

СВОЙСТВА ПОЧВ И ИХ ПЛОДОРОДИЕ

УДК 631.41:631.483

DOI 10.24411/0235-2516-2019-10051

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ В ДРЕВНЕЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИХ РАЙОНАХ КРЫМА

Ф.Н. Лисецкий, д.г.н., Ж.А. Буряк, к.г.н., Е.Я. Зеленская

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
e-mail: liset@bsu.edu.ru*

Установлены перечни химических элементов накопления и рассеяния в природных почвах относительно основных генетических групп материнских пород, а также в агрогенном ряду (целина – залежь – пашня) для условий Северо-Западного Крыма. Путем сравнения почв нового периода освоения и старопахотных почв по содержанию питательных элементов растений были обоснованы индикаторы агрогенных трансформаций, что позволило определить приоритетный показатели для почвенно-экологического мониторинга в древнеземледельческих районах.

Ключевые слова: валовый состав почвы, длительное земледелие, индикаторы агрогенеза.

BIOGEOCHEMICAL ASPECTS OF SOIL FERTILITY IN ANCIENT AGRICULTURAL AREAS OF CRIMEA

Dr.Sci. F.N. Lisetskii, Ph.D. Zh.A. Buryak, E.Ya. Zelenskaya

Belgorod State National Research University, e-mail: liset@bsu.edu.ru

The lists of chemical elements of accumulation and dispersion in natural soils relative to the main genetic groups of parent rock, as well as in the agrogenic series (virgin – deposit – arable land) were established for the conditions of North-Western Crimea. Indicators of agrogenic transformations, which made it possible to determine priority indicators for soil-ecological monitoring in ancient agricultural areas, were substantiated by comparing the soils of the new period of development and old-cultivated soils for the content of plant nutrients.

Keywords: gross soil composition, long-term agriculture, indicators of agrogenesis.

Оценка качества почв на разных иерархических уровнях их структурной организации [1-4] позволяет дифференцировать кратко- и долговременные эффекты изменения ресурсов почвенного плодородия с обоснованием наиболее чувствительных (сенсорных) и информативных индикаторов агрогенных трансформаций почв. При этом важно отметить взаимосвязи между геохимическим составом материнских пород и свойствами почв, что определяет необходимость оценок концентраций основных элементов (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , MnO , TiO_2) и микроэлементов [5]. Так как структурная и функциональная организация почвы возникла при участии, а также под частичным контролем биоты, и в большой мере адаптирована к ее нуждам [6], то биогеохимическая оценка почвы должна быть основана на учете значительного количества питательных элементов растений, формы и функции которых играют специфические биохимические роли. Помимо макроэлементов, составляющих основу питательных элементов для растений, нельзя недооценивать роль микрокомпонентов питания, так как они входят в состав ферментов, витаминов и других

биологически активных веществ, катализируют синтез органических соединений и обеспечивают потребности растений, поступая в них в малых количествах [7, 8]. Особенно актуальна оценка доступных микроэлементов в старопахотных почвах [9] из-за длительного биологического выноса с основной и побочной продукцией.

Цель работы – установить перечень эссенциальных микроэлементов, дефицит которых обусловлен длительностью земледелия на карбонатных почвах Северо-Западного Крыма.

Объекты. Исследование проводили в Северо-Западном Крыму (Тарханкутская возвышенная равнина) в пределах двух природных районов: Тарханкутского и Донузлав-Сасыкского, которые сходны в почвенном и агроклиматическом отношении, но имеют различия в длительности земледелия. В первом районе агрогенный ряд почв (целина (S1) – постантичная залежь (S2) – пашня (S3)) был сформирован вокруг местного эталона почв – ботанического заказника местного значения «Участок целинной степи на Тарханкутском полуострове» (100 га) к западу от с. Красносельское Черномор-

ского района, который представляет собой дерново-виново-злаковую бедно-разнотравную степь на плакоре. С целью учета почвенного разнообразия на Тарханкутском полуострове разрез целинного чернозема карбонатного на глинистом элювии плотных карбонатных пород, который был заложен в пределах Красносельской степи (S1), был дополнен разрезом целинной дерново-карбонатной почвы, подстилаемой плитой сарматского известняка, на платообразной бровке балки Кель-Шейх, в 1,4 км к востоку от дороги Красносельское – Черноморское (S4).

