

ЭКОЛОГО-АГРОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОБАЛЬТА В ПОЧВАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В.И. Панасин, д.с.-х.н., А.Ю. Шатохин, Д.А. Рымаренко, к.б.н., ЦАС «Калининградский»

Приведены фундаментальные многолетние данные по содержанию кобальта в разных типах почв, показана его связь с гранулометрическим составом, кислотно-основными свойствами почв, количественными и качественными характеристиками гумуса, а также в зависимости от вида угодья.

Ключевые слова: подвижный кобальт, корреляционные связи, гумусовые вещества, кислотно-основные свойства, геохимические ассоциации.

Необходимое условие получения стабильных урожаев сельскохозяйственных культур - обеспечение растений всем спектром эссенциальных химических элементов. Научно обоснованная система применения удобрений основывается на потребностях культурных растений, а также на знании закономерностей содержания доступных форм химических элементов в корнеобитаемых горизонтах почвенного профиля, так как почва служит основным донатором элементов минерального питания для живых организмов.

Из множества биогенных элементов кобальт - один из важнейших микроэлементов для всех компонентов трофической цепи. В растениях кобальт существует в форме витамина В₁₂, кобамидных коферментов и двухвалентных катионов [1, 2], при этом каждая форма имеет свои специфические физиологические функции [3, 4]. Установлена необходимость кобальта для фиксации атмосферного азота как симбиотическими, так и свободноживущими микроорганизмами [1-3]. Многочисленными исследованиями выявлено существенное влияние недостатка или избытка кобальта в кормах и продуктах питания на продуктивность животных и здоровье человека [4-6].

Методика. Изучение закономерностей распространения кобальта в почвах Калининградской области проводится специалистами Центра агрохимической службы «Калининградский» с 1967 г. За этот период было заложено и исследовано более 700 полнопрофильных почвенных разрезов, отобрано и проанализировано свыше 30 тыс. почвенных образцов. Для детального изучения динамики содержания химических элементов заложено 15 площадок локального агроэкологического мониторинга, с которых ежегодно отбирали почвенные образцы по ГОСТ 28168-89. Валовое содержание кобальта определяли согласно Методическим указаниям по содержанию тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства, подвижные формы – по Пейве и Ринькису в модификации ЦИНАО. Анализ почвенных образцов на другие агрохимические показатели проводили по стандартным

гостирующим методикам, принятым в агрохимической службе, групповой и фракционный состав гумуса – по методу Пономаревой и Плотниковой. Статистическую обработку результатов осуществляли с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. Содержание большинства микроэлементов, в том числе кобальта, в гумусово-аккумулятивных горизонтах почв в известной мере определяется их концентрацией в почвообразующих породах [6-9]. В регионе преобладают породы ледникового генезиса – морена Валдайского оледенения и продукты ее размыта, сортировки и переотложения [9, 10]. Средневзвешенное валовое содержание кобальта в почвообразующих породах Калининградской области составляет 6,4±0,9 мг/кг. По валовому содержанию кобальта почвообразующие породы области располагаются в следующий убывающий ряд: водно-ледниковые безвалунные глины > водно-ледниковые безвалунные пылеватые суглинки > моренные валунные суглинки > моренные валунные супеси > озерно-ледниковые безвалунные пески > древнеаллювиальные сортированные пески [10, 11].

Учитывая отсутствие в почвообразующих породах области минералов-носителей кобальта, Со относится к рассеянным элементам с незначительными колебаниями его концентрации в породах. В условиях характерного для глееватых и глеевых почв контрастного окислительно-восстановительного режима возможно накопление кобальта в орштейнах [12]. Кроме того, кобальт концентрируется на сорбционном и карбонатном геохимических барьерах [11].

