

БИОГЕОХИМИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОБЫКНОВЕННЫХ ЧЕРНОЗЕМАХ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Н. А. Протасова, Н. С. Горбунова, А. Б. Беляев

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 11.06.2015 г.

Аннотация. Рассмотрены особенности биогеохимии Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Pb, Cd, As, Ti, Zr, Ba, Sr, B, I, Mo, Be в почвообразующих породах и почвах южнолесостепных и степных ландшафтов Воронежской области, и исследованы закономерности их пространственного и внутрипрофильного распределения в обыкновенных черноземах. Показано, что процессы аккумуляции, миграции, трансформации, выщелачивания микроэлементов обусловлены гранулометрическим и химико-минералогическим составом почвообразующих пород и почв, их физико-химическими и химическими свойствами, геохимическими барьерами, в роли которых выступают генетические горизонты – гумусовый, карбонатный, иллювиальный (адсорбционный). В обыкновенных черноземах отмечается более высокий уровень концентрации микроэлементов, чем в других подтипах, вследствие усиления их биогенной аккумуляции в гумусовом горизонте и ослабления выщелачивания подвижных соединений. В почвообразующих породах и в обыкновенных черноземах происходит заметное концентрирование As, Cd, I, B; в меньшей степени - Zr, Mo и рассеяние Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Be, Ba, Sr относительно литосферы. По сравнению с кларком почв по Виноградову, отмечается обедненность обыкновенных черноземов Cr, Be, Sr и обогащение Zn, Co, As, B.

Ключевые слова: черноземы обыкновенные, микроэлементы, биогеохимия, лесостепные и степные ландшафты, химико-минералогический состав, геохимические барьеры, почвенные процессы

Abstract. The features of the biogeochemistry of Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Pb, Cd, As, Ti, Zr, Ba, Sr, B, I, Mo, Be in the parent rocks and soils of forest steppe and steppe landscapes of the Voronezh region, and studied the patterns of their spatial distribution and intraprofile Ordinary Chernozems. It is shown that the processes of accumulation, migration, transformation, leaching of trace elements due to granulometric, and chemical and mineralogical composition of the parent rocks and soils, their physical and chemical properties, geochemical barriers, which serve as genetic horizons - humus, carbonate, illuvial (adsorption). Ordinary Chernozems have a higher concentration of trace elements than other subtypes, so to enhance their nutrient accumulation in the humus horizon and reducing leaching of mobile connections. The soil-forming rocks and Ordinary Chernozems there happen concentration of As, Cd, I, B; to a lesser extent - Zr, Mo and scattering Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Be, Ba, Sr relative lithosphere. Compared with Clark soils Vinogradov noted depletion Ordinary Chernozems Cr, Be, Sr and enrichment Zn, Co, As, B.

Keywords: Ordinary Chernozems, trace elements, biogeochemistry and steppe landscapes, chemical and mineralogical composition, geochemical barriers, soil processes

Актуальность и необходимость проведения биогеохимических исследований обусловлены широким распространением в Воронежской области заболеваний человека и животных, связанных с недостатком или избытком ряда микроэлементов, или с нарушением их соотношения в пищевой цепи. По данным Ю. А. Пархисенко,

О. Н. Струковой и др. (2000), частота увеличения щитовидной железы у жителей Воронежской области соответствует средней степени тяжести зобной эндемии, а зобная эндемия на основе йодной недостаточности приводит к росту узловых патологии щитовидной железы. Вследствие этого распространенность эндемического зоба у детей и подростков в области составляет 40 % [1]. По-

чвы Воронежской области испытывают дефицит подвижных соединений йода, цинка и молибдена, а в зерновых и овощных культурах, выращенных на черноземах, отмечается дефицит этих микроэлементов [2].

Исследованиями А. И. Перельмана, В. А. Ковды, В. В. Добровольского и других ученых установлена зависимость содержания, распределения, миграции, трансформации и аккумуляции химических элементов в почвах от комплекса природных факторов [3-5]. В результате процессов выветривания и почвообразования образуются значительные количества вторичных соединений, отличающихся различной геохимической подвижностью. Вовлекаясь в новые циклы геологического, почвенного и биологического круговорота веществ, они, как отмечает В. А. Ковда, переживают сложную историю миграции, перераспределения, взаимодействия и аккумуляции [4].

