УДК 631.416.9

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ВАЛОВОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЛЕСОСТЕПНЫХ И СТЕПНЫХ ПОЧВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИХ АГРОГЕННЫХ ТРАНСФОРМАЦИЙ

Родионова М.Е.

ГОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Белгород, e-mail: zamuraeva@bsu.edu.ru

Исследован валовой химический состав зональных почв лесостепи и степи в рядах агрогенных трансформаций с использованием рентген-флуоресцентного метода с целью выявления закономерностей поведения микроэлементов в верхнем гумусо-аккумулятивном горизонте длительно обрабатываемых почв. Объектами исследования выбраны зональные почвы лесостепи и сухой степи. Ключевые участки закладывались с учетом пространственно-временных моделей территорий. Для анализа изменений свойств почв в агрохронорядах применяли геохимические коэффициенты: коэффициент элювиирования, соотношение кремнезема и полуторных оксидов, коэффициент накопления микроэлементов (модифицированный коэффициент Д.М. Шоу). Проанализированы ряды накопления элементов в почвах по отношению к почвообразующей породе. Рассчитана корреляционная связь Спирмена в рядах накопления по 18 макро- и микроэлементам. Выявлены закономерности в изменении содержания фосфора в ряду целина-залежь-пашня. Обнаружена дифференциация разновозрастных залежей по накоплению свинца и мышьяка. Установлено увеличение выветривания основных катионов с длительностью сельскохозяйственного использования. Полученные результаты могут использоваться для управления элементным состоянием в агроландшафтах лесостепной и степной зон.

Ключевые слова: почвенная геохимия, валовой химический состав, агрогенная трансформация, агрохронологические ряды

PECULIARITIES OF THE CHANGE IN THE GROSS CHEMICAL COMPOSITION OF THE STEPPE AND FOREST-STEPPE SOILS AS A RESULT OF THEIR AGROGENIC TRANSFORMATIONS

Rodionova M.E.

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

Gross chemical composition of soil in the ranks of their agrogenic transformations in the zones of forest-steppe and steppe was studied using x – ray fluorescent method to detect patterns of behavior of trace elements in the upper humus-accumulative horizon is long cultivated soils. The objects of study are selected zonal soils forest-steppe and arid steppe. Key areas were laid, taking into account spatial and temporal patterns of territories. For the analysis of changes of soil properties in the agrochronological series used geochemical factors: factor eluviation, the ratio of silica and sesquioxides oxide ratio of accumulation of trace elements (modified coefficient DM Shaw). Series analyzed the accumulation of elements in soils in relation to soil-forming rock. Spearman correlation was calculated in the ranks of the accumulation of 18 macro and trace elements. The regularities in the change of phosphorus content in a number of virgin land, fallow-arable land. Differentiation of different ages detected by the accumulation of deposits of lead and arsenic. The increase in the weathering of base cations to the duration of agricultural use. The results obtained can be used to control the composition of chemical elements in the agro landscapes of the forest-steppe and steppe zones.

Keywords: soil geochemistry, gross chemical composition, agrogenic transformations, agrochronological series

