



Biogeosystem Technique

Journal is being issued since 2014.
ISSN 2409-3386, E-ISSN 2413-7316
2016. Vol.(10). Is. 4. Issued 4 times a year

EDITORIAL BOARD

Dr. Kalinichenko Valery – Institute of Soil Fertility of South Russia, Persianovsky, Russian Federation (Editor-in-Chief)

Dr. Blagodatskaya Evgeniya – Institute of Physical Chemical and Biological Problems of Soil Science of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russian Federation

Dr. Elizbarashvili Elizbar – Iakob Gogebashvili Telavi State University, Telavi, Georgia

Dr. Glazko Valery – Moscow agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Russian Federation

Dr. Lisetsky Fedor – Belgorod State University, Russian Federation

Dr. Minkina Tatiana – Southern Federal University, Russian Federation

Dr. Okolelova Alla – Volgograd State Technical University, Russian Federation

Dr. Shein Evgeny – Moscow State University named M.V. Lomonosov, Russian Federation

Dr. Surai Peter – Feed-Food.ltd, Scotland, UK

Journal is indexed by: **Cross Ref** (USA), **Electronic scientific library** (Russia), **Open Academic Journals Index** (Russia), **CiteFactor – Directory of International Research Journals** (Canada), **Universal Impact Factor** (Australia).

All manuscripts are peer reviewed by experts in the respective field. Authors of the manuscripts bear responsibility for their content, credibility and reliability.

Editorial board doesn't expect the manuscripts' authors to always agree with its opinion.

Postal Address: 26/2 Konstitutsii, Office 6
354000 Sochi, Russian Federation

Website: <http://ejournal19.com/en/index.html>
E-mail: evr2010@rambler.ru

Founder and Editor: Academic Publishing
House *Researcher*

Passed for printing 15.12.16.
Format 21 × 29,7/4.

Headset Georgia.
Ych. Izd. l. 5,1. Ysl. pech. l. 5,8.

Order № B-10.

Biogeosystem Technique

2016

Is. 4



Издается с 2014 г.

ISSN 2409-3386, E-ISSN 2413-7316

2016. № 3 (9). Выходит 4 раза в год.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Валерий Калинин – Институт плодородия почв юга России, Персиановский, Персиановский, Российская Федерация (Гл. редактор)

Благодатская Евгения – Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, Российская Федерация

Глазко Валерий – МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация

Лицецкий Федор – Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Российская Федерация

Минкина Татьяна – Южный федеральный университет, Российская Федерация

Околелова Алла – Волгоградский государственный технический университет, Российская Федерация

Сурай Петр – компания Фит-фуд лтд., Скотланд, Соединенное Королевство

Шеин Евгений – МГУ имени Ломоносова, Российская Федерация

Элибарашвили Элизбар – Телавский государственный университет, Телави, Грузия

Журнал индексируется в: **Cross Ref** (США), **Научная электронная библиотека** (Россия), **Open Academic Journals Index** (Россия), **CiteFactor – Directory of International Research Journals** (Канада), **Universal Impact Factor** (Австралия).

Статьи, поступившие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы публикаций.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

Адрес редакции: 354000, Россия, г. Сочи,
ул. Конституции, д. 26/2, оф. 6

Подписано в печать 15.12.16.
Формат 21 × 29,7/4.

Сайт журнала: <http://ejournal19.com/>
E-mail: evr2010@rambler.ru

Гарнитура Georgia.
Уч.-изд. л. 5,1. Усл. печ. л. 5,8.

Учредитель и издатель: ООО «Научный
издательский дом "Исследователь"» - Academic
Publishing House *Researcher*

Заказ № В-10.

CONTENTS

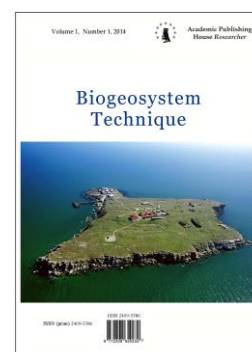
Articles and Statements

Indicators of Soil-Ecological Monitoring in Intensive Agriculture Area Ruslan Sh. Gadzhiev	250
Noosphere and Domestication Valeriy I. Glazko, Boris L. Zybaïlov, Tatiana T. Glazko	271
Soil Dynamics Management Valery P. Kalinitchenko	284
Effect of Natural and Technogenic Factors on the Mobility and Transformation of Metal Compounds in Soil Saglara S. Mandzhieva, Tatiana M. Minkina, Marina V. Buratchevskaya, Victor A. Chaplign, Viktoriia S. Tsitsuashvili, Vishnu D. Rajput, Karen A. Ghazaryan, Palma Orlović-Leko, Ivan Šimunić	317

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



Articles and Statements

UDC 631.483: 631.42

Indicators of Soil-Ecological Monitoring in Intensive Agriculture Area

Ruslan Sh. Gadzhiev ^{a, *}

^a 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 (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.

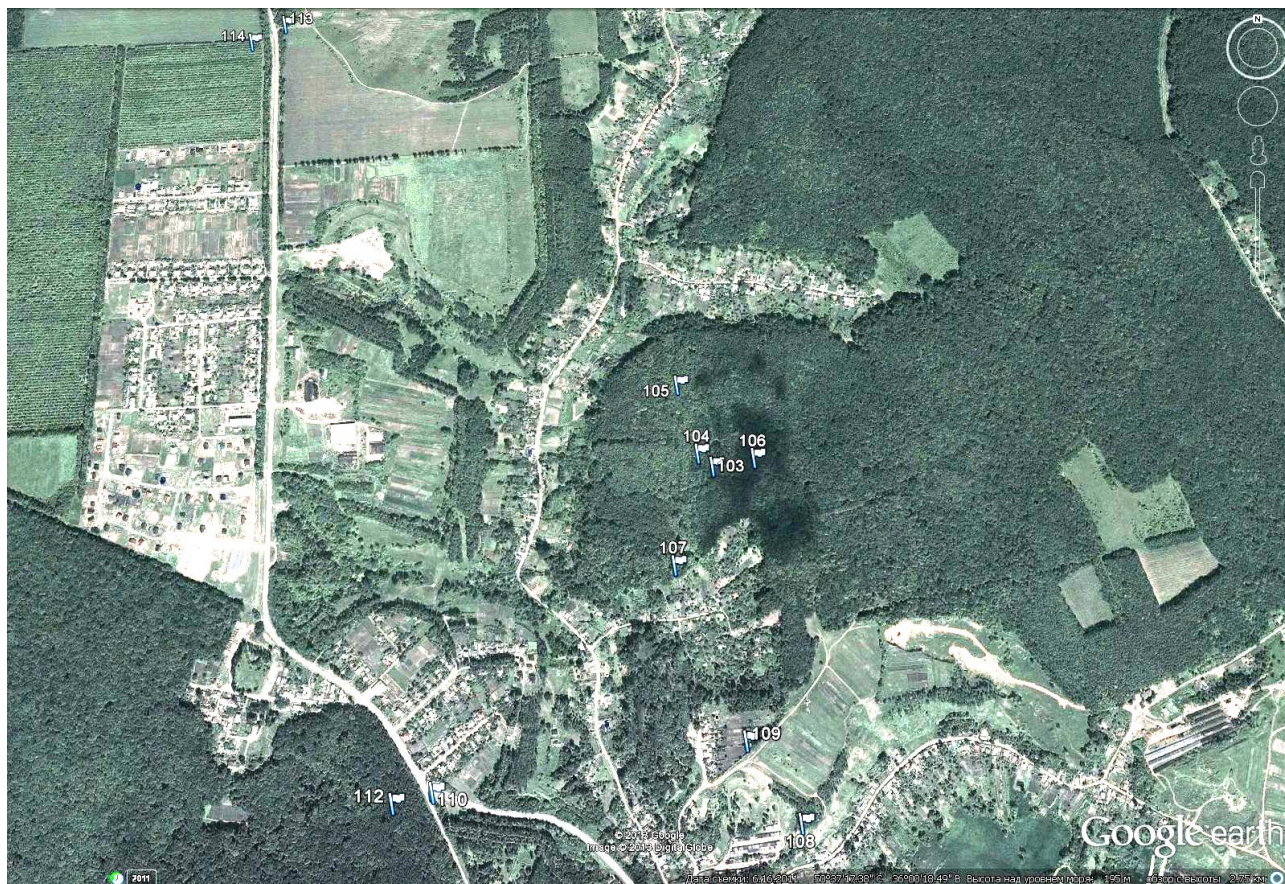


Рис. 1. Местоположение точек отбора почвенных образцов на космическом снимке (ресурс *GoogleEarth*)

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 ± 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_{1Ca}] – [BC_a]. 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/см³, 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 ³	pH водн.	CO ₂ , %	P ₂ O ₅ , 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 прирбовочном 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	легкосуглинистый
2-2	7,12	40,40	20,40	4,28	7,32	20,48	67,92	32,08	среднесуглинистый
3-1	9,36	52,28	9,48	7,52	7,36	14,00	71,12	28,88	легкосуглинистый
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	легкосуглинистый
9	4,58	41,58	30,44	9,60	4,76	9,04	76,60	23,40	легкосуглинистый

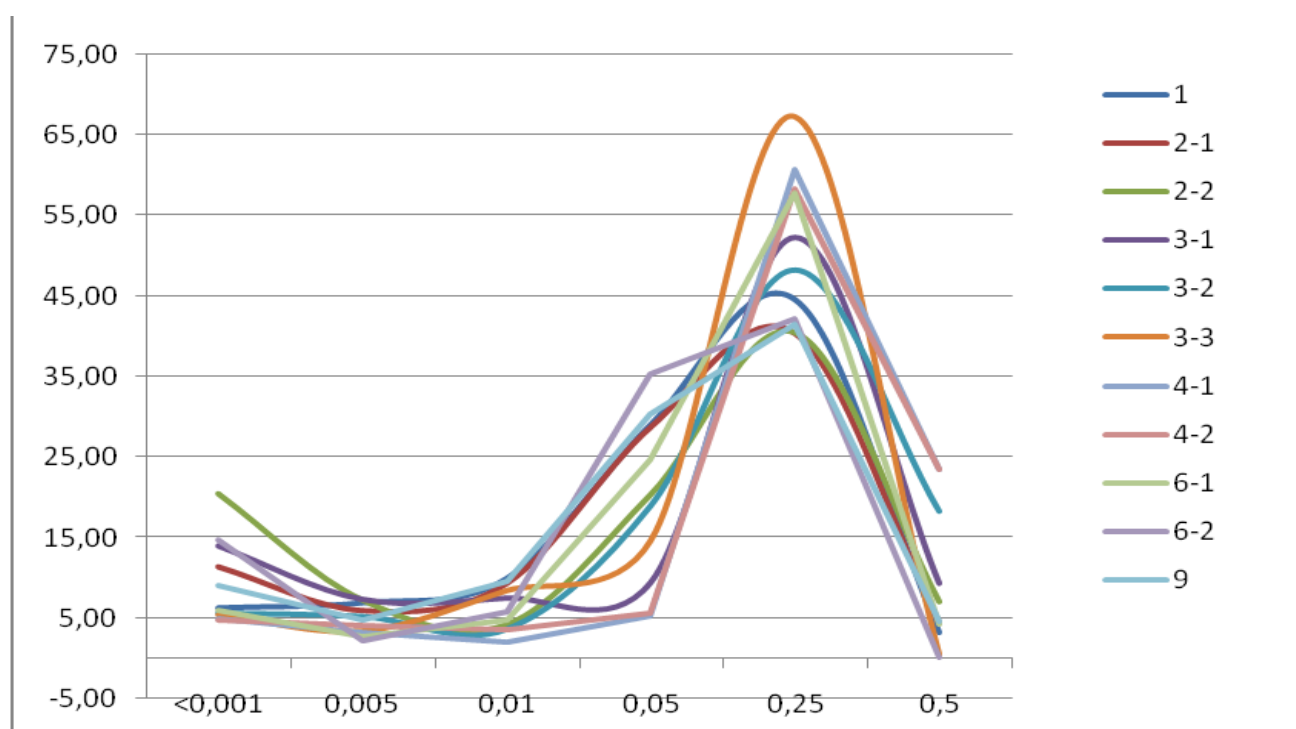


Рис. 2. Дифференциальные кривые распределения фракций гранулометрического состава изученных почв

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 ₂	%	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 ₂ O ₃	%	8	10	10	8	3	7	7	6	7	6	8	9	8	8	9	8
SiO ₂	%	76	65	63	57	52	53	68	68	75	64	63	72	64	64	74	68
P ₂ O ₅	%	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 ₂ 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).

