

Н.Б. Зуева<sup>1,2\*</sup>, Л.Д. Жлоба<sup>1</sup>, К.К. Кунанбаев<sup>1</sup>, Н.А. Поползухина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева», п. Научный, Казахстан

<sup>2</sup>ФГБУ «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», г.Омск, Россия

\*Автор для корреспонденции: kotvic@bk.ru

## Экологическая оценка состояния пахотного слоя разных типов почв Северного Казахстана при использовании технологии No-till

**Аннотация.** В статье представлены результаты оценки пахотного горизонта разных типов почв Северного Казахстана по содержанию валовых форм меди, цинка и кадмия. Проведен расчёт экологического показателя суммарного загрязнения и дана экологическая оценка состояния почв.

Исследования проводились на черноземе обыкновенном, южно-карбонатном и каштановых почвах при многолетнем применении технологии No-till. По извлекаемым 5М раствором азотной кислоты валовым формам тяжелых металлов производили расчет суммарного загрязнения почв. Проведенная экологическая оценка состояния пахотного слоя при использовании технологии No-till показала допустимую оценку показателя загрязнённости почв для сельскохозяйственного использования на обыкновенном и южно-карбонатном черноземе. Исследования, проведенные на каштановых почвах, выявили I и II степени загрязнённости. Необходимы периодический мониторинг и учет поступления тяжелых металлов в эти почвы.

**Ключевые слова:** почва, медь, кадмий, цинк, показатель Саета, суммарный показатель загрязнения.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2022-138-1-45-52>

### Введение

Сельскохозяйственные системы должны снабжать едой растущее население мира, одновременно способствуя уменьшению выбросов парниковых газов. Почвенное земледелие с минимальным нарушением почвенного покрова, особенно нулевая технология, постоянный (бессменный) посев культур (сельскохозяйственных или покровных) и использование в севообороте диверсифицированных культур - все это эффективный способ уменьшения риска эрозии почвы и улучшения ее качества при обеспечении продовольственной безопасности [1].

В последнее время серьезную озабоченность вызывает загрязнение поверхностных отложений в результате различных видов антропогенной деятельности. Эти тяжелые металлы имеют типичные характеристики стойкости и таким образом не ухудшаются и не разлагаются со временем, что делает их токсичными, когда концентрации превышают допустимые пределы [2].

Загрязнение почв тяжелыми металлами вызывает большую озабоченность в связи с их биодоступностью, биоаккумуляцией, токсичностью и неспособностью к деградации. Исследования показали, что чрезмерное воздействие загрязненных почв может вызвать токсическое воздействие на биологические организмы, такие как растения и животные, особенно там, где отсутствует строгое применение законодательства об охране окружающей среды. Неблагоприятные последствия для здоровья человека, связанные с воздействием этих отдельных токсичных металлов или их смесей, включают рак, проблемы с печенью, неврологические, гематологические, эндокринные и репродуктивные расстройства и почечную недостаточность [3,4].

Цель исследования - изучить влияние технологии No-till на валовое содержание меди, цинка и кадмия на разных почвах Северного Казахстана и рассчитать экологический показатель суммарного загрязнения.

### Методика исследования

Исследования по экологической оценке почвы проводились в 2019 г. на производственных полях ТОО «Central Feedlot», ТОО «TreeA-ТриА» и ТОО «НПЦ ЗХ им А.И. Бараева» при многолетнем применении технологии No-Till. Отбор почвенных проб проведен в слое 0-20 см.

Исходная агрохимическая характеристика полей ТОО «Central Feedlot»: почвенный покров представлен каштановыми почвами (Карагандинская область), содержание органического вещества – 1,33-4,95 %, нитратов 7,1-22,1 мг/кг, подвижных форм фосфора (по Мачигину) – 62,3-288,2 мг/кг и обменного калия – 145 – 541 мг/кг.