Известно, что поведение химических элементов в почвах зависит от типа ландшафта, который определяется свойствами подстилающих и почвообразующих пород, рельефом местности, гидрологическим и гидрохимическим режимом, характером растительности, направленностью и интенсивностью почвообразовательного процесса и антропогенным воздействием.

Формирование микроэлементного состава почв подчиняется определенным закономерностям, обусловленным действием многих экологических факторов и является результатом весьма сложных и многообразных биогеохимических процессов. Особенности рельефа, почвообразующих и подстилающих пород, почвенного и растительного покрова, климата создают своеобразные геохимические условия, формирующие определенный химический состав главных компонентов южнолесостепных и степных ландшафтов – обыкновенных черноземов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью изучения особенностей биогеохимии Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Pb, Cd, As (тяжелые металлы), Ti, Zr (металлы-гидролизаты), Ba, Sr (щелочноземельные металлы), B, I, Mo, Be в южнолесостепных и степных ландшафтах были исследованы закономерности их пространственного и внутрипрофильного распределения в обыкновенных черноземах, распространенных в южной части Воронежской области.

На основе пространственной неоднородности в распределении химических элементов в зо-

нальных почвах Воронежской области было проведено почвенно-геохимическое районирование ее территории, и составлена карта с выделением почвенно-геохимических округов и районов [6]. Наибольшее распространение обыкновенные черноземы получили на территории Среднерусско-Калачского почвенно-геохимического округа, включающего Россошанско-Калачский (южнолесостепные и степные ландшафты) и Богучарско-Кантемировский (степные ландшафты) почвенно-геохимические районы. Почвенно-геохимический округ занимает возвышенное, хорошо дренированное правобережье р. Дон (восточные склоны Среднерусской возвышенности) и Калачскую возвышенность на юго-востоке левобережья.

На территории Окско-Донского почвенно-геохимического округа, расположенного на низменной слабодренированной Окско-Донской равнине с ландшафтами типичной и южной лесостепи и преобладанием плакорного, междуречного недренированного, надпойменно-террасового и пойменного типов местности (Прихоперский район обыкновенных, типичных и выщелоченных черноземов) обыкновенные черноземы занимают небольшие площади. Для каждого почвенно-геохимического района установлено «фоновое» содержание химических элементов, в том числе микроэлементов, в почвах лесостепных и степных ландшафтов, которое является одним из критериев при экологической оценке техногенно загрязненных почв.

Особенно важно изучение экологического состояния черноземов заповедных территорий (Каменная степь, Хрипунская степь) поскольку состояние почв «фоновых» территорий также является критерием, с помощью которого можно оценить степень локального, регионального и глобального загрязнения почв. Объектом исследований являются черноземы обыкновенные мало- и среднегумусные, мало- и среднemosные, глинистые, тяжело- и среднесуглинистые природных и аграрных ландшафтов Воронежской области.

Валовое содержание микроэлементов и их подвижные соединения в породах и почвах определяли на спектрометре «КВАНТ-Z. ЭТА», вольтамперометрическим методом на анализаторе ТА-4 и спектральным эмиссионным атомным анализом. Экспериментальные данные были подвергнуты вариационно-статистической обработке с использованием программ Stadia и Microsoft Excel 97.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Формирование микроэлементного состава обыкновенных черноземов на территории области протекает в условиях сухого климата, в отсутствие сквозного промачивания и выноса ила за пределы почвенного профиля, малой лабильности органических веществ, высокого окислительно-восстановительного потенциала, часто в щелочной среде и при высоком уровне залегания карбонатов. При непромывном типе водного режима процессы выщелачивания химических элементов ослабляются, а их биогенная аккумуляция вследствие более интенсивного гумусонакопления под влиянием травянистой растительности усиливается. Формирование микроэлементного состава обыкновенных черноземов определяется интенсивностью процессов гумусообразования и гумусонакопления, биогенной аккумуляции, и в меньшей мере - выщелачиванием, лессиважем, оглиниванием и гидрогенной миграцией. Ряд микроэлементов – элементов сильного биологического захвата (по Перельману) – интенсивно аккумулируется в органическом веществе и прочно закрепляется в почвенном профиле. При этом большая часть тяжелых металлов связана с фульвокислотами, меньшая – с гуминовыми кислотами. Накопление подвижных соединений биогенных микроэлементов обусловлено активной деятельностью микроорганизмов [3, 7, 8].