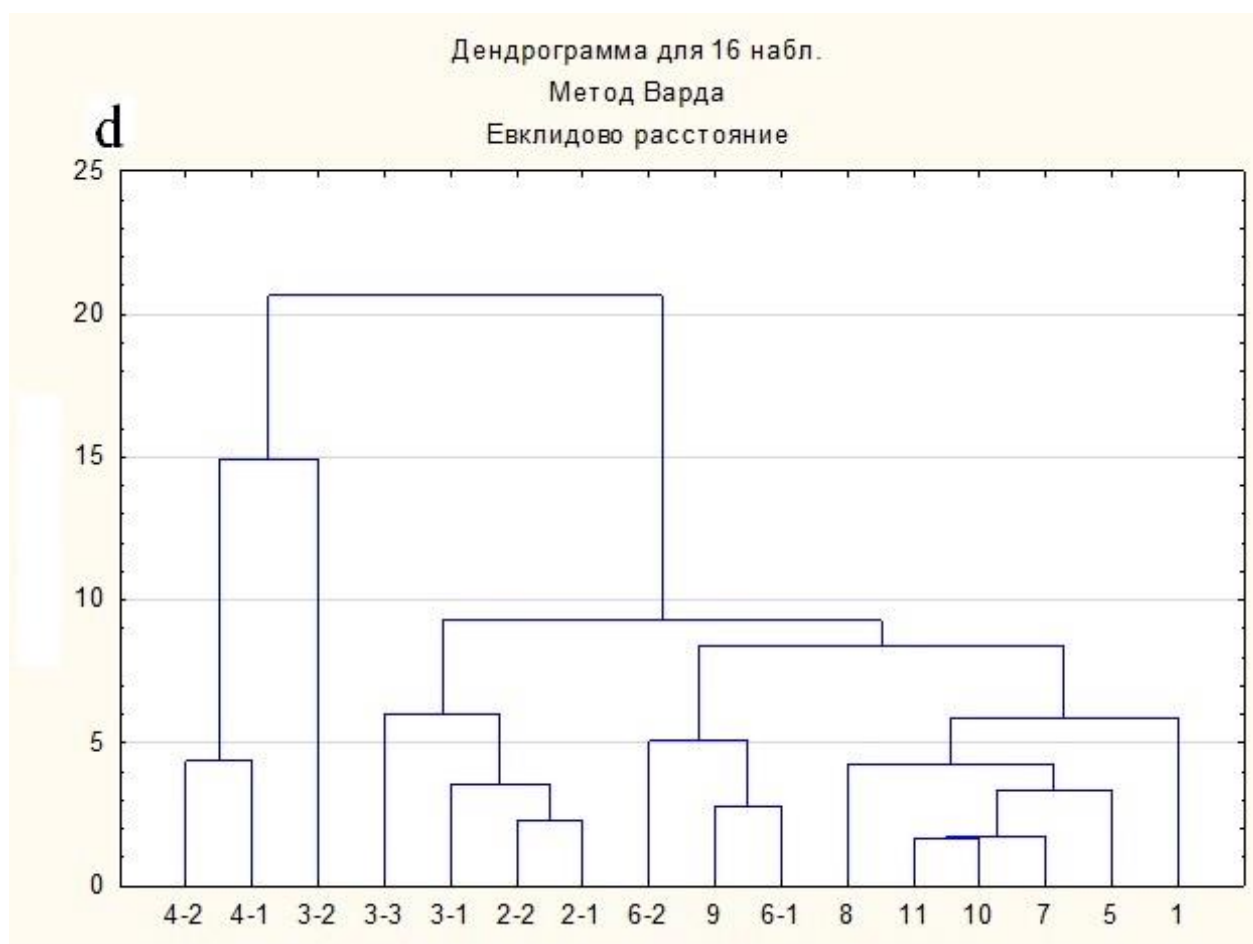


Рис. 3. Результаты кластерного анализа объектов исследования (d – расстояние объединения).

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_{подв} – 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_{подв}) 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_{подв} 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_{почв} для почв (Большаков и др., 2004) и по Нидерландским нормативам для почв (Crommentuijn, 1997), мг/кг

Класс опасности	Россия		Нидерланды, ПДП
	Общетоксикологический норматив	ПДК _{почв}	
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 ₂ O ₃	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
MnO/Fe ₂ O ₃	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).

$(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{Al}_2\text{O}_3$	0,18	0,20	0,23	0,50	0,25	0,18	0,23	0,25	0,16	0,20
$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$	0,36	0,28	0,40	0,26	0,29	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
$(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$	0,36	0,27	0,32	0,35	0,35	0,31	0,30	0,28	0,30	0,33
$\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$	0,10	0,06	0,09	0,07	0,08	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07
$\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	9,85	6,75	6,74	10,03	10,57	8,05	8,21	8,13	7,95	8,26
Zr/TiO_2	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) $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{MgO})$: 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) $(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{Al}_2\text{O}_3$: 5=10<1<7<2<11<3<8<6=9;

5) $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$: 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 $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, 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 $(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{Al}_2\text{O}_3$, 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 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{MgO})$.

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):

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

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). *Interprétation 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). Biogeosistemotekhnika: Gnoseologicheskie osnovy upravlenija jekosistemami, *Pochvovedenie i agrohimiya*, № 4, S. 72–76.

[Kochetov i dr., 2000](#) – *Kochetov I.S., Lukin S.V., Liseckij F.N., Marcinevskaia 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.

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). Interprétation 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^{а, *}

^а 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 внутрипочвенного 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.

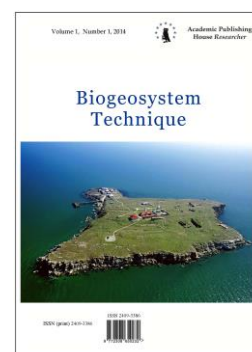
Ключевые слова: почвы лесостепи, природно-антропогенный педогенез, почвенно-экологический мониторинг, экологическое нормирование, экологический контроль, геохимические коэффициенты, экологическая оценка почв.

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. 271-283, 2016

DOI: 10.13187/bgt.2016.10.271
www.ejournal19.com



UDC 539.1.047:575.224

Noosphere and Domestication

Valeriy I. Glazko ^{a, c, *}, Boris L. Zybaïlov ^b, Tatiana T. Glazko ^{a, c}

^a Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation

^b Department of Biochemistry and Molecular Biology, University of Arkansas for Medical Sciences, Little Rock, AR 72205

^c Center of Experimental Embryology and Reproductive Biotechnologies, Russian Academy of Agricultural Science, Moscow, Russian Federation

Abstract

Biosphere problems lead to the necessity of deep analysis of its condition for development of approaches to ensuring more sustainable development. In this respect, the particular interest was the created by humans the biosphere artificial component - the agrarian civilization. The study of the unique features of its genetic resources, providing a high phenotypic diversity in domesticated species of animals and plants, to significantly distinguish them from closely related wild species may allow to create the new tools to manage of them. Previously we have shown that in the genomes of domesticated plant and animal species compared to closely related wild ones to reveal the increased frequency of short DNA fragments flanked by inverted repeats of microsatellites, genomic localization of which were associated with some mobile genetic elements. A comparative analysis of the spectra of genomic DNA fragment, flanked by inverted repeats of long terminal repeats (LTR) of endogenous retroviruses, which were first identified in animals (BERV β -3, BERVK1) and plants (SIRE-1, 5 PawS, BARE-1), discovered a certain intersection in the presence of the homologous sites of the mobile elements in the genomes of representative animals (sheep, horses, musk oxen) and plants (varieties of wheat and soy, a group of wild-growing soya). Own and accumulated literature data on the comparative analysis of genomic element polymorphisms (structural genes, short anonymous genomic DNA fragments, mobile genetic elements) suggested that the sources of unexpectedly high genetic heterogeneity of domesticated animal species and, apparently, plants in comparison with closely related wild species could be related to tolerance of provirus integration in the genomes of exogenous retroviruses, as well as the activation of transpositions of mobile genetic elements in connection with the crossing of closely related animals and the main cultivated plants.

Keywords: domestication, genomics, polymorphism, genetic mobile elements transposition.

* Corresponding author

E-mail address: vigvalery@gmail.com (V.I. Glazko)

1. Введение

В последние годы стало особенно очевидно, что биосфера вступила в эпоху глобального кризиса. В XXI веке на грани исчезновения находятся 12 % видов птиц и 25 % видов млекопитающих (fao.org). Глобальная ежегодная экономическая стоимость потери биоразнообразия – от 1.35 до 3.1 триллионов долларов США. В современную эпоху человек изменил соотношение между силами живой и неживой природы в пользу последних и связанная с этим антропогенная дестабилизация биосферы стала совершенно особым третьим ее состоянием.

Удачные попытки создать новые взаимоотношения между человечеством и биосферой является domestикация животных и растений и создание принципиально новых искусственных систем – агроэкосистем. В основе формирования феномена domestикация лежат сетевые взаимоотношения между генами. Представление о сетевых взаимоотношениях между развитием различных признаков у многоклеточных организмов, организмами в популяциях, видовых сообществах имеет давнюю историю. Интерес к генетическим основам domestикации резко увеличился за последние 5 лет после полной расшифровки геномов основных domestичированных видов млекопитающих. Появилось большое количество исследований, посвященных поиску «росписи domestикации» в их геномах. Создан международный консорциум ([Andersson et al., 2015](#)), основные усилия которого будут направлены на создание комплексной карты функциональных элементов в геномах одомашненных видов. Предполагается, что глубокие исследования геномных следов искусственного отбора может позволить углубить наши представления о связях между нуклеотидными последовательностями и фенотипической изменчивостью.

В поисках генетических основ domestикации главным является определение того признака или их комплекса, который кардинально отличает близкородственные дикие виды от domestичированных.

Основные фенотипические признаки domestикации у животных были описаны в середине XX века и получили название – признаки domestикации. Очевидно, что для них должны существовать в геномах соответственные проекции, включающие структурные гены и регуляторные элементы. В этой связи основной поток исследований генетических основ domestикации ведет поиск таких отличий между дикими и близкородственными domestичированными видами по конкретным генным системам ([de Simoni Gouveia et al., 2014](#)): например, у свиней – по генам, ассоциированным с пищевым поведением ([Moon et al., 2015](#)), с дентальными изменениями ([Evin et al., 2015](#)); у лошадей – с генами, продукты которых участвуют в липидном обмене, ионном транспорте, мышечном сокращении и т.д. ([Metzger et al., 2014](#); [Schubert et al., 2014](#)); у крупного рогатого скота – безрогость, масть, морфология глаз, конституция, подкожный жир, экологическая адаптация ([Porto-Neto LR et al., 2013](#); [Porto-Neto LR et al., 2014](#); [Ramey et al., 2013](#)).

Тем не менее, не смотря на большое количество исследований, универсальным признаком domestикации животных является только увеличение копияности генов, связанных с иммунной системой и дефенсинами ([Ghosh 2014](#); [Liu et al., 2010](#); [Revay et al., 2015](#)).

Теоретически, исходя из особенностей domestикации и ее успехов, в качестве главного универсального признака domestикации Д.К. Беляев выбрал снижение агрессивности по отношению к человеку. Справедливость этого предположения была доказана на единственной на то время в мире попытке реконструкции domestикации путем отбора во многих поколениях наименее агрессивных лис, что привело, в конце концов, к проявлению у них некоторых признаков domestикации, таких, например, как типичная для собак форма хвоста, обвислые уши, собачий тип лая. Сравнительный анализ экспрессии генов показал, что в эти процессы вовлекаются гены, участвующие в формировании гипофизарно-надпочечниковой оси ([Wilkins et al., 2014](#)). Вовлечение в domestикацию генов, связанных с поведенческими характеристиками, описаны и в ряде других работ, например ([Albert et al., 2012](#)).

В наших собственных исследованиях были получены данные о том, что универсальным отличием domestичированных видов от близкородственных диких является повышенный полиморфизм у первых ферментов метаболизма экзогенных субстратов (связывающих метаболитом животных с субстратами окружающей среды), а у вторых – повышенный полиморфизм ферментов внутриклеточного энергетического метаболизма,

таких как гликолиз, пентозофосфатный шунт, цикл Крепса (Glazko et al., 2014). В первом случае достигается адаптация к широкой субстратной специфичности, во втором – оптимизация внутриклеточного энергообеспечения на узком спектре субстратов (Glazko et al., 2014). Но самая главная особенность заключалась в том, что по размаху генетической изменчивости обе группы видов были сопоставимы. Более того, в некоторых случаях генетическая дифференциация между породами была даже больше, чем между близкородственными дикими видами. Эти данные были достаточно неожиданными с известной точки зрения о преобладании инбридирования среди domestцированных видов по сравнению с дикими, что позволяло ожидать относительно пониженный уровень генетического разнообразия у первых по сравнению со вторыми. Подобные данные были получены и другими исследователями (Wiener, Wilkinson, 2011). Если говорить о фенотипической изменчивости, то следует отметить, что количество пород, дифференцирующихся по фенотипическим характеристикам у 5-ти традиционных животных сельскохозяйственных видов (козы, овцы, крупный рогатый скот, свиньи и лошади – суммарно около 4500 пород) сопоставимы с количеством современных видов млекопитающих (около 4500 видов) (The state of the world's animal genetic resources..., 2007).

Суммируя накопленные данные об уникальном фенотипическом и генетическом разнообразии, становится понятно, что основным вопросом, ответ на который мог бы объяснить общие и частные генетические основы domestцикации, становится источник уникальной генетической изменчивости.

Необходимо напомнить, что, не смотря на многовековые попытки вовлечь в domestциацию множество видов животных и растений, основной видовой базой аграрной цивилизации остается их очень ограниченное количество: среди животных – крупный рогатый скот и овцы, среди растений – рис и пшеница (Diamond, 200). В своих работах Дж. Дайамонд отмечает характеристики видов, которые препятствуют domestцикации. Но должны быть и те, которые благоприятствуют ей и, по-видимому, к ним должны относиться те, которые связаны к способности генерировать повышенный уровень генетической изменчивости, позволяющие балансу естественного и искусственного отборов создавать такое разнообразие форм, которое наглядно отличает domestцированные виды от их близкородственных диких.

Как уже отмечалось выше, одной из немногих универсальных геномных характеристик, как выяснилось после секвенирования геномов животных основных сельскохозяйственных видов, является увеличение копийности генов, связанных с иммунной системой и генов дефензинов – антимикробной защиты. Известно, что сегментные дубликации хромосом (SD), так же, как и изменчивость по количеству копий относительно коротких геномных участков (CNV), тесно связаны с ретротранспозонами и их перемещениями (Moon et al., 2015). Автономные ретротранспозоны представлены в основном потомками экзогенных ретровирусов (трех классов), эндогенными ретровирусами, и продуктами их внутригеномной эволюции – длинными диспергированными ядерными элементами (LINE), лишенными длинных концевых повторов, но содержащими ген gag (кодирующий белок внутреннего капсида вируса) и ген pol – обратной транскриптазы. К настоящему времени созданы подробные базы данных о представленности полноразмерных эндогенных ретровирусов в геномах основных domestцированных видов млекопитающих (Garcia-Etxebarria et al., 2014). Представлены примеры горизонтального переноса некоторых ретротранспозонов, присутствие которых объединяет геномы таксономически удаленных видов (Oliveira et al., 2012; Walsh et al., 2013), обсуждается существенная роль горизонтальных переносов ретротранспозонов в эволюции позвоночных (Chalopin et al., 2015). Обнаруживается структурная и эволюционная общность между ретротранспозонами, заселяющими геномы различных таксонов (Bao, Jurka, 2013; Benachenhou ET AL., 2013; Llorens et al., 2009).