Исходная агрохимическая характеристика полей ТОО «TreeA-ТриА»: чернозем обыкновенный (Акмолинская область, Аккольский район) содержание органического вещества – 1,95-3,24 %, нитратов 6,7- 16,4 мг/кг, подвижных форм фосфора (по Мачигину) – 5,2 - 24,8 мг/кг и обменного калия – 271 – 509 мг/кг.

Исходная агрохимическая характеристика полей ТОО «НПЦ ЗХ им А.И. Бараева»: чернозем южно-карбонатный (Акмолинская область, Шортандинский район) содержание органического вещества – 3,45 – 3,67 %, нитратов 17,5 – 77,4 мг/кг, подвижных форм фосфора (по Мачигину) – 32,6 - 44,9мг/кг и обменного калия – 646 - 693 мг/кг.

Исследования выполнены на базе лаборатории почвенно-агрохимических исследований ТОО «НПЦ ЗХ им А.И. Бараева». Определение валовых форм меди, цинка и кадмия (экстрагент 5М раствор азотной кислоты) осуществляли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре Varian AA-140. В качестве исходных показателей использовали значение кларка почвы.

Практически все рассматриваемые формулы основаны на коэффициенте концентрации  $K_k$  каждого из элементов относительно фона. Во многих случаях геохимии применяют показатель Саета ( $Z_c$ ) (1), величина которого отличается по классам опасности, по мнению Саега Ю.Е. и др., и в нем считается количество участвующих элементов-поллютантов ( $n$ ) [5,6].

$$Z_c = \sum K_{ki} - (n - 1) \quad (1)$$

Критические значения, дающие характеристику почв для сельскохозяйственного использования с суммарным загрязнением  $Z_c$  по степени опасности [7], представлены в таблице 1.

Таблица 1

#### Принципиальная схема оценки почв сельскохозяйственного использования по степени загрязнения химическими веществами

Вид почв по степени загрязнения		Суммарный показатель загрязнения, $Z_c$	Потенциальное применение почв
I	Допустимая	Менее 16,0	Можно использовать под любыми культурами.
II	Умеренно опасная	16,1 – 32,0	Можно использовать под любыми культурами, если проводить контроль качества растениеводческой продукции.

III	Высоко опасная	32,1 – 128,0	Можно использовать под культурами без производства из них продуктов питания и кормов, в которых могут содержаться химические вещества выше ПДК. Не использовать растения-концентраторы вредных веществ.
IV	Чрезвычайно опасная	Более 128,1	Вывести из сельскохозяйственной эксплуатации.

Внеся поправочный коэффициент на токсичность, рассчитывали экологический показатель суммарного загрязнения ( $Z_{ct}$ ) по формуле (2):

$$Z_{ct} = \sum(K_{ki} * K_{ti}) - (n - 1) \quad (2)$$

где  $K_{ti}$ - коэффициент токсичности  $i$ -того элемента. Значение коэффициентов токсичности элементов и классы опасности представлены в таблице 2.

Предназначение коэффициента  $K_{ti}$  заключается в необходимости сохранить шкалу критических суммарных показателей  $Z_c$ , предложенную Ю.Е.

Таблица 2

#### Классы опасности тяжелых металлов и коэффициенты токсичности $K_t$

Класс опасности	$K_t$	Химические элементы
1	1,5	As, Cd, Hg, Pb, Zn, Cr
2	1,0	Co, Ni, Mo, Cu, Sb
3	0,5	Ba, V, W, Mn, Sr

Математическая обработка данных проводилась методами дисперсионного анализа, корреляции и регрессии по Б.А. Доспехову (1985) на персональном компьютере.

#### Результаты исследования

Результаты анализа по определению содержания меди, кадмия и цинка в исследуемых почвах с применением No-till представлены в таблице 3.

