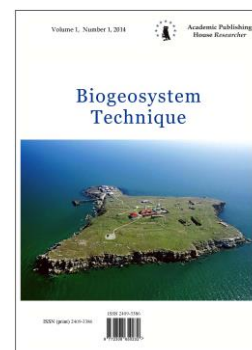


Copyright © 2016 by Academic Publishing House *Researcher*

Published in the Russian Federation  
Biogeosystem Technique  
Has been issued since 2014.  
ISSN: 2409-3386  
E-ISSN: 2413-7316  
Vol. 10, Is. 4, pp. 250-270, 2016

DOI: 10.13187/bgt.2016.10.250  
[www.ejournal19.com](http://www.ejournal19.com)



## Articles and Statements

UDC 631.483: 631.42

### Indicators of Soil-Ecological Monitoring in Intensive Agriculture Area

Ruslan Sh. Gadzhiev <sup>a, \*</sup>

<sup>a</sup> Belgorod State National Research University, Belgorod, Russian Federation

#### Abstract

Using system of geochemical indicators, the differences of current natural and natural-anthropogenic pedogenesis under anthropogenic transformation of the West Belgorod region forest-steppe soils in conditions of intensive agriculture have been established. Taking into account the trend of indicators, the baseline set of geochemical environmental standards for environmental control has been revealed. The list of priority heavy metals for the soil-ecological monitoring has been proposed. It has been shown that in forest-steppe conditions, where the pedogenesis is mainly linked to forest environment, the prior for soil environmental monitoring taking into account the diminishing degree of toxicity list of heavy metals is as follows: Cu > Pb > Cr. For monitoring of soil and environment in forest-steppe conditions, dominated by agriculture, the list of six most informative geochemical factors has been identified, which reflect the subsurface weathering processes (leaching of cations Ca, Na, K, Mg) and the accumulation of trace elements in soils. It is shown that in the modern transformation of the land (increasing the area of perennial plantations according to the plans of import substitution) in the most important soil-ecological monitoring of land are used in gardening because of the higher rates of accumulation of heavy metals.

**Keywords:** forest-steppe soils, natural and anthropogenic pedogenesis, soil-environmental monitoring, environmental regulation, environmental control, geochemical factors, environmental assessment of soil.

#### 1. Введение

Антропогенное загрязнение, обусловленное воздействием промышленности, транспорта, сельского хозяйства и другими видами хозяйственной деятельности, является одним из наиболее значимых факторов деградации почв. Проблематика, связанная с экологическим нормированием, попадает в фокус внимания в связи с возникновением в экосфере ситуаций, когда состояние окружающей среды несёт прямую угрозу условиям жизнедеятельности и состояния здоровья человека. Однако для территорий с преимущественным развитием аграрного сектора экономики оценка экосферных рисков,

\* Corresponding author  
E-mail address: [gadzhiev@bsu.edu.ru](mailto:gadzhiev@bsu.edu.ru) (R.Sh. Gadzhiev)

обусловленных загрязнением окружающей среды, и прогноз её возможных изменений при постоянном действии факторов риска пока разрабатывается менее активно.

Накоплены многочисленные научные факты о генетических трансформациях в популяциях животных под влиянием токсичного загрязнения, которые подтверждают существование антропогенной микроэволюции. Основной вывод из этих работ (Моисеенко, 2011; Калабин, Моисеенко, 2011): в условиях загрязнения, с одной стороны, имеет место потеря генетического разнообразия и накапливаются рецессивные мутации, а с другой – высокие концентрации загрязняющих веществ становятся фактором селекции, которая направлена на отбор наиболее устойчивых генотипов в измененной и(или) нарушенной экосфере.

Для преодоления назревших противоречий в триаде «природа-народонаселение-хозяйство» требуются новые научно обоснованные подходы к созданию природоподобных (Калиниченко, 2012; Glazko, Sister, 2016), по нашему мнению, подходит также термин природосообразных, технологий природопользования и совершенствование методов и подходов, направленных на повышение эффективности экологического мониторинга, нормирования и экологического контроля. В отличие от адаптивных, имитационные принципы природопользования и технологии агрономии, ирригации, экологии рассматриваются (Kalinitchenko, 2016) как устаревшие; они обуславливают разрушение агроэкосистем и повышают вероятность деградационного сценария функционирования современной биосферы.

Накопленный опыт проведения исследований процесса аккумуляции тяжелых металлов в сельскохозяйственных культурах и его взаимосвязи с почвенными условиями при различной остроте экологических ситуаций (Prasad, 2013; Batukaev et al., 2016; Endovitsky et al., 2016) показывает многообразие проявляющихся эффектов в зависимости от природных условий и видов техногенного прессинга. При обосновании норм концентрации тяжелых металлов в почвах на локальном уровне необходимо опираться на фоновое содержание тяжелых металлов (ТМ) и учета почвообразующей породы (Лисецкий и др., 2008; de Vries et al., 2013). В связи с тем, что установлена достаточно тесная корреляционная связь между нормированным коэффициентом биологического поглощения и содержанием ТМ в почвах (Jaishankar et al., 2014; Mani, Kumar, 2014; Tang et al., 2014; Thakur et al., 2016), особенно черноземного ряда (Minkina et al., 2015), это позволяет использовать ориентировочно-допустимые концентрации в качестве нормируемого эталона (Лисецкий и др., 2008). Своевременное снижение риска загрязнения растениеводческой продукции ТМ с последующим устранением передачи ТМ по трофической цепи является важной задачей при проведении подобных исследований.

Предмет данного исследования – лесостепные почвы с различной степенью антропогенной трансформации и их свойства. Цель – обосновать исходные уровни геохимической обстановки лесостепных почв и обосновать экологические нормы с учетом текущей динамики показателей, рекомендуемых в настоящее время для экологического контроля.

## 2. Объекты и методы

**Район исследования.** Территориальным объектом исследования выбран западный регион Белгородской области с аграрной направленностью развития (Борисовский район) и соответствующим воздействием на почвы.

В основных видах экономической деятельности Борисовского района доля группы отраслей «Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство» составляет 28,4 % (Борисовка, 1995). Кроме того, на территории района расположен ряд промышленных производств, таких как ЗАО «Борисовский завод мостовых металлоконструкций», ОАО «Новоборисовское ХПП» с высокоэффективным комбикормовым заводом, ООО «Борисовская керамика», «Борисовская МПМК», «Белгранкорм-хол», однако доминирующим является сельское хозяйство.

Агропромышленный сектор Борисовского района представляет собой совокупность отраслей, связанных сельскохозяйственной деятельностью в единый производственно-экономический комплекс. Главным звеном в агропромышленном комплексе является сельское хозяйство. Район является зоной стабильного сельскохозяйственного производства.

Доля производимой сельскохозяйственной продукции в валовом муниципальном продукте составляет около 40 %. По данным администрации Борисовского района на территории района сельскохозяйственную деятельность осуществляют 9 предприятий, занимающихся сельскохозяйственным производством, 32 крестьянских (фермерских) хозяйства и индивидуальных предпринимателя, 9,3 тыс. личных подсобных хозяйств (ЛПХ), учебное хозяйство Борисовского агромеханического техникума, подсобное хозяйство санатория «Красиво», а также 8 перерабатывающих и обслуживающих предприятий.

В итоге, в основных видах экономической деятельности Борисовского района сельское хозяйство и смежные отрасли обеспечивают около 30 % поступающих средств. Экологическое воздействие аграрного производства из-за его масштабного развития на территории (доля пашни достигает 62,5 % от общей площади) является доминирующим (Борисовский район..., 2002).

В западных районах Белгородской области (включая Борисовский район) из-за того, что здесь высока доля серых лесных почв, выщелоченных и оподзоленных черноземов, отмечено самое низкое содержание органического вещества в верхнем горизонте обрабатываемых почв – 4,21 % (Состояние окружающей среды..., 2005).

Несмотря на благоприятные биоклиматические условия территории, экологическую ситуацию можно определить, как конфликтную. По данным Центра Госсанэпиднадзора Белгородской области среди административных территорий Борисовский район – это одна из неблагоприятных территорий области по количеству заболеваний парентеральными вирусными гепатитами из-за недостатков в обеспечении населения доброкачественной питьевой водой по причине низкой санитарной надежности источников и систем питьевого водоснабжения, что обусловлено их неудовлетворительным техническим состоянием, несоблюдением зон санитарной охраны водоисточников. Кроме того, здесь отмечены более высокие показатели заболеваемости подросткового населения по болезням крови и кроветворных органов.

Для формирования сравнительного ряда объектов изучения и организации мониторинговых наблюдений необходимы эталоны сравнения. Это во многом определило выбор объектов исследования вблизи признанного эталона дубрав Среднерусской лесостепи – заповедного участка «Лес на Ворскле» (ГПЗ «Белогорье»). Были изучены следующие объекты, которые формируют ряд антропогенных трансформаций лесостепных почв запада Белгородской области: коренной лес и целина, лесонасаждение, пашня, сад, огород с привлечением показателей по новообразованным и погребенным почвам. В региональных геоэкологических исследованиях такой подход уже находил применение, правда, для восточной части Белгородской области – в зоне воздействия на агроландшафты Старооскольско-Губкинского горнопромышленного района (Лисецкий и др., 2008). В целях обоснования природных (фоновых) эталонов для почв агроландшафтов авторы (Лисецкий, Голеусов, 2006) сопоставляли данные мониторинга по следующим объектам: почвы заповедной территории; почвы погребенные (экранированные) под антропогенными насыпями в доиндустриальную эпоху (около 2400 лет назад) и в историческое время (62 года назад); нижние горизонты почв, характеризующие локальную геохимическую обстановку в нуль-момент почвообразования.

Для того чтобы определить изменения в почвах, обусловленные агрогенезом, традиционно в качестве эталона сравнения принимают характеристики почвы, которая находится в состоянии целины (коренного леса). У этого подхода есть недостатки, так как, если следовать принципу единственного различия, а в данном случае оценивать влияние длительности и форм земледелия, то объектами сопоставления должны быть генетически близкие пахотные почвы (Lisetskii et al., 2016).

Ключевыми объектами исследования были почвы заповедного участка «Лес на Ворскле» и Борисовского городища.