На содержание кобальта в гумусово-аккумулятивных горизонтах почв сельскохозяйственных угодий, кроме концентрации элемента в почвообразующих породах, оказывают влияние естественные почвообразовательные процессы и хозяйственная деятельность человека. Корреляционная зависимость ($r \pm Sr$) между содержанием кобальта в аккумулятивных горизонтах почв и почвообразующих породах приведена ниже.

Почвы	$r \pm Sr$
Дерново-подзолистые	0,53±0,03
Дерновые глееватые и глеевые	0,44±0,02
Аллювиальные	0,61±0,04

Осушаемые торфяные	0,70±0,04
--------------------	-----------

Таким образом, генезис и минералогический состав почвообразующих пород в некоторой степени влияют на содержание кобальта в почвах, однако в дерново-подзолистых, дерновых и аллювиальных почвах роль почвообразовательных процессов достаточно существенна.

Региональные особенности сочетания факторов почвообразования, направленность и интенсивность почвообразовательных процессов и влияние антропогенного фактора на почвы агроландшафтов Калининградской области достаточно подробно описаны в литературе [9, 11-15]. Изучение закономерностей аккумуляции подвижного кобальта в почвах стран Балтии показало, что его содержание определяется материнскими породами, направленностью почвообразовательных процессов и концентрацией тонкодисперсных фракций в гумусовых горизонтах [16, 17]. Наши исследования подтверждают эти выводы (табл. 1).

1. Содержание подвижного кобальта в гумусовом горизонте основных типов почв Калининградской области, мг/кг

Гранулометрический состав почв	Почва		
	дерново-подзолистая	дерновая	аллювиальная
Песчаный	0,60	0,46	0,77
Супесчаный	0,62	0,68	0,73
Легкосуглинистый	0,69	0,70	0,76
Среднесуглинистый	0,77	0,80	0,96
Тяжелосуглинистый	0,82	0,83	0,97
Глинистый	0,88	0,86	-
Среднее по типу	0,72	0,77	0,84

Аллювиальные почвы, как правило, обогащены подвижным кобальтом по сравнению с дерново-подзолистыми аналогичного гранулометрического состава вследствие выраженной гидрогенной и механической аккумуляции элемента. Дерновые оглеенные почвы занимают промежуточное положение.

У минеральных почв прослеживается характерная для большинства химических элементов тенденция – с ростом содержания физической глины концентрация подвижного кобальта в аккумулятивных горизонтах увеличивается. В дерновых почвах связь между этими показателями выше, чем в аллювиальных и дерново-подзолистых (табл. 2).

2. Корреляционная связь ($r \pm Sr$) между содержанием частиц физической глины и кобальта в гумусовых горизонтах почв

[9, 11]

Почва	Валовой кобальт		Подвижный кобальт	
	n	$r \pm Sr$	n	$r \pm Sr$
Дерново-подзолистая	360	0,53±0,02	2218	0,58±0,02
Дерновая	120	0,72±0,06	757	0,63±0,03
Аллювиальная	112	0,55±0,08	345	0,42±0,06

Относительно невысокие коэффициенты корреляции показывают, что кобальт адсорбируется преимущественно илистой и коллоидной фракциями. В аккумулятивных горизонтах определенная часть кобальта связана с органическим веществом, при этом прочность связи и миграционная способность кобальторганических соединений зависят от природы лигандов, количества в них гидрофильных групп, а также кислотно-основных свойств почвенного поглощающего комплекса и водно-воздушного режима. Связь между подвижностью кобальта и содержанием органического углерода неоднозначна (табл. 3).