Античное поселение № 20а в Центральном археологическом районе Тарханкута было открыто д.и.н. Т.Н. Смекаловой в 2010 г., а полученные ею результаты геомагнитной съемки показали наличие здесь зернохранилища и хозяйственных ям [10]. Кроме того, у поселения до настоящего времени сохранились признаки так называемых «длинных полей» с валиками и ровиками. Заложенный нами почвенный разрез в границах наделов (S2) показал, что по совокупности генетических свойств эта почва (чернозем карбонатный щебнистый) относится к старозалежной, а с использованием педохронологического метода датирования [11] было определено время начала залежного режима – II в. до н.э. Пахотная почва (чернозем карбонатный щебнистый – S3) была изучена вблизи с. Оленевка, в границах имения В.С. Попова – одного из первых русских землевладельцев Крыма. В XIX в. на этом месте был разбит сад. Эти земли могли находиться в обработке и раньше, так как недалеко находится Карджинское городище (IV в. до н.э. – I в. н.э.).

Среди античных полисов Крыма большой исследовательский интерес вызывает сельскохозяйственная округа Керкинитиды (современная Евпатория) из-за длительного ее функционирования (с начала последней трети VI в. до н.э. – до II в. до н.э.). Севооборот в аграрной округе Керкинитиды относился к полевому типу и зернопаровому виду [12]. Территория вблизи античной Керкинитиды уникальна тем, что земледельческое освоение здесь проходило в несколько этапов: предыстория современного земледелия длилась от начала античной эпохи около 600 лет, а текущий период освоения земель охватывает последние 150-165 лет [11]. Исследовательский полигон к северо-западу от Керкинитиды охватывал земли на площади 5,4 тыс. га. Почвы вблизи античного полиса (2,2 тыс. га) были названы старопахотными, а почвы текущего этапа освоения – новоосвоенными, граница которые по результатам использования методов геостатистики [13] находятся от 3,5-4 км к северо-западу от предыдущего ареала.

Методика. Путем обобщения литературных данных по биогеохимии [4, 7, 8] нами был составлен перечень питательных элементов растений, куда помимо органического углерода (гумуса), вошли P, Mn, Cu, Ni, Zn, V, Co, Cr, Sr, Ti, Ca, K, Mg, Fe, Si.

Концентрацию макро- и микроэлементов в почвах определяли на вакуумном волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре «Спектроскан Макс-GV» (ЦКП ФРЦ, НИУ «БелГУ»). Химико-аналитические работы выполнены в ЦКП «Физико-химические методы исследования почв и экосистем» (ФИЦ ПНЦБИ РАН, г. Пущино): Сорб. – методом Тюрина; CO₂ карбонатов – ацидиметрическим методом; рН_{H2O} – потенциометрический методом; P₂O₅ – по Мачигину (Спектрофотометр UNICO-1200); гранулометрический состав – методом пипетки с обработкой пирофосфатом натрия. Оксиды были пересчитаны на содержание элементов, которое было выражено в процентах. Выборки физико-химических и геохимических показателей, сформированные по результатам исследований в 2011-2017 гг., были обобщены методами статистикой в программе Excel©2013. Средняя арифметическая показана со стандартной ошибкой в виде $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$. Коэффициент элювирования рассчитан по формуле: $Ke = (Ca + Sr + Mg + Na)/Ti$. Определение окраски сухой почвы выполнено по атласу цветов Манселла [14].

Для установления границы разновременных пашен к северо-западу от античной Керкинитиды в программе ArcGIS 10.1 в модулях пространственной статистики (Spatial Statistics) и геостатистики (Geostatistical Analyst) было проанализировано облако точек по распределению показателя длительности земледелия с использованием геостатистических и детерминистических методов: радиально-базисной функции (RBF) и вероятностного кригинга (probability kriging) (подробнее методика изложена в [13]).