*Почвы заповедного участка «Лес на Ворскле» (ГПЗ «Белогорье»).* Всего на территории заповедного участка «Лес на Ворскле», входящего в состав кластерного ГПЗ «Белогорье», выделено около 20 почвенных разностей, среди которых самыми распространенными являются серые слабо- и среднеподзоленные почвы.

*Борисовское городище.* В результате археологических разведок в бассейне Ворсклы выявлено 16 скифских городищ (Ляпушкин, 1961; Борисовка, 1995). Часть городищ

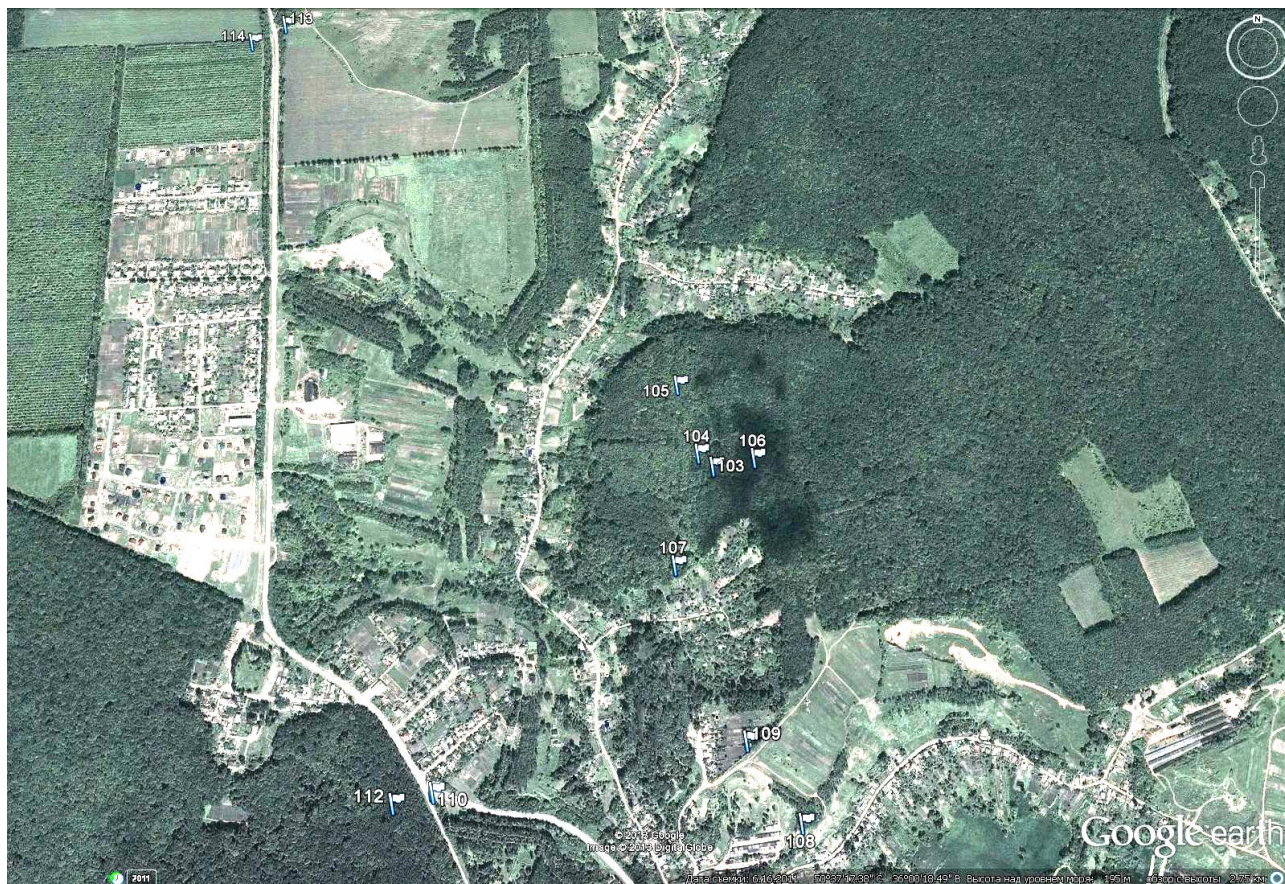


находится на самой Ворскле, другие же – на ее притоках, как правило, на правом берегу реки.

Строители скифской эпохи старались выбирать для своих поселений труднодоступные, наиболее естественно защищенные места. В большинстве случаев это были мысы, образованные долиной реки и оврагами. Не последнюю роль играла также близость к лесным массивам, где располагались городища. Типичный пример городища такого типа – Борисовское городище. На правом возвышенном берегу реки Ворсклы к западу от заповедного участка «Лес на Ворскле» расположен ботанический заказник «Скифское городище». Заказник занимает часть квартала № 102 урочища «Мелкий лес» на площади 2 га (Ляпушкин, 1961). Борисовское городище с напольной стороны обрамлено валом и рвом дугообразной формы. Западная часть городища ограждена укрепительной линией, представленной валом. Высота валов достигает 5-6 метров, при глубине рва до 2 метров. Памятник датирован V-III вв. до н. э. (Ляпушкин, 1961). Через восточную часть поселения проходит дорога, прорезая внешний вал в восточной части. Вся площадка поселения сейчас засажена лесом. Это лесонасаждение 1959 года: 70 % – ясень, 30 % – дуб, полнота – 9. Высота основного яруса 16 м при диаметре 14 см (обследование 1994 г.).

Ранее (Лисецкий и др., 2007) при сопоставлении свойств почвы, погребенной в VI-V вв. до н. э. под оборонительным валом, с современной темно-серой среднеподзоленной почвой на лессовидном суглинке заповедного участка «Лес на Ворскле», было показано, что погребенная почва содержит меньше тяжелых металлов, она менее гумусирована, гумус очень фульватный ( $S_{ГК}:C_{ФК}=0,48$ ). А в профиле погребенной почвы была зафиксирована кротовина, заполненная черноземной почвой с таким же содержанием гумуса, что и в гумусовом погребенном горизонте А.

Объекты и описание точек отбора почвенных образцов в 2013 году, представлены на рис. 1 и в табл. 1.



**Рис. 1.** Местоположение точек отбора почвенных образцов на космическом снимке (ресурс *GoogleEarth*)

**Таблица 1.** Объекты исследования и их описание

№ по GPS (см. рис. 1)	№ разреза (точки отбора)	Описание мест отбора почвенных образцов
103	1	Урочище «Мелкий лес», квартал № 102, выдел 7-2 (7,5 га), в 100 м от скифского вала, серая лесная почва (гор. А=28 см, гор. АВ=14 см, вскипание от HCl с 51 см).
104	2	Вершина скифского вала (V-III вв. до н. э.) шириной 3 м, редкая древесная и травянистая растительность. Новообразованная лесная почва (гор. А=17 см (т. 2.1), гор. АВ=13 см (т. 2.2), вскипание от HCl с 63 см).
105	3	Почвенный разрез в 3 м к югу от бровки скифского вала, черноземная погребенная окарбоначенная почва с глубины 71 см: гор. [А]=15 см, гор. [АВ]=16 см, вскипание от HCl с 71 см.
106	4	Черноземная почва погребенная под скифским валом 2450 лет назад: т. 4.1, на глубине 69 см под сгоревшим бревном; т.4.2, то же, вне сгоревшего бревна на глубине 97 см.
107	5	Нижняя часть склона, почва под огородом в ЛПХ с ручной обработкой почвы: гор. Ап 0-15 см.
108	6	Правый склон долины р. Ворскла, Черноземная целинная почва под злаково-разнотравной растительностью: т. 6.1, гор. А (0-15 см); т. 6.2, материнская порода (лессовидный легкий суглинок) с глубины 1,2 м.
109	7	Огородная почва ЛПХ с механической отвальной обработкой почвы: гор. Ап 0-15 см.
110	8	Почва у дорожного полотна; поворот дороги на заповедный участок «Лес на Ворскле».
112	9	Темно-серая лесная почва коренной дубравы заповедного участка «Лес на Ворскле», у двух возрастных кленов (в 75 м от т. 8).
113	10	Пашня (поле подсолнечника), в 31 м от шоссе: гор. Ап 0-15 см.
114	11	Почва в яблоневом саду, в 54 м от шоссе: гор. Ап 0-15 см.

### Методы исследования

Полевые исследования проведены в июне и октябре 2013 г. Комплекс исследований включал привязку координат точек опробования с помощью GPS-приемника, почвенно-генетические исследования профиля, отбор образцов и пробоподготовку. Измерения концентраций макро- и микроэлементов в почвах осуществляли на рентгеновском аппарате «СПЕКТРОСКАН МАКС-GV». Определяли общепринятыми методами гранулометрический состав почвы пипеточным методом, объемную массу, кислотность, содержания гумуса. По полученным данным гранулометрического анализа были построены дифференциальные кривые распределения фракций гранулометрического состава изученных почв. Обеспеченность почв подвижными соединениями фосфора оценивали по Мачигину. Для определения окраски сухой почвы использовали атлас цветов Манселла ([Munsell. Soil Color Charts, 1975](#)). Кластерный анализ объектов исследования (по совокупности содержания макро- и микроэлементов в почве) выполняли методом Варда, метрика – Евклидово расстояние.

Используя созданную информационную базу геохимических исследований почв, рассмотрены 16 основных геохимических коэффициентов (ниже указано их авторство). После предварительного отбора наибольшую информативность в данных почвенно-



климатических условиях показали следующие коэффициенты и геохимические соотношения:

1) три коэффициента степени выветривания:

–  $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O+MgO)$ . Коэффициент представляет собой отношение  $Al_2O_3$  (глинистая составляющая), к основным катионам, выносимым в почвенные растворы (Retallack, 2001).

– Rb/Sr. Коэффициент предложен на основании наличия разницы в устойчивости различных минералов к выветриванию, а именно слюд и полевых шпатов, с которыми в ассоциации находится Rb, и карбонатов, с которыми ассоциирует Sr (Gallet et al., 1996).

– Ba/Sr. Коэффициент характеризует гидротермические условия осадконакопления, в частности, процесс выщелачивания (Retallack et al., 2003; Шишов, Панкова, 2006).

2)  $(CaO + MgO)/Al_2O_3$ . Коэффициент отражает накопление почвенного кальцита и доломита (Retallack, 2001).