3. Корреляционная связь между содержанием гумуса и кобальта ($r \pm Sr$), [9]

Почва	Кобальт	
	валовой	подвижный
Дерново-подзолистая	+0,39±0,02	+0,28±0,03
Дерновая	-0,90±0,01	+0,85±0,01
Аллювиальная	+0,58±0,02	+0,40±0,05

Приведенные данные, полагаем, могут свидетельствовать о различном механизме связывания кобальта в дерново-подзолистых и дерновых почвах. В первых прочность связи определяется величиной pH и фракционным составом гумусовых веществ. Установлено, что в нейтральных и близких к нейтральным дерново-подзолистым почвам по способности образовывать органоминеральные соединения со связанным в подвижной форме кобальтом гумусовые вещества составляют следующий ряд: гумин > гуминовые кислоты > фульвокислоты [11, 18]. Между относительным содержанием гумина и запасом подвижного кобальта наблюдается тесная прямая связь ($r = +0,83 \pm 0,08$). С увеличением глубины гумификации отмечается тенденция к возрастанию содержания подвижного кобальта ($r = +0,50 \pm 0,22$). Кобальт связывается с подвижными гумусовыми веществами, между долей гуминовых кислот и

подвижным кобальтом наблюдается прямая связь ($r = +0,63 \pm 0,16$). С подвижными фульвокислотами (фракции 1 + 1а) связь обратная ($r = -0,72 \pm 0,14$) вследствие миграции кобальт-фульватных комплексов в нижележащие горизонты почвенного профиля в условиях выраженного промывного режима.

В дерновых оглеенных почвах кобальт образует относительно легкоподвижные комплексы с гумусовыми веществами. Наблюдаются вынос кобальторганических соединений из верхних горизонтов и аккумуляция элемента на карбонатном и сорбционном геохимических барьерах.

В зависимости от направленности почвообразовательных процессов почвенная кислотность неоднозначно влияет на аккумуляцию подвижных соединений кобальта в верхних горизонтах почв (табл. 4).

4. Корреляционная связь ($r \pm Sr$) между почвенной кислотностью и содержанием подвижного кобальта

Почва	pH _{KCl}	Гидролитическая кислотность
Дерново-подзолистая	$+0,68 \pm 0,01$	$-0,33 \pm 0,02$
Дерновая глееватая и глеевая	$-0,64 \pm 0,02$	$+0,55 \pm 0,03$
Аллювиальная	$+0,41 \pm 0,05$	$-0,24 \pm 0,06$
Осушаемая торфяная низинная	$-0,56 \pm 0,04$	$+0,52 \pm 0,04$

В дерново-подзолистых почвах прямая зависимость между величиной pH и содержанием подвижного кобальта может быть связана, по нашему мнению, со снижением устойчивости органоминеральных соединений в кислой среде и замещением кобальта катионами алюминия и железа в комплексно-гетерополярных солях. При этом кобальт мигрирует в нижние горизонты профиля. Другой причиной является, по-видимому, дополнительное поступление кобальта с известковыми материалами. Обобщение широкомасштабной серии производственных опытов, проведенных сотрудниками ЦАС «Калининградский», показало, что с 1 т известняковой муки в среднем поступает 2,8 г кобальта, с 1 т сланцевой золы – 1 г, с 1 т фосфоритной муки – 30 г кобальта. Масштабы химической мелиорации почв сельскохозяйственных угодий в период интенсивной химизации земледелия были уже ранее описаны [15, 19].

В дерновых оглеенных почвах с увеличением кислотности возрастает подвижность соединений кобальта [3]. Кроме того, возможна обменная фиксация элемента железомарганцевыми новообразованиями [12].

Установлена достоверная прямая связь между суммой поглощенных оснований и содержанием подвижного кобальта ($r = 0,49 \pm 0,02$) [11]. Для дерново-подзолистых почв теснота связи несколько выше, чем для аллювиальных и дерновых. Прослеживается тенденция к возрастанию тесноты

связи между содержанием подвижного кобальта и суммой поглощенных оснований при увеличении количества органического вещества. Вероятно, это указывает на закрепление части кобальта в форме органоминеральных производных гуминовых кислот.

Установлена прямая связь между степенью насыщенности основаниями и подвижным кобальтом в дерново-подзолистых почвах ($r = 0,50$) [9], при этом теснота связи уменьшается с увеличением содержания органического вещества. Возможно, это связано с ростом емкости катионного обмена в высокогумусированных почвах.