Формирование микроэлементного состава почвообразующих пород в лесостепных и степных ландшафтах обусловлено их генезисом, гранулометрическим, химико-минералогическим составом, карбонатностью, характером коренных пород Воронежской антеклизы и миграционной способностью микроэлементов. Характерной особенностью покровных и лессовидных суглинков и глин является их высокая карбонатность, тяжелый гранулометрический состав, обогащенность минералами смектитовой группы и гидрослюдами, благоприятные физические и водно-физические свойства, что и определяет формирование на них плодородных почв – черноземов.

На Окско-Донской равнине, Калачской и восточной окраине Среднерусской возвышенности распространены продукты ледниковых отложений – покровные, часто лессовидные глины и суглинки, подстилаемые мореной днепровского оледенения [9]. В гранулометрическом составе покровных лессовидных суглинков преобладает крупнопылевая фракция, в составе глин – илистая, содержание которой достигает 40-49 %. В

илистой фракции доминируют глинистые минералы – гидрослюда, смешанослойные минералы, монтмориллонит, хлорит и каолинит. В физическом песке преобладает кварц (83-99 %), на долю полевых шпатов приходится 15-27 %. Тяжелые минералы – эпидот+цоизит, ильменит+магнетит, группа рутила, амфиболы, гранат, циркон, сфен, турмалин, пироксены, гидроксиды железа - приурочены главным образом к фракции 0.01-0.1 мм. В суглинках значительную часть составляют первичные минералы, в глинах первичные и вторичные минералы содержатся почти в равных количествах [8, 10].

Распределение микроэлементов в покровных и лессовидных суглинках и глинах можно представить в виде убывающего ряда: $Ti > Ba > Mn > Zr > Sr > Cr > V > Zn > B > Ni > Pb > Cu > Co > As > I > Mo > Be > Cd$.

В глинах, характеризующихся высоким содержанием коллоидной фракции и преобладанием минералов монтмориллонитового типа, адсорбируется наибольшее количество Mn, Zn, Co, Cu, V, Ni, которые концентрируются в илистой фракции (коэффициенты корреляции составляют 0.77-0.91). В мелкопесчаной фракции накапливаются Ti, Cr, Ba; в илистой, крупно- и среднепесчаной – Sr; B – в среднепылевой и песчаной; I – в тонкопылевой фракции [8, 11]. Различный характер распределения микроэлементов по гранулометрическим фракциям тесно связан с приуроченностью минералов-носителей к определенным фракциям, а также и с их количеством. В растворимом подвижном состоянии находится 1-7% от валового количества Mn, Ni, Pb, I, B; 10-20% Cu; 5-14% Co, Mo; 1-2% Zn, Cd, As. Наличие карбонатов в почвообразующих породах ограничивает подвижность микроэлементов. Относительно литосферы (сравнение с кларком Виноградова) в них наблюдается заметное концентрирование Zr, Mo, B, I, Pb, Cd, As и рассеяние в различной степени остальных микроэлементов (табл. 1).

Концентрация микроэлементов в природных водах зависит от уровня их содержания в почвообразующих породах и почвах, при непосредственном контакте с которыми грунтовые и поверхностные воды обогащаются различными соединениями микроэлементов. Химический состав донных отложений рек региона также отражает микроэлементное состояние почвообразующих пород и сформированных на них почв. Так, небольшое количество I, Co и Zn в природных водах области связано с низким уровнем содержа-

ния их растворимых соединений в породах и почвах [11].