Ранее нами было показано, что в геномах domestцированных видов растений и животных по сравнению с близкородственными дикими видами наблюдается повышенная частота встречаемости коротких фрагментов ДНК, фланкированных инвертированными повторами микросателлитов. Учитывая известную связь между микросателлитами и различными типами мобильных генетических элементов (Ahmed, Liang, 2012; Behura,

Severson, 2013; Sharma et al., 2013), это позволило нам предположить относительно повышенную плотность их взаимного позиционирования в альтернативных цепях ДНК у первых видов по сравнению со вторыми (Glazko et al., 2014). В качестве гипотезы было выдвинуто предположение о том, что источником повышенного генетического разнообразия domesticiрованных видов является относительно увеличенная плотность заселенности их геномов ретротранспозонами и продуктами их эволюции. Для того, чтобы проверить это предположение, в настоящей работе были оценены частоты встречаемости фрагментов ДНК, фланкированных инвертированными повторами длинных терминальных участков различных эндогенных ретровирусов у представителей domesticiрованных видов животных и растений.

2. Материалы и методы

Геномную ДНК выделяли с помощью коммерческого набора реагентов «ДНК-Экстран-1». Для изучения генетической структуры популяций использовали оценки полиморфизма фрагментов ДНК (IRAP-PCR маркеры), полученных с применением в ПЦР в качестве праймеров терминальных участков длинных концевых повторов (Long Terminal Repeats, LTR) ретротранспозонов растений: терминальный участок ретротранспозона SIRE-1, составляющий пятую часть генома кукурузы (GCAGTTATGCAAGTGGGATGAGCA), относящийся к роду Sireviruses, представителю семейства Pseudoviridae, члены которого содержат env-подобный ген (Bousios, Darzentas, 2013), участок ретротранспозона PawS 5 (AACGAGGGGTTTCGAGGCC), относящийся к семейству R173, в геноме диплоидной ржи они часто ассоциированы с другими ретротранспозонами (Rogowsky et al., 1992), участок ретротранспозона ячменя BARE-1 (ССААСТАГАГГСТТГСТАГГГАС). Также были использованы терминальные LTR участки эндогенных ретровирусов млекопитающих: праймер β -3 (GGACSTTCTCSTTCAAGGC), последовательность его гомологична терминальному участку эндогенного ретровируса крупного рогатого скота (Bovine endogenous retrovirus β -3, BERV β -3), праймер k-1 (TATCAGGCCTCTCCGCATG), гомологичен терминальному участку Bovine endogenous retrovirus K1, BERVK 1). BERV β -3 и BERVK 1 относятся к роду *Betaretrovirus* и кодируют 4 основных протеина GAG, PRO, POL, и ENV (Baba et al., 2011; Xiao et al., 2008).

Полимеразную цепную реакцию выполняли (ПЦР или PCR) по методу IRAP-PCR (Inter-Retrotransposon Amplified Polimorphism), с помощью которого амплифицируются участки ДНК, находящиеся в геноме между инвертированными повторами используемого праймера.

Геномную ДНК выделяли коммерческим набором «ДНК-экстран 1» («Синтол», Россия). Полимеразную цепную реакцию (PCR, ПЦР) проводили на амплификаторе «Терцик» (Россия) с применением смеси ПЦР-РВ («Синтол», Россия). Условия и стадии проведения ПЦР: первоначальная денатурация 94°C – 2 мин, денатурация 94°C – 30 с, отжиг 55°C – 30 с, элонгация 72°C – 2 мин, заключительная элонгация 72°C – 10 мин, 35 циклов. Анализ результатов амплификации проводили методом электрофореза в 1,5 %-м агарозном геле с применением в качестве маркера молекулярных масс ДНК GeneRuler™ 100 bp DNA Ladder Plus (MBI Fermentas, USA) для оценки длины продуктов. Визуализацию продуктов ПЦР-амплификации проводили под УФ-излучением после их окрашивания бромистым этидием. Для того чтобы избежать грубых ошибок в определении длин получаемых фрагментов ДНК, для анализа выбрана область спектра менее 1500 п.о.

Математическую обработку осуществляли с использованием компьютерной программы TFPGA. Расчет индекса PIC (Polymorphic Information Content) выполнялся по формуле для диаллельных локусов, для которых $PIC=2f(1-f)$, где f – частота одного из двух аллелей. Поскольку ISSR-PCR и IRAP-PCR маркеры имеют доминантный характер проявления по присутствию продукта амплификации, f рассчитывали по формуле: $f = R^{0.5}$, где R – частота встречаемости животных среди исследованных, у которых в спектрах продуктов амплификации отсутствовал фрагмент ДНК данной длины. Значение R рассматривалось как доля гомозигот по рецессивному аллелю.

3. Результаты и их обсуждение

Генетическая дифференциация местных курдючных пород овец

Для исследования были выбраны три породы овец (всего 80 голов): карачаевская, калмыцкая, эдильбаевская (два внутрипородных типа – бирликский и суюндукский).

В результате исследований генофондов трех местных пород овец по IRAP-маркерам были получены специфичные для каждого из праймеров спектры фрагментов ДНК, [рис. 1](#). Наиболее гетерогенной по сравнению с остальными оказалась группа калмыцких овец (PICср. – усредненное значение индекса PIC по всему спектру ампликонов) (P = 44 %, 47 %, PICср. = 0,187, 0,174, по праймерам LTR SIRE-1 и PawS 5, соответственно). По праймеру BARE-1 наиболее консолидированной оказалась группа карачаевских овец ([Elkina, Glazko, 2014](#)).

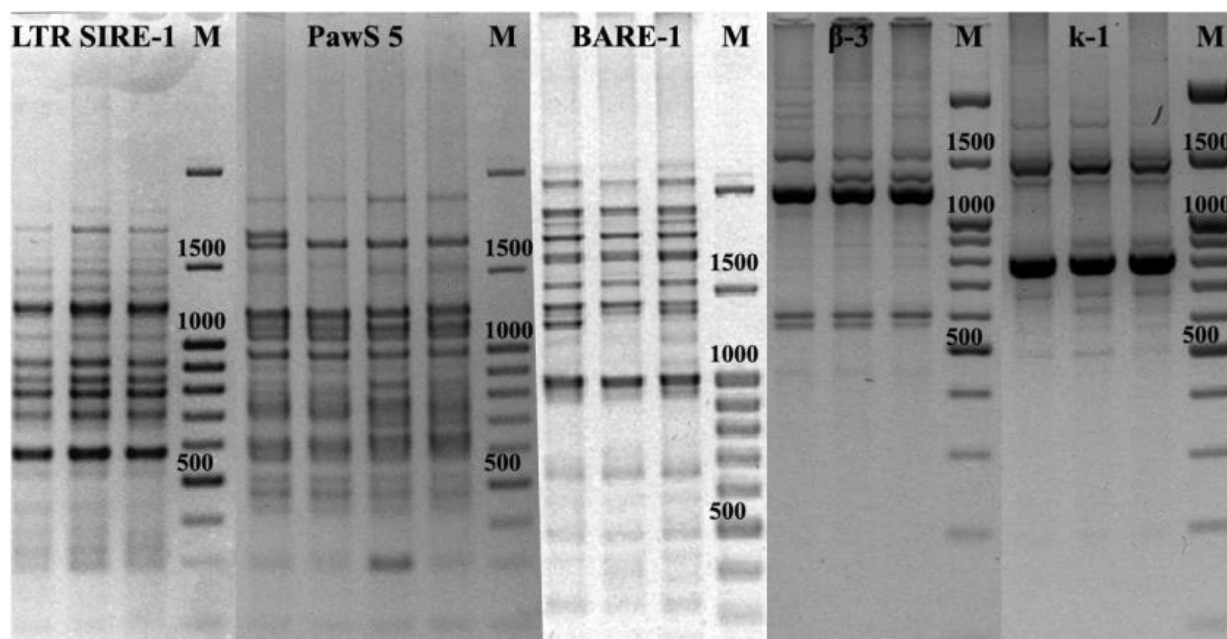


Рис. 1. Спектры фрагментов ДНК, полученных в результате генотипирования пород овец (М-маркер молекулярных масс).

Генетическая дифференциация местных горных пород лошадей

Исследования выполнены на 88 образцах крови лошадей различной породной принадлежности и происхождения. В анализ включены результаты исследований образцов крови лошадей карачаевской породы, вошедших в ГПК, алтайской породы из трех хозяйств («Джумбаев», «Энчи», «Чингиз»), группы рысистых пород (орловские рысаки, русские рысаки, американские стандартбредные) ([Elkina, Glazko, 2014](#)).

В результате выполненных исследований получены следующие данные. Спектры ампликонов, полученных с применением в ПЦР разных праймеров, существенно не отличались между собой по пределам длин выявляемых фрагментов ДНК у всех пород лошадей, [рис. 2](#).

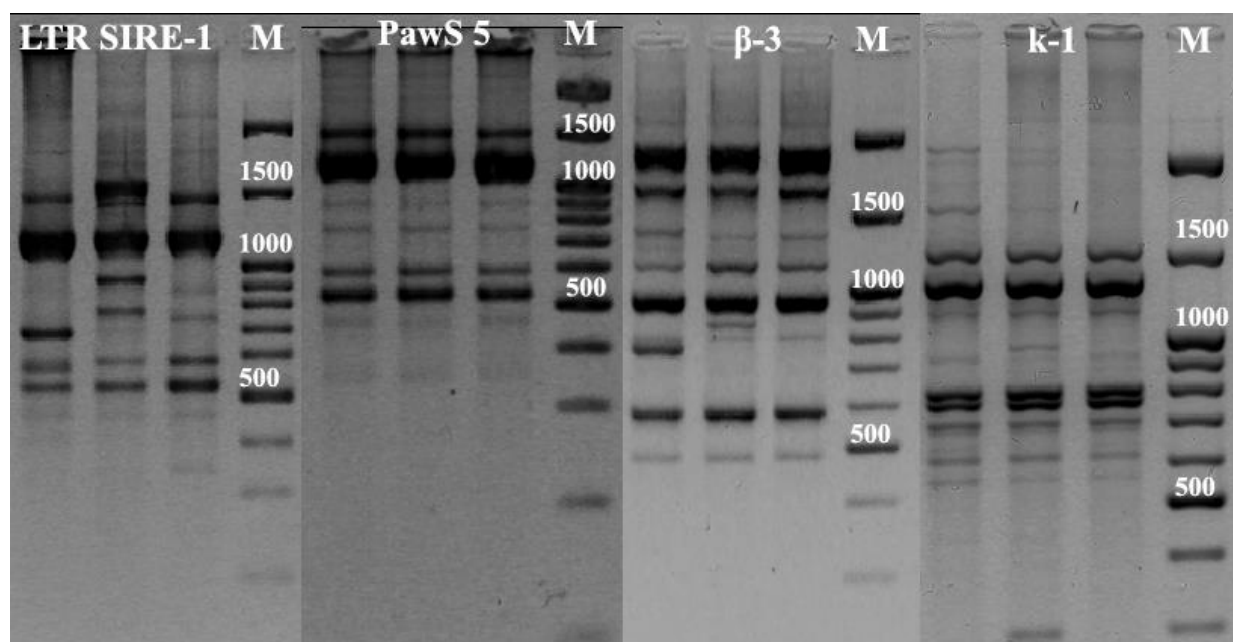


Рис. 2. Примеры спектров продуктов амплификации фрагментов ДНК, фланкированных инвертированными повторами LTR участков ретротранспозонов растений и животных в геномах лошадей разных пород

Несколько отличается только спектр фрагментов праймера PawS 5, где четко визуализируются и локусы более 1500 п.о.

Каждый из полученных в результате ПЦР спектров фрагментов ДНК уникален для каждого из праймеров и отличается долей полиморфных локусов и их распределением. Наиболее полиморфными на протяжении всех длин оказались спектры фрагментов ДНК алтайских лошадей хозяйства «Джумбаев», полученные в результате IRAP-PCR с использованием праймеров LTR SIRE-1 и PawS 5. В результате использования праймера β -3 около половины всех локусов в спектрах лошадей хозяйства «Энчи» и несколько меньшее количество полиморфных локусов в спектрах алтайских лошадей третьей группы представлены фрагментами от 500 до 1000 п.о., в свою очередь, полиморфизм фрагментов более 1000 п.о. наблюдался только у первых (18 %). Карачаевские лошади по IRAP-маркерам отличались единообразием в полиморфизме локусов в спектре и охватывали диапазон как средних, так и тяжелых длин фрагментов (от 5 до 10 %). Спектры фрагментов праймера k-1 были одинаковы у всех исследованных пород лошадей: на долю фрагментов средних длин приходилось 14 % полиморфных локусов, на тяжелые фрагменты – 7 %. В спектрах праймера β -3 как минимум треть всех локусов были полиморфны у исследованных пород. Внутрипородные отличия групп алтайских лошадей по спектрам праймера β -3 выражены менее явно, за исключением несколько более консолидированных лошадей из хозяйства «Чингиз», чьи характеристики спектров близки к карачаевским лошадям. Промежуточное положение занимают рысистые лошади (Elkina, Glazko, 2014).

Генетическая дифференциация сортов мягкой пшеницы и групп дикорастущей сои

Исследования выполняли на однодольных (*Triticum aestivum*) и двудольных (*Glycine soja* и *Glycine max*) растениях. Пшеница была представлена двумя озимыми сортами (Московская 39 — мягкая озимая, Мироновская 808 — мягкая озимая, выведена из яровой) и одним яровым (Омская 36 — мягкая яровая), соя — пятью популяциями вида дикорастущая уссурийская (*G. soja*, Приморский край) и сорнополевой формой сои (*G. max*, Китай). Оказалось, что более трети фрагментов (38 %), полученных в спектрах ДНК пшеницы в результате использования праймера LTR SIRE-1, позволяют отличать сорта (рис. 3), около половины (47 %) локусов спектров фрагментов ДНК-группы дикорастущей сои вида (*G. soja*). Треть фрагментов являются видоспецифичными, что дает возможность отличать группы двух видов сои, *G. soja* и *G. max* (Elkina, Glazko, 2014).