Таблица 3

Содержание валовых форм тяжелых металлов на разных типах почв, коэффициенты концентрации, показатель Саета и экологический показатель суммарного загрязнения с учетом токсичности при использовании технологии No-till, 2021 г., в слое 0-20 см, мг/кг

Поле, №	Cu	Cd	Zn	$Kk_{Cu}$	$Kk_{Cd}$	$Kk_{Zn}$	Zc	Zct
ТОО «Central Feedlot» (каштановые почвы)								
027-210	14,16	2,02	49,34	0,71	12,6	0,91	12,3	19,0
118-216	16,54	2,18	68,02	0,83	13,5	1,26	13,6	21,0
118-217	17,28	2,33	59,32	0,86	14,6	1,10	14,6	22,4
118-045	14,43	2,35	27,81	0,72	14,7	0,52	13,9	21,8
118-046	19,06	2,16	49,74	0,95	13,5	0,92	13,4	20,6
166-494	7,78	0,72	111,46	0,27	5,31	1,78	5,36	8,91
027-213	5,38	0,85	95,95	0,66	4,19	1,88	4,73	7,77
027-211	13,10	0,67	101,78	0,42	5,56	3,09	7,07	11,4
027-209	8,38	0,89	167,10	0,32	4,13	1,27	3,72	6,43
<i>Klark</i>	20,0	0,16	54,0	-	-	-	-	-
ТОО «TreeA-ТриА» (чернозем обыкновенный)								
1	6,33	0,78	105,45	0,25	3,25	1,55	3,05	5,46
2	7,43	0,85	107,60	0,30	3,54	1,58	3,42	5,98
3	10,48	0,83	78,48	0,42	3,46	1,15	3,03	5,33
4	10,93	0,77	86,89	0,44	3,21	1,28	2,93	5,17
5	10,53	0,85	90,58	0,42	3,54	1,33	3,29	5,73
6	8,78	0,83	117,95	0,35	3,46	1,73	3,54	6,14
7	10,58	1,04	99,63	0,42	4,33	1,47	4,22	7,13
8	9,13	0,43	107,38	0,37	1,79	1,58	1,74	3,43
ТОО «НПЦ ЗХ им. А.И. Бараева» (чернозем южно-карбонатный)								
11 пшеница	17,97	1,55	75,83	0,72	6,46	1,12	6,30	10,09
8 ячмень	12,42	1,27	38,54	0,50	5,17	0,57	4,24	7,12
<i>Klark</i>	18,0	0,24	37,0				-	-

Содержание металлов, особенно Cd и Zn, превышало значения кларка этих металлов в почве. Содержание меди на всех исследуемых почвах было меньше значения кларка и для каштановых почв составило 20 мг/кг, для черноземов - 18,0 мг/кг. Необходимо отметить, что на поле № 11 ТОО «НПЦ ЗХ им. А.И. Бараева» содержание меди (17,97 мг/кг) приближалось к его фоновому значению.

По результатам экологической оценки почвы было установлено, что на полях 027-210, 118-045 и 118-046 ТОО «Central Feedlot» содержание валовых форм цинка составило 27,81-49,74 мг/кг и не превышало значения кларка, характерного для каштановых почв (54,0 мг/к). Отметим, что на полях 166-494, 118-216, 118-217, 027-209, 027-211 и 027-213 этого же хозяйства содержание Zn превысило фоновое значение и составило 95,95-167,10 мг/кг. Наибольшее содержание цинка было отмечено на поле 027-211, которое составило 167,10 мг/кг, превысив фоновое значение в 3 раза.

Исследование показало, что на черноземе южно-карбонатном содержание цинка на полях ТОО «НПЦ ЗХ им. А.И. Бараева» было равным 75,83 и 38,54 мг/кг, что было выше уровня кларка, характерного для черноземов (37,0 мг/кг); на поле №11 - в 2 раза, и на поле №8 - в 1,5 раза. На черноземе обыкновенном (поля ТОО «TreeA-ТриА») при многолетнем применении технологии No-till содержание цинка в почве составило 78,4-117,95, что было выше фоновое значения в 2-3 раза.