По гранулометрическому составу в исследуемых обыкновенных черноземах преобладают фракции крупной пыли и ила, составляющие в совокупности 65-72 % от веса, и они определяют минералогический состав почвы. В составе легких минералов (плотность < 2.9 г/см³) кварц доминирует в песчаных фракциях, составляя 98-99 % всех частиц, на долю полевых шпатов приходится 0.6-1.6 %. В крупной пыли содержание

кварца снижается до 72-84 %, а полевых шпатов - повышается до 16-24 %. Кроме того, встречаются единичные зерна мусковита и опала [10]. В обыкновенных черноземах они сосредоточены в основном во фракции среднего песка, составляя 0.6-0.8 %, и на порядок меньше (0.01-0.03 %) во фракции крупной пыли. Среди тяжелых минералов в этих фракциях присутствуют: пирролюзит, эпидот с цоизитом, лейкоксен, гидроксиды железа, группа дистена, ильменит с магнетитом, турмалин, пирит, амфиболы, рутил, сидерит, гранат,

Таблица 1

Среднее валовое содержание (мг/кг) микроэлементов в покровных и лессовидных глинах и тяжелых суглинках Воронежской области

Элемент	Порода	Кларк литосферы [12]	Элемент	Порода	Кларк литосферы [12]
Ti	3962	4500	Mn	453	1000
Cr	79.5	83	V	78.1	90
Ni	31.0	58	Zn	51.5	83
Cu	16.0	47	Co	11.3	18
Pb	20.2	16	Cd	0.21	0.1
Zr	312	170	Be	1.15	3.8
Ba	517	650	Sr	125	340
Mo	1.6	1.1	B	45.5	12
I	2.45	0.3	As	6.1	1.8

Таблица 2

Среднее валовое содержание тяжелых металлов и титана (мг/кг) в гор. А обыкновенных черноземах Воронежской области

Ti	Mn	Zn	Cu	Co	Cr	V	Ni	Pb	As	Cd
Окско-Донская равнина										
4700	820	64.4	23.0	14.0	106	108	43.0	18.4	9.14	0.33
Среднерусская возвышенность										
5300	782	70.5	25.0	14.0	96.0	91.0	38.0	17.8	8.83	0.31
Калачская возвышенность										
3800	744	62.0	23.0	12.3	92.0	79.0	42.0	18.7	9.64	0.25
Кларк литосферы [12]										
4500	1000	83	47	18	83	90	58	16	1.8	0.10
Кларки почв [12]										
4600	850	50	20	8	200	100	40	20-25	3.6	0.3-0.5

Таблица 3

Среднее валовое содержание микроэлементов (мг/кг) в гор. А обыкновенных черноземах Воронежской области

Ba	Sr	Zr	Be	B	I	Mo
Окско-Донская равнина						
465	96	280	1.3	49	4.9	2.2
Среднерусская возвышенность						
471	102	550	1.3	54	5.0	2.5
Калачская возвышенность						
500	86	300	1.4	54	4.8	1.7
Кларк литосферы [12]						
650	340	170	3.8	12	0.3	1.1
Кларки почв [12]						
500	300	300	6	10	5	2.6

циркон, ставролит, монацит, ксенотим, корунд. Тяжелые минералы являются концентраторами многих рассеянных элементов [4]. В магнетите и пирите концентрируется Cu, в ильмените и турмалине - Zn, в эпидоте и сфене - Sr, в ильмените, рутиле, лейкоксене, сфене - Ti; в цирконе - Zr, в пирролизите, гранате, пироксенах, сидерите, ставролите, сфене, эпидоте и лейкоксене - Mn; в гранате - Cr; в пирите - Ni и Co. Многие рассеянные элементы, в частности, тяжелые металлы - Mn, Zn, Co, Cu, Ni, V - аккумулируются в глинистых минералах - монтмориллоните и смешанослойных (гидролюдисто-монтмориллонитового и хлорит-монтмориллонитового типов).