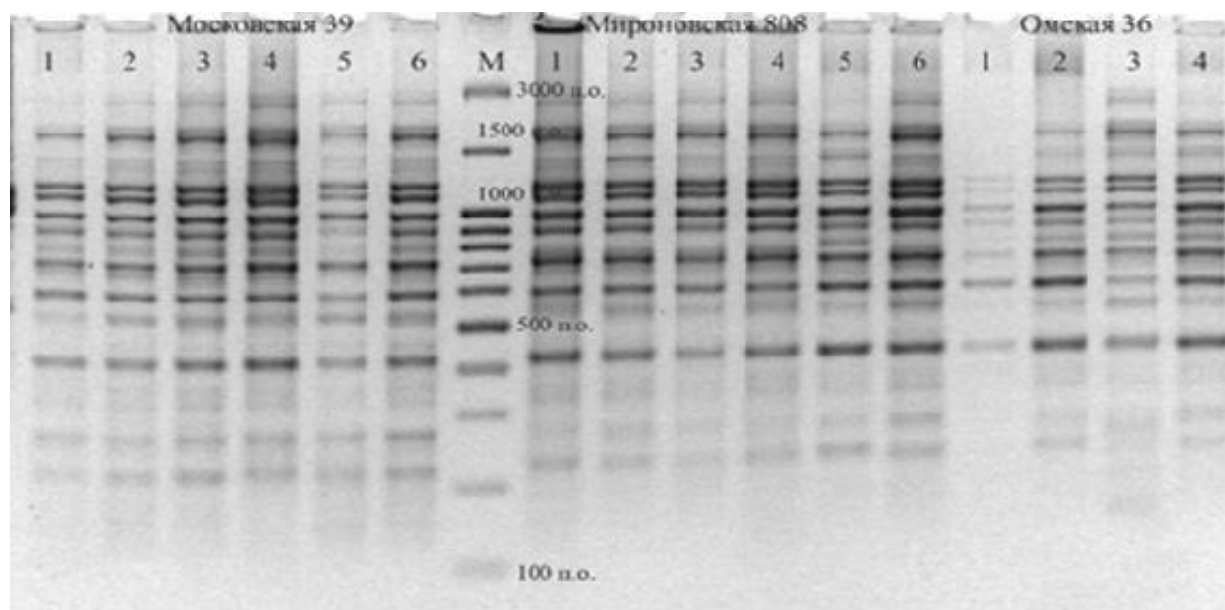


Рис. 3. Электрофоретические спектры ДНК сортов *T. aestivum*, полученные в результате IRAP-PCR с использованием в качестве праймера терминального участка ретротранспозона LTR SIRE-1 (M-маркер молекулярных масс)

С применением алгоритмов программы BLASTn выполнен поиск последовательностей, используемых в данном исследовании в качестве праймеров, гомологичных терминальным фрагментам мобильных элементов растений, в референсных геномах сельскохозяйственных видов (овца, лошадь). Выявлено от 200 до 500 таких участков в геноме домашней овцы и около 150 – в геноме домашней лошади. Участки гомологии к LTR мобильных элементов млекопитающих, применяемых в настоящей работе в качестве праймеров, встречались в геномах культурных растений. Так, в секвенированных последовательностях ДНК пшеницы было найдено 200 таких участков, в геноме сои вида *G. max* – 120. В связи с этим, можно утверждать об определенном пересечении в отношении присутствия гомологичных участков мобильных элементов в геномах представителей животных и растений и, по-видимому, сравнительно повышенной толерантности у domesticiрованных видов к интеграции провирусной ДНК экзогенных ретровирусов в их геномы.

Ранее нами было показано, что генофонды domesticiрованных видов имеют общие черты («популяционно-генетические признаки domestикации»), связанные с адаптацией к экзогенным субстратам и, по-видимому, взаимодействуют с широким спектром разнообразных патогенов-симбионтов в процессе колонизации новых ниш обитания вместе с человеком. Полученные данные свидетельствуют о внутригеномной организованности распределения инвертированных повторов с отдельными нуклеотидными мотивами на их флангах. Такая организованность согласуется с наблюдениями Лима де Фария о неслучайности чередования гетерохроматиновых блоков по длине хромосом у ряда растительных видов, позволившая ему сформулировать гипотезу о «хромосомных полях», благодаря которым нуклеотидные последовательности и скопление различных семейств повторов, включая центромерные и теломерные, непосредственно связаны с морфологией хромосом.

Нами высказывалось предположение о том, что одним из источников повышенной генетической изменчивости у domesticiрованных видов животных может являться широкое применение инбридинга при их разведении, что может способствовать геномной дестабилизации и увеличению частот ретротранспозиций (Glazko et al., 2014). В пользу этого предположения свидетельствуют данные о существенных отличиях по спектрам мобильных генетических элементов в геномах у высоко инбредных лабораторных линий мышей, возникших в течение менее 100 лет их близкородственного разведения (Nellaker et al., 2012). Для того, чтобы оценить возможное влияние инбридинга на полиморфизм фрагментов

ДНК, фланкированных инвертированными повторами длинных концевых участков эндогенных ретровирусов, были выполнены сравнения соответствующих спектров продуктов амплификации ISSR-PCR и IRAP-PCR маркеров у интродуцируемых в районы севера России популяций овцебыков, чья численность и степень инбридированности контролируется в процессе их воспроизводства в новых местах обитания.

Исследование проводили на геномной ДНК 100 овцебыков из трёх интродуцированных популяций – исходной с запада Гренландии, популяции полуострова Таймыр и наиболее инбридированной – острова Врангеля (Glazko et al., 2012). Кроме того, было выполнено сравнение трёх современных популяций с группой древних овцебыков (5 образцов), обитавших на Таймыре (около 10 тыс. лет назад) и в Якутии (около 40 тыс. лет назад).

Для ISSR-PCR в качестве праймеров использовали последовательности (AG)₉C, (GA)₉C и (GAG)₆C, для IRAP-PCR – терминальные фрагменты мобильных генетических элементов LTR SIRE-1 и PawS 5. Рассчитывали усреднённый по типу маркера индекс PIC (Polymorphic Information Content), отражающий долю гетерозигот. В результате выполненных исследований получены следующие данные (табл.). По данным таблицы видно, что суммарно современные овцебыки существенно менее гетерогенны, чем представители древних популяций: у современных овцебыков по ISSR-PCR маркерам доля полиморфных локусов достигает 38,2 %, значения PIC – 0,122; по IRAP-PCR маркерам – 52,6 % и PIC 0,188; у древних овцебыков соответственно по ISSR-PCR маркерам 87,2 % и PIC 0,303; по IRAP-PCR маркерам – 75,6 % и PIC 0,250 (Glazko et al., 2012). Следует заметить, что эти отличия между современными и древними овцебыками сравнительно более выражены по ISSR-PCR маркерам, чем по IRAP-PCR маркерам, что, по-видимому, отражает исходно более высокую гетерогенность по происхождению древних овцебыков, по сравнению с современными.

Таблица 1. Значения доли полиморфных локусов и индекса PIC у исследованных групп овцебыков различного происхождения

Праймер	По древним животным с п-ва Таймыр и Якутии		По древним животным из Якутии		По современным животным с о. Врангеля, п-ова Таймыр и запада Гренландии		По современным животным полуострова Таймыр		По современным овцебыкам с запада Гренландии		По современным животным с острова Врангеля	
	Доля полиморфных локусов, %	PIC	Доля полим. локусов, %	PIC	Доля полим. локусов, %	PIC	Доля полим. локусов, %	PIC	Доля полим. локусов, %	PIC	Доля полим. локусов, %	PIC
(AG) ₉ C	89,3	0,312	78,6	0,311	25,0	0,058	8,3	0,037	16,7	0,067	0,0	0,000
(GA) ₉ C	77,8	0,278	63,0	0,233	53,9	0,200	46,2	0,143	38,5	0,174	53,9	0,186
(GAG) ₆ C	93,5	0,317	77,4	0,299	33,3	0,094	11,1	0,039	22,2	0,090	22,2	0,087
Суммарно ISSR	87,2	0,303	73,3	0,282	38,2	0,122	23,5	0,078	26,5	0,114	26,5	0,094
LTR SIRE-1	83,3	0,298	66,7	0,242	75,0	0,266	41,7	0,176	8,3	0,039	75,0	0,296
PawS 5	54,5	0,118	54,5	0,143	14,3	0,055	14,3	0,055	0,0	0,000	14,3	0,062
Суммарно IRAP	75,6	0,250	63,4	0,215	52,6	0,188	31,6	0,131	5,3	0,025	52,6	0,210

Обращает на себя внимание тот факт, что у современных овцебыков по мере увеличения степени инбридированности от исходной гренландской популяции к наиболее инбридированной Врангелевской наблюдается ожидаемое понижение PIC по ISSR-PCR маркерам, но, в то же время, тенденция к повышению PIC по IRAP-PCR маркерам. Так, по ISSR-маркерам: у гренландской популяции PIC = 0,11; у таймырской = 0,08; у врангелевской = 0,09. По IRAP-маркерам: у гренландской популяции PIC = 0,02; у таймырской = 0,13; у врангелевской = 0,21.

У исследованных популяций овцебыков наблюдаются, в общем, разнонаправленные тенденции уменьшения гетерозиготности при увеличении степени инбридинга по разным типам маркеров: тенденция к увеличению ожидаемой гетерозиготности по IRAP-PCR маркерам на фоне ее уменьшения по ISSR-PCR маркерам. Полученные данные свидетельствуют в пользу предположения о том, что близкородственные скрещивания, типичные для доместцированных видов в процессе селекционной работы, могут приводить к активации транспозиций в их геномах, последствием чего может быть увеличение генетической изменчивости и сопутствующее этим процессам «плата за доместикацию» – накопление генетического груза, как это отмечается в ряде работ.

4. Заключение

Полученные нами данные и накопленные в литературе позволяют предполагать, что источниками неожиданно высокой генетической внутривидовой гетерогенности у доместцированных видов животных и, по-видимому, растений, могут быть повышенная толерантность к встройкам в геномы провирусной ДНК экзогенных ретровирусов, а также активация транспозиций мобильных генетических элементов в связи с близкородственными скрещиваниями у животных и принадлежностью к самоопылителям основных культурных растений.

Литература

- Ahmed, Liang, 2012 – Ahmed M, Liang P. (2012). Transposable elements are a significant contributor to tandem repeats in the human genome // *Comp Funct Genomics* 2012:947089. doi:10.1155/2012/947089.
- Albert et al., 2012 – Albert FW, Somel M, Carneiro M, Aximu-Petri A, Halbwax M, et al. (2012) A Comparison of Brain Gene Expression Levels in Domesticated and Wild Animals // *PLoS Genet* 8(9): e1002962. doi: 10.1371/journal.pgen.1002962
- Andersson et al., 2015 – Andersson et al. (2015). Coordinated international action to accelerate genome-to-phenome with FAANG, the Functional Annotation of Animal Genomes project // *Genome Biology* 16:57, doi: 10.1186/s13059-015-0622-4
- Baba et al., 2011 – Baba K., Nakaya Y., Shojima T., Muroi Y., Kizaki K., Hashizume K., Imakawa K. and Miyazawa T. (2011). Identification of Novel Endogenous Betaretroviruses Which Are Transcribed in the Bovine Placenta // *Journal of Virology*, Feb, pp. 1237–124
- Bao, Jurka, 2013 – Bao W., Jurka J. (2013). Homologues of bacterial TnpB_IS605 are widespread in diverse eukaryotic transposable elements // *Mobile DNA* 4:12; <http://www.mobilednajournal.com/content/4/1/12>
- Behura, Severson, 2013 – Behura SK, Severson DW. (2013). Association of microsatellite pairs with segmental duplications in insect genomes. // *BMC Genomics*, Dec 21;14:907; doi: 10.1186/1471-2164-14-907.
- Benachenhou ET AL., 2013 – Benachenhou F, Sperber G.O., Bongcam-Rudloff E., Andersson G., Boeke J.D., Blomberg J. (2013). Conserved structure and inferred evolutionary history of long terminal repeats (LTRs) // *Mobile DNA*, 4:5; <http://www.mobilednajournal.com/content/4/1/5>
- Bousios, Darzentas, 2013 – Bousios A., Darzentas N. Sirevirus LTR retrotransposons: phylogenetic misconceptions in the plant world // *Mobile DNA*, 4.
- Chalopin et al., 2015 – Chalopin D., Naville M., Plard F. et al. (2015). Comparative Analysis of Transposable Elements Highlights Mobilome Diversity and Evolution in Vertebrates // *Genome Biol. Evol.* 7(2):567–580; doi: 10.1093/gbe/evv005
- de Simoni Gouveia et al., 2014 – de Simoni Gouveia J.J., da Silva M.V.G., Paiva S.R., de Oliveira (2014). S.M.P. Identification of selection signatures in livestock species // *Genetics and Molecular Biology*, 37, 2, 330-342.

