0,83±0,18	0,67	0,99	11	2,8
100-110	5	34,8±0,91	31,9	36,0	4	0,72±0,20	0,59	0,94	10	2,1
120-130	5	37,2±1,23	34,8	39,3	4	0,66±0,21	0,46	0,87	10	1,8
140-150	5	38,4±1,17	36,7	40,1	4	0,61±0,19	0,43	0,83	12	1,6
<b>ПДК, мг/кг MPC, mg/kg</b>		100				4				

Примечание:  $n$  – количество образцов;  $\bar{x}$  – среднее арифметическое;  $S_{\bar{x}}$  – ошибка среднего арифметического;  $\min$  – минимальное содержание;  $\max$  – максимальное содержание;  $V$  – коэффициент вариации, %.

Таким образом, в профильном распределении валового содержания Ni отмечается два максимума: первый – в верхнем горизонте, за счет поступления с оросительными водами, а в фоновых почвах благодаря образованию прочных органоминеральных комплексных соединений никеля с органическим веществом и второй – в нижней части профиля. Ошибка среднего арифметического для валового содержания Ni не превышает  $\pm 1,96$  мг/кг, что свидетельствует о достоверности полученных данных. Варьирование валового содержания Ni в исследуемых черноземах незначительное.

Как и для валового содержания, наибольшее количество обменных соединений металла отмечается в орошаемых почвах. Кривая профильного распределения обменной формы Ni имеет аккумулятивный характер с максимумом содержания в верхнем слое (1,29 мг/кг) и постепенным снижением вниз по профилю. Такое поведение элемента на орошаемом участке объясняется регулярным поступлением его с оросительными водами. В залежных участках профильное распределение Ni также носит аккумулятивный характер, но концентрация элемента меньше. Явление объясняется биогенной аккумуляцией Ni, которая характерна как для валового содержания, так и для подвижных соединений металла. Кроме того, сорбирующая способность илистых частиц к ТМ, в том числе и к Ni, способствует более прочному удержанию элемента в малодоступном состоянии. Согласно полученным нами данным Ni в изучаемых черноземах имеет невысокую степень подвижности. Процент обменной формы колеблется в пределах от 1,6 до 3,6 % от валового содержания, причем степень подвижности закономерно уменьшается с глубиной. Следует помнить, что элемент регулярно поступает с поливной водой и возможно не успевает связываться с органическим веществом и переходить в недоступные и малоподвижные формы.

Результаты исследования показали, что валовое содержание Ni и его обменных соединений во всех изучаемых черноземах не превышают ПДК, что говорит об отсутствии загрязнения почв данным элементом. Черноземы, являясь высокобуферными почвами, обладают хорошей устойчивостью к внешним воздействиям, осуществляют стабилизацию многих ТМ, в том числе и Ni. Стабилизация ТМ в почве является важным процессом, поскольку выполняет протекторные функции в результате перехода загрязняющих веществ в малоподвижные и малодоступные формы [8]. Но достаточно высокое содержание металла в поливной воде может со временем вызывать накопление элемента в почвенном покрове. Поэтому необходим регулярный контроль содержания Ni как в поливной воде, так и в почвенном покрове.

### Выводы

Длительное орошение черноземов выщелоченных привело к увеличению мощности гумусового профиля в среднем на 13 см, границы перехода между горизонтами стали размытыми. Процентное содержание гумуса в орошаемых почвах падает по сравнению с залежью, поскольку при орошении происходит усиленная минерализация органического вещества, а также его перераспределение. В условиях орошения происходит заметное увеличение гидrolитической кислотности, что связано с явлением декарбонатизации.

Выявлено, что максимальное количество Ni отмечается в верхнем горизонте орошаемых черноземов за счет регулярного поступления металла с поливными водами.

Что касается профильного распределения валового содержания Ni, то отмечается два максимума: первый – в верхнем горизонте, за счет образования прочных органоминеральных комплексных соединений никеля с органическим веществом и второй – на уровне залегания почвообразующих пород, минералогический состав которых характеризуется наличием никелесодержащих минералов. Кривая профильного распределения обменной формы Ni имеет аккумулятивный характер с максимумом содержания в верхнем слое и постепенным снижением с глубиной. Степень подвижности металла невелика.

Валовое содержание Ni и его обменные соединения во всех изученных черноземах не превышает ПДК, установленных для черноземных почв. Целесообразно проводить регулярный контроль содержания металла в поливной воде и почвенном покрове орошаемого участка, поскольку достаточно высокое содержание Ni в поливной воде может приводить к его накоплению в исследуемых почвах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бородычев В.В., Дубенок Н.Н., Новиков А.Е., Коновалова Г.В.* Особенности агротехники зерновой кукурузы на орошаемых землях нижнего Поволжья // Плодородие. 2016. №1. С. 35-37.

2. *Кирейчева Л.В., Карпенко Н.П.* Оценка эффективности оросительных мелиораций в зональном ряду почв // Почвоведение. 2015. №5. С. 587-596. DOI: 10.7868/S0032180X15030065

3. *Соколова Т.А., Трофимов С.Я.* Сорбционные свойства почв. Адсорбция. Катионный обмен: учебное пособие по некоторым главам химии почв. Тула: Гриф и К, 2009. 172 с.