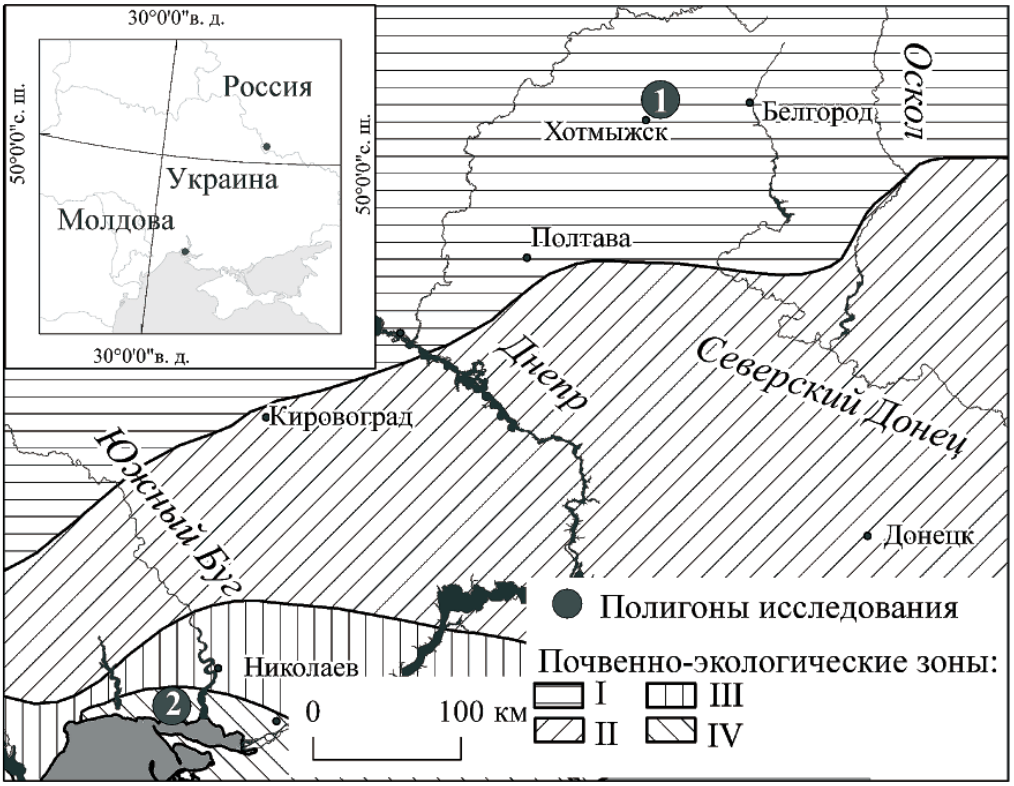
Почва − одна из самых консервативных подсистем биогеоценоза, играющая буферную роль и служащая фильтром, изменяющим состав проходящих через нее потоков вещества. В результате хозяйственной деятельности человека происходит перераспределение части элементов в биосфере. Геохимические и биогеохимические процессы значимо различаются в природных и сельскохозяйственных ландшафтах, почва включает эти изменения в свою «память».

Разнообразие географических условий, почвообразующих пород, литолого-минералогического состава твердой фазы почв и пород предопределило широкое варьирование элементов в почвах разных регионов. Поведение микроэлементов будет различным как для разных элементов в почве, так и для одного элемента в разных почвах. Переход элементов из почвы в растения определяется почвенными характеристиками и системой земледелия [2]. О степени перераспределения элементов растениями можно судить по их коэффициенту биологического поглощения (КБП), представляющему собой частное от деления концентрации элемента в золе растений к его концентрации в почвообразующей породе [7; 8]. На аккумуляцию рассеянных элементов сильно влияют конкретные природные условия. Некоторые элементы сильнее поглощаются растительностью в одних ландшафтах, слабее – в других. Кроме того, для разных элементов КБП может значительно варьироваться в зависимости от времени года, количества осадков, вида, фазы веге-

тации, возраста растения, свойств почвы. Управление состоянием микроэлементов в агроландшафтах тем эффективнее, чем более полны знания о геохимических особенностях их распределения и накопления в конкретных ландшафтно-экологических условиях.

Целью нашего исследования было изучение различий валового химического состава в рядах агрогенных трансформаций почв лесостепной и степной зон для выявления закономерностей геохимического поведения микроэлементов в верхнем гумусо-аккумулятивном горизонте длительно обрабатываемых почв.

Объектами исследования выбраны зональные почвы лесостепи (черноземы оподзоленные, темно-серые лесные) и сухой степи (темно-каштановые) в соответствии с современным почвенно-географическим районированием [6] (рисунок). Ключевые участки устанавливали в соответствии с методом почвенных агрохронорядов, основываясь на анализе истории хозяйственного освоения земель. Для этого были разработаны пространственно-временные модели территорий [5]. Отбор почвенных образцов осуществляли в 2009 и 2010 годах на плакорах и слабопокатых склонах (не более 3°) с глубины 0–20 см (фиксируются основные изменения пахотного и гумусо-аккумулятивного горизонта). Для лесостепного полигона, где в большей степени исследовалась современная пашня разной длительности освоения, отбор почвенных образцов производили так же и с подпахотного слоя (20–40 см).