3)  $TiO_2/Al_2O_3$ ,  $Zr/TiO_2$ . Коэффициенты позволяют оценить степень однородности материала (Бушинский, 1953; Gallet et al., 1996).

4) коэффициент аккумуляции микроэлементов Шоу (R) (Shaw, 1964), рассчитываемый как среднегеометрическое значение.

### 3. Результаты и их обсуждение

Ранее, в результате исследований Ю.Г. Чендева (Чендев и др., 2011), удалось обнаружить под валами скифского периода темноокрашенный погребенный чернозем, прошедший длительную стадию степного почвообразования. Фоновые аналоги скифских палеочерноземов – серые лесные почвы. Возраст вала скифского городища составляет –  $2450 \pm 40$  лет (определен по  $^{14}C$ -дате угля из толщи вала на контакте с погребенной почвой) (Чендев, 2014). Профиль представлен следующими горизонтами (под насыпью 135 см): [A1] – [AB] – [B<sub>1Ca</sub>] – [B<sub>Ca</sub>]. В профиле фоновой почвы сохранился реликт степной стадии развития педогенеза – второй гумусовый горизонт. Он расположен на глубине 25–46 см и имеет гумусовую окраску черноземной стадии педогенеза. Уровень залегания карбонатного горизонта совпадает с нижней границей гумусированной толщи. У нижней границы гор. АВ и в гор. В довольно часто встречались артефакты (керамика, обмазка, угольки, кости, зубы крупного рогатого скота, кости грызунов) (Чендев и др., 2011).

Степень элювиально-иллювиальной дифференциации профиля существенная. Все это свидетельствует об эволюции чернозема в серую лесную почву со вторым гумусовым горизонтом – реликтовым признаком степной черноземной стадии, в результате смены степей на лес. Произошло это существенно позже создания валов, по окончании засушливого периода, в III–IV вв. н. э. (Чендев, 2014).

В течение 750–800 лет почва на дневной поверхности вала развивалась под степью, о чем свидетельствуют многочисленные слепышины, имеющиеся в толще насыпи вала и в погребенной почве. Это подтверждают как ранее полученные результаты (Голеусов, Лисецкий, 2009), так и найденные нами в 2016 году в золе (на глубине 62–72 см) кости хомья обыкновенного. Таким образом, первые 750–800 лет почвообразование шло по черноземному типу, и только 1500–1600 лет назад оно сменилось на лесное.

Новообразованная почва, сформировавшаяся на вершине оборонительного вала (т. 2), имеющего абсолютную датировку (Чендев, 2014), представляет интерес как источник данных о скорости почвообразования. При проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия в природно-хозяйственных условиях, требующих создания эффективной почвоохранной подсистемы (Кочетов и др., 2000), ключевой задачей становится сопоставление расчетных величин смыва с допустимыми эрозионными потерями почвы, для обоснования которых необходимы оценки скорости формирования гумусового горизонта почв. В данных биоклиматических условиях (т. 2) за последние 25 веков (субатлантический период голоцена) среднегодовая скорость формирования гумусового горизонта почв в условиях лесостепи составляет 0,17 мм/год (2 т/га в год).

Результаты анализа почвы представлены в табл. 2. Помимо точек отбора, указанных в таблице 2, более однотипно и без аналитического сопровождения выполнен отбор почвенных образцов на пашне. В частности, в точках № 7, 8, 10, 11 отобраны образцы из

слоя 0-15 см, объемная масса находилась в пределах от 1,09 до 1,23 г/см<sup>3</sup>, окраска – от серовато-коричневой (10YR 5/2, 10YR 4/2) до коричневой (10YR 5/3) в т. 10.

**Таблица 2.** Данные анализа почвы

Точка отбора образца	Горизонт	Слой, см	Цвет сухой почвы (по Манселлу)	Объемная масса, г/см <sup>3</sup>	pH водн.	CO <sub>2</sub> , %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/100 г	Сорг, %
1	A1A2	0-28	10YR 4/3 коричневый	0,84	7,30	0,54	4,69	2,55
2-1	A1	0-13	10YR 4/4 темно-желовато-коричневый	–	7,05	0,97	5,78	3,06
2-2	A2B	13-30	10YR 5/3 коричневый	1,14	6,83	1,62	13,65	1,21
3-1	[A]	0-15	10YR 3/3 темно-коричневый	0,60	7,10	0,97	11,54	2,73
3-2	[AB]	15-30	10YR 6/2 светло серовато-коричневый	–	8,03	10,76	28,79	1,90
3-3	B	30-40	10YR 5/3 коричневый	1,02	8,23	5,54	20,04	1,44
4-1	[A1]	69-79	10YR 5/3 коричневый	–	7,05	0,32	4,52	0,72
4-2	[A1]	97-107	10YR 5/3 коричневый	–	7,18	0,22	3,77	0,67
5	Ap	0-15	10YR 5/3 коричневый	1,31	–	–	–	–
6-1	A1	0-15	10YR 4/1 темно-серый	–	6,65	0,54	4,22	3,49
6-2	C	120-130	10YR 6/6 коричневато-желтый	0,97	5,98	0,43	1,31	0,32
9	A1	0-15	10YR 5/2 серовато-коричневый	1,06	6,23	0,54	16,10	5,26

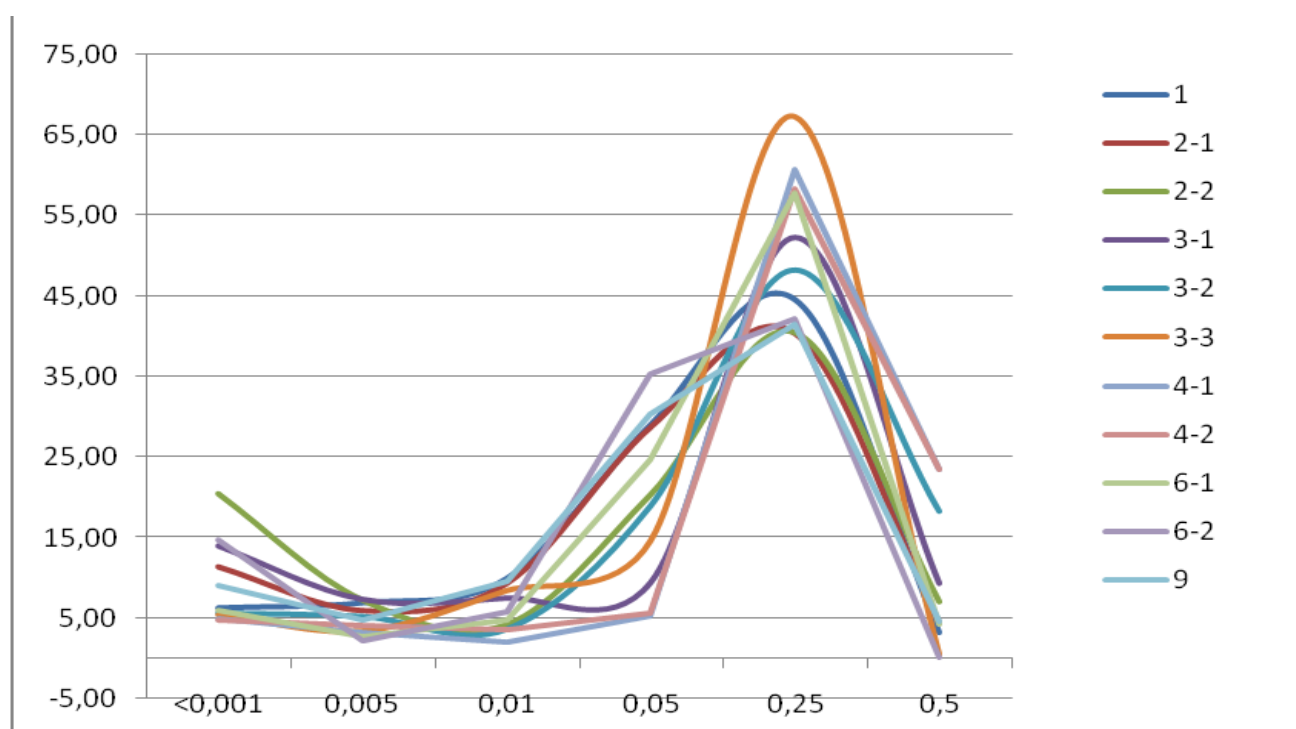
Данные гранулометрического состава почв и пород представлены в табл. 3.

Построенные дифференциальные кривые распределения фракций гранулометрического состава изученных почв (рис. 2) демонстрируют сходство почв, связанной с облегченным гранулометрическим составом, особенно на прибрежном плато долины Ворсклы, частично занятым скифским городищем (табл. 3, 4, 6).

**Таблица 3.** Данные гранулометрического анализа почв (пипеточный метод)

Образец	Содержание частиц, %; фракция, мм								Гранулометрический состав
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	>0,01 мм	<0,01 мм	
1	3,22	44,58	29,08	9,92	6,92	6,28	76,88	23,12	Легкосуглинистый

2-1	4,39	40,33	28,72	9,28	5,92	11,36	73,44	26,56	легкосуглинис тый
2-2	7,12	40,40	20,40	4,28	7,32	20,48	67,92	32,08	среднесуглини стый
3-1	9,36	52,28	9,48	7,52	7,36	14,00	71,12	28,88	легкосуглинис тый
3-2	18,29	48,31	19,00	3,60	5,19	5,61	85,60	14,40	супесчаный
3-3	0,52	67,36	14,72	8,48	3,44	5,48	82,60	17,40	супесчаный
4-1	23,55	60,77	5,32	2,08	3,20	5,08	89,64	10,36	супесчаный
4-2	23,55	58,34	5,60	3,60	4,07	4,84	87,49	12,51	супесчаный
6-1	4,24	57,88	24,68	4,72	2,64	5,84	86,8	13,20	супесчаный
6-2	0,06	42,14	35,20	5,72	2,16	14,72	77,40	22,60	легкосуглинис тый
9	4,58	41,58	30,44	9,60	4,76	9,04	76,60	23,40	легкосуглинис тый



**Рис. 2.** Дифференциальные кривые распределения фракций гранулометрического состава изученных почв

Концентрация макро- и микроэлементов в почвах, установленная в процессе исследований, представлена в [табл. 4](#).