Одним из наиболее токсичных тяжёлых металлов для живого организма в почве является кадмий [8]. Даже в ничтожно малых количествах он не участвует ни в одном из известных биохимических процессов в организме животных и растений [9].

На черноземе обыкновенном содержание кадмия в почве превышало фоновое значение (0,24 мг/кг), но по валовому содержанию элемента в пахотном слое почвы изученные поля мало различались. Отметим наименьшее содержания элемента на поле №8 ТОО «TreeA-ТриА», которое составило 0,43 мг/кг, и наибольшее его содержание - на поле №7 (1,04 мг/кг). На черноземе южно-карбонатном выявлено накопление кадмия в почве в сравнении с фоновым содержанием на поле №11 и №8 ТОО «НПЦ ЗХ им. А.И. Бараева». Так как черноземы южно-карбонатные характеризуются слабощелочной средой, соединения меди, кадмия и цинка, согласно системе Глазовской (1997), в этой среде слабоподвижные, но активно накапливаются. Превышение значения кларка по содержанию кадмия (0,66-2,35 мг/кг) было отмечено на каштановых почвах (поля ТОО «Central Feedlot»).

Расчет показателя суммарной загрязненности почв с учетом токсичности (менее 16,0) выявил допустимый уровень загрязнения (для почв сельскохозяйственного использования) на южных и обыкновенных черноземах при использовании технологии No-Till.

Показатель Саета на поле №11 под посевами пшеницы (ТОО «НПЦ ЗХ Им. А.И. Бараева») составил 6,30, что было обусловлено превышением содержания кадмия и цинка выше значения кларка, а также повышенным значением коэффициентов концентрации, которые составили 6,46 и 1,12 соответственно. На поле № 8 экологический показатель суммарного загрязнения почвы с учетом токсичности элемента составил 7,12, что было связано как с превышением содержания валовых соединений кадмия выше уровня кларка, так и с высоким коэффициентом токсичности ( $K_t=1,5$ ).

Результаты расчетов показали, что на полях ТОО «TreeA-ТриА» экологический показатель суммарного загрязнения почв составил 3,43-7,13, что соответствует I категории по степени загрязненности и является допустимым. Максимальное значение показателя Саета - 4,22 было отмечено на поле №7.

На каштановых почвах (поля 027-210, 118-216, 118-217, 118 – 045 и 118-046) ТОО «Central Feedlot» показатели Саета составили 9,66-11,54, что позволяет отнести их к I категории по степени загрязненности. Значение экологического показателя суммарного загрязнения с учетом токсичности элемента составило 19,0-22,4, что характеризует почвы как умеренно опасные (II категория), в этой ситуации необходимо осуществление постоянного контроля за содержанием доступных для растений форм кадмия и цинка.

### Заключение

Таким образом, проведенная экологическая оценка состояния пахотного слоя при использовании технологии No-till показала допустимую оценку показателя загрязненности почв для сельскохозяйственного использования на обыкновенном и южно-карбонатном черноземе. Исследования, проведенные на каштановых почвах, выявили I и II степени их загрязненности. Необходим периодический мониторинг и учет поступления тяжелых металлов в эти почвы.

### Список литературы

1. Fan J. et al. Rotational benefit of pulse crop with no-till increase over time in a semiarid climate // *European Journal of Agronomy*. – 2020. – Vol. 121(126155). – P. 1-11.
2. Dash S. et al. Heavy metal pollution and potential ecological risk assessment for surficial sediments of Deepor Beel, India // *Ecological Indicators*. – 2021. – Vol. 122(107265). – P.1-15.