Результаты и их обсуждение. В Черноморском районе (Тарханкутский п-ов) черноземы, сформированные на элювии карбонатных и окарибаченных пород, и дерновые карбонатные почвы занимают 56% площади. По мощности мелкоземистой толщи, определяемой толщиной слоя от поверхности до кровли плотных пород, черноземы карбонатные имеют мощный профиль (мощность гумусового горизонта от 60 до 80 см), а почвы на элювии известняков характеризуются средне- и слабо-развитым профилем (40-45 см). Элювий известняка, выступающий материнской породой, характеризуется содержанием 19-20% обломков по массе, из которых свыше 50% имеют диаметр свыше 7 мм. Поэтому все почвы, которые сформированы на таких материнских породах, обладают той или степенью щебнистости.

Биогеохимические различия двух основных типов почвообразующих пород (карбонатных светло-коричневых (10 YR 6/4), суглинков (P1) и элювия известняков) очень слабо-коричневого цвета (10 YR 7/3) (P2), а также сформированные на них почвы (в опорных разрезах (S1 и S4)) представлены в таблице 1.

1. Биогеохимическая характеристика основных генетических групп почвообразующих пород и коэффициенты аккумуляции (рассеяния) в опорных разрезах целинных почв Северо-Западного Крыма: чернозема карбонатного (S1) и дерново-карбонатной почвы (S4)

Элемент	P1 (n = 10)	P2 (n = 8)	S1/P1	S4/P2
Элементы аккумуляции в почвах, мг/кг				
Co	12,04±0,83	7,73±0,68	1,92	1,04
Cu	37,40±1,22	20,16±1,85	1,77	1,13
Mn	0,07±0,01	0,06±0,01	1,52	1,11
Si	18,89±1,03	14,19±1,04	1,29	1,10
Ti	0,61±0,03	0,45±0,02	1,31	1,02
K	1,34±0,06	0,99±0,03	1,16	1,24
P	0,09±0,02	0,07±0,005	0,96	1,25
Fe	1,98±0,04	1,48±0,05	1,16	1,01
V	76,75±3,03	57,80±2,85	1,10	1,05
Ni	44,77±1,31	34,40±1,39	1,17	0,93
Cr	86,97±2,02	77,02±1,33	1,10	0,94
Элементы преимущественного рассеяния в почвах, мг/кг				
Zn	74,70±2,16	65,45±2,20	1,09	0,88
Sr	207,51±18,99	217,44±11,46	0,78	0,94
Mg	1,16±0,07	1,58±0,06	0,71	0,92
Ca	9,14±0,60	17,40±0,70	0,56	0,87

Питательные элементы растений представлены ранжированным (убывающим) рядом по средним величинам коэффициентов аккумуляции для S1 и S4 (при значении $\geq 1,0$) – 11 элементов из 15 и рассеяния (4 элемента) в черноземах карбонатных и дерново-карбонатных почвах по отношению к их материнским породам (Si/Pi). Кроме указанных в таблице 1 питательных элементов, почвы больше обогащены по сравнению с материнской породой также Al, Ti, Zr, Pb, V, Ba, Rb, As, но меньше содержат Na. В почвах накапливается большинство элементов (77% от их числа), но особенно активно этот процесс отмечен для кобальта, меди и марганца. В процессе природного почвообразования из материнских пород наиболее интенсивно выщелачиваются кальций, натрий, магний и стронций.

Наши данные показывают, что гумусово-аккумулятивный горизонт почв Северо-Западного Крыма обычно тяжелосуглинистый по гранулометрическому составу (доля частиц < 1 мм составляет $59,93 \pm 1,59\%$ (n = 43)), имеет среднещелочную реакцию почвенного раствора ($pH_{H_2O} = 8,24 \pm 0,04$ (n = 56)), среднюю обеспеченность фосфатами (под зерновые культуры) – содержание подвижных форм P_2O_5 составляет $0,17 \pm 0,03$ мг/кг (n = 71) и высокое содержание обменного калия – $3,20 \pm 0,26$ мг/кг (n = 71). Среднее содержание гумуса составляет $3,18 \pm 0,17\%$ (n = 54), $CaCO_3$ – $30,02 \pm 2,16$ (n = 74).