- Diamond, 2002 – Diamond J. (2002). Evolution, consequences and future of plant and animal domestication // *Nature*, 418(6898), 700–707.
- Elkina, Glazko, 2014 – Elkina M.A., Glazko V.I. (2014). The fragments of homologies of endogenous retroviruses in the genomes of plants and animals // *Agricultural biology*, No. 5, pp. 35–43. doi: [10.15389/agrobiol.2014.5](https://doi.org/10.15389/agrobiol.2014.5)
- Evin et al., 2015 – Evin A., Dobney K., Schafberg R., Owen J. et al. (2015). Phenotype and animal domestication: A study of dental variation between domestic, wild, captive, hybrid and insular *Sus scrofa* // *BMC Evolutionary Biology* 15:6; doi:[10.1186/s12862-014-0269-x](https://doi.org/10.1186/s12862-014-0269-x)
- Garcia-Etxebarria et al., 2014 – Garcia-Etxebarria K., Sistiaga-Poveda M., Jugo B.M. (2014). Endogenous retroviruses in domestic animals // *Curr Genomics* Aug;15(4):256-65
- Ghosh 2014 – Ghosh S, Qu Z, Das PJ, Fang E, Juras R, et al. (2014). Copy Number Variation in the Horse Genome // *PLoS Genet* 10(10): e1004712; doi: [10.1371/journal.pgen.1004712](https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1004712)
- Glazko et al., 2012 – Glazko V.I., Bardukov N.V., Pheophilov A.V., Sipko T.P., Elkina M.A., Glazko T.T. (2012). Polymorphism of ISSR and IRAP markers in genomes of musk-oxen (*Ovibos moschatus*) and horse (*Equus caballus*) of Altai breed // *Izvestia of Timiryazev Agricultural Academy*, Special Issue: 16-26.
- Glazko et al., 2014 – Glazko V., Zybaylov B., Glazko T. (2014). Domestication and Genome Evolution // *International Journal of Genetics and Genomics*, Vol. 2, No. 4. pp. 47-56; doi: [10.11648/j.ijgg.20140204.11](https://doi.org/10.11648/j.ijgg.20140204.11)
- Liu et al., 2010 – Liu G.E., Hou Y., Zhu B. et al. (2010). Analysis of copy number variations among diverse cattle breeds // *Genome Research* 20:693–703; ISSN 1088-9051/10; www.genome.org
- Llorens et al., 2009 – Llorens C., Munoz-Pomer A., Bernad L., Botella H., Moya A. (2009). Network dynamics of eukaryotic LTR retroelements beyond phylogenetic trees // *Biology Direct* 4:41 <http://www.biology-direct.com/content/4/1/41>
- Metzger et al., 2014 – Metzger et al. (2014). Next generation sequencing gives an insight into the characteristics of highly selected breeds versus nonbreed horses in the course of domestication // *BMC Genomics* 15:562. <http://www.biomedcentral.com/1471-2164/15/562>
- Moon et al., 2015 – Moon S., Kim T.-H., Lee K.-T., Kwak W. et al. (2015). A genome-wide scan for signatures of directional selection in domesticated pigs // *BMC Genomics* 16:130, doi:[10.1186/s12864-015-1330-x](https://doi.org/10.1186/s12864-015-1330-x)
- Nellaker et al., 2012 – Nellaker C., Keane T.M., Yalcin B., Wong K., Agam A., Belgard T.G. Flint J., David J Adams D.J., Frankel W.N., Ponting C.P. (2012). The genomic landscape shaped by selection on transposable elements across 18 mouse strains // *Genome Biology*, 12
- Oliveira et al., 2012 – Oliveira SG, Bao W, Martins C, Jurka J. (2012). Horizontal transfers of Mariner transposons between mammals and insects // *Mob DNA*, Sep 26;3(1):14; doi:[10.1186/1759-8753-3-1](https://doi.org/10.1186/1759-8753-3-1)
- Porto-Neto LR et al., 2013 – Porto-Neto LR et al. (2013). Genomic divergence of zebu and taurine cattle identified through high-density SNP genotyping // *BMC Genomics* 14:876; doi:[10.1186/1471-2164-14-876](https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-876)
- Porto-Neto LR et al., 2014 – Porto-Neto LR, Reverter A, Prayaga KC, Chan EKF, Johnston DJ, et al. (2014). The Genetic Architecture of Climatic Adaptation of Tropical Cattle // *PLoS ONE* 9(11): e113284. doi: [10.1371/journal.pone.0113284](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113284)
- Ramey et al., 2013 – Ramey et al. (2013). Detection of selective sweeps in cattle using genome-wide SNP data // *BMC Genomics* 14:382; doi: [10.1186/1471-2164-14-382](https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-382)
- Revay et al., 2015 – Revay T., Quach A.T., Maigne L. et al. (2015). Copy number variations in high and low fertility breeding boars // *BMC Genomics* 16:280 doi: [10.1186/s12864-015-1473-9](https://doi.org/10.1186/s12864-015-1473-9)
- Rogowsky et al., 1992 – Rogowsky PM, Liu JY, Manning S, Taylor C, Langridge P. (1992). Structural heterogeneity in the R173 family of rye-specific repetitive DNA sequences // *Plant Mol Biol.* Oct;20(1):95-102.
- Schubert et al., 2014 – Schubert M., Jónsson H., Chang D. et al. (2014). Prehistoric genomes reveal the genetic foundation and cost of horse domestication // *Proc Natl Acad Sci U S A* Dec 30;111(52):E5661-9; doi: [10.1073/pnas.1416991111](https://doi.org/10.1073/pnas.1416991111)
- Sharma et al., 2013 – Sharma A, Wolfgruber TK, Presting GG. (2013). Tandem repeats derived from centromeric retrotransposons // *BMC Genomics*, Mar 4;14:142. doi: [10.1186/1471-2164-14-142](https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-142)

- The state of the world's animal genetic resources..., 2007 – *The state of the world's animal genetic resources for food and agriculture* / B. Rischkowsky, D. Pilling (eds.), FAO, Rome, 2007
- Walsha et al., 2013 – Walsh A.M., Kortschaka R.D., Gardner M.G., et al. (2013). Widespread horizontal transfer of retrotransposons // *PNAS*, Vol. 110, No. 3, pp. 1012–1016; www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1205856110
- Wiener, Wilkinson, 2011 – Wiener P., Wilkinson S. (2011). Deciphering the genetic basis of animal domestication // *Proc. R. Soc. B* 278, 3161–3170; doi: 10.1098/rspb.2011.1376
- Wilkins et al., 2014 – Wilkins A. S., Wrangham R. W., Fitch W. T. (2014). The “Domestication Syndrome” in Mammals: A Unified Explanation Based on Neural Crest Cell Behavior and Genetics // *Genetics*, Vol. 197, pp. 795–808.
- Xiao et al., 2008 – Xiao R., Kim J., Choi H., Park K., Lee H., and Park C. (2008). Characterization of the Bovine Endogenous Retrovirus β 3 Genome // *Mol. Cells*, Vol. 25, No. 1, pp. 142–147.

References

- Ahmed, Liang, 2012 – Ahmed M, Liang P. (2012). Transposable elements are a significant contributor to tandem repeats in the human genome, *Comp Funct Genomics* 2012:947089. doi:10.1155/2012/947089.
- Albert et al., 2012 – Albert FW, Somel M, Carneiro M, Aximu-Petri A, Halbwax M, et al. (2012) A Comparison of Brain Gene Expression Levels in Domesticated and Wild Animals, *PLoS Genet* 8(9): e1002962. doi: 10.1371/journal.pgen.1002962
- Andersson et al., 2015 – Andersson et al. (2015). Coordinated international action to accelerate genome-to-phenome with FAANG, the Functional Annotation of Animal Genomes project, *Genome Biology* 16:57, doi: 10.1186/s13059-015-0622-4
- Baba et al., 2011 – Baba K., Nakaya Y., Shojima T., Muroi Y., Kizaki K., Hashizume K., Imakawa K. and Miyazawa T. (2011). Identification of Novel Endogenous Betaretroviruses Which Are Transcribed in the Bovine Placenta, *Journal of Virology*, Feb, pp. 1237–124
- Bao, Jurka, 2013 – Bao W., Jurka J. (2013). Homologues of bacterial TnpB_IS605 are widespread in diverse eukaryotic transposable elements, *Mobile DNA* 4:12; <http://www.mobilednajournal.com/content/4/1/12>
- Behura, Severson, 2013 – Behura SK, Severson DW. (2013). Association of microsatellite pairs with segmental duplications in insect genomes, *BMC Genomics*, Dec 21;14:907; doi: 10.1186/1471-2164-14-907.
- Benachenhou ET AL., 2013 – Benachenhou F, Sperber G.O., Bongcam-Rudloff E., Andersson G., Boeke J.D., Blomberg J. (2013). Conserved structure and inferred evolutionary history of long terminal repeats (LTRs), *Mobile DNA*, 4:5; <http://www.mobilednajournal.com/content/4/1/5>
- Bousios, Darzentas, 2013 – Bousios A., Darzentas N. Sirevirus LTR retrotransposons: phylogenetic misconceptions in the plant world, *Mobile DNA*, 4.
- Chalopin et al., 2015 – Chalopin D., Naville M., Plard F. et al. (2015). Comparative Analysis of Transposable Elements Highlights Mobilome Diversity and Evolution in Vertebrates, *Genome Biol. Evol.* 7(2):567–580; doi:10.1093/gbe/evv005
- de Simoni Gouveia et al., 2014 – de Simoni Gouveia J.J., da Silva M.V.G., Paiva S.R., de Oliveira (2014). S.M.P. Identification of selection signatures in livestock species, *Genetics and Molecular Biology*, 37, 2, 330–342.
- Diamond, 2002 – Diamond J. (2002). Evolution, consequences and future of plant and animal domestication, *Nature*, 418(6898), 700–707.
- Elkina, Glazko, 2014 – Elkina M.A., Glazko V.I. (2014). The fragments of homologies of endogenous retroviruses in the genomes of plants and animals, *Agricultural biology*, No. 5, pp. 35–43. doi: 10.15389/agrobiol.2014.5
- Evin et al., 2015 – Evin A., Dobney K., Schafberg R., Owen J. et al. (2015). Phenotype and animal domestication: A study of dental variation between domestic, wild, captive, hybrid and insular *Sus scrofa*, *BMC Evolutionary Biology* 15:6; doi: 10.1186/s12862-014-0269-x
- Garcia-Etxebarria et al., 2014 – Garcia-Etxebarria K., Sistiaga-Poveda M., Jugo B.M. (2014). Endogenous retroviruses in domestic animals, *Curr Genomics* Aug;15(4):256–65
- Ghosh 2014 – Ghosh S, Qu Z, Das PJ, Fang E, Juras R, et al. (2014). Copy Number Variation in the Horse Genome, *PLoS Genet* 10(10): e1004712; doi: 10.1371/journal.pgen.1004712

Glazko et al., 2012 – Glazko V.I., Bardukov N.V., Pheophilov A.V., Sipko T.P., Elkina M.A., Glazko T.T. (2012). Polymorphism of ISSR and IRAP markers in genomes of musk-oxen (*Ovibos moschatus*) and horse (*Equus caballus*) of Altai breed, *Izvestia of Timiryazev Agricultural Academy*, Special Issue: 16-26.

Glazko et al., 2014 – Glazko V., Zybaylov B., Glazko T. (2014). Domestication and Genome Evolution, *International Journal of Genetics and Genomics*, Vol. 2, No. 4. pp. 47-56; doi: 10.11648/j.ijgg.20140204.11

Liu et al., 2010 – Liu G.E., Hou Y., Zhu B. et al. (2010). Analysis of copy number variations among diverse cattle breeds, *Genome Research* 20:693–703; ISSN 1088-9051/10; www.genome.org

Llorens et al., 2009 – Llorens C., Munoz-Pomer A., Bernad L., Botella H., Moya A. (2009). Network dynamics of eukaryotic LTR retroelements beyond phylogenetic trees, *Biology Direct* 4:41 <http://www.biology-direct.com/content/4/1/41>

Metzger et al., 2014 – Metzger et al. (2014). Next generation sequencing gives an insight into the characteristics of highly selected breeds versus nonbreed horses in the course of domestication, *BMC Genomics* 15:562. <http://www.biomedcentral.com/1471-2164/15/562>

Moon et al., 2015 – Moon S., Kim T.-H., Lee K.-T., Kwak W. et al. (2015). A genome-wide scan for signatures of directional selection in domesticated pigs, *BMC Genomics* 16:130, doi:10.1186/s12864-015-1330-x

Nellaker et al., 2012 – Nellaker C., Keane T.M., Yalcin B., Wong K., Agam A., Belgard T.G. Flint J., David J Adams D.J., Frankel W.N., Ponting C.P. (2012). The genomic landscape shaped by selection on transposable elements across 18 mouse strains, *Genome Biology*, 12

Oliveira et al., 2012 – Oliveira SG, Bao W, Martins C, Jurka J. (2012). Horizontal transfers of Mariner transposons between mammals and insects, *Mob DNA*, Sep 26;3(1):14; doi:10.1186/1759-8753-3-1

Porto-Neto LR et al., 2013 – Porto-Neto LR et al. (2013). Genomic divergence of zebu and taurine cattle identified through high-density SNP genotyping, *BMC Genomics* 14:876; doi:10.1186/1471-2164-14-876

Porto-Neto LR et al., 2014 – Porto-Neto LR, Reverter A, Prayaga KC, Chan EKF, Johnston DJ, et al. (2014). The Genetic Architecture of Climatic Adaptation of Tropical Cattle, *PLoS ONE* 9(11): e113284. doi:10.1371/journal.pone.0113284

Ramey et al., 2013 – Ramey et al. (2013). Detection of selective sweeps in cattle using genome-wide SNP data, *BMC Genomics* 14:382; doi: 10.1186/1471-2164-14-382

Revay et al., 2015 – Revay T., Quach A.T., Maigne L. et al. (2015). Copy number variations in high and low fertility breeding boars, *BMC Genomics* 16:280 doi: 10.1186/s12864-015-1473-9

Rogowsky et al., 1992 – Rogowsky PM, Liu JY, Manning S, Taylor C, Langridge P. (1992). Structural heterogeneity in the R173 family of rye-specific repetitive DNA sequences, *Plant Mol Biol.* Oct;20(1):95-102.