Расположение объектов исследования:
I – лесостепная зона, II – северостепная зона,
III – северостепная умеренно засушливая зона, IV – сухостепная зона; полигоны:
1 – «Хотмыжский», 2 – «Ольвийский»

Полигон «Хотмыжский» выбран как участок с наибольшей продолжительностью аграрного освоения в лесостепной зоне на западе Центрального Черноземья. Он располагается в юго-западной части Среднерусской возвышенности на высоком правом берегу р. Ворскла (левый приток Днепра). Правый берег высоко поднимается над поймой реки и сильно изрезан овражно-балочной сетью. Почвообразующая порода – четвертичные лессовидные суглинки, которые достигают наибольшей мощности (10 м и более) на возвышенных плато. Преобладающие типы почв – серые, темно-серые и черноземы оподзоленные. Территория относится к южной части атлантико-континентальной климатической области на границе с континентальной. Средняя температура в июле составляет +20 °С, в январе – 8 °С. В Поворсклье к концу VIII – на-

чалу IX века появляются поселения славян (роменская культура), в начале XII века на месте поселка северян и пограничной крепости Переяславского княжества возникает древнерусский город Хотмысль. Проведенная ранее реконструкция древнего земледелия [5] позволила обнаружить достоверные различия в свойствах почв одного из реконструируемых участков [1].

Полигон «Ольвийский» располагается в сухостепной зоне на правом берегу Бугского лимана в 5 км к югу от древнегреческого города-полиса Ольвия, у Крестовой балки. Рельеф представляет собой плоскую лессовую равнину, расчлененную оврагами и балками в узкой (не более 2 км) прибрежной зоне. Климат засушливый, среднегодовая температура 9,9 °С. Здесь, на темно-каштановых солонцеватых почвах в сочетании с луговыми солончаками и глеесолодями подов, в сельской округе Ольвии античные землепашцы выращивали, по-видимому, в основном зерновые культуры [4]. У Крестовой балки находились два поселения архаического времени (VI–III вв. до н.э.), и многослойное поселение эллинистического и римского времени (конца I в. до н.э. – середины III в. н.э.) с керамическим материалом XII–XIII вв. [4]. Таким образом, продолжительность сельскохозяйственной деятельности античного времени на этом полигоне можно оценить в 600 лет по датировкам обнаруженных здесь поселений.

Общее содержание элементов в почве определено по методике измерений массовой доли металлов и их оксидов в порошковых образцах почв методом рентген-флуоресцентного анализа на приборе «СПЕКТРОСКАН-МАКС–GV». Установлены массовые доли 18 макро- и микроэлементов для почв лесостепного и степного участков. Коэффициент аккумуляции определяли как отношение содержания каждого элемента в почве и почвообразующей породе. По полученным значениям этого коэффициента были построены ряды накопления элементов и рассчитаны ранговые корреляции Спирмена в программе Statistica 6.0.

Различные геохимические коэффициенты – отношения макро- и микроэлементов – позволяют обнаруживать изменения в свойствах различных почв [10]. Коэффициент накопления микроэлементов Шоу (традиционно определяется как среднеарифметическое) был модифицирован и рассчитывался как среднее геометрическое значение отношений содержания каждого микроэлемента (Mn, Zn, Cu, Ti, Ni, Cr, V) в почве и почвообразующей породе (R). Рассчитан модифицированный показатель соотношения кремнезема и полуторных оксидов (SiO_2:(10·R_2O_3)) и коэффициент элювиирования (Кэ) (без учета натрия) в почвах и почвообразующих породах, который предложено [9] определять по формуле: Кэ = SiO_2:(RO + R_2O).

Ряды накопления на лесостепном полигоне имеют следующие различия в зависимости от угодий и длительности агрогенеза. Нагорная дубрава: Cu > Co > MnO > As > > Sr > TiO_2 > V > Pb > K_2O > SiO_2 > Cr > 1 > > Al_2O_3 > Zn > Fe_2O_3 > P_2O_5 > CaO > Ni > > MgO. Огородная почва:

а) 6-ти лет обработки – MnO > Cu > > P_2O_5 > Co > CaO > Sr > As > Pb > Zn > > MgO > Ni > TiO_2 > V > Fe_2O_3 > K_2O > > Cr > SiO_2 > 1 ≥ Al_2O_3;

б) окультуренная в IX–XII веке, активно используемая с середины XVII века, побывавшая в залежи 80 лет и возобновленная 8 лет назад – Cu > MnO > P_2O_5 > CaO > > Sr > Zn > Co > Pb > As > MgO > Ni > > K_2O > Fe_2O_3 > TiO_2 > V > 1 > SiO_2 > > Cr > Al_2O_3;

в) окультуренная в IX–XII вв., активно используемая с середины XVII в. – Cu > MnO > Co >> Pb > As > Sr > P_2O_5 > > Zn > CaO > V > Ni > TiO_2 > Fe_2O_3 > > K_2O > Cr > Al_2O_3 > 1 > SiO_2 > MgO. Пашня (в среднем): MnO > Cu > Co > As > Pb > > Sr > Ni ≥ TiO_2 ≥ V > Fe_2O_3 > Zn > CaO > > K_2O > Al_2O_3 > P_2O_5 > Cr > SiO_2 > 1 > MgO.