Сравнение объектов в агрогенном ряду почв (табл. 2) позволяет установить основные биогеохимические результаты агрогенной трансформации почв по отношению к эталону. Ранжированный ряд агрогенно обусловленных потерь химических эле-

ментов (> 10%) имеет в порядке уменьшения следующий вид: $Cu > V > Ni > Zn > Co > Fe$). Из элементов аккумуляции наиболее значительное увеличение содержания отмечено для Ca и Sr.

Ранее проведенные исследования пахотных южных черноземов Крыма [8] показали, что, если по CaO наблюдается вынос из верхних горизонтов в нижние, то заметного перемещения по профилю не происходит таких оксидов, как SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , P_2O_5 , а также щелочных оксидов (K_2O и Na_2O). Заметим, что этот вывод был получен для земель, которые впервые были вовлечены в аграрное освоение с середины – конца XIX в. Увеличение длительности земледелия (более чем в 4 раза) может проявиться в физико-химической миграции элементов. Сопоставление величин коэффициента элювиирования (Ke) по данным таблицы 2 позволяет оценить различия миграции подвижных элементов из обрабатываемого горизонта и верхнего горизонта залежной почвы по отношению к горизонту А целинной почвы. Верхние горизонты почвы у современной пашни и постантичной залежи более выщелочены чем у целинного аналога соответственно на 12 и 35%. Окраска пахотного горизонта (красновато-коричневая), не коричневая, как у целинной и залежной почв, что можно связать с более длительным и интенсивным внутрипочвенным выветриванием.

Наибольшее отличие залежной почвы (S2) от зонального эталона (S1) заключается в более высокой концентрации оксида кальция и ассоциированного с ним стронция, а также магния. Несмотря на длительный (более 20 столетий) период воспроиз-

2. Биогеохимические различия целинной, залежной и пахотной почвы в горизонте А (запад Черноморского района)

Показатель	Ед. изм.	Целина (S1)	Залежь (S2)	Пашня (S3)
Слой	см	0-27	0-26	0-22
Цвет	коды Манселла	10 YR 5/4	10 YR 5/3	2.5 YR 5/4
$CaCO_3$	%	26,01	32,02	26,88
TiO_2	%	0,62	0,56	0,60
SiO_2	%	37,65	30,16	42,50
CaO	%	12,27	17,37	16,00
Fe _{общ.}	%	2,81	2,68	2,50
P_2O_5	%	0,20	0,17	0,20
K_2O	%	1,71	1,58	1,60
MnO	%	0,09	0,08	0,10
MgO	%	1,89	2,30	2,20
Na_2O	%	1,80	2,30	1,90
Co	%	12,63	10,43	10,90
Cu	мг/кг	42,93	35,96	29,50
Ni	мг/кг	48,48	43,88	40,30
V	мг/кг	80,61	80,02	65,60
Zn	мг/кг	84,70	73,55	71,40
Sr	мг/кг	131,69	176,18	256,00
Cr	мг/кг	82,41	81,77	81,50
Ke	–	46,6	30,2	41,1

водства ресурсов почвенного плодородия залежная почва сохраняет реликтовые свидетельства агрогенных нагрузок и по концентрации 12 химических элементов из 15 уступает целинной почве. Но наиболее значительные различия между залежной и целинной почвами отражает сохранившийся дефицит Si, Co, Cu и валового фосфора в постагрогенном слое почвы. Это можно объяснить селективным характером агрогенно обусловленной трансформации вещественного состава почв в более гумидных климатических условиях.

Максимальные потери натрия, магния, кальция и ассоциированного с ним стронция произошли в постантичной залежной почве по сравнению с современной пахотной почвой, что можно объяснить большой доказательной базой палеогеографических данных [11] о существовании более влажного климата в эпоху, предшествующую рубежу IV-III вв. до н.э., по сравнению с нынешней климатической обстановкой в этом регионе. Она для условий Западного степного, причерноморского агроклиматического района сухих степей характеризуется следующими параметрами: осадков выпадает 316 мм в год, а величина испаряемости превышает сумму осадков в 2,6 раза. Как считал В.А. Кутайсов [12], агрохозяйственная зона Керкинитиды простиралась в глубину полуострова не более чем на 2,5-3,0 км, а обрабатываемая площадь могла составлять около 1300-1400 га. По результатам геостатистического анализа распределения почвенных свойств [13], установлено, что ареал старопахотных почв имеет ширину 3,5-4 км (от границы ареалов пло-

родных почв, которые расположены в 1-1,5 км от береговой линии). Почвенный покров, как в ареале старопахотных почв, так и за его пределами представлен черноземами: южным мицелярно-карбонатным на лессовидных глинах и суглинках (70L-71L) и карбонатным, щебнистым на элювии карбонатных пород (79ek). При оценке биогеохимических различий почв помимо их генетических особенностей существенным фактором выступает и длительность земледелия (табл. 3).