Способ и интенсивность использования сельскохозяйственных угодий также оказывают влияние на аккумуляцию подвижного кобальта. Оценка обеспеченности почв по общепринятой для Нечерноземной зоны шкале по Пейве и Ринькису приведена в таблице 5.

5. Обеспеченность почв сельскохозяйственных угодий подвижным кобальтом

Вид угодья	Обеспеченность, %			
	низкая	средняя	оптимальная	высокая
Пашня	94,5	5,5	0,0	0,0
Сенокос	85,6	14,3	0,1	0,0
Пастбище	87,2	12,8	0,0	0,0
Все угодья	93,9	6,1	0,0	0,0

Пахотные почвы имеют несколько больший дефицит кобальта по сравнению с почвами сенокосов и пастбищ. Это связано как с большей долей бедных кобальтом дерново-подзолистых почв в составе пашни, так и со значительной разомкнутостью малого биологического круговорота кобальта вследствие некомпенсируемого выноса элемента с урожаем. Расширение посевных площадей под активно аккумулирующие кобальт культуры, в частности, озимый и яровой рапс, усугубляет дефицит этого элемента в земледелии региона и обуславливает актуальность повсеместного применения кобальтовых удобрений под них.

Анализ динамики запасов подвижного кобальта в почвах сельскохозяйственных угодий региона показал прирост среднего содержания Со в период интенсивной химизации земледелия (1975-1990 гг.) и существенное снижение его за последние 20 лет [11]. Изменение содержания подвижного кобальта на площадках локального мониторинга за 20 лет составило $-0,06 \pm 0,10$ мг/кг.

Таким образом, преобладающая часть почв сельскохозяйственных угодий региона имеет низкое содержание подвижного кобальта. Проведенный в конце прошлого века расчет показал, что ежегодная потребность региона в кобальтовых удобрениях составляет 0,7 т д.в. [20]. С

учетом снижения содержания и запасов подвижного кобальта в последние десятилетия, значительного сокращения объемов химической мелиорации почв и применения органических удобрений в настоящее время потребность области в кобальтовых удобрениях составляет приблизительно 1 т д.в. в год.

Широкомасштабные исследования, проведенные Центром агрохимической службы «Калининградский», показали высокую эффективность кобальтовых удобрений в земледелии области [9, 11]. Наиболее экономически целесообразным методом является предпосевная обработка семян раствором сульфата кобальта. Результаты многочисленных опытов с удобрениями показали, что оптимальной концентрацией раствора сульфата кобальта является 0,2% в пересчете на элемент. Расход раствора для обработки крупных семян (зерновые хлеба, кукуруза, однолетние бобовые культуры) составляет 2 л/ц семян, мелких (озимый и яровой рапс, многолетние травы) – 12, корнеплодов с нормой высева 0,04-0,4 ц/га – 7 л/ц семян.

Перспективный способ применения кобальта - некорневая обработка вегетирующих растений. Оптимальный срок опрыскивания – за 10-20 дней до начала цветения. Опрыскивают 0,1%-ным в пересчете на кобальт рабочим раствором, расход – 300 л/га.