С ростом периода освоения отмечается уменьшение содержания фосфора и увеличение содержания меди, свинца, мышьяка, цинка. Накопление этих элементов характерно для черноземов и лесных почв по сравнению с другими типами почв [3], по-видимому, агрогенная обработка усиливает этот эффект. На пашне цинк накапливается менее активно, чем в огородной почве.

Почвы Ольвийского полигона так же различаются по распределению макро- и микроэлементов в ряду агрогенных трансформаций. Накопление элементов по отношению к почвообразующей породе на целине: As >> MnO > K_2O > Fe_2O_3 > Zn > > SiO_2 > Rb > Cr > TiO_2 > Al_2O_3 > Pb > V > > P_2O_5 > 1 > Ni > Na_2O > Cu > Sr > Co > > MgO > GaO. Ряды накопления элементов залежи:

а) постантичной – As >> MnO > Fe_2O_3 > > SiO_2 > Zn > K_2O > Rb > TiO_2 > Cr > > Pb > V > Al_2O_3 > 1 > Ni > P_2O_5 > Na_2O > > Cu > Sr > MgO > Co > GaO;

б) пятилетней залежи с предшествующим периодом обработки в 35–45 лет – As >> MnO > K_2O > Zn > SiO_2 > Fe_2O_3 > Rb > > Al_2O_3 > TiO_2 > Cr > 1 > V > P_2O_5 > Na_2O > > Ni > Pb > Cu > Sr > MgO > Co > GaO;

в) пятилетней залежи, входившей в зону античного межевания, повторно распахан-

ной в 50−60-е гг. XIX века, два десятилетия эксплуатируемая под виноградниками – As >> MnO > Fe_2O_3 > Zn > SiO_2 > K_2O > > Rb > Al_2O_3 > Pb > TiO_2 > Cr > V > Ni > > 1 > Na_2O > P_2O_5 > Cu > Sr > MgO > Co > > GaO.

Ряд накопления элементов пашни, входившей в зону античного земледелия: As >> MnO > Fe_2O_3 > Zn > K_2O > SiO_2 > > Rb > Al_2O_3 > V > TiO_2 > Cr > Pb > Ni > > 1 > Na_2O > P_2O_5 > Cu > Sr > MgO > Co > > GaO.

Таким образом, фосфор накапливается только на целине, уже в постантичной залежи его содержание ниже, чем в почвообразующей породе на 15–23 %. Свинец же начинает накапливаться более активно в обрабатываемых почвах. С увеличением периода агрогенеза этот тренд сохраняется: на молодой залежи и пашне, находящихся в ареале античного межевания, позиция фосфора в ряду накопления идет за натрием. Молодая залежь, входившая в зону античного межевания, отличается накоплением свинца и никеля. Это же характерно и для современной пашни. Кроме того, в пашне и молодой залежи концентрация мышьяка на 30–60 % выше по сравнению с целиной.

Полученные результаты дают основание предположить антропогенный характер вклада в аккумуляцию и рассеяние перечисленных элементов. Существующие представления о поступлении химических элементов в почву из средств химизации сельского хозяйства подтверждают это предположение: в навозе и фосфорных удобрениях наиболее существенное по набору и концентрации содержание примесей. Химические средства защиты минерального и органоминерального состава содержат высокотоксичные металлы: ртуть, свинец, мышьяк, медь и висмут, а также фтор, бор, олово и цинк. В средствах защиты растений в зависимости от наименования препарата может содержаться 20–60 % мышьяка (парижская зелень, протарс, арсениты натрия и кальция, арсенат кальция, мышьяковый ангидрид), до 60 % свинца [3].