**Таблица 4.** Валовой состав почв

Объект определения	Ед. из м.	Объекты (№ точек отбора согласно таблице 1, горизонты – по табл. 2)															
		1	2-1	2-2	3-1	3-2	3-3	4-1	4-2	5	6-1	6-2	7	8	9	10	11
TiO <sub>2</sub>	%	1,2	0,8	0,8	0,7	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,6	0,5	0,7	0,8	0,6	0,8	0,8
MnO	%	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Feобщ	%	2	2	3	3	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2

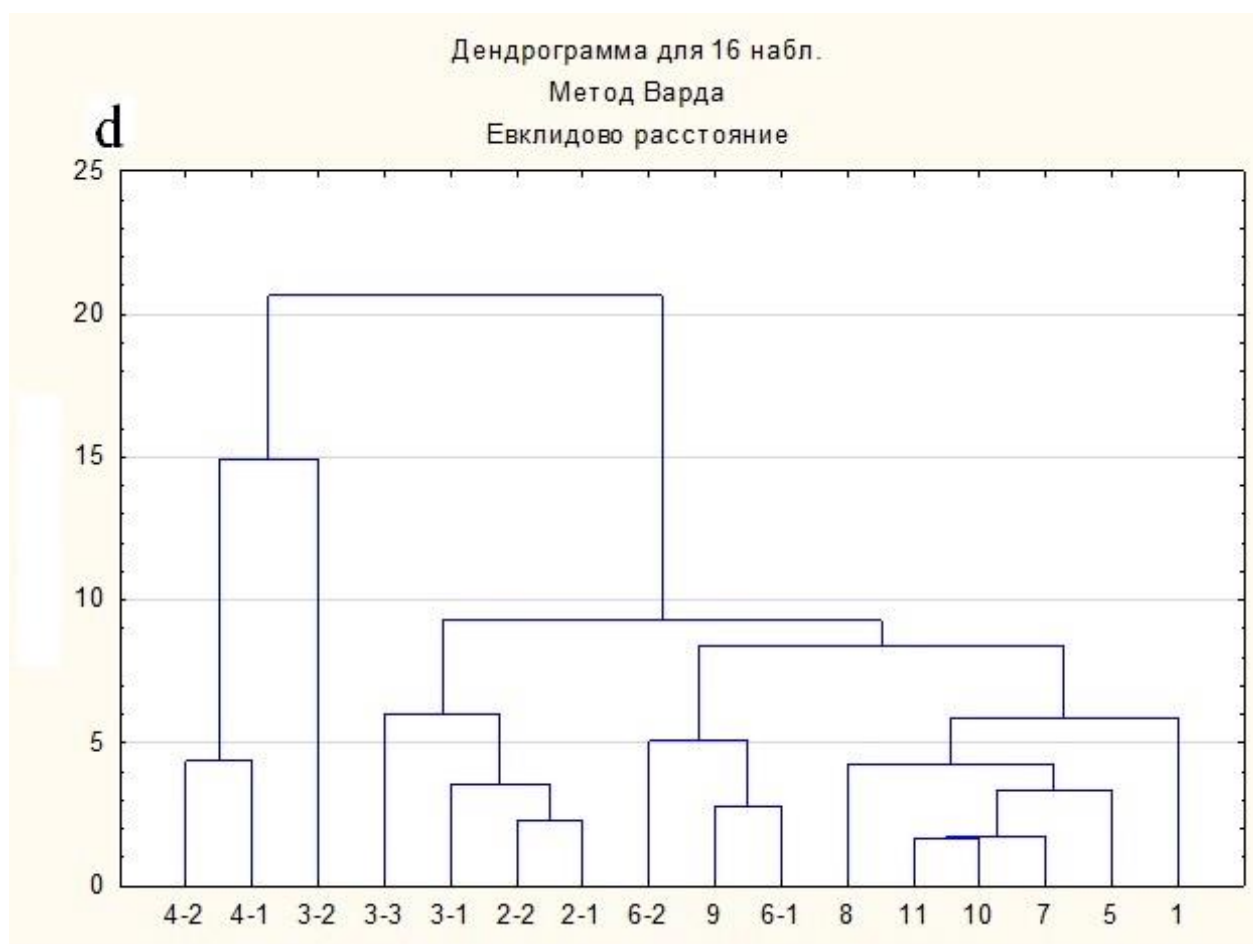


CaO	%	1	1	1	1	18	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	8	10	10	8	3	7	7	6	7	6	8	9	8	8	9	8
SiO <sub>2</sub>	%	76	65	63	57	52	53	68	68	75	64	63	72	64	64	74	68
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,1	0,2	0,5	0,2	6,6	2,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2
K <sub>2</sub> O	%	2	2	2	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
MgO	%	0,5	0,7	0,9	0,7	2,3	1,5	0,4	0,3	0,6	0,4	0,7	0,7	0,5	0,5	0,6	0,6
Na	%	0,7	0,6	0,8	0,8	1,6	1,3	0,4	0,3	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6
V	ppm	47	64	60	77	45	61	60	53	61	57	84	66	61	62	60	63
Cr	ppm	91	82	83	95	62	81	63	11 3	78	70	85	77	74	67	77	83
Co	ppm	13	13	19	16	14	14	3	3	12	12	13	11	14	10	16	14
Ni	ppm	32	36	38	30	30	33	15	7	18	19	20	26	25	21	24	27
Cu	ppm	30	40	37	33	12	28	15	15	17	21	16	25	24	23	26	22
Zn	ppm	70	88	97	79	272	114	10	27	63	42	43	54	88	54	55	69
Sr	ppm	97	80	91	62	615	232	нпо	нпо	69	129	279	84	98	56	73	93
Pb	ppm	21	18	12	21	10	16	3	0	10	13	10	20	32	6	14	15
Rb	ppm	76	74	77	71	35	68	30	22	70	71	69	72	71	50	72	76
Ba	ppm	519	487	458	431	577	421	265	277	462	381	361	445	425	354	420	430
As	ppm	6	5	6	6	3	4	3	2	6	5	9	6	8	7	6	7
Zr	ppm	523	454	494	364	181	306	223	161	545	416	382	543	463	314	502	493

Примечание. НПО – ниже предела определения.

По данным [табл. 4](#) выполнен кластерный анализ, результаты которого представлены на [рис. 3](#).

По результатам кластерного анализа четко выполняется группировка погребенных почв и близких к ним почв на территории скифского городища. Почвы-эталоны (дубрава и целина) и обрабатываемые почвы (как на сельхозпредприятиях, так и в ЛПХ) также формируют отдельные кластеры. на [рис. 3](#) вне группировки находятся наиболее самобытные почвы – у дорожного полотна (т. 8), под лесом у городища (т. 1), а также материнская порода (т. 6-2).



**Рис. 3.** Результаты кластерного анализа объектов исследования (d – расстояние объединения).

Полученные данные по вещественному составу почв лучше анализировать, если с помощью геохимических соотношений и коэффициентов можно выйти на интерпретацию элементарных почвообразовательных процессов. Нами, используя данные по 17 элементам и оксидам, рассчитаны геохимические коэффициенты, предложенные ранее отечественными и зарубежными исследователями. Общую оценку качества почв проводили по сумме накопленных в результате педогенеза элементов, необходимых для растений (Битюцкий, 2011). Это при определенных условиях может характеризовать возможности той или иной почвы в инактивации загрязнителей.

В связи с постоянным совершенствованием представлений об опасности отдельных тяжелых металлов в России и за рубежом большой интерес вызывает сопоставление ряда токсичности элементов по подвижности их в почве с рядом их токсичности в почве по значениям ПДП. Опасность тяжелых элементов в России оценивают по критерию ПДК<sub>подв</sub> – для подвижных соединений, растворимых в ацетатно-аммонийном буфере pH 4,8. Сравнивая значения двух критериев – предельно допустимой концентрации подвижных форм тяжелых металлов/металлоидов в почвах (ПДК<sub>подв</sub>) по данным российских нормативов (Большаков и др., 2004) и предельно допустимого превышения (ПДП) тяжелых металлов и металлоидов по данным нидерландских экологов (Crommentuijn, 1997), можно сделать вывод, что они оказались близкими для ряда металлов: Cr, Ni, Cu и Zn (табл. 5). Это дает основание с помощью величин ПДП проводить в России оценку загрязнения почв теми элементами, для которых нормативов ПДК<sub>подв</sub> нет, а содержание некоторых из них вовсе не учитывается (Водяницкий, 2012). Опасность в почве некоторых элементов оказывается выше общетоксикологического уровня и, например, как это показано в (Водяницкий, 2012), опасность Ba и V в почвах недооценена и поэтому их следует отнести к группе умеренно опасных элементов. Общим выводом является необходимость пересмотра

отнесения металлов к тому или иному классу опасности, особенно при сравнении с принятыми в мире, например, в Нидерландах, нормативами для почв (табл. 5).

**Таблица 5.** Опасность металлов по Российскому общетоксикологическому нормативу (ГОСТ 17.4.1.02 – 83, 1983), по ПДК<sub>подв</sub> для почв (Большаков и др., 2004) и по Нидерландским нормативам для почв (Crommentuijn, 1997), мг/кг

Класс опасности	Россия		Нидерланды, ПДП
	Общетоксикологический норматив	ПДК <sub>подв</sub>	
1. Сильноопасные	As, Pb, Zn		<1: Be, Se, Tl, Sb, Cd
2. Умеренноопасные	Co, Ni, Cu, Cr	Cu(3), Ni(4), Co(5), Cr(6)	1–10: V, Hg, Ni, Cu, Cr, As, Ba
3. Слабоопасные	Ba, V, Sr	Zn(23)	>10: Zn, Co, Sn, Ce, Pb, Mo

В проведенном нами исследовании, если оценивать потенциалы инактивации загрязнителей, изученные объекты формируют на качественном уровне четыре группы почв (от лучших к худшим): 1) 1 и 2-1; 2) 3-1, 5, 7, 9-11; 3) 8; 4) 6-1.\*

Полученные в процессе исследований данные позволяют утверждать, что установлена интересная особенность: полноголоценовые фоновые почвы под коренной растительностью (лесной и травянистой) характеризуются меньшим запасом необходимых элементов для растений. Эта особенность объясняется предельно высокой вовлеченностью таких элементов в биологическом круговороте, при оптимальных биохимических условиях, свойственных лесостепи. И даже довольно зрелый древостой в ур. Мелкий лес только ещё приближается по содержанию необходимых макро- и микроэлементов к зональному стандарту – почве коренной дубравы заповедного участка «Лес на Ворскле».