4. *Стома Г.В., Розов С.Ю., Суханова Н.И.* Использование показателей цветности гумусовых горизонтов в качестве индикаторов эволюционного изменения степных почв Заволжья при орошении // Почвоведение. 2015. №5. С. 515-526. DOI: 10.7868/S0032180X1505010X

5. *Шевырев Л.Т., Савко А.Д., Шишов А.В.* Эволюция тектонической структуры Воронежской антеклизы и ее эндогенный рудогенез. Воронеж: ВГУ, 2004. 191 с.

6. *Щеглов Д.И., Громовик А.И., Горбунова Н.С.* Основы химического анализа почв. Воронеж: Изд-во ИПЦ ВГУ, 2019. 281 с.

7. *Щедрин В.Н.* Влияние регулярного и циклического видов орошения на почвенное плодородие и продуктивность чернозема обыкновенного Азовской оросительной системы // Почвоведение. 2016. №2. С. 249-256. DOI: 10.7868/S0032180X16020118

8. *Bauer T., Pinski D., Minkina T., Nevidomskaya D., Mandzhiyeva S., Burachevskaya M., Chaplygin V., Popileshko Ya.* Time effect on the stabilization of technogenic copper compounds in solid phases of Haplic Chernozem // Science of the Total Environment. 2018. V. 626. P. 1100-1107. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.134

9. *Kabata-Pendias A.* Trace Elements in Soils and Plants. 4<sup>th</sup> Edition. Boca Raton, FL: Crc Press, 2010. 548 p.

### REFERENCES

1. *Borodychev V.V., Dubenok N.N., Novikov A.E., Konovalova G.V.* Features agricultural corn on the irrigated lands of the lower Volga. Soil fertility. 2016. 1: 35-37. [in Russian]

2. Kireycheva L.V., Karpenko N.P. Evaluation of the effectiveness of irrigation amelioration in the zonal series of soils. *Soil science*. 2015. 5: 587-596. [in Russian] DOI: 10.7868/S0032180X15030065

3. Sokolova T.A., Trofimov S.Ya. Sorption properties of soils. Adsorption. Cationic exchange: a textbook on some chapters of soil chemistry. Tula: Grif i K, 2009. 172 p.

4. Stoma G.V., Rozov S.Yu., Sukhanova N.I. Using the indicators of the color of the humus horizons as indicators of the evolutionary change in the steppe soils of the Trans-Volga region during irrigation. *Soil Science*. 2015. 5: 515-526. [in Russian] DOI: 10.7868/S0032180X1505010X

5. Shevyrev L.T., Savko A.D., Shishov A.V. The evolution of the tectonic structure of the Voronezh anteclise and its endogenous ore genesis. Voronezh: VSU, 2004. 191 p. [in Russian]

6. Scheglov D.I., Gromovik A.I., Gorbunova N.S. Basics of soil chemical analysis. Voronezh: Publishing house of the CPI of the Voronezh State University, 2019. 281 p. [in Russian]

7. Schedrin V.N. Influence of regular and cyclic types of irrigation on soil fertility and productivity of the black soil of the Azov irrigation system, ordinary soil. *Soil Science*. 2016. 2: 249-256. [in Russian] DOI: 10.7868/S0032180X16020118

8. Bauer T., Pinskii D., Minkina T., Nevidomskaya D., Mandzhieva S., Burachevskaya M., Chaplygin V., Popileshko Ya. Time effect on the stabilization of technogenic copper compounds in solid phases of Haplic Chernozem. *Science of the Total Environment*. 2018. 626: 1100-1107. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.134

9. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4<sup>th</sup> Edition. Boca Raton, FL: Crc Press, 2010. 548 p.

**Gorbunova N.S., Gromovik A.I., Kulikova E.V., Kulikov Yu.A. Possibility of the secondary contamination of chernozem soils leached with nickel in the result of irrigation amelioration // Works of the State Nikit. Botan. Gard. – 2019. – Vol.148. – P. 145-162**

**Abstract. Aim.** The effect of irrigation on the properties of leached chernozem, as well as on the possibility of secondary soil contamination with nickel (Ni), was studied. An important geochemical feature of the region in which the study was conducted is the enrichment of the soil-forming rocks Ni. As is well known, soil-forming rocks have a direct impact on the chemical composition of soils and water, and indirectly on the content of an element in living organisms. **Methods.** In order to determine the possible contamination of the soil by Ni as a result of irrigation with natural waters containing this element in large quantities, the main chemical and physico-chemical indicators of the studied chernozems were studied in detail. The gross content and profile distribution of Ni, as well as its exchange compounds in leached chernozem heavy loamy, intensively used in irrigated agriculture, have been determined. The obtained data were compared with indicators obtained in similar soils located on the deposit (background areas). **Results.** It is shown that under conditions of irrigation in chernozem there is a decrease in the percentage of humus and an increase in the capacity of the humus profile. In irrigated soils there is a decrease in pH and an increase in hydrolytic acidity. It was revealed that the maximum Ni content is noted in the upper horizon of irrigated black soil. Down the profile, a gradual decrease in the metal content occurs, and in the soil-forming rock, there is a second maximum in the profile distribution of Ni. This phenomenon is associated with the enrichment of soil-forming rocks element. **Main conclusions.** The obtained data on the gross content of Ni and its exchange compounds do not exceed the MPC adopted for black earth soils. Prolonged irrigation does not lead to contamination of leached Ni chernozem, but the soils and irrigation waters need constant monitoring.

**Key words:** heavy metals; biogeochemical features of nickel; gross nickel content; nickel exchange forms; motility percentage; transformation of chernozem; maximum permissible concentrations