3. Adedej O.H. et al. Assessing spatial distribution, potential ecological and human health risks of soil heavy metals contamination around a Trailer Park in Nigeria// Scientific African. – 2020. – Vol. 10 (e00650). – P.1-14.
4. Унканжинов Г.Д. Эколого-токсикологическая оценка состояния пахотных почв Республики Калмыкия //Агрехимический вестник. – 2012. – №6. – С. 10-12.
5. Сает Ю.Е. Геохимия окружающей среды. – Москва: Недра, 1990. – 335 с.
6. Сает Ю.Е. Геохимические принципы выявления зон воздействия промышленных выбросов в городских агломерациях // Ландшафтно-геохимическое районирование и охрана среды. – Москва: Мысль, 1983. – 97 с.
7. Кузнецов А.В. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – Москва: ЦИНАО, 1992. – 27-28 с.
8. Лукин С.В. Накопление кадмия в сельскохозяйственных культурах в зависимости от уровня загрязнения почвы // Агрехимия. – 2000. – № 2. – С. 73.
9. Минеев В.Г. Агрехимия. – Москва: МГУ, 1990. – 486 с.

**Н.Б. Зуева<sup>1,2</sup>, Л.Д. Жлоба<sup>1</sup>, К.К. Кунанбаев<sup>1</sup>, Н.А. Поползухина<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ЖШС «А.И. Бараев атындағы астық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы», Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>2</sup>ФГБУ «П.А. Столыпин атындағы Омбы мемлекеттік аграрлық университеті», Омбы, Ресей

### **Солтүстік Қазақстанның әртүрлі топырақ түрлерінде No-till технологиясын қолдану барысында өңделетін қабаттың жағдайын экологиялық бағалау**

**Аңдатпа.** Мақалада Солтүстік Қазақстанның әр түрлі топырақ түрлерінің өңделетін горизонтында мыс, мырыш және кадмийдің жалпы мөлшері бойынша баға беру нәтижелері берілген. Жалпы ластанудың экологиялық көрсеткіші есептелді және топырақтың жағдайына экологиялық баға берілді.

No-till технологиясын көп жылдары қолданып жатқан кәдімгі қара, оңтүстік карбонатты қара және қоныр топырақтарда зерттеулер жүргізілді. 5М азот қышқылы ерітіндісімен бөлініп алынатын ауыр металдардың жалпы формалары бойынша топырақтың жиынтық ластануын есептедік. No-till технологиясын қолдану барысында өңделетін қабаттың жағдайы бойынша жүргізілген экологиялық бағалау ауыл шаруашылығында пайдалану үшін кәдімгі қара топырақта және оңтүстік карбонатты қара топырақта топырақтың ластану көрсеткішінің рұқсат етілген бағасын көрсетті. Қоныр топырақтарда жүргізілген зерттеулер ластанудың I және II дәрежесін анықтады. Осы топырақтарға ауыр металдардың түсуін мерзімді бақылау және есеп жасау керек.

**Түйін сөздер:** топырақ, мыс, кадмий, мырыш, Сает көрсеткіші, ластанудың жиынтық көрсеткіші.

N.B. Zueva<sup>1,2</sup>, L.D. Zhloba<sup>1</sup>, K.K. Kunanbayev<sup>1</sup>, N.A. Popolzuxinana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>A.I. Barayev research and production center for grain farming, Nauchnyj, Kazakhstan

<sup>2</sup>Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia

### Ecological assessment of the condition of the arable layer with the No-till technology on different types of soils of Northern Kazakhstan

**Abstract.** The article presents the results of the assessment of the arable horizon of different types of soils of Northern Kazakhstan on the content of gross forms of copper, zinc, and cadmium. The authors carried out a calculation of the ecological indicator of total pollution. The article considers an ecological assessment of the soil condition.

The studies were carried out on ordinary chernozem, southern carbonate, and chestnut soils with the long-term use of No-till technology. According to the gross forms of heavy metals extracted with a 5 M solution of nitric acid, there was calculated the total soil pollution. The conducted ecological assessment of the state of the arable layer using No-till technology showed an acceptable assessment of the soil contamination index for agricultural use on ordinary and southern carbonate chernozem. Studies conducted on chestnut soils revealed I and II degrees of contamination. Periodic monitoring and accounting of the intake of heavy metals into these soils would be required.