Генетические различия между черноземами южными на суглинках и черноземами карбонатными на элювии известняков лучше выражены в показателях почв для ареала нового этапа освоения по сравнению со старопахотными почвами. Это объясняется как более высоким содержанием у южных черноземов по сравнению с черноземами карбонатными Sr, Co, Cr, так и меньшим содержанием Zn и Si. Установлено, что химические элементы – индикаторы агрогенных трансформаций практически идентичны у черноземов южных и у черноземов карбонатных. Используя величины относительных изменений у старопахотных почв по сравнению с почвами нового периода освоения, индикаторами агрогенеза выступили такие элементы: а) по рассеянию – Cu, Ti, Co, Ni (потеря от 8 до 16%) при менее значительном снижении концентрации Mn, Fe, Cr, Va; б) по аккумуляции – Ca, Sr, P, Mg (от 25 до 92%), а также Zn (3%). Хотя Ti – это элемент слабо биологического захвата, но в рядах накопления микроэлементов он находится на 3-4 месте по содержанию в зерне и соломе зерновых культур [15].

3. Биогеохимическая характеристика пахотных почв нового периода освоения (150-165 лет) и старопахотных почв к северо-западу от Евпатории

Почвы	Новоосвоенные почвы		Старопахотные почвы	
	70L-71L	79ek	70L-71L	79ek
Шифр почв	70L-71L	79ek	70L-71L	79ek
Число образцов	32	33	20	29
Гумус, %	3,28±0,10	3,18±0,11	2,87±0,06	2,76±0,02
Содержание макроэлементов, %				
Ca	3,29±0,27	3,29±0,35	7,00±0,49*	5,63±0,57*
Si	22,45±0,37	22,76±0,41	20,83±0,58	21,57±0,41
Fe	2,23±0,03	2,22±0,03	2,06±0,04*	2,13±0,04
P	0,06±0,002	0,06±0,003	0,09±0,01*	0,07±0,003*
K	1,55±0,02	1,56±0,03	1,51±0,04	1,52±0,02
Mg	0,67±0,02	0,65±0,02	0,86±0,02*	0,79±0,03*
Mn	0,10±0,002	0,10±0,002	0,10±0,003*	0,10±0,002
Ti	0,54±0,01	0,53±0,01	0,45±0,01*	0,49±0,01*
Содержание микроэлементов, мг/кг				
Co	16,49±0,46	16,04±0,49	14,10±0,54*	15,11±0,44
Ni	55,62±0,63	55,52±0,50	50,26±0,80*	52,16±0,78*
Cu	60,02±0,72	60,05±0,95	49,09±1,12*	51,80±1,34*
Zn	76,78±0,96	78,26±1,05	81,52±1,54*	78,69±0,98
Sr	96,97±5,30	92,59±6,54	157,40±9,87*	158,76±16,51*
Cr	90,73±0,98	90,17±0,97	85,78±1,22*	88,53±1,17
V	102,85±2,12	102,72±2,12	95,45±2,18	99,81±2,29
*Разности между одними и теми же почвами в разных по длительности земледелия ареалах существенны на 5% уровне значимости (по НСР ₀₅).				

Потребность зерновых культур в меди оценивается как высокая [4]. Химические элементы, дефицит которых обусловлен длительным земледелием, должны быть приоритетными в системе агроэкологического мониторинга земель с длительной историей аграрного освоения, так как они принимают участие в разнообразных процессах: фотосинтезе (Cu), дыхании (Co), образовании органических кислот и ферментов (Cu, Ni), связаны с протеинами, в том числе энзимами, обладающими каталитическими свойствами (Cr, Co, Cu, Ni, Fe) [4].