Schubert et al., 2014 – Schubert M., Jónsson H., Chang D. et al. (2014). Prehistoric genomes reveal the genetic foundation and cost of horse domestication, *Proc Natl Acad Sci U S A* Dec 30;111(52):E5661-9; doi:10.1073/pnas.1416991111

Sharma et al., 2013 – Sharma A, Wolfgruber TK, Presting GG. (2013). Tandem repeats derived from centromeric retrotransposons, *BMC Genomics*, Mar 4;14:142. doi: 10.1186/1471-2164-14-142

The state of the world's animal genetic resources..., 2007 – *The state of the world's animal genetic resources for food and agriculture* / B. Rischkowsky, D. Pilling (eds.), FAO, Rome, 2007

Walsha et al., 2013 – Walsha A.M., Kortschaka R.D., Gardner M.G., et al. (2013). Widespread horizontal transfer of retrotransposons, *PNAS*, Vol. 110, No. 3, pp. 1012–1016; www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1205856110

Wiener, Wilkinson, 2011 – Wiener P., Wilkinson S. (2011). Deciphering the genetic basis of animal domestication, *Proc. R. Soc. B* 278, 3161–3170; doi: 10.1098/rspb.2011.1376

Wilkins et al., 2014 – Wilkins A. S., Wrangham R. W., Fitch W. T. (2014). The “Domestication Syndrome” in Mammals: A Unified Explanation Based on Neural Crest Cell Behavior and Genetics, *Genetics*, Vol. 197, pp. 795–808.

Xiao et al., 2008 – Xiao R., Kim J., Choi H., Park K., Lee H., and Park C. (2008). Characterization of the Bovine Endogenous Retrovirus $\beta 3$ Genome, *Mol. Cells*, Vol. 25, No. 1, pp. 142–147.

УДК 539.1.047:575.224

Ноосфера и доместикация

Валерий Иванович Глазко ^{a,b,*}, Борис Леонидович Зыбайлов ^b, Татьяна Теодоровна Глазко ^{a,b}

^a Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

^b Факультет биохимии и молекулярной биологии медицинского университета Арканзаса, Литл Рок, США

^c ФГБНУ Центр экспериментальной эмбриологии и репродуктивных биотехнологий Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

Аннотация. Биосферные проблемы приводят к необходимости глубокого анализа ее состояния в целях разработок подходов к обеспечению ее более устойчивого развития. В этом отношении особый интерес представляет созданная человеком ее искусственная компонента – аграрная цивилизация. Исследования уникальных особенностей ее генетических ресурсов, обеспечивающих высокое фенотипическое разнообразие доместичированных видов животных и растений, существенно отличающее их от близкородственных диких видов, может позволить создавать новые инструменты для управления ими. Ранее нами было показано, что в геномах доместичированных видов растений и животных по сравнению с близкородственными дикими видами наблюдается повышенная частота встречаемости коротких фрагментов ДНК, фланкированных инвертированными повторами микросателлитов, геномная локализация которых ассоциирована с некоторыми мобильными генетическими элементами. В результате сравнительного анализа спектров продуктов амплификации фрагментов ДНК, фланкированных инвертированными повторами длинных терминальных повторов (LTR) эндогенных ретровирусов, впервые выявленных у животных (BERV β -3, BERVK1) и растений (SIRE-1, PawS 5, BARE-1) обнаружено определенное пересечение в отношении присутствия гомологичных участков мобильных элементов в геномах представителей животных (овцы, лошади, овцебыки) и растений (сорта мягкой пшеницы и сои, группа дикорастущей сои). Собственные и накопленные в литературе данные о сравнительном анализе полиморфизма геномных элементов (структурные гены, анонимные фрагменты геномной ДНК, мобильные генетические элементы) позволяют предполагать, что источниками неожиданно высокой генетической внутривидовой гетерогенности у доместичированных видов животных и, по-видимому, растений, по сравнению с близкородственными дикими видами, могут быть повышенная толерантность к встройкам в геномы провирусной ДНК экзогенных ретровирусов, а также активация транспозиций мобильных генетических элементов в связи с близкородственными скрещиваниями у животных и принадлежностью к самоопылителям основных культурных растений.

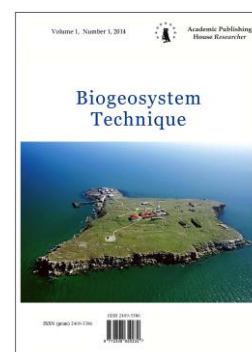
Ключевые слова: биосфера, ноосфера, доместикация, геномика, полиморфизм, мобильные генетические элементы, транспозиции.

* Корреспондирующий автор
Адрес электронной почты: vigvalery@gmail.com (В.И. Глазко)

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. 284-316, 2016

DOI: 10.13187/bgt.2016.10.284
www.ejournal19.com



UDC 631: 574.4:62

Soil Dynamics Management

Valery P. Kalinitchenko ^{a, b, *}^a Institute of Soil Fertility of South Russia, Russian Federation^b All-Russian Scientific-Research Institute of Phytopathology, Russian Federation

Abstract

Soil dispersed system is considered in terms of soil evolution fluctuation, biological, reclamation process, the theory and practice of successful, productive, long-term, sustainable and environment-friendly agronomic use. It is shown that implementation of soil biological functions in standard paradigm of agricultural technology is problematic – the modeling, normalizing and synthesizing the soil should not be done in custom imitative way of agricultural technology and land reclamation. Finding the new transcendental possibilities for acceptable probability to controlled new soil evolution quality, hydrological regime and soil cover structure is on agenda. Otherwise there is a risk to loss the soil. As a proven option, the transcendental approach to management of equilibrium in soil solution, hydrological regime, fertility, health and evolution of soil environmental quality, synthesis environment and getting a high economic result from the use of developed methods the Biogeosystem Technique is proposed. Research data are presented on evolution of steppe soils. The evolution can go in direction either of aggradation or degradation succession of vegetation, the agronomic quality of soil and soil cover structure. By subsurface milling treatment of complex chestnut soils a statistical range of variation of relative to norm the contrast of soil cover structure and the structure of the vegetation cover during the term of reclamation activities of 30 years decreased from 0.5–1.8 to 0.8–1.1. Morphological characterization of mixing and crushing of the soil internal genetic horizons degree by machining showed that the size of soil units in the horizon B in the control variant (moldboard tillage by 20–22 cm) was 7.0 cm, in the variant of soil milling processing with machine FS-1,3 to a depth of 40–45 cm. – 1.0–1.5 cm. In comparison to control, the soil milling subsurface processing is of significantly longer duration of biologically and economically effective ameliorative action of 30 years, and more. Biogeosystem Technique improves a water efficiency of the rainfed and irrigated agriculture. Biogeosystem Technique ensures a high stability of fundamentally new biogeosystem stagnating at a high level of efficiency and sustainability.

Biogeosystem Technique helps to reduce a conflict between the biosphere and technology, to change the paradigm of development, and to synthesize a nature-similar environmental-friendly technology of biosphere.

Keywords: soil productivity, evolution, stability, aggradation, degradation, dispersion, agriculture, Biogeosystem Technique.

* Corresponding author

E-mail address: kalinitch@mail.ru (V.P. Kalinitchenko)

1. Введение

Устройство дисперсной системы почвы имеет значение для протекания ее эволюции, биологического, мелиоративного процесса, теории и практики успешного, продуктивного, длительного и безопасного с точки зрения устойчивости окружающей среды агрономического использования почвы. Квазистационарные флуктуации эволюции почвы показаны путем моделирования развития черноземов в зоне степи на основе аппарата почвенно-генетической хронологии (Лисецкий и др. 2016a). Показаны также биогеохимические особенности разновременных залежей в степной зоне (Лисецкий и др. 2016b). Изучена дифференциация флор по локальным экотопам лесостепи и степи (Лисецкий и др. 2016в), постагрогенная эволюция почв, включая залежь (Lisetskii et al., 2013). Изменение почв является устойчивым типичным следствием многовековых агрогенных воздействий (Лисецкий, Родионова, 2016).

Состояние дисперсной системы почвы обусловлено равновесиями и динамикой разнообразных процессов. Это происхождение и режим почвообразующей породы, скорость геологического выветривания. Своё влияние оказывают температура, наличие и режим влаги, биота. Сказывается индивидуальное соотношение педогенеза, седиментогенеза и литогенеза.

Постоянное балансирование непрерывного или импульсного почвообразования приводит к тому, что эволюция почвы протекает быстро и состоит из многих этапов, каждый из которых можно рассматривать с точки зрения текущего приоритета того или иного из факторов почвообразования. Установлено, что эволюция почвы во многом следует за климатом, увлажнением территории (Демкин и др., 2012). Важным фактором эволюции почвы является степень её дисперсности, размер структурных отдельностей, степень механической связи между элементами дисперсной системы почвы. По этой причине уделяют внимание классификации элементарных почвенных частиц (Морозов, Безуглова, 2011), плотности, твердости твердой фазы почв, методам определения этих показателей (Моисеева и др., 2011). Это во многом обуславливает классификационные построения в почвоведении (Безуглова, 2011). Дисперсность почвы имеет биологическое значение (Красильников и др., 2012).

Разнообразные свойства почв, включая механические, находятся под антропогенным влиянием. Оно столь значительно, что приходится даже подразделять почвы по ведущему антропогенному фактору девиации их эволюции, например, по влиянию города (Безуглова и др., 2011; Горбов и др., 2016; Безуглова и др., 2015; Горбов, Безуглова, 2014).

Антропогенное слияние на дисперсную систему почвы изучено с использованием математического моделирования (Shein et al., 2013b), новых методов прямого исследования (Лебедева (Верба), 2012; Рыльков и др., 2012; Корост и др., 2012; Герке, Скворцова, 2012).

Агрегирование и микроагрегирование природной или измененной в агротехнике дисперсной системы почвы обусловлено наличием тех или иных условий образования кутан, квазикристаллов, развития микроорганизмов, особенно диатомовых водорослей, предпосылками типа, степени и скорости разложения растительных остатков, значимо наличие карбонатов и легкорастворимых солей (Cuadros et al, 2013; Hazen et al, 2013; Pevzner, 2003; Abe et al., 2004; Baldock et al., 2004; Bindi et al., 2009; De Gryze et al., 2006; Fischer et al., 2011; Grosbellet et al., 2011; Verkhovtseva et al., 2014; Yun Zhu et al., 2011; Shein et al., 2013a; Verchot et al., 2011).

Органическое вещество определяет угол смачивания контактирующих поверхностей (Вукова, 2016), распределение пор по размерам, динамику пористой системы. Агрегирование твердой фазы почвы в решающей степени обусловлено наличием стартовой механической дисперсной структуры системы, определяет почвенно-гидрологические параметры (Shein, 2010). Результатом является та или иная иерархия распределения пор по размерам (Шейн Е.В. и др., 2016). При содержании всего лишь 2 % органического вещества аллювиальная карбонатная почва центральной Анатолии имеет высокое плодородие – её развитая структура обеспечивает хорошие условия развития микробиоты (Shein et al, 2014a).

С другой стороны, в большинстве почв до 99 % тупиковых пор (Shein et al., 2014b). Если структуры почвы нет, то перечисленные выше процессы, как и многие другие важные явления, не имеют возможности протекания. Особенно в почвах тяжелого гранулометрического состава, развиваются супердисперсность, уплотнение, слитизация,

осолонцевание и пр. (Meyer et al., 1996). При таком состоянии дисперсной системы почвы имеют место неудовлетворительные эффекты в почвах, ландшафтах, природно-территориальных комплексах (Lisetskii et al., 2015). Потому туманными представляются эволюция, здоровье и перспектива самой плодородной почвы мира – русского чернозема (Государственный (национальный) доклад..., 2013; Постановление Правительства РФ № 99, 2006; Постановление Правительства РФ № 922, 2013; Алексеев, 2014; Смагин, 2013).

Методы контроля структуры почвы в агротехнике несовершенны (Горячкин, 1965; Доспехов, 1987), а природа структуры почвы – сложнейшая, что следует учитывать при обработке, и особенно – при конструировании почвы (Шоба и др., 2015).

Выполнение почвой биологических функций проблематично – моделировать, нормировать и синтезировать её следует не так как это принято в агротехнике и мелиорации – имитационным путем, а искать новые трансцендентальные возможности обрести приемлемую вероятность нового качества управления системой. Иначе есть риск утраты почв.

На примере всемирно известного археологического памятника «Аркаим» на юге Челябинской области Л.А. Сенькова констатировала – «хорошо видно, что человек всегда использовал почвы по своим понятиям, которые никогда не отличались глубиной, оставляя на тысячелетия, деградированные урбанизацией почвы» (Сенькова, 2009).

За историю землепользования человечество уничтожило более двух миллиардов гектаров плодородных почв, это больше площади современного земледелия (Добровольский, 2012).

Здоровье почвы в стандартной агротехнике остается без внимания (Pardo et al., 2014; Соколов, Глазко, 2015; Соколов и др., 2015; Chen et al., 2015; Turmel M.S. et al. 2015; Sokolov, Glazko, 2015; Глинушкин и др., 2016; Семенов, Соколов, 2016).

В дождевой агрокультуре или залежи процесс репарации почвы занимает десятилетия, и не всегда проходит успешно (Лисецкий, Родионова, 2016; Kalinina et al., 2015; Калиниченко и др., 2013).

Климатическое моделирование показывает, что без принятия принципиально новых мер регулирования гидрологического цикла Земли следует ожидать усиления аридности земель, глобального нарастания площади земель, подверженных засухе (Lin et al., 2016). Возможно усиление опасной климатической положительной обратной связи, обуславливающей циклическое оледенение Земли в течение голоцена (Rothman, 2015).

Актуально управление эволюцией почвы, гидрологическим режимом и структурой почвенного покрова (СПП) для обеспечения продолжительных аградационных изменений в почвах (Yuan et al., 2014; Генезис и мелиорации почв солонцовых комплексов, 2008; Панов и др., 2008; Казакова, 2006; Kalinichenko et al., 2014; Kalinichenko et al., 2011; Kalinichenko et al., 2016; Семендяева, Елизаров, 2014), повышение водной эффективности агротехники (Wu et al., 2013).

Возможность усиления биогеохимического цикла биосферы, безопасный возврат в биосферу вещества прошлых геологических эпох путем реминерализации почвы обоснован экспериментально (Цховребов, 2012).