Величины геохимических коэффициентов, рассчитанных по данным рентгенофлуоресцентного анализа о концентрации элементов и оксидов, представлены в табл. 6.

**Таблица 6.** Результат расчета геохимических соотношений и коэффициентов для исследованных почв

Наименование коэффициента	Почвенный объект									
	1	2-1	3-1	5	6-1	7	8	9	10	11
$\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{NaO}+\text{K}_2\text{O}+\text{MgO})$	1,85	2,11	1,85	1,96	1,65	2,06	1,86	1,90	2,14	1,88
Rb/Sr	0,79	0,91	1,15	1,01	0,55	0,86	0,72	0,90	0,98	0,81
Ba/Sr	5,34	6,06	6,98	6,69	2,95	5,31	4,34	6,37	5,75	4,62
$(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MnO})/\text{Al}_2\text{O}_3$	0,37	0,38	0,48	0,38	0,39	0,35	0,39	0,36	0,33	0,38
MnO/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
MnO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,08	0,03	0,02	0,05	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03
$(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MnO})/\text{Fe}_2\text{O}_3$	1,08	1,03	1,02	1,05	1,03	1,02	1,03	1,02	1,03	1,03

\* Нумерация согласно исходному перечню объектов (см. таблица 1).



(CaO + MgO)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,18	0,20	0,23	0,50	0,25	0,18	0,23	0,25	0,16	0,20
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	0,36	0,28	0,40	0,26	0,29	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
(K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,36	0,27	0,32	0,35	0,35	0,31	0,30	0,28	0,30	0,33
Na <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10	0,06	0,09	0,07	0,08	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07
TiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,85	6,75	6,74	10,03	10,57	8,05	8,21	8,13	7,95	8,26
Zr/TiO <sub>2</sub>	424,85	546,42	527,62	633,70	742,02	465,08	564,87	570,45	660,04	648,78
Коэффициент Шоу (R)	1,36	1,32	1,30	0,95	0,91	1,17	1,13	0,75	1,07	1,60

Получены ранжированные возрастающие ряды по указанным коэффициентам:

1) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O+MgO): 6=1<3<8<11<9<5<7<2=10;

2) Rb/Sr: 6=8<11<7<1<10<2<9<5=3;

3) Ba/Sr: 6=8<1<11<7<9<2<10<5=3;

4) (CaO + MgO)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 5=10<1<7<2<11<3<8<6=9;

5) TiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 3=2<10<7<9<8<11<1<5=6;

6) коэффициент Шоу: 9=6<5<10<8<7<3<2<1=11.

По соотношению TiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, что позволяет оценить степень однородности материала, резко выделяются почвенные объекты, связанные с антропогенным рельефообразованием (3-2, 4-1-2, 5 и 6-1). Поэтому в дальнейшем мы сосредоточились на почвах на дневной поверхности и их верхнем горизонте.

По коэффициентам выветривания устойчиво высокие значения отмечены у почв 3, 5 и 8, т.е. у почвы, погребенной под скифским валом на глубине 71 см, огородной почвы ЛПХ с ручной обработкой и почвы у дорожного полотна.

Соотношение (CaO+MgO)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, которое отражает накопление почвенного кальцита и доломита, имеет тенденцию увеличения у почв 3, 6, 8 и 9, т.е. у почвы, погребенной под скифским валом, целинной почвы со злаково-разнотравной растительностью, почвы у дорожного полотна и лесной почвы коренной дубравы.

По коэффициенту аккумуляции микроэлементов Шоу (R) зональный уровень в легкосуглинистой почве под лесом и супесчаной почве под травянистой растительностью превышает на 13–17 % содержание микроэлементов в материнской породе (легкий суглинок), а при наличии антропогеохимического «прессинга» это увеличение достигает уже 30–60 %. Например, это отмечено у почвы под лесонасаждением и у почвы на вершине скифского вала, у почвы, погребенной под скифским валом и у почвы в яблоневом саду.

Наиболее информативные геохимические коэффициенты показали, что выбранные объекты исследования в агроландшафтах: пахотные (10 и 11) и огородные (5 и 7) почвы довольно разнородны, что предусматривалось отразить через типы обработок и виды выращиваемых культур (Титова и др., 2004).

Вполне объяснимо положение в ранжированном ряду таких объектов, как 5, 7, 2 и 10, в которых отмечен максимальный вынос в почвенные растворы основных катионов по коэффициенту Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O+MgO).

Хорошим потенциалом для выявления антропогенно преобразованных почв является использование коэффициентов Rb/Sr и Ba/Sr. Фоновые почвы (6 и 9) характеризуются наименьшей аккумуляцией микроэлементов, но при более детальном рассмотрении выясняется, что причиной этого по другим объектам выступают разнородные антропогенные воздействия (например, места жизнедеятельности людей в прошлом и использование земель под садоводство).

Таким образом, для организации дальнейших исследований в условиях лесостепи при доминировании сельскохозяйственного природопользования определен круг наиболее информативных геохимических коэффициентов.

Традиционно экологическую оценку почв выполняют на основании сопоставления содержания концентрации загрязнителя с ПДК. Полученные нами данные при их сопоставлении с ПДК позволили составить предварительный ранжированный ряд объектов: 9<3<2<1<11<10<7<6<5<8.

Установлено, что наиболее загрязнены по As, Co, Cr, Cu, Pb, Sr, Zn дневные почвы у дороги и на вершине скифского вала, а также почва, погребенная под этим валом.

Кроме того, ожидаемо, что почва вблизи дороги по концентрации свинца приблизилась к уровню ПДК, она, как и две другие почвы, имеет высокое содержание хрома. Почвы на территории скифского городища имеют наиболее высокие концентрации меди, что, несомненно, обусловлено влиянием антропогенного фактора. Три почвы (целинная почва под злаково-разнотравной растительностью, лесная почва коренной дубравы («Лес на Ворскле») и огородная почва ЛПХ с ручной обработкой) отмечены как наиболее «чистые» в экологическом отношении.

В целом можно отметить, что в условиях сельской местности запада Белгородской области, где почвообразовательный процесс преимущественно связан с лесной обстановкой, наиболее важен в экологическом контроле хром и, в меньшей степени, медь и свинец.

Более совершенный подход к экологической оценке почв предполагает использование следующих показателей:

1. Содержание токсичных элементов в почве с оценкой по санитарно-гигиеническим критериям. Необходимо учитывать свойства почв, фоновое содержание в них элементов. Оценка степени загрязнения элементами производится в комплексе с учетом динамики элементов во времени и пространстве в зависимости от свойства почвы;

2. Использование суммарного коэффициента антропогенного загрязнения – интегрального показателя.

Нами использован подход (Титова и др., 2004) для оценки степени опасности загрязнения почв тяжелыми металлами по закрытой 100-балльной шкале. Балл, характеризующий степень загрязнения почвы (Б), рассчитывается на основе содержания в почве токсичных элементов и соединений, их фонового значения, санитарно-гигиенических нормативов (с учетом содержания элемента):

$$D = \sum_{i=1}^N [(C_i / C_{i\text{фон}}) * K_i], \quad (1)$$

где  $D$  – приведенный суммарный коэффициент концентрации;  $C_i$  – содержание элемента в изучаемой почве, мг/кг;  $C_{i\text{фон}}$  – фоновое содержание элемента, мг/кг;  $K$  – коэффициент значимости элементов, обратно пропорциональный ПДК (ОДК) –  $1/\text{ПДК}_i$ .

Если содержание элемента или соединения равно или ниже фонового, отношение  $C_i/C_{i\text{фон}}=1$ , то

$$D_{\text{фон}} = \sum_{i=1}^N K_i, \quad (2)$$

где  $D_{\text{фон}}$  – приведенный суммарный коэффициент концентрации для фоновой почвы (оценочный балл равен 100).

$$B = D_{\text{фон}} * 100 / D, \quad (3)$$

где  $B$  – интегральный оценочный балл, находящийся в пределах от 0 до 100 (Титова и др., 2004).

Результаты оценки экологического состояния почв представлены в табл. 7.

**Таблица 7.** Результаты оценки экологического состояния почв

№№ точки	Элемент (мг/кг)							Показатели оценки		
	As	Co	Cr	Cu	Pb	Sr	Zn	Di	$D_{\text{фон}}$	Б
6-1	4,92	12,44	69,56	21,26	13,45	129,11	42,02	0,21	0,21	99,90
9	6,70	9,89	66,60	22,60	5,99	55,60	54,06	0,21	0,21	99,70
5	6,01	11,64	77,64	16,91	9,95	69,05	62,88	0,21	0,21	98,30
7	5,99	10,72	77,37	24,67	19,54	83,81	53,50	0,25	0,21	84,30
10	6,40	15,70	77,02	26,34	13,80	72,97	55,39	0,25	0,21	82,50
2-1	5,46	12,92	82,25	39,98	17,68	80,36	88,05	0,26	0,21	79,60

11	7,27	13,55	83,24	22,36	15,38	93,20	69,15	0,27	0,21	78,60
1	5,89	13,22	90,88	29,33	21,05	97,11	70,49	0,27	0,21	77,70
6-2	9,07	12,75	85,28	15,86	10,47	279,31	43,77	0,27	0,21	77,00
3-1	5,66	15,87	94,91	33,14	20,75	61,84	79,01	0,28	0,21	75,30
8	7,81	14,41	73,57	24,45	32,15	98,08	88,24	0,34	0,21	62,50
Среднее (Сi) фон	5,81	11,17	68,08	21,93	9,72	92,36	48,04	–	–	–
ПДК	10	30	80	40	32	600	150	–	–	–
Ki	0,500	0,033	0,013	0,025	0,031	0,002	0,007	–	–	–

Преимуществом использования интегрального оценочного балла согласно (3) является представление конечного результата оценки в стандартной форме, традиционно используемой при бонитировке почв, а также учет значимости отдельных элементов. А в структуре показателя Б параметр D учитывает различия в токсичности загрязнителей (Титова и др., 2004).