Литература

1. *Шеуджен А.Х.* Биогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: Адыгея, 2003. – 1028 с.
2. *Школьник М.Я.* Микроэлементы в жизни растений / М.Я. Школьник. – Л.: Наука, 1974. – 324 с.
3. *Ягодин Б.А.* Кобальт в жизни растений / Б.А. Ягодин. – М.: Наука, 1970. – 343 с.
4. *Ягодин Б.А.* Агрохимия / Б.А. Ягодин, Ю.П. Жуков, В.И. Кобзаренко. – М.: Колос, 2002. – 584 с.
5. *Ягодин Б.А.* Тяжелые металлы и здоровье человека / Б.А. Ягодин // Химия в сельском хозяйстве. – 1996. - № 4. – С. 18-20.
6. *Протасова Н.А.* 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 / Н.А. Протасова, А.П. Щербаков. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2003. – 368 с.
7. *Добровольский В.В.* География микроэлементов. Глобальное рассеяние / В.В. Добровольский. – М.: Мысль, 1983. – 272 с.
8. *Ильин В.Б.* Тяжелые металлы в системе почва-растение / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.
9. *Панасин В.И.* Микроэлементы и урожай / В.И. Панасин. – Калининград: Калининградское кн. изд-во, 2000. – 276 с.
10. *Панасин В.И.* Распространение кобальта в почвах Калининградской области / В.И. Панасин, С.И. Новикова // Агрохимический вестник. – 2005. - № 5. – С. 6 – 8.

11. *Содержание и распространение кобальта в агроэкосистемах Калининградской области / В.И. Панасин, С.И. Новикова, Г.Г. Комовникова и др.* – Калининград: БГАРФ, 2007. – 219 с.
12. *Анциферова О.А.* Почвы Замландского полуострова и их антропогенное изменение. Часть II. Дерново-глеевые, аллювиальные, болотные, постпланировочные, городские почвы. Структура почвенного покрова / О.А. Анциферова. – Калининград: ФГОУ ВПО «КГТУ», 2008. – 424 с.
13. *Панасин В.И.* Гумус и плодородие почв Калининградской области / В.И. Панасин, Д.А. Рымаренко. – Калининград: Изд-во КГУ, 2004. – 220 с.
14. *Брысозовский И.И.* Справочник агронома по химизации сельского хозяйства / И.И. Брысозовский, Л.М. Григорович, В.И. Панасин. 2-е, доп. изд. по материалам науч.-исслед. работы в Калинингр. обл. – Калининград: ИП Мишуткина И.В., 2008. – 352 с.
15. *Панасин В.И.* Агрохимические основы известкования кислых почв Калининградской области. Часть 1 / В.И. Панасин, В.Д. Слобожанинова. – Калининград: Изд-во КГУ, 2003. – 145 с.
16. *Анспок П.И.* Микроудобрения: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. / П.И. Анспок. – Л.: Агропромиздат, 1990. – 272 с.
17. *Ринькис Г.Я.* Сбалансированное питание растений микроэлементами / Г.Я. Ринькис, В.Ф. Ноллендорф. – Рига: Зинатне, 1982. – 304 с.
18. *Новикова С.И.* Зависимость подвижного кобальта от группового и фракционного состава гумуса дерново-подзолистых почв / С.И. Новикова, Д.А. Рымаренко // Современные проблемы сельского хозяйства. – Калининград: КГТУ, 2002. – С. 125-130.
19. *Панасин В.И.* Анализ динамики кислотности почв сельскохозяйственных угодий Калининградской области / В.И. Панасин, Д.А. Рымаренко // Агрохимический вестник. – 2014. - № 5. – С. 15 – 18.
20. *Войтович Н.В.* Плодородие почв Нечерноземной зоны и его моделирование / Н.В. Войтович. – М.: Колос, 1997. – 388 с.

**ECOLOGICAL AND AGROCHEMICAL ASPECTS OF COBALT DISTRIBUTION IN THE SOILS OF AGRICULTURAL LANDS OF THE
KALININGRAD OBLAST**

***V.I. Panasin, A.Yu. Shatokhin, D.A. Rymarenko, Kaliningradsky Center of Agrochemical Service, ul. Molodoi Gvardii 2/4,
Kaliningrad, 236038 Russia, E-mail: agrohim_39@mail.ru***

Long-term data on the content of cobalt in different soil types are presented, and the relationships of the metal with the particle size distribution, acid–base properties, quantitative and qualitative humus parameters, and land use are shown.

Keywords: mobile cobalt, correlations, humic substances, acid–base properties, soil absorption complex, geochemical associations.