Анализ ранговых корреляций для степного полигона выявляет более тесную связь между объектами хроноряда и меньшую дифференциацию по содержанию элементов, чем в лесостепной зоне. Для лесостепного полигона отмечается большее накопление элементов (по отношению к материнской породе), чем на степном участке. Это объясняется активным накоплением элементов в гумусо-аккумулятивном горизонте лесостепных почв (биогеохимический барьер) и слабой латеральной дифференциацией сорбированных и валовых форм микроэлементов, за исключением участвующих в биогенной и гидрогенной аккумуляции. По Н.С. Касимову, в сухостепных почвах происходит выветривание силикатных пород, а за счет степного почвообразования и селективного биогенного поглощения происходит мобилизация элементов и комплексообразователей. Щелочная среда (pH = 7,57) повышает доступность и вынос этих, в целом слабо подвижных элементов.

Геохимические коэффициенты, иллюстрирующие процессы почвообразования верхних горизонтов исследуемых полигонов на микроэлементном уровне, представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Валовой химический состав почвенных образцов лесостепного полигона(0–20/20–40 см)

Геохимические коэффициенты элементов	Почвообразующая порода	Лес	Огородная почва			Пашня (чернозем оподзоленный)				Пашня (темно-серая лесная)			
		0	6	1100–800	1000–80 (залежь)–8	100–70	100–70	200–150	1100–800	100–70	200–150	300–250	300–250
Кэ	23,52	31,12	10,77	16,71	7,22	20,25	18,35	20,23	19,15	19,48	22,97	21,02	17,55
		32,14	10,69	18,52	7,46	19,72	18,03	19,29	20,00	18,93	20,15	19,02	15,41
$SiO_2/(10R_2O_3)$	0,71	0,96	0,69	0,57	0,71	0,62	0,56	0,51	0,55	0,53	0,73	0,64	0,50
		0,96	0,70	0,63	0,77	0,60	0,48	0,55	0,57	0,52	0,61	0,53	0,44
$(Fe_2O_3+MnO)/Al_2O_3$	0,33	0,24	0,43	0,48	0,41	0,43	0,46	0,39	0,39	0,41	0,43	0,41	0,43
		0,25	0,42	0,42	0,47	0,42	0,37	0,45	0,42	0,43	0,37	0,37	0,41
SiO_2/Fe_2O_3	28,42	49,46	23,59	17,95	24,99	21,04	18,13	18,62	19,79	18,49	24,67	22,43	16,87
		48,93	24,11	21,51	24,77	20,73	18,05	18,09	19,49	17,55	23,06	19,58	15,56
SiO_2/Al_2O_3	9,50	11,92	9,83	8,43	9,99	8,69	8,02	7,05	7,60	7,39	10,38	8,99	7,15
		11,93	9,82	8,91	11,25	8,48	6,62	7,88	8,03	7,43	8,26	7,18	6,22
G	24,70	28,38	28,89	26,09	29,16	27,29	26,38	26,60	26,85	26,46	26,93	26,24	25,80
		27,69	28,27	26,55	30,19	26,78	26,80	25,54	26,28	26,04	27,86	26,08	25,13
S	56,54	64,81	63,89	59,23	63,85	62,49	60,45	61,19	61,60	60,72	61,59	60,05	59,22
		63,21	62,47	60,39	64,80	61,38	61,67	58,63	60,29	59,79	63,92	59,93	57,93
R	-	1,60	2,89	3,85	2,88	3,02	3,24	3,73	3,06	3,27	2,59	2,63	3,59
		1,38	2,81	3,12	3,17	2,85	3,33	3,19	2,99	3,48	2,59	3,14	3,47

В лесостепной зоне почва с наибольшей продолжительностью обработки в верхнем горизонте обеднена оксидами магния, марганца, кальция, калия. При этом залежный режим в течение 80 лет не восстанавливает баланс полностью. В целом, коэффициент элювиирования на пашне до 2 раз превышает показатель в огородной почве, причем длительно обрабатываемая огородная почва по соотношению содержания оксидов к кремнезему ближе к пашне, что указывает на более интенсивный вынос основных почвенных катионов. В степной зоне Кэ на целине ниже, чем на почвах, в той или иной степени подвергшихся сельскохозяйственной нагрузке.