Использованная система оценки экологического состояния земель имеет ряд преимуществ:

1. Получение более объективных обобщений, основанных на учете не только антропогенно обусловленного повышения концентраций загрязняющих элементов в почве относительно фоновых уровней, но и индивидуальных особенностей и токсичности;

2. Представление информации с использованием закрытой шкалы более удобно для ведения учета почв, составления оценочных карт с ясной легендой, что позволяет широко использовать расчет по формуле (3) для интегральной оценки загрязнения почв с учетом превышения фоновых значений содержания элементов и соединений, а также их токсичности и для учета степени загрязнения в процессе эколого-экономической оценки земель (Титова и др., 2004).

Для обоснования фоновых значений элемента нами проанализировано содержание каждого из семи тяжелых металлов на двух эталонных участках: коренная заповедная дубрава (9) и целина (6-1). По таким элементам, как Co, Cr, Pb, Sr, фоном может выступать заповедная дубрава, по другим (As, Zn, Cu) предпочтительней выбрать целину с травянистым покровом.

Однако, различия по этим двум эталонным участкам, в общем-то, незначительны и среднее значение по ним может быть принято в качестве фона, тем более, что в истории формирования лесостепных ландшафтов, как отмечено выше для изучаемого участка, были смены степной растительности на лесную.

Ранжированный ряд антропогенно обусловленного загрязнения лесостепных почв запада Белгородской области (с оценками Б) имеет следующий вид: целина (99,89), коренной лес (99,71), огород с ручной обработкой (98,27), пашня (82,49), новообразованная почва (79,62), сад (78,63), лесонасаждение (77,73), материнская порода (77,01), погребенная почва (75,32), почва у автодороги (62,46).

Выполненная экологическая оценка показала, что по интегральной оценке почва под коренной дубравой и целинная почва под травянистой растительностью, несмотря на потенциальное воздействие глобальных аэрозолей индустриальной эпохи, могут рассматриваться как безусловные эталоны.

За счет того, что погребенная почва свыше 22 веков была «законсервирована» под земляной насыпью вала, она сохранила свидетельства жизнедеятельности и хозяйственных воздействий человека в древности. Это, в определенной мере, подтверждает и позиция в ранжированном ряду антропогенных трансформаций почвы под искусственным лесонасаждением, вблизи скифского городища. Почвы в ЛПХ при весомых различиях по видам обработки почвы (машинная и ручная), все же превосходят по экологическим оценкам пашню при использовании земель в севооборотах с выращиванием технических культур и почву под садом.



В итоге, сформирован ранжированный (возрастающий по степени экологического неблагополучия) ряд антропогенных трансформаций лесостепных почв запада Белгородской области: почвенные эталоны (заповедный участок, дубравы и целина), целина – под лесонасаждением – пахотная под полевым севооборотом – под многолетними насаждениями – огородные в ЛПХ – новообразованная за 25 веков почва на антропогенном рельефе – погребенная почва.

Если обратиться не к интегральному состоянию почв, а поэлементному анализу концентрации тяжелых металлов, то при использовании в качестве эталона сравнения принятых в Нидерландах нормативов ПДП для почв наиболее высокие концентрации умеренноопасных (по классу опасности) металлов отмечены у объектов 3-1 (Cr, Cu), 1 (Cr) и 2-1 (Cu), которые находятся на территории жизнедеятельности людей прошлого. В настоящее время эти земли экологической угрозы не представляют, так как агрохозяйственное использование этой территории невозможно, но известно, что до начала лесомелиоративных работ (1947–1959 гг.) на территории скифского городища почвы использовали под огород и бахчу.

Расчетный период для оценки аккумуляции свинца и цинка в почвах у автодорог был принят равным 56 годам. За это время среднегодовая скорость аккумуляции свинца достигала 0,4 мг/кг в год, что привело к достижению в почвах уровня ПДК (32 мг/кг).

Аналогично потребовалась оценка поступления тяжелых металлов в почвы агроландшафтов. Известно, что азотные, а особенно фосфорные удобрения отличаются большим содержанием Cu, Zn, Pb, а калийные – Pb, Cu и Zn (Державин, 1992). За относительно непродолжительный период производство и применение в сельском хозяйстве минеральных макроудобрений существенно увеличилось. Расчеты показали, что среди почв агроландшафтов наиболее важными для целей почвенно-экологического мониторинга являются земли, используемые в садоводстве, где при условии ранее реализованных скоростей аккумуляции ТМ прогноз достижения уровня превышения ПДК оценивается в 194 года (Pb) и 250 лет (Zn). Это тем более важно отметить, так как в Белгородской области согласно долгосрочной целевой программе «Развитие отрасли садоводства в Белгородской области с увеличением объема производства яблок до 500 тысяч тонн на период до 2018 года» планируется к 2018 г. увеличить площадь садов до 14 тыс. га.

#### 4. Заключение

Выполненная оценка экологического состояния почв показала, что по интегральному состоянию почвы коренной дубравы и целинная под травянистой растительностью, несмотря на потенциальные воздействия от глобальных аэрозолей в индустриальную эпоху могут рассматриваться как безусловные эталоны.

Наиболее высокие концентрации умеренно опасных (по классу опасности) металлов отмечены у почв, которые находятся на территории жизнедеятельности людей прошлого. Положение погребенной почвы, которая свыше 22 веков была «законсервирована» под земляной насыпью вала, (т.е. ещё в доиндустриальную эпоху) сохранила свидетельства жизнедеятельности и хозяйственных воздействий человека в древности. Огородные почвы ЛПХ при весомых различиях в типе обработке почвы, превосходят по экологическим оценкам пашню (при использовании земель в севооборотах с выращиванием технических культур) и почву под садом.

В условиях лесостепной зоны запада Белгородской области, где почвообразовательный процесс преимущественно связан с лесной обстановкой, наиболее важен в экологическом контроле хром, а также медь и свинец. А с учетом степени токсичности перечень тяжелых металлов, приоритетный для почвенно-экологического мониторинга, можно представить в виде ранжированного убывающего ряда:  $Cu > Pb > Cr$ .

Среди почв агроландшафтов наиболее важными в почвенно-экологическом мониторинге являются земли, используемые в садоводстве, где при условии ранее реализованных скоростей аккумуляции ТМ прогноз достижения уровня превышения ПДК оценивается в 194 года (Pb) и 250 лет (Zn). Это тем более важно отметить, так как в Белгородской области планируется к 2018 г. увеличить площадь садов до 14 тыс. га.

Для организации дальнейших исследований в условиях лесостепи при доминировании сельскохозяйственного природопользования определен перечень наиболее информативных

геохимических коэффициентов изменения вещественного состава почв. Это такие коэффициенты, как три коэффициента выветривания:  $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O+MgO)$ ;  $Rb/Sr$ ;  $Ba/Sr$ , а также  $(CaO+MgO)/Al_2O_3$ ;  $TiO_2/Al_2O_3$ ,  $Zr/TiO_2$  и коэффициент аккумуляции микроэлементов Шоу.

### Литература

- Битюцкий, 2011** – *Битюцкий Н.П.* (2011). Микроэлементы высших растений. С-Пб.: Изд-во С.-Петербур. гос. ун-та, 368 с.
- Большаков и др., 2004** – *Большаков В.А., Белобров В.П., Шишов Л.Л.* (2004). Словник. Термины, их краткое определение, справочные материалы по общей и почвенной экологии, географии и классификации почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 138 с.
- Борисовка, 1995** – *Борисовка: 1695–1995: Исторические очерки (1995).* Спасская О. П. и др. Белгород: Белгородская областная типография, 143 с.
- Борисовский район..., 2002** – *Борисовский район: природа, население, хозяйство, экология* (2002). Бондарев Г.И., Григорьев Г.Н., Дегтярь А.В., Колчанов А.Ф., Колчанов Р.А., Кулик И.В., Лисецкий Ф.Н., Николенко Е.Н., Новых Л.Л., Петровский А.Б., Присный А.В., Соловьев А.Б., Чугунова Н.В., Яковчук М.М. Учебное пособие / Под общей редакцией Г.И. Бондарева. Белгород–Борисовка, 192 с.
- Бушинский, 1953** – *Бушинский Г.И.* (1953). Происхождение полезных ископаемых. М.: Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 64 с.
- Водяницкий, 2012** – *Водяницкий Ю.Н.* (2012) Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах // *Почвоведение*, № 3, С. 368–375.
- Голеусов, Лисецкий, 2009** – *Голеусов П.В., Лисецкий Ф.Н.* (2009). Воспроизводство почв в антропогенно нарушенных ландшафтах лесостепи. М.: ГЕОС, 210 с.
- Державин, 1992** – *Державин Л.М.* (1992). Применение минеральных удобрений в интенсивном земледелии. М.: Колос, 270 с.
- Калабин, Моисеенко, 2011** – *Калабин Г.В., Моисеенко Т.И.* (2011). Экодинамика техногенных провинций горнопромышленных производств: от деградации к восстановлению // *Доклады Академии наук*, Т. 437, № 3, С. 398–403.
- Калиниченко, 2012** – *Калиниченко В.П.* (2012). Биогеосистемотехника: Гносеологические основы управления экосистемами // *Почвоведение и агрохимия*, № 4, С. 72–76.
- Кочетов и др., 2000** – *Кочетов И.С., Лукин С.В., Лисецкий Ф.Н., Марциневская Л.В.* (2000). Оценка энергетической эффективности адаптивно-ландшафтной системы земледелия в ЦЧР // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*, № 6, С. 21–23.
- Лисецкий и др., 2007** – *Лисецкий Ф.Н., Чепелев О.А., Кубрак В.Г.* (2007). Комплексное исследование археологических памятников для решения задач эволюционного почвоведения // *Историческая география: теория, методы и инновации: материалы III междунар. науч. конф.* СПб.: ЛГУ им. А.С. Пушкина, С. 146–150.
- Лисецкий и др., 2008** – *Лисецкий Ф.Н., Свиридова А.В., Кухарук Н.С., Голеусов П.В., Чепелев О.А.* (2008). Аккумуляция тяжелых металлов в растениеводческой продукции зоны техногенеза // *Вестник Оренбургского государственного университета*, № 10 (92), С. 142–149.
- Лисецкий, Голеусов, 2006** – *Лисецкий Ф.Н., Голеусов П.В.* (2006). Геоэкологические исследования современного состояния природных сред в районе Курской магнитной аномалии // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*, №1, С. 222–225.
- Ляпушкин, 1961** – *Ляпушкин И.И.* (1961). Днепровское лесостепное левобережье в эпоху железа: археологические разыскания о времени заселения левобережья славянами. М.; Ленинград: Изд-во АН СССР, 384 с.
- Моисеенко, 2011** – *Моисеенко Т.И.* (2011). Устойчивость водных экосистем и их изменчивость в условиях токсичного загрязнения // *Экология*, № 6, С. 441–448.
- Состояние окружающей среды..., 2005** – *Состояние окружающей среды и использование природных ресурсов Белгородской области в 2003–2004 годах (2005)* / Авраменко П.М., Бычкова Н.С., Воробьева О.В., Григорьев Г.Н., Дегтярь А.В., Евдокимов В.И., Ищенко Т.А., Колесников В.Н., Колмыков С.Н., Колчанов А.Ф., Колчанов Р.А.,