На распределение микроэлементов в гумусовых горизонтах обыкновенных черноземов наряду с литогенными сильное влияние оказывают биогенные факторы. Миграция микроэлементов по почвенному профилю и в ландшафте ведет к дифференциации почвенного профиля в отношении элементов, которые входят в состав различных почвенных соединений, обеспечивающих устойчивость почвы и возможность выполнения ею экологических функций.

В процессе почвообразования происходит перемещение микроэлементов в почвенной толще, и формируется вполне определенный микроэлементный профиль обыкновенных черноземов.

В обыкновенных черноземах отмечается более высокий уровень концентрации микроэлементов, чем в других подтипах, вследствие усиления их биогенной аккумуляции в гумусовом горизонте и ослабления выщелачивания подвижных соединений. Микроэлементный состав обыкновенных черноземов, сформированных в различных условиях макрорельефа, неодинаков. Так, в обыкновенных черноземах Калачской возвышенности отмечается более низкий уровень Cr, V, Co, Cd, Mo, Sr, Ti чем в аналогичных почвах Окско-Донской равнины и Среднерусской возвышенности (табл. 2, 3). Это связано с различным химико-минералогическим составом почвообразующих пород и почв.

Микроэлементный состав обыкновенных черноземов формируется под влиянием процессов гумусонакопления, миграции карбонатов и их аккумуляции. Поскольку почвообразование в степной зоне протекает в условиях более сухого климата и в отсутствие сквозного промачивания, в обыкновенных черноземах, происходит интенсивное накопление в гумусовом горизонте Mn, Ni, Zn, Cu, Co. Этому способствует высокий уровень

залегания карбонатов в почвенном профиле, который влияет на степень обеспеченности черноземов подвижными соединениями микроэлементов.

Подвижные соединения микроэлементов в обыкновенных черноземах области содержатся в малых количествах, вследствие чего они имеют дефицит подвижных соединений I, Mo, Zn.

Основными факторами, определяющими уровень содержания и характер распределения микроэлементов в почвенном профиле, являются минералогический (количество акцессорных и глинистых минералов) и гранулометрический (содержание илистой и пылеватых фракций) состав почв и почвообразующих пород, их химические и физико-химические свойства, органическое вещество, а также экологические условия почвообразования. Известно, что акцессорные минералы-носители микроэлементов обладают высокой устойчивостью и содержащиеся в них микроэлементы с большим трудом могут быть мобилизованы и вовлечены в биогеохимические процессы [3, 4].

В процессе почвообразования в обыкновенных черноземах относительно почвообразующих пород наблюдается выраженное в разной степени биогенное накопление Mn, Zn, Cu, Ni, Co, Ti, Zr, I, Be, B, Mo ($K_{ак} = 1,2-2$) и интенсивный вынос Sr ($K_{ак} = 0,4$) и его осаждение в карбонатных горизонтах. В гумусовых горизонтах аккумуляция микроэлементов происходит как за счет связывания гумусом, который накапливается в илистой и тонкопылеватых фракциях, так и за счет адсорбции высокодисперсными минеральными частицами. В нижней части профиля с низким количеством гумуса концентрирование микроэлементов в тонкодисперсных фракциях происходит за счет минерального компонента. Установлено, что при взаимодействии с фульвокислотами большинство ионов тяжелых металлов образуют весьма прочные растворимые высокомолекулярные фульватные комплексы анионного типа [7]. Гуминовые кислоты ведут себя как комплексообразующие сорбенты, обладая высокой сорбционной емкостью по отношению к ионам тяжелых металлов. Это дает основание определить роль ГК как мощного геохимического барьера, ответственного за концентрирование тяжелых металлов в черноземах. В условиях непромывного типа водного режима выщелачивание элементов, тесно связанных с органическими веществами, ограничено. Легкоподвижные элементы, непрочно связанные с гумусом, например, Sr выносятся из гумусово-

го горизонта и задерживаются на карбонатном барьере. В процессе трансформации органического вещества Sr быстро теряет с ним связь, в то время как тяжелые металлы ее длительно сохраняют. Карбонатный горизонт служит геохимическим барьером и для других активных водных мигрантов – I, V, Co, Ni. Карбонаты способствуют закреплению микроэлементов, благодаря осаждающему действию ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} а также их большему влиянию на реакцию среды. Иллювиальные горизонты выступают в роли адсорбционных барьеров.