Таблица 2

Валовой химический состав сухостепного полигона (0–20 см)

Геохимические коэффициенты макро- и микроэлементов	Почвообразующая порода	Целина	Постантичная залежь			Залежь 3–5 лет		Пашня, входившая в зону античного земледелия
Кэ	2,31	16,65	19,62	20,36	18,64	17,89	19,72	19,46
SiO_2/ ($10R_2O_3$)	0,54	0,62	0,65	0,60	0,62	0,63	0,58	0,57
$(Fe_2O_3+MnO)/Al_2O_3$	0,26	0,34	0,35	0,32	0,35	0,31	0,33	0,31
SiO_2/Fe_2O_3	26,56	24,80	25,47	24,89	24,05	26,86	23,71	24,48
SiO_2/Al_2O_3	6,82	8,32	8,72	7,86	8,32	8,23	7,62	7,40
G	24,33	27,00	26,11	27,29	26,65	27,53	26,89	27,34
S	55,09	60,44	58,89	61,55	59,71	61,52	60,37	61,57
R	1,00	1,19	1,15	1,32	1,18	1,04	1,19	1,23

Примечания: Кэ – коэффициент элювиирования; SiO_2: ($10R_2O_3$) – соотношение кремнезема и полуторных оксидов, характеризующее внутрипочвенное выветривание; G – свободная энергия Гиббса, Дж/г·К; S – энтропия, Дж/г·К.; R – коэффициент накопления микроэлементов.

Накопление полуторных оксидов по слоям 0–20 и 20–40 см варьируется незначительно как по горизонтам, так и по агрогенным рангам. На степном полигоне содержание полуторных оксидов по соотношению к кремнезему убывает в ряду почвообразующая порода > пашня > молодая залежь > постантичная залежь > целина. С увеличением сельскохозяйственной обработки SiO_2/Al_2O_3 убывает в ряду целина > постантичная залежь > молодая залежь > пашня.

Энергетические коэффициенты (Гиббса и энтропии) не проявили индикационных различий в агрогенном ряду.

Коэффициент окисления почвенного материала ($(Fe_2O_3 + MnO)/Al_2O_3$) в лесостепи выше, чем в степи на 27%. При этом на лесостепном полигоне в гумусо-аккумулятивном слое прослеживается тенденция снижения коэффициента с увеличением длительности и интенсивности (огородная почва и пашня) использования, которая требует дальнейшего изучения. Так на лесостепном участке коэффициент окисления почвенного материала для огородной почвы на 25–45% выше, чем в почвообразующей породе; на 70–100-летней пашне – на 24–39%, 150–300-летней пашне – на 18–30%, на наиболее древней пашне разница с почвообразующей породой достигает 18%.

В результате проведенного исследования обнаружено несколько закономерностей в изменении валового химического состава лесостепных и степных почв, подвергшихся длительному сельскохозяйственному освоению.

1. Для почв лесостепи и степи характерно снижение содержания фосфора в ряду целина > залежь > пашня, что объясняется высоким коэффициентом биологического поглощения, составляющим 88 по отношению к почве [3] и выносом элемента из агроландшафта вместе с сельскохозяйственной продукцией. Перераспределение фосфора и большинства микроэлементов в лесостепи на пашне, в верхнем горизонте не обнаруживает четкой зависимости от длительности распашки.

2. В сухостепной зоне дифференциация разновозрастных залежей, пашни и целины выражена через более интенсивное накопление свинца и мышьяка. По нашему мнению, накопление этих элементов в агроландшафте связано с использованием средств химизации при сельскохозяйственной обработке культур.

3. Выветривание основных катионов, выносимых в почвенный раствор, увеличивается по мере увеличения длительности землепользования. Так, коэффициент элювиирования в степной зоне для целины ниже, чем у почв,

подвергшихся антропогенному преобразованию. В лесостепной зоне огородная почва наиболее длительного освоения по содержанию оксидов приближается к значениям на пашне, что указывает на более интенсивный вследствие большей продолжительности освоения вынос основных почвенных катионов. Элювиирование в пахотном горизонте протекает активнее, чем в подпахотном.

Список литературы

1. Замураева М.Е. Изменение структурного состояния почв в агроландшафтах разной длительности использования // Модели автоматизированного проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия: сборник докладов Всероссийской научно-практичкеской конференции. – Курск: ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2010. – С. 133–137.

2. Кабата-Пендиас А. Проблемы современной биогеохимии микроэлементов // Российский химический журнал. – 2005. – №3. – С. 15–19.

3. Кирилюк В.П. Микроэлементы в компонентах биосферы Молдовы. – Ch.: Pontos, 2006. – 156 p.

4. Крыжицкий С.Д. Античные поселения Нижнего Побужья (археологическая карта) / С.Д. Крыжицкий, С.Б. Буйских, В.М Отрешко; отв. ред. А. С. Русяева. – Киев: Наук. думка, 1990. – 136 с.