Корнилов А.Г., Корнилова О.Ю., Красавин Н.М., Лисецкий Ф.Н., Лукин С.В., Мазуров В.Е., Марциневская Л.В., Марченко В.Н., Москвитин С.А. и др. Под редакцией С. В. Лукина, Ф.Н. Лисецкого, М. В. Терентьева. Белгород, 182 с.

**Титова и др., 2004** – Титова В.И., Дабахов М.В., Дабахова Е.В. (2004). Некоторые подходы к экологической оценке загрязнения земельных угодий // *Почвоведение*, № 10, С. 1264–1267.

**Чендев, 2014** – Чендев Ю.Г. (2014). Почвы скифских городищ на юге лесостепи Среднерусской возвышенности // *Материалы Всероссийской научной конференции по археологическому почвоведению. Ин-т физ.-хим. проблем почвоведения РАН. Пущино*, С. 247–250.

**Чендев и др., 2011** – Чендев Ю.Г., Александровский А.Л., Хохлова О.С. и др. (2011). Антропогенная эволюция серых лесостепных почв южной части среднерусской возвышенности // *Почвоведение*, № 1, С. 3–15.

**Шишов, Панкова, 2006** – Шишов Л.Л., Панкова Е.И. (2006). Засоленные почвы России. М.: Академкнига, 854 с.

**Batukaev et al., 2016** – Batukaev A.A., Endovitsky A.P., Andreev A.G., Kalinichenko V.P., Minkina T.M., Dikaev Z.S., Mandzhieva S.S., Sushkova S.N. (2016). Ion association in water solution of soil and vadose zone of chestnut saline solonetz as a driver of terrestrial carbon sink // *Solid Earth*, 7, Issue, 2, pp. 415-423, doi:10.5194/se-7-415-2016

**Crommentuijn et al., 1997** – Crommentuijn T., Polder M.D., van de Plassche E.J. (1997). Maximum permissible concentrations and negligible concentrations for metals, taking background concentrations into account. Bilthoven: National Institute of Public Health and the Environment, 260 p.

**Endovitsky et al., 2016** – Endovitsky A.P., Batukaev A.A., Minkina T.M., Kalinichenko V.P., Mandzhieva S.S., Sushkova S.N., Mischenko N.A., Bakoyev S.Y., Zarmaev A.A., Jusupov V.U. (2016). Ions association in soil solution as the cause of lead mobility and availability after application of phosphogypsum to chernozem // *Journal of Geochemical Exploration*. Available online 31 August 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.018>

**Gallet et al., 1996** – Gallet S., Borming J., Gallet S., Masayuki T. (1996). Geochemical characterization of the Luochuanloesspaleosol sequence, China, and paleoclimatic implications // *Chemical Geology*, Vol. 133, pp. 67–88.

**Glazko, Sister, 2016** – Glazko V.I., Sister V.G. (2016). Biogeosystem technique as a method to attenuate the conflict between bio-, agri- and techno- spheres // *ISJ Theoretical & Applied Science*, 04 (36), P. 46–68. <http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2016.04.36.9>.

**Jaishankar et al., 2014** – Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals // *Interdisciplinary toxicology*, 7(2), pp. 60-72.

**Kalinichenko, 2016** – Kalinichenko V.P. (2016). Optimizing the matter flow in biosphere and the climate of the earth at the stage of technogenesis by methods of biogeosystem technique (problem-analytical review) // *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (4), Is. 2, pp. 99-130. DOI: 10.13187/ijep.2016.4.99.

**Lisetskii et al., 2016** – Lisetskii F.N., Marinina O.A., Gadzhiev R.S., Vorobyeva E.Y. (2016). Rationale for indicators of arable farming duration (based on research findings in the county of the antique polis of Kerkinitis) // *The Social Sciences*, Vol. 11, Is. 13, pp. 3361–3365.

**Mani, Kumar, 2014** – Mani, D., & Kumar, C. (2014). Biotechnological advances in bioremediation of heavy metals contaminated ecosystems: an overview with special reference to phytoremediation. // *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(3), pp. 843-872.

**Minkina et al., 2015** – Minkina T.M., Bauer T.V., Batukaev A.A., Mandzhieva S.S., Burachevskaya M.V., Sushkova S.N., Kalinichenko V.P. (2015). Transformation of technogenic Cu and Zn compounds in chernozem. // *Environmental Engineering and Management Journal*, Vol. 14, № 2, pp. 481-486.

**Prasad, 2013** – Prasad M.N.V. (Ed.). (2013). Heavy metal stress in plants: from biomolecules to ecosystems. Springer Science & Business Media.



[Retallack et al., 2003](#) – *Retallack G.J., Sheldon N.D., Cogoini M. et al.* (2003). Magnetic susceptibility of early Paleozoic and Precambrian paleosols // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 198, pp. 373–380.

[Retallack, 2001](#) – *Retallack G. J.* (2001). Scoyenia burrows from the Ordovician palaeosols of the Juniata formation in Pennsylvania // *Palaeontology*, Vol. 44 (2), pp. 209–235.

[Shaw, 1964](#) – *Shaw D.M.* (1964). Interpretation géochimique des éléments en traces dans les roches cristallines. Paris: Masson, 237 p.

[Tang et al., 2014](#) – *Tang, W. W., Zeng, G. M., Gong, J. L., Liang, J., Xu, P., Zhang, C., & Huang, B. B.* (2014). Impact of humic/fulvic acid on the removal of heavy metals from aqueous solutions using nanomaterials: a review. *Science of the total environment*, 468, pp. 1014-1027.

[Thakur et al., 2016](#) – *Thakur, S., Singh, L., Ab Wahid, Z., Siddiqui, M. F., At Naw, S. M., & Din, M. F. M.* (2016). Plant-driven removal of heavy metals from soil: uptake, translocation, tolerance mechanism, challenges, and future perspectives. // *Environmental monitoring and assessment*, 188(4), pp. 1-11.

[Vries et al., 2013](#) – *de Vries, W., Groenenberg, J. E., Lofts, S., Tipping, E., & Posch, M.* (2013). Critical loads of heavy metals for soils. In *Heavy metals in soils*, pp. 211-237. Springer Netherlands.

### References:

[Bitjuckij, 2011](#) – *Bitjuckij N.P.* (2011). Mikrojelementy vysshih rastenij. S-Pb.: Izd-vo S.-Peterb. gos. un-ta, 368 s.

[Bol'shakov i dr., 2004](#) – *Bol'shakov V.A., Belobrov V.P., Shishov L.L.* (2004). Slovník. Terminy, ih kratkoe opredelenie, spravochnye materialy po obshej i pochvennoj jekologii, geografii i klassifikacii pochv. M.: Pochv. in-t im. V.V. Dokuchaeva, 138 s.

[Borisovka, 1995](#) – *Borisovka: 1695-1995: Istoricheskie ocherki* (1995). Spasskaja O. P. i dr. Belgorod: Belgorodskaja oblastnaja tipografija, 143 s.

[Borisovskij rajon..., 2002](#) – *Borisovskij rajon: priroda, naselenie, hozjajstvo, jekologija* (2002). Bondarev G.I., Grigor'ev G.N., Degtjar' A.V., Kolchanov A.F., Kolchanov R.A., Kulik I.V., Liseckij F.N., Nikolenko E.N., Novyh L.L., Petrovskij A.B., Prisnyj A.V., Solov'ev A.B., Chugunova N.V., Jakovchuk M.M. Uchebnoe posobie / Pod obshej redakciej G. I. Bondareva. Belgorod–Borisovka, 192 s.

[Bushinskij, 1953](#) – *Bushinskij G.I.* (1953). Proishozhdenie poleznyh iskopaemyh. M.: Gos. izd-vo tehn.-teoret. lit., 64 s.

[Vodjanickij, 2012](#) – *Vodjanickij Ju.N.* (2012) Normativy sodержaniya tjazhelyh metallov i metalloidov v pochvah *Pochvovedenie*, № 3, S. 368–375.

[Goleusov, Liseckij, 2009](#) – *Goleusov P.V., Liseckij F.N.* (2009). Vosproizvodstvo pochv v antropogenno narushennyh landshaftah lesostepi. M.: GEOS, 210 s.

[Derzhavin, 1992](#) – *Derzhavin L.M.* (1992). Primenenie mineral'nyh udobrenij v intensivnom zemledelii. M.: Kolos, 270 s.

[Kalabin, Moiseenko, 2011](#) – *Kalabin G.V., Moiseenko T.I.* (2011). Jekodinamika tehnogennyh provincij gornopromyshlennyh proizvodstv: ot degradacii k vosstanovleniju, *Doklady Akademii nauk*, T. 437, № 3, S. 398–403.

[Kalinichenko, 2012](#) – *Kalinichenko V.P.* (2012). Biogeosistemotehnika: Gnoseologicheskie osnovy upravlenija jekosistemami, *Pochvovedenie i agrohimiya*, № 4, S. 72–76.