Следует учитывать, что устойчивость биоты почвы к загрязнению много больше, чем высших растений и животных, причем на уровне 100 ПДК и более (Kolesnikov et al., 2013). Она существенно повышается за счет внесения материала внутрь почвы (Peries and Gill, 2015), особенно при обеспечении дисперсного контакта этого вещества и внутренних слоёв почвы (Мищенко, 2009).

Ввиду нарастающего конфликта биосферы и технологии, необходима смена парадигмы развития, синтез природоподобных технологий (Glazko V., Glazko T., 2015).

Одним из апробированных вариантов трансцендентального подхода к управлению равновесиями в почвенном растворе, гидрологическим режимом, плодородием и эволюцией почв, синтеза качественной окружающей среды и получения в ней высокого экономического результата является биogeосистемотехника (Минкин, Калиниченко, 1981; Калиниченко и др., 1997; Калиниченко, 2004; Калиниченко, 2005; Удалов, Калиниченко, 2005; Василенко и др., 2005а; Василенко и др., 2005б; Солнцева, Калиниченко, 2005; Удалов и др., 2005; Калиниченко, 2009; Аканова, 2013; Воеводина, 2016; Калиниченко, 1990; Калиниченко, 2012; Kalinichenko, 2016; Москаленко и др., 2013; Endovitsky et al., 2014; Ендовицкий и др., 2008; Калиниченко и др., 2008; Калиниченко, 2016).

Динамика свойств почв

Реальность риска утраты почвы как природного тела, обладающего ведущим свойством – плодородием, можно рассмотреть на самом известном примере российского почвоведения – динамике свойств солонцов. Одни из вариантов интерпретации происхождения этих почв такой. По выходу территории нынешних каштановых почв из-под морской поверхности начался биологический процесс, свойственный суше. Один из его специфических признаков – останки крупных морских животных, которые были в числе факторов комплексности исходной СПП, обусловили локально избыточное количество органического вещества в инициальной почве. Останки таких морских животных до настоящего времени обнаруживают сейчас в пустынях. В нынешней сухой степи осадков было больше, влажность инициальных почв была выше, поэтому в настоящее время сохранились лишь спорадические дискретные следы большой сосредоточенной массы органического вещества морского происхождения на поверхности первичной суши. Такое вещество может быть агентом усиленного седиментогенеза в почве. Естественно, комплексность почвенного покрова обусловлена не только этой причиной, мы затронули ее, поскольку она рассматривается нечасто. Более приемлемые условия достаточно рыхлой почвообразующей породы, еще недавно донной (или перемещенной в результате гидротурбации и гидротранспорта), высокие температуры и наличие увлажнения позволили сформироваться почвам с достаточно развитым профилем, солидной ризосферой. Ввиду малого количества атмосферных осадков, цикличности климата, близости солей к дневной поверхности эволюция почв привела к тому, что первоначально активный фронт биологического процесса по мере эволюции отступил из внутреннего слоя почвы, до которого первоначально проник, к поверхности. В результате сформировался иллювиальный горизонт. Его генезис в значительной степени обусловлен тем, что в процессе эволюции почвы часть биологического вещества в почвенном профиле перешла в стадию седиментогенеза. Особенно в случаях избыточности преобразованных органических продуктов прошлых геологических эпох. Седиментация происходит на сопряженном с органическим веществом каркасе твердой фазы почвы. Скоро первичная седиментация сменяется литогенезом. Он может не охватывать весь слой почвы, локализуясь только на сопряженных в пространстве структурных отдельностях, цементируя их между собой, приводя к возникновению в почве тупиковых зон, где миграция вещества и деятельность почвенной биоты замедляется. Возможность преодоления таких явлений, обновления внутренней поверхности почвы, выхода на эту поверхность свежих разломов кристаллической решетки почвенных минералов, показана в лабораторных и полевых экспериментах, где выполняли искусственную турбацию внутренних слоев почвы (Минкин и др., 1980). Также это показано в последнее время и современными методами томографии. Корневая система растений распространяется вне пределов тупиковых зон, поскольку ризосфера стремится освоить тот объем почвы, в котором она продвигается в почву более-менее комфортно. Следовательно, процесс идет по типу положительной обратной связи – по мере возникновения определенного свойства наблюдается прекращение, ослабления или, наоборот, усиление текущего биологического процесса. В частности, возникает лавинообразное нарастание процесса уплотнения почвы, идет утрата активной пористости в пользу тупиковой. Формируется непроницаемый для корней и воды иллювиальный горизонт. Параллельно влияют известные явления, обусловленные присутствием поглощенного Na^+ , наличие которого связано с засолением почвообразующей породы и слабым выщелачиванием солей вглубь, перманентным влиянием солей на педогенез при почвообразовании на фоне слабого увлажнения. Влияет неблагоприятная с точки зрения продуктивности и устойчивости почвы минералогическая композиция почвы и почвообразующей породы. В результате имеют место случаи, когда даже с поверхности корневая система культурных растений, обитающих на каштановых солонцовых комплексах в условиях агрокультуры, распространяется не в почве в целом, а занимает только промежутки между образованными механической обработкой агрегатами почвы размером 100–200 мм. Это постольку, поскольку только между агрегатами проникает влага, просыпается и осыпается с крупных агрегатов почвы относительно рыхлая приемлемая для развития ризосферы растений фракция агрегатного состава. Налицо антропогенный выход

столбчатой структуры солонцового горизонта на поверхность почвы в силу абсолютной некорректности, несоответствия современной агрокультуры свойствам почвы, особенно с точки зрения её эволюции.

Рассмотренные равновесия, обуславливающие эволюцию почвы, имеют место не только в каштановых почвах. Они имеют место повсеместно, в том числе и в черноземах. Особенно это заметно в агрокультуре, под влиянием которой в последние десятилетия многие исследователи вынуждены констатировать признаки деградационного сценария антропогенной эволюции этих почв. В вовлеченных в агрокультуру черноземах имеет место отчетливое иллювиирование почвенного профиля за счет того, что преобладающая глубина основной механической обработки почвы составляет 20–22 см.

Обработка приводит к уплотнению слоя, непосредственно расположенного под обрабатываемым органом плуга или любого иного устройства для обработки почвы в силу гравитационного способа задания глубины обработки. Уплотнение слоя почвы 22–28 см в процессе механической обработки связано с ее упруго-пластичными свойствами. В процессе движения режущего органа в почве перед ним, независимо от угла заточки, пускай даже этот угол будет минимальным, а режущая кромка идеальной, образуется зона повышенных упругих механических напряжений. Эта зона распространяется вперед, вверх и вниз, поскольку режущий орган ориентирован параллельно поверхности почвы. Напряжения перед режущим органом обеспечивают выполнение операции скалывания обрабатываемого грунта. Напряжения, ориентированные вверх, обеспечивают подъем грунта с места его расположения, напряжения, направленные вниз, обуславливают уплотнение почвы. Ввиду пластических свойств почвы, поверхность подпахотного слоя не восстанавливает форму после снятия механического усилия, которое было к ней приложено. Дополнительное уплотнение обусловлено также импульсным характером движения грунта вокруг обрабатываемого органа. Следы волнового процесса можно наблюдать на поверхности борозды после прохода плуга. Она представляет собой поверхность, состоящую из чередующихся, преимущественно в направлении перпендикулярном обработке, трещин и зон уплотнения. Своего рода – инициальные солонцовые столбы иллювиального горизонта в черноземе. В настоящий момент об этом можно рассуждать по косвенным признакам, но, как известно, любой процесс, будучи запущенным, себя проявит.

Происхождение почв, особенно плодородных почв, обусловлено наличием тонкодисперсного геологического, биологического, биокосного материала. Биологический и биокосный материал П.А. Костычев считал ведущим фактором почвообразования (Костычев, 1937).

Справедливость такой точки зрения в последнее время находит свое экспериментальное подтверждение. В тонкодисперсной фракции почв, ведущем агенте плодородия, её до настоящего времени полагали имеющей исключительно минеральную природу, обнаружены структурные элементы, происхождение которых с высокой вероятностью обусловлено жизнедеятельностью древних бактерий (Розанов, 2003). Следовательно, этот материал не в полной мере минеральный. Весьма распространен случай более тяжелого гранулометрического состава покровных отложений по сравнению с подстилающими породами вследствие процесса коагуляции – отложения тонкодисперсного материала на дневную поверхность из водного потока, слоя воды. Это имело место в процессе таяния ледников, имеет место в настоящее время в прилегающих к ледникам экосистемах, в водной среде мирового океана и водных экосистемах суши, в том числе в пойме. Локальный транспорт материала водным потоком, переотложение, механическая, физико-химическая, минералогическая деградация этого материала является достаточно распространенным процессом при той или иной степени сложности СПП, в том числе, связано с эрозией.

Тяжелый по гранулометрическому составу нанос препятствует быстрому гравитационному сбросу воды атмосферных осадков в геологические отложения, что обуславливает приоритетные условия обводнения формирующихся, и затем эволюционирующих почв. В процессе эволюции профиль почвы дополнительно к имеющемуся на момент формирования почвы плодородному обогащенному продуктами биологического процесса тонкодисперсному материалу древних эпох обогащается также преобразованными в процессе почвообразования под действием воды, биоты, циклов

замораживания – размораживания, набухания – усадки (Минкин и др., 1982), минеральными частицами, новым органическим и биокосным веществом. С одной стороны, явление утяжеления гранулометрического состава почвы в процессе эволюции является благоприятным, обуславливая приоритетные условия развития растений и почвенной биоты. Это стабилизирует фазу стагнации генезиса почвы, комплекс её параметров воспроизводится длительное время. Примеры – черноземы степи на различных материках в различных частях света Земли. В этих почвах достаточно стабильно представлено соотношение восстановительных химических условий (одним из признаков наличия такого рода процессов является темный цвет почвы). Приемлемой с точки зрения почвообразования является свойственная черноземным почвам фаза минерализации, структурообразования, обусловленная перерывами в увлажнении. С другой стороны, явление утяжеления гранулометрического состава в процессе эволюции почв обуславливает значительные трудности в формировании дисперсной системы, структуры почвы.

Причиной неудовлетворительных агрофизических свойств почвы может быть минералогическая композиция тонкодисперсной фазы (Чижилова, 2013; Солнцева, Калиниченко, 2011), ее супердисперсность.

Стандартная агротехника усиливает проявление супердисперсности, ведет к разрушению структуры, неблагоприятному изменению минералогической композиции почвы, избыточному выщелачиванию вещества, постоянному реструктурированию микро- и макроагрегатов, которые в результате приобретают слабую устойчивость, избыточному испарению воды с поверхности и из верхнего слоя почвы, избыточной транспирации, неконтролируемым преференсным потокам воды в зоны аэрации и насыщения (Топунова и др., 2010; Приходько, 2003; Турсина, 2016).

Супердисперсное состояние тонкодисперсной фазы почвы способствует изменению минералов (Albani et al., 2010), транслокации элементов растениями и стабилизации иллитов в верхнем слое почв умеренного пояса (Barre et al., 2009). Экспериментально показана возможность синтеза монтмориллонита в почвах с обогащенным Si и Mg почвенным раствором в нейтральных или слабощелочных условиях (Reid-Soukup et al., 2002), а также иллита-сметита (Eberl et al., 1993).

Возможность направленного синтеза минералов теоретически и практически показана в смежных почвоведению и мелиорации областях исследования и практики, в том числе, в сфере неорганических вяжущих веществ. Одним из драйверов процесса является коррозия искусственных минералов.

Ввиду всё возрастающего проявления слитизации и осолонцевание почвы, эти явления сейчас уже не всегда напрямую связывают с наличием поглощенного натрия, а порог содержания натрия в почвенном поглощающем комплексе, при котором появляются признаки солонцового педогенеза, предлагают полагать очень низким – 3 % (Полевой определитель почв, 2008; Хитров, 1995; Хитров, 2004).

Складывающееся при сочетании рассмотренных процессов равновесие недостаточно эффективно с точки зрения использования в биологическом процессе всех продуктов, синтезируемых в почве, находящихся в ней. Это очевидно на примере черноземов Краснодарского края, у которых биологический материал, обусловленный почвообразованием, стекает вглубь почвы и становится потерянным для современного педогенеза.

Основное, структура почвы такая, что не позволяет вовлечь этот материал в биологический процесс полностью. Следовательно, почвообразование идет расточительным путем. Для проникновения корневой системы растений внутрь почвы нет возможностей, во всяком случае, они ограничены.

Система в целом нестабильна. После тысяч лет квазистационарного равновесия, которое привело даже к тому, что черноземы России стали фетишизировать, объявляя лучшими в мире почвами, что, возможно, даже обусловило нездоровый интерес завоевателей с известными трагическими последствиями, современная агротехника показала истинное очень ранниме лицо черноземов. Для этого часто приводят примеры, из которых следует, что гумуса в верхнем слое черноземов было 8 и более %, а стало 3 и менее %.

Очевидно, что это катастрофическое изменение, перестройка всей почвы, дающая основания вести речь о деградационном сценарии её эволюции.

С другой стороны, имеются сведения об изменении чернозема в противоположном направлении. Эти сведения редки, поскольку положительные примеры эволюции чернозема в основном не имеют под собой основания в силу сложившегося характера их использования, но, все же, такие случаи имеются.

2. Объекты и методы

Объекты исследования – почвы степи – черноземы и каштановые умеренно теплой восточно-европейской фации.

Объект 1. «Чернозем Персиановской степи»

Объект 2. «Залежь в Дубовском»

Объект 3. «Фрезерная обработка в Ремонтном»

Методы исследования:

- ✓ географический;
- ✓ геоботанический;
- ✓ стандартные описательные, аналитические и статистические методы изучения

почв:

- морфологические свойства почвы;
- агрофизические свойства почвы (структурный анализ по Саввинову; плотность почвы буровым методом Качинского);
- качество обработки почвы по Горячкину (Горячкин, 1965), Доспехову (Доспехов, 1987), Шаршаку (Шаршак, 1987);
- мониторинг турбации почвы после мелиоративной обработки методом меченых частиц (пояснения в тексте);
- перемешивание генетических горизонтов почвы при глубокой мелиоративной обработке морфологическим методом (пояснения в тексте);
- СПП, структура растительного покрова (СРП) и биометрические параметры агрофитоценоза в простирации объекта исследований по створам (Миркин, 1985), пояснения в тексте;
- ✓ расчетный:
 - статистическая обработка экспериментальных данных.