Таким образом, из-за непродолжительного (около 50 лет) периода накопления сопоставимых аналитических данных об относительно медленных изменениях валового состава пахотных почв трудно прогнозировать время наступления в них дефицита микроэлементов. Поэтому важно обратиться к изучению поведения эссенциальных элементов в системе почва – растения в древнеземледельческих районах, где длительность агрогенеза могла проявить изменения эволюционной размерности в процессах

почвообразования и выветривания. Биогеохимический подход к сопоставлению старопашотных почв с их целинными аналогами позволяет определить приоритетный перечень тех микроэлементов, которые могут быть включены в перечень долгосрочно контролируемых показателей в системе почвенно-экологического мониторинга земель с предысторией сельскохозяйственного использования. Чем более продолжительными были агрогенные нагрузки на почвы, тем наиболее значительно снижается содержание гумуса, а также меди, титана, кобальта, никеля. Для используемых в земледелии дерново-карбонатных почв особенно важен агрохимический контроль, а при необходимости и внесение в составе основных удобрений микроудобрений, восполняющих дефицит никеля и хрома, которые в условиях Северо-Западного Крыма являются элементами рассеяния в почвах относительно материнских пород даже в результате природного почвообразования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-00-00562.

Литература

1. De Laurentiis V., Secchi M., Bos U., Horn R., Sala S. Soil quality index: Exploring options for a comprehensive assessment of land use impacts in LCA // Journal of Cleaner Production, 2019, V. 215. – P. 63-74.
2. Jourgholami M., Ghassemi T., Labelle E.R. Soil physico-chemical and biological indicators to evaluate the restoration of compacted soil following reforestation // Ecological Indicators, 2019, V. 101. – P. 102-110.
3. Stavi I., Gusarov Y., Halbac-Cotoara-Zamfir R. Collapse and failure of ancient agricultural stone terraces: On-site geomorphic processes, pedogenic mechanisms, and soil quality // Geoderma, 2019, V. 344. – P. 144-152.
4. Иванов В.Н. Почвы Крыма и повышение их плодородия. – Симферополь: Крым, 1966. – 147 с.
5. Huzum R., Sirbu-Radasanu D.S., Iftode S.P., Buzgar N., Iancu G.O. Soil surface geochemistry for environment monitoring in vineyard soil of Huși area, Romania // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2015, V. 2(3). – P. 295-302.
6. Макаров И.Б. Плодородие и продуктивность почв: соотношение понятий // Плодородие, 2007, № 3 (36). – С. 33-35.
7. Битюцкий Н.П. Микроэлементы высших растений. – СПб.: Издательство Санкт-Петербургского государственного университета, 2011. – 368 с.
8. Кирилюк В.П. Микроэлементы в компонентах биосферы Молдовы. – Ch.: Pontos, 2006. – 156 с.
9. Lisetskii F.N., Marinina O.A., Pichura V.I., Buryak Zh.A., Vorob'eva E.Ya. Evolutionary trends in the geochemistry of steppe soils under long-term agricultural use // Russian Agricultural Sciences, 2016, Vol. 42, No 6. – P. 444-448.
10. Смекалова Т.Н., Кутайсов В.А. Археологический атлас Северо-Западного Крыма. Эпоха поздней бронзы. Ранний железный век. Античность (Серия «Археологические атласы Северного Причерноморья». Том II). – СПб.: Издательство «Алтейя», 2017. – 448 с.
11. Лисецкий Ф.Н., Маринина О.А., Буряк Ж.А. Геоархеологические исследования исторических ландшафтов Крыма. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2017. – 432 с.
12. Кутайсов В.А. Античный полис Керкинитиды. – Симферополь: Предприятие Феникс, 2013. – 400 с.
13. Буряк Ж.А., Лисецкий Ф.Н., Маринина О.А. Использование ГИС-технологий и геостатистики для дифференциации агрохозяйственных зон древнеземледельческих районов // Геоинформатика, 2016, № 4. – С. 28-35.
14. Munsell A. Munsell Soil Color Charts: Year 2000. Revised Washable Edition. – Baltimore: GretagMacbeth, 2000. – 10 p.
15. Протасова Н.А., Щербаков А.П. Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. – Воронеж: Издательство Воронежского государственного университета, 2003. – 367 с.