В почвах лесостепных и степных ландшафтов гумусовый и карбонатный горизонты, выступают в роли геохимических барьеров для многих химических элементов, которые и определяют закономерности их пространственного распределения и профильную дифференциацию.

Так же, как и в почвообразующих породах, в обыкновенных черноземах области происходит интенсивное концентрирование As, Cd, I, V, менее значительное – Zr, Mo и рассеяние Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Be, Ba, Sr относительно литосферы. По сравнению с кларком почв по Виноградову, отмечается обедненность обыкновенных черноземов Cr, Be, Sr и обогащение Zn, Co, As, V. Уровень содержания большинства микроэлементов в обыкновенных черноземах природных и аграрных ландшафтов области примерно одинаковый (табл. 4).

В Павловском районе Воронежской области (Калачская возвышенность) наблюдается выход гранитного фундамента на дневную поверхность, что является уникальным для Европейской части России явлением. В результате добычи гранита открытым способом сформировался техногенный ландшафт горнопромышленного типа.

Обыкновенные черноземы района малогумусны, содержат от 4.16 до 5.60 % гумуса, слабо обеспечены подвижными соединениями азота и фосфора, имеют нейтральную или слабощелочную реакцию, сумма обменных катионов составляет 35-44 ммоль(+)/100 г почвы. По сравнению с геохимическим фоном (Калачская возвышенность) в обыкновенных черноземах района понижено содержание Ti, Mn, V, Co и повышено – Zn, Pb, Cd, Sr. Относительно литосферы в них наблюдается рассеяние микроэлементов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, сопряженное изучение микроэlementного химического состава основных компонентов ландшафта показало, что уровень содержания, подвижность, аккумуляция и миграция микроэлементов тесно связаны со свойствами почвообразующих пород и почв, особенностями растительного покрова, климата, геоморфологии и гидрологического режима.

И в почвообразующих породах, и в обыкновенных черноземах южнолесостепных и степных ландшафтов региона происходит заметное концентрирование As, Cd, I, V; в меньшей степени - Zr, Mo и рассеяние Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Be, Ba, Sr относительно литосферы. По сравнению с кларком почв по Виноградову, отмечается обедненность обыкновенных черноземов Cr, Be, Sr и обогащение Zn, Co, As, V.

В направлении от лесостепных черноземов к степным по мере ослабления процессов выщелачивания и усиления накопления карбонатов в почвенной толще уменьшается степень рассеяния микроэлементов относительно литосферы.

Черноземы обыкновенные аграрных ландшафтов и природных заповедных территорий

Таблица 4

Валовое содержание (мг/кг) микроэлементов в гор. А черноземов заповедных территорий [11]

Стрелецкая степь, чернозем типичный тучный мощный тяжелосуглинистый (Среднерусская возвышенность)				Каменная степь, чернозем обыкновенный среднегумусный среднемощный глинистый (Окско-Донская равнина)				Хрипунская степь, чернозем обыкновенный среднегумусный среднемощный глинистый (Среднерусская возвышенность)			
Mn	600	Cr	53.2	Mn	860	Cr	100	Mn	780	Cr	125
V	77	Ni	31.3	V	110	Ni	31.5	V	115	Ni	39.4
Cu	22.2	Zn	52.1	Cu	24.5	Zn	66.3	Cu	31.4	Zn	82.3
Co	10.3	Pb	16	Co	16.2	Pb	19.0	Co	16.4	Pb	18.3
Cd	0.09	Ti	4400	Cd	0.35	Ti	5000	Cd	0.32	Ti	3800
Mo	1.0	Be	1.0	Mo	2.3	Be	1.2	Mo	2.3	Be	2.4
Ba	570	Sr	130	Ba	490	Sr	65	Ba	560	Sr	160
Zr	450	B	53	Zr	240	B	45	Zr	220	B	50
I	6.0			I	4.1	As	9.14	I	6.5	As	8.83