5. Лисецкий Ф.Н. Использование ГИС-технологий для картографирования территорий разной длительности земледельческого освоения / Ф.Н. Лисецкий, М.Е. Замураева, Я.В. Кузьменко // Историческая география на рубеже веков: сборник научных трудов к 80-летию со дня рождения В.С. Жекулина (1929-1989). – СПб.: СПбГУ, 2010. – С. 131–147.

6. Визначник еколого-генетичного статусу та родючості ґрунтів України / М.І. Полупан, В.Б. Соловей, В.І. Кисіль и др. – К.: Колообіг, 2005. – 304 с.

7. Протасова Н.А. Микроэлементы в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья / Н.А. Протасова, А.П. Щербаков. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2003. – 368 с.

8. Lisetskii F.N. Agrogenic transformation of soils in the dry steppe zone under the impact of antique and recent land management practices // Eurasian Soil Science. – 2008. – Vol. 41, № 8. – P. 805–817.

9. Determination of soil loss tolerance of an entisol in Southwest China / G. Liu, L. Li, L. Wu et al. // Soil Sci. Soc. Am. J. – 2009. – Vol. 73, № 2. – P. 412–417.

10. Retallack G.J. Soils and Global Change in the Carbon Cycle over Geological Time // Treatise On Geochemistry. – 2003. – Vol. 5. – P. 581–605.

References

1. Zamuraeva M.E. *Izmenenie strukturnogo sostojanija pochv v agrolandshaftah raznoj dlitel'nosti ispol'zovanija – Modeli avtomatizirovannogo proektirovanija adaptivno-landshaftnyh sistem zemledelija*: Sbornik dokladov Vserossijskoj nauchno-praktichkeskoj konferencii. Kursk: GNU VNIIZiZPJe RASHN, 2010. pp. 133-137.

2. Kabata-Pendias A. *Problemy sovremennoj biogeohimii biogeohimii mikrojelementov – Rossijskij himicheskij zhurnal*. 2005. no 3. pp. 15–19.

3. Kiriljuk V.P. *Mikrojelementy v komponentah biosfery Moldovy*. Ch.: Pontos, 2006. 156 p.

4. *Antichnye poselenija Nizhnego Pobuzh'ja (arheologicheskaja karta)* / S.D. Kryzhickij, S.B. Bujskih, V.M Otreshko; otv. red. A.S. Rusjaeva. Kiev: nauk. dumka, 1990. 136 p.

5. *Ispol'zovanie GIS-tehnologij dlja kartografirovanija territorij raznoj dlitel'nosti zemledel'cheskogo osvoenija* / F.N. Liseckij, M. E. Zamuraeva, Ja.V. Kuz'menko // *Istoricheskaja geografija na rubezhe vekov. Sbornik nauchnyh trudov k 80-letiju so dnja rozhdenija* V.S. Zhekulina (1929–1989). SPb.: SPbGU, 2010. pp. 131–147.

6. *Viznachnik ekologo-genetichnogo statusu ta rodjuchosti rruntiv Ukraïni* / M.I. Polupan, V.B. Solovej, V.I. Kisil' i dr. K.: Koloobig, 2005. 304 p.

7. *Mikrojelementy v chernozemah i seryh lesnyh pochvah Central'nogo Chernozem'ja* / N.A. Protasova, A.P. Werbakov. Voronezh: Voronezh. gos. un-t, 2003. 368 p.

8. *Lisetskii F.N. Agrogenic transformation of soils in the dry steppe zone under the impact of antique and recent land management practices – Eurasian Soil Science*. – 2008. Vol. 41. no 8. pp. 805–817.

9. *Determination of soil loss tolerance of an entisol in Southwest China* / G. Liu, L. Li, L. Wu et al. – *Soil Sci. Soc. Am. J*. 2009. Vol. 73. no 2. pp. 412–417.

10. Retallack G.J. *Soils and Global Change in the Carbon Cycle over Geological Time – Treatise On Geochemistry*. 2003. Vol. 5. pp. 581–605.

Рецензенты:

Чернявских В.И., д.с.-х.н., зам. генерального директора ЗАО «Краснояружская зерновая компания», Белгородская область, п. Чернянка;

Смирнова Л.Г., д.б.н., профессор, зав. лабораторией адаптивного растениеводства Белгородского НИИСХ Россельхозакадемии, г. Белгород.

Работа поступила в редакцию 13.01.2012.