[Kochetov i dr., 2000](#) – *Kochetov I.S., Lukin S.V., Liseckij F.N., Marcinevsckaja L.V.* (2000). Ocenka jenergeticheskoj jeffektivnosti adaptivno-landshaftnoj sistemy zemledelija v CChR, *Doklady Rossijskoj akademii sel'skohozjajstvennyh nauk*, № 6, S. 21–23.

[Liseckij i dr., 2007](#) – *Liseckij F.N., Chepelev O.A., Kubrak V.G.* (2007). Kompleksnoe issledovanie arheologicheskikh pamjatnikov dlja reshenija zadach jevoljucionnogo pochvovedenija, *Istoricheskaja geografija: teorija, metody i innovacii: materialy III mezhdunar. nauch. konf. SPb.: LGU im. A.S. Pushkina*, S. 146–150.

[Liseckij i dr., 2008](#) – *Liseckij F.N., Sviridova A.V., Kuharuk N.S., Goleusov P.V., Chepelev O.A.* (2008). Akkumuljacija tjazhelyh metallov v rastenievodcheskoj produkcii zony tehnogeneza, *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, № 10 (92), S. 142–149.

Liseckij, Goleusov, 2006 – Liseckij F.N., Goleusov P.V. (2006). Geojekologicheskie issledovanija sovremennogo sostojanija prirodnyh sred v rajone Kurskoj magnitnoj anomalii, *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Geologija*, № 1, S. 222–225.

Ljapushkin, 1961 – Ljapushkin I.I. (1961). Dneprovskoe lesostepnoe levoberezh'e v jepohu zheleza: arheologicheskie razyskanija o vremeni zaselenija levoberezh'ja slavjanami. M.; Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 384 s.

Moiseenko, 2011 – Moiseenko T.I. (2011). Ustojchivost' vodnyh jekosistem i ih izmenchivost' v uslovijah toksichnogo zagryaznenija, *Jekologija*, № 6, S. 441–448.

Sostojanie okruzhajushhej sredy..., 2005 – Sostojanie okruzhajushhej sredy i ispol'zovanie prirodnyh resursov Belgorodskoj oblasti v 2003–2004 godah (2005) / Avramenko P.M., Bychkova N.S., Vorob'eva O.V., Grigor'ev G.N., Degtjar' A.V., Evdokimov V.I., Ishhenko T.A., Kolesnikov V.N., Kolmykov S.N., Kolchanov A.F., Kolchanov R.A., Kornilov A.G., Kornilova O.Ju., Krasavin N.M., Liseckij F.N., Lukin S.V., Mazurov V.E., Marcinevskaja L.V., Marchenko V.N., Moskvitin S.A. i dr. Pod redakciej S. V. Lukina, F. N. Liseckogo, M. V. Terent'eva. Belgorod, 182 c.

Titova i dr., 2004 – Titova V.I., Dabahov M.V., Dabahova E.V. (2004). Nekotorye podhody k jekologicheskoj ocenke zagryaznenija zemel'nyh ugodij, *Pochvovedenie*, № 10, S. 1264–1267.

Chendev, 2014 – Chendev Ju.G. (2014). Pochvy skifskih gorodishh na juge lesostepi Srednerusskoj vozvyshehnosti, *Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii po arheologicheskomu pochvovedeniju*. In-t fiz.-him. problem pochvovedenija RAN. Pushhino, S. 247–250.

Chendev i dr., 2011 – Chendev Ju.G., Aleksandrovskij A.L., Hohlova O.S. i dr. (2011). Antropogennaja jevoljucija seryh lesostepnyh pochv juzhnoj chasti srednerusskoj vozvyshehnosti, *Pochvovedenie*, № 1, S. 3–15.

Shishov, Pankova, 2006 – Shishov L.L., Pankova E.I. (2006). Zasolennye pochvy Rossii. M.: Akademkniga, 854 s.

Batukaev et al., 2016 – Batukaev A.A., Endovitsky A.P., Andreev A.G., Kalinichenko V.P., Minkina T.M., Dikaev Z.S., Mandzhieva S.S., Sushkova S.N. (2016). Ion association in water solution of soil and vadose zone of chestnut saline solonetz as a driver of terrestrial carbon sink, *Solid Earth*, 7, Issue, 2, pp. 415–423, doi:10.5194/se-7-415-2016

Crommentuijn et al., 1997 – Crommentuijn T., Polder M.D., van de Plassche E.J. (1997). Maximum permissible concentrations and negligible concentrations for metals, taking background concentrations into account. Bilthoven: National Institute of Public Health and the Environment, 260 p.

Endovitsky et al., 2016 – Endovitsky A.P., Batukaev A.A., Minkina T.M., Kalinichenko V.P., Mandzhieva S.S., Sushkova S.N., Mischenko N.A., Bakoyev S.Y., Zarmaev A.A., Jusupov V.U. (2016). Ions association in soil solution as the cause of lead mobility and availability after application of phosphogypsum to chernozem, *Journal of Geochemical Exploration*. Available online 31 August 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.018>

Gallet et al., 1996 – Gallet S., Borming J., Gallet S., Masayuki T. (1996). Geochemical characterization of the Luochuanloesspaleosol sequence, China, and paleoclimatic implications, *Chemical Geology*, Vol. 133, pp. 67–88.

Glazko, Sister, 2016 – Glazko V.I., Sister V.G. (2016). Biogeosystem technique as a method to attenuate the conflict between bio-, agri- and techno- spheres, *ISJ Theoretical & Applied Science*, 04 (36), pp. 46–68. <http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2016.04.36.9>.

Jaishankar et al., 2014 – Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B.B., & Beeregowda, K.N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals, *Interdisciplinary toxicology*, 7(2), pp. 60–72.

Kalinitchenko, 2016 – Kalinitchenko V.P. (2016). Optimizing the matter flow in biosphere and the climate of the earth at the stage of technogenesis by methods of biogeosystem technique (problem-analytical review), *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (4), Is. 2, pp. 99–130. DOI: 10.13187/ijep.2016.4.99.

Lisetskii et al., 2016 – Lisetskii F.N., Marinina O.A., Gadzhiev R.S., Vorobyeva E.Y. (2016). Rationale for indicators of arable farming duration (based on research findings in the county of the antique polis of Kerkinitis), *The Social Sciences*, Vol. 11, Is. 13, pp. 3361–3365.

Mani, Kumar, 2014 – Mani D., Kumar C. (2014). Biotechnological advances in bioremediation of heavy metals contaminated ecosystems: an overview with special reference to phytoremediation, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(3), pp. 843-872.

Minkina et al., 2015 – Minkina T.M., Bauer T.V., Batukaev A.A., Mandzhieva S.S., Burachevskaya M.V., Sushkova S.N., Kalinichenko V.P. (2015). Transformation of technogenic Cu and Zn compounds in chernozem, *Environmental Engineering and Management Journal*, Vol. 14, № 2, pp. 481-486.

Prasad, 2013 – Prasad M.N.V. (Ed.). (2013). Heavy metal stress in plants: from biomolecules to ecosystems. Springer Science & Business Media.

Retallack et al., 2003 – Retallack G.J., Sheldon N.D., Cogoini M. et al. (2003). Magnetic susceptibility of early Paleozoic and Precambrian paleosols, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 198, pp. 373–380.

Retallack, 2001 – Retallack G. J. (2001). Scoyenia burrows from the Ordovician palaeosols of the Juniata formation in Pennsylvania, *Palaeontology*, Vol. 44 (2), pp. 209–235.

Shaw, 1964 – Shaw D.M. (1964). Interpretation géochimique des éléments en traces dans les roches cristallines. Paris: Masson, 237 p.

Tang et al., 2014 – Tang, W.W., Zeng G.M., Gong J.L., Liang, J., Xu P., Zhang C., & Huang B.B. (2014). Impact of humic/fulvic acid on the removal of heavy metals from aqueous solutions using nanomaterials: a review, *Science of the total environment*, 468, pp. 1014-1027.

Thakur et al., 2016 – Thakur S., Singh L., Ab Wahid Z., Siddiqui M.F., At Naw S.M., & Din M.F. (2016). Plant-driven removal of heavy metals from soil: uptake, translocation, tolerance mechanism, challenges, and future perspectives, *Environmental monitoring and assessment*, 188(4), pp. 1-11.

Vries et al., 2013 – de Vrie, W., Groenenberg J.E., Lofts S., Tipping E., & Posch M. (2013). Critical loads of heavy metals for soils. In *Heavy metals in soils*, pp. 211-237. Springer Netherlands.

УДК 631.483: 631.42

### Обоснование показателей почвенно-экологического мониторинга для территорий с интенсивным сельскохозяйственным производством

Руслан Шихалиевич Гаджиев<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Российская Федерация

**Аннотация.** С помощью системы геохимических индикаторов установлены различия результатов природного и природно-антропогенного педогенеза в современном ряду антропогенных трансформаций лесостепных почв запада Белгородской области при интенсивном сельскохозяйственном производстве. Это позволило установить исходные уровни геохимической обстановки и обосновать экологические нормы с учетом тенденций изменения показателей, рекомендуемых для экологического контроля. Установлен перечень приоритетных тяжелых металлов для организации почвенно-экологического мониторинга. Показано, что в условиях лесостепи, где почвообразовательный процесс преимущественно связан с лесной обстановкой приоритетный для почвенно-экологического мониторинга ряд тяжелых металлов ранжированный по убыванию степени токсичности выглядит следующим образом: Cu>Pb>Cr. Почвенно-экологический мониторинг в условиях лесостепи при доминировании сельскохозяйственного природопользования предложено вести с учетом перечня из шести наиболее информативных геохимических коэффициентов, которые отражают процессы внутрпочвенного выветривания (выщелачивания катионов

\* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: gadzhiev@bsu.edu.ru (Р.Ш. Гаджиев)

Ca, Na, K, Mg) и аккумуляции микроэлементов в почвах. Показано, что в условиях современной трансформации земельных угодий (увеличения площадей многолетних насаждений по планам замещения импорта) наиболее важными в почвенно-экологическом мониторинге являются земли, которые используются в садоводстве из-за более высоких темпов накопления тяжелых металлов.

**Ключевые слова:** почвы лесостепи, природно-антропогенный педогенез, почвенно-экологический мониторинг, экологическое нормирование, экологический контроль, геохимические коэффициенты, экологическая оценка почв.