имеют примерно одинаковый уровень валового содержания большинства микроэлементов, который не превышает ПДК. Фоновое содержание микроэлементов в зональных почвах природных и аграрных ландшафтов региона является «эталонным сравнения» при оценке экологического состояния аналогичных почв, испытывающих техногенное загрязнение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пархисенко Ю.А. Аутоиммунный тиреоидит и рак щитовидной железы / Ю.А. Пархисенко [и др.] // III Всерос. научно-практ. конф. — Пермь, 2000. — С. 142-143.
2. Протасова Н.А. Проблема эндемического зоба в Воронежской области / Н.А. Протасова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Химия, Биология, Фармация. — 2001. — № 1. — С. 86-88.
3. Добровольский В.В. Основы биогеохимии / В.В. Добровольский. — М.: Академия, 2003. — 400 с.
4. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова / В.А. Ковда. — М.: Наука, 1985. — 264 с.
5. Перельман А.И. Геохимия / А.И. Перельман. — М.: Высшая школа, 1989. — 528 с.
6. Протасова Н.А. Почвенно-геохимическое районирование / Н. А. Протасова // Эколого-географический атлас-книга Воронежской области / Под ред. проф. В. И. Федотова. — Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 2013. — С. 122-124.

7. Варшал Г.М. Формы миграции тяжелых металлов в объектах окружающей среды и методология их изучения / Г.М. Варшал [и др.] // Геохимическая экология и биогеохимическое районирование биосферы. — М., 1999. — С. 39-41.

8. Протасова Н. А. Геохимия макро- и микроэлементов в зональных почвах Центрального Черноземья России / Н.А. Протасова, А.П. Щербаков, А.Б. Беляев // Антропогенная эволюция черноземов. — Воронеж: Воронежский государственный университет, 2000. — С. 175-203.

9. Грищенко М.Н. Почвообразующие породы Центрально-Черноземного района / М.Н. Грищенко // Литогенез в докембрии и фанерозое Воронежской антеклизы. — Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та. — 1975. — С. 130-139.

10. Адрихин П.Г. Минералогический состав черноземных и серых лесных почв Центрально-Черноземных областей / П.Г. Адрихин, А.Б. Беляев. // Почвоведение и проблемы сельского хозяйства. — Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та. — 1973. — С. 5-36.

11. Протасова Н. А. Микроэлементы (Ti, Mn, Cr, V, Ni, Zn, Cu, Co, Mo, Be, Ba, Sr, Zr, Ga, B, I) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья / Н. А. Протасова, А. П. Щербаков. — Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 2003. — 368 с.

12. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. — М.: Изд-во АН СССР, 1957. — 238 с.

Воронежский государственный университет

Протасова Н. А., профессор кафедры почвоведения и управления земельными ресурсами профессора, доктор биологических наук

E-mail: prot.niko@rambler.ru

Тел. 220-85-77

Горбунова Н. С., старший преподаватель кафедры почвоведения и управления земельными ресурсами

E-mail: vilian@list.ru

Тел. 220-85-77

Беляев А. Б., профессор, доктор биологических наук, профессор кафедры почвоведения и управления земельными ресурсами

E-mail: belyaev_1941@mail.ru

Тел.: 220-85-77

Voronezh state university

Protasova N. A., Dr.Sci.Biol., Full Professor, Dept. of soil science and management of ground resources

E-mail: prot.niko@rambler.ru

Ph.: 220-85-77,

Gorbunova N. S., Cand.Biol.Sci., the senior teacher, Dept. of soil science and management of ground resources

E-mail: vilian@list.ru

Ph.: 220-85-77

Belyaev A. B., Dr.Sci.Biol., Full Professor, Dept. of soil science and management of ground resources

E-mail: belyaev_1941@mail.ru

Ph.: 220-85-77