**Keywords:** soils, total form, copper, cadmium, zinc, Sayetha's indicator, total pollution indicator.

### References

1. Fan J. et al. Rotational benefit of pulse crop with no-till increase over time in a semiarid climate, *European Journal of Agronomy*, 121(126155), 1-11 (2020).
2. Dash S. et al. Heavy metal pollution and potential ecological risk assessment for surficial sediments of Deepor Beel, India, *Ecological Indicators*, 122(107265), 1-15 (2021).
3. Adedej O.H. et al. Assessing spatial distribution, potential ecological and human health risks of soil heavy metals contamination around a Trailer Park in Nigeria, *Scientific African*, 10 (e00650), 1-14 (2020).
4. Unkanzhinov G.D. Ekologo-toksilogicheskaya ocenka sostoyaniya pahotnyh pochv Respubliki Kalmykiya, *Agrohimicheskij vestnik* [Ecological and toxicological assessment of arable soil of the Republic of Kalmykia, *Agrochemical Bulletin*], 6, 10-12 (2012). [in Russian]
5. Saet YU.E. Geohimiya okruzhayushchej sredy [Environmental Geochemistry]. (Moskva, Nedra, 1990, 335 s.) [Moscow, Nedra, 1990, 335 p.]. [in Russian]
6. Saet YU.E. Geohimicheskie principy vyyavleniya zon vozdejstviya promyshlennyh vybrosov v gorodskih aglomeracijah, *Landshaftno-geohimicheskoe rajonirovanie i ohrana sredy* [] (Moskva, Mysl', 1983, 97 s.) [Moscow, Mysl', 1983, 97 p.]. [in Russian]
7. Kuznecov A.V. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu tyazhellyh metallov v pochvah sel'hozogodij i produkcii rastenievodstva [Guidelines for the determination of heavy metals in farmland soils and crop production] (Moskva, CINAО, 1992, 27-28 s.) [Moscow, CINAО, 1992, 27-28 p.]. [in Russian]
8. Lukin S.V. Nakoplenie kadmiya v sel'skohozyajstvennyh kul'turah v zavisimosti ot urovnya zagryazneniya pochvy, *Agrohimiya* [The accumulation of cadmium in crops, depending on the level of soil contamination, *Agrochemistry*], 2, 73 (2000). [in Russian]
9. Mineev V.G. *Agrohimiya* [Agrochemistry] (Moskva, MGU, 1990, 486 s.) [Moscow, MGU, 1990, 486 p.]. [in Russian]

**Сведения об авторах:**

**Зуева Н.Б.** – научный сотрудник ТОО «Научно-производственный центр им А.И. Бараева», аспирант ФГБУ «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», ул. Бараева 15, п. Научный, Казахстан.

**Жлоба Л.Д.** – научный сотрудник ТОО «Научно-производственный центр им А.И. Бараева», ул. Бараева 15, п. Научный, Казахстан.

**Кунанбаев К.К.** – заведующий отделом ТОО «Научно-производственный центр им А.И. Бараева», ул. Бараева 15, п. Научный, Казахстан.

**Поползухина Н.А.** – профессор кафедры экологии, природопользования и биологии ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина», Институтская площадь 1, г. Омск, Россия.

**Zueva N.B.** – Research associate of A.I. Barayev research and production center for grain farming, postgraduate student of Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 15 Barayev str., Nauchnyj village, Kazakhstan.

**Zhloba L.D.** – Researcher at A.I. Barayev research and production center for grain farming, 15 Barayev str., Nauchnyj village, Kazakhstan.

**Kunanbayev K.K.** – Head of the Department of A.I. Barayev research and production center for grain farming, 15 Barayev str., Nauchnyj village, Kazakhstan.

**Popolzukhina N.A.** – Head of the Department of Ecology, Nature Management and Biology of the Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Institutskaya Square 1, Omsk, Russia.