3. Результаты и обсуждение

Объект 1. «Чернозем Персиановской степи»

Географический объект «Чернозем Персиановской степи» как заповедный выведен из агрокультуры более чем сто лет назад. Одна его часть, восточная, не была в пахотной агрокультуре никогда, только пастбищное использование. Вторая часть, западная, была выведена из регулярной агрокультуры в начале 20 века, во время создания сельскохозяйственного училища в Персиановке. При этом объект находится в очень специфическом заповедном режиме. Особенность в том, что естественное почвообразование в степи шло под воздействием наземной фауны, происходило стравливание травянистого покрова жвачными травоядными животными, возврат в почву переработанного у них в кишечнике биологического материала, периодически в степи случались пожары. Все накладывало свой отпечаток на почвообразование, плотность и вещественный состав почвы, чернозем приобретал свои специфические черты. В Персиановской степи с момента ее перевода в заповедный режим стравливание травянистого покрова скотом было запрещено. Мотив был в том, что этот процесс трудно было контролировать так, чтобы он соответствовал естественному режиму, поскольку объект находится в пределах землепользования учхоза Донское, где занимаются разведением скота. Тем же заняты в личных подворьях жители учхоза Донское и ближайших хуторов. Аналогична ситуация с расположенной поблизости воинской частью, где тоже имеется поголовье скота и лошади. Потому запрет был единственной мерой, исключающей соблазн использовать травостой в хозяйственных целях. Как известно, это обычно связано с избыточным хозяйственным рвением, и во многом обусловило нынешнее плачевное состояние всех оставшихся черноземов.

По сравнению с природными черноземами в Персиановской степи имеет место существенное отличие растительности. Растительные ассоциации значительно богаче, чем это следует из имеющихся описаний растительности степи, доступных в старых литературных источниках (Иозефович, 1928; Балаш, 1960), еще меньше информации несут современные литературные данные, сопоставлять которые фактически уже не с чем. Поначалу, на этапе целины и затем залежи, наблюдатели полагали факт различия следствием недавнего пахотного использования Персиановской степи, при котором биологический процесс в почве был активизирован ее механической обработкой – наступила сукцессия «пашня, залежь, целина». Однако и до настоящего времени ситуация в Персиановской степи в отношении растительности существенно отличается в лучшую сторону по сравнению с типичной в прошлом степной, а также с нынешним состоянием степи. По нашему мнению, это следствие отсутствия вытаптывания, нет уплотнения почвы, сохраняются растительные остатки. Это обеспечивает мульчирование почвы, сохранение воды в почве, сохранение структуры почвы от прямого воздействия дождевых капель, инсоляции, мороза и других факторов, ослабляющих биологическую эффективность эволюции почвы в обычных условиях ее протекания. Почва Персиановской степи всегда прикрыта или растительными остатками или снегом, который хорошо задерживается шероховатой поверхностью, покрытой растительными остатками. Количество гумуса в почве Персиановской степи близко к природным аналогам прошлого – 6–7 %.

Казалось бы, эталон найден. Но в действительности это совсем не так. В Персиановской степи количество растительных остатков избыточно с точки зрения возможностей современного почвообразования. Они не перерабатываются, потому в практике ухода за Персиановской степью вынуждено применяют практику периодического кошения сена, без строгой системы, примерно один раз в 5–7 лет.

Напочвенный покров Персиановской степи следующий.

Отмерший растительный покров. Стоящие над почвой в течение осени – зимы – ранней весны, не утратившие форму стебли закончивших вегетацию травянистых растений – 15–35 см. Опад листьев и стеблей растений (объекты с потерявшего форму отмершего растения, сохранившие облик его частей) прошлого года. В начале весны после схода снега – 4–8 см. Под опадом подстилка из практически утратившего форму опада отмерших растений, составляет 2–5 см. Под ней залегают степной войлок, 1–3 см, более разрушенный и более уплотненный слой растительных остатков по сравнению с опадом, срок формирования войлока продолжительнее. Почва настолько прикрыта от воздействия стандартных внешних факторов почвообразования степи, что существенно отличается не только количеством гумуса, но также олуговением ценоза, даже характером растительных ассоциаций. Если в степи ранее преобладали злаковые ковыльно-типчаковые, в большей степени ковыльные ассоциации, то растительный покров за время заповедного режима Персиановской степи стал представленным более влаголюбивыми видами растений. Для значительной части растительных ассоциаций Персиановской степи характерно присутствие луговых трав – основной из них – костер луговой. Еще одной чертой является усложнение СПП, что хорошо идентифицируется по состоянию СРП, которая, как и СПП, в Персиановской степи следует за микрорельефом и гидрографией.

Оба примера, и деградации, которая в настоящее время типична для чернозема в России, и, якобы, аградации в Персиановской степи, в действительности отражают очевидный с эволюционной точки зрения на почвообразование факт – чернозем является весьма нестабильной системой, которую легко можно вывести из равновесия минимальным внешним воздействием. Причем даже улучшение условий почвообразования в рамках сложившихся к настоящему времени соответствующих понятий не является залогом того, что вслед за таким изменением факторов почвообразования почва действительно улучшится. Это проявляется в существенном изменении не только текущей эволюции почвы, но имеет право быть рассмотренным с точки зрения генезиса почвы.

Действующие генетические построения в отношении чернозема не предусматривают взгляда на эту почву с точки зрения стабильности его свойств. Потому, с большой вероятностью, такой взгляд может быть расценен даже как крамольный. А нестабильность чернозема во времени, тем не менее, следует учитывать, как эволюционный генетический фактор. Иначе и впредь будет воспроизводиться не продуктивная ни в научном, ни в

производственном аспектах старая иллюзия о незыблемости чернозема. Ни эта почва, ни какая иная не может ныне и впредь эксплуатироваться с одной лишь целью только извлечения из нее остатков биологического ресурса в хищнических имитационных системах современной агротехники. Более того, в сложившейся действительности почва не есть символ основы национального благосостояния, как это было совсем недавно. Докучаев структурировал почвоведение в нынешнем виде, в основном, опираясь на русский чернозем. Уже тогда это была больная почва. Это, собственно, и стало поводом экспедиции. В настоящее время сотрясение практически мертвым телом чернозема в ритуальных плясках по поводу его неисчерпаемых возможностей, как минимум, неприлично.

Объект 2. «Залежь в Дубовском»

Пример восстановительной сукцессии в залежи (начало залежного периода 1975 г.) на каштановых почвах на площади около 100 га имелся в Дубовском районе Ростовской области. Даже в условиях недостаточно увлажнения характер сукцессии был типичным: в первые годы пашня заросла одно- и двулетними растениями, в последующие 5–7 лет развились корневищные растения, затем в фитоценозе возросла доля рыхлокустовых и плотнокустовых злаков.

В возрасте 12–15 лет залежь носила признаки процесса смены мезофильной растительности залежей более ксерофильной целинно-степной, но по запасу органического вещества в почве, её благоприятной структуре, разнообразию видового состава, характеру, продолжительности периода развития и высокой массе травостоя отличалась от имеющихся в агроландшафте вкраплений типичных степных уплотненных сухих целин настолько, что при их сопоставлении было восприятие сравниваемых фитоценозов как относящихся к разным природно-климатическим зонам. Репарация почвы, деградированной в агрокультуре, в залежи идёт даже на фоне предшествовавшей средней основной обработки.

Объект 3. «Фрезерная обработка в Ремонтном»

Схема эксперимента приведена в [таблице 1](#).

Структура почвенного покрова. Концепция СПП описывает пространственную координацию компонентов почвенного континуума. Это фундаментальное свойство почвенного покрова сухой степи выступает в роли фактора, ограничивающего возможности применения технических средств управления плодородием СПП. Для изучения СПП в длительном стационарном эксперименте применен метод створов. До закладки эксперимента, непосредственно после закладки, и в процессе долговременного изменения биогеосистемы в схеме эксперимента сложность СПП изучена по створам, по которым учтено количество границ контуров элементарных почвенных ареалов (ЭПА) в пределах нормированного створа. В качестве дополнительного к почвенным показателям признака контрастности и пространственной неоднородности СПП принята СРП агрофитоценоза и ее подразделение на элементарные ареалы растительности (ЭАР). Неоднородность СРП агрофитоценоза оценивали в баллах по шкале 1–3 с последующей проверкой данных балльной оценки по почвенным показателям. Контрастность СРП оценивали по степени варьирования относительной биологической продуктивности доминанта агрофитоценоза от среднего значения (нормы). Пространственную неоднородность растительного покрова оценивали по относительной частоте пересечения границ контуров ЭАР вдоль створа наблюдений в пределах территории производственного эксперимента и нормировали к створу протяженностью 1 км.

Варьирование СРП и СПП перед закладкой эксперимента было значительным ([табл. 1](#)). После закладки эксперимента варьирование в контрольном варианте не изменилось. После обработки ПТН-40 варьирование несколько уменьшилось. Варьирование СРП и СПП после обработки ФС-1,3 уменьшилось значительно как по сравнению с контрольным вариантом, так и со стандартным мелиоративным вариантом.

После обработки ПТН-40 варьирование СПП в многолетней динамике эксперимента усиливалось по сравнению с состоянием непосредственно после мелиоративной обработки почвы. После обработки ФС-1,3 варьирование СПП в течение 30 лет стабильно низкое.

Таблица 1. СПП в зависимости от приема мелиорации комплекса солонцов светло-каштановых

Вариант обработки почвы	Контрастность СРП и СПП, статистический диапазон варьирования относительно нормы	Пространственная неоднородность СРП, количество границ контуров ЭАР и ЭПА в пределах нормированного створа
1977 г. (перед закладкой эксперимента)		
Отвальная обработка, 20–22 см, контроль	0,4–1,9	18
Трехъярусная обработка почвы, ПТН-40, 45 см	0,5–1,8	19
Роторно-фрезерной обработка почвы, ФС-1,3, 45 см	0,5–1,8	16
1978 г. (первый год действия мелиоративной обработки почвы)		
Отвальная обработка, 20–22 см, контроль	0,5–1,5	16
Трехъярусная обработка почвы, ПТН-40, 45 см	0,7–1,3	12
Роторно-фрезерной обработка почвы, ФС-1,3, 45 см	0,8–1,2	7
2009 г.		
Отвальная обработка, 20–22 см, контроль	0,5–1,6	19
Трехъярусная обработка почвы, ПТН-40, 45 см	0,7–1,5	15
Роторно-фрезерной обработка почвы, ФС-1,3, 45 см	0,8–1,1	5

Почвообразующая порода, в силу того что исследования выполнялись в климатической зоне сухой степи, скорее, даже переходной к зоне полупустыни, в зоне каштановых почв, подтипе светло-каштановых почв, находится на небольшой глубине. По этой причине в процесс роторной глубокой обработки светло-каштановой почвы вовлекается и почвообразующая порода, хотя это происходит не по всему почвенному континууму. Процесс вовлечения глубоких слоев почвы и почвообразующей породы в рассматриваемый процесс довольно интенсивен по причине комплексности СПП, когда в ЭПА мелких и средних солонцов почвообразующая порода может находиться на глубине 25–30 см.

В случае внутрипочвенной фрезерной обработки светло-каштановых почв происходит гомогенизация СПП, поскольку условия генезиса почв в пространстве почвенного континуума нивелируются, вместе с его гидрологическим режимом, который отличается достаточно скудным поступлением гидрометеоров к генеральной совокупности компонентов почвенного покрова.

Степень крошения и перемешивания генетических горизонтов. Качество мелиоративной обработки почвы контролировали методом меченых частиц, которые размещали в почве на глубине от 0 до 50 см дискретно с шагом глубины размещения 10 см.

После обработки почвы плугом ПТН-40 большое количество меченых частиц из поверхностных слоев почвы были распределены по всей глубине обрабатываемого слоя, имел место вынос на поверхность почвы частиц из глубоких слоев почвы.

После обработки почвы ФС-1,3 просыпание гумусового горизонта вглубь почвы было незначительным, выноса частиц из глубоких горизонтов почвы на поверхность практически не было. ФС-1,3 обеспечивает хорошее перемешивание солонцового и подсолонцового горизонтов почвы, сохраняя при этом верхний гумусовый слой почвы на её поверхности.

Несмотря на возможность получить количественные результаты, рассмотренный способ реализации метода меченых частиц является весьма приблизительным и, по сути, только лишь качественным. Это ввиду того что массив дискретно распределенных в почвенном континууме меченых частиц не является объектом, механически связанными с почвенным континуумом, имманентным ему. И по этой причине в процессе обработки почвы динамика меченых частиц отличается от динамики блоков обрабатываемой почвы. Если почва претерпевает при обработке различного рода деформации, то в отношении меченых частиц этого не происходит. Если в почве за счет ее вязко-пластичных и упругих свойств напряжение деформации передается на значительное расстояние, особенно в иллювиальном горизонте, то меченые частицы представляют собой массив практически не связанных с почвой изолированных механических объектов, размер которых существенно меньше размера образующихся в процессе обработки почвы конгломератов почвы и грунта.

Однако системным дефектом метода меченых частиц в его общепринятом исполнении является предварительная сплошная механическая ручная обработка почвы с помощью шанцевого инструмента. В процессе последующего размещения меченых частиц в заданных слоях почвы и послойного возврата горизонтов почвы на прежнюю позицию, которую они исходно занимали в профиле почвы, производят уплотнение почвы до исходной плотности, контролируя процесс с помощью твердомера. Но искусственное уплотнение не в состоянии имитировать все многообразие генетических явлений, которые обусловили свойства мелиорируемой почвы так, что она стала подлежать мелиорации. В частности, обработка почвы шанцевым инструментом разрушает большую часть дальних седиментационных связей в агрегатах почвы, которые искусственное уплотнение восстановить не в состоянии. В итоге сложение, почвы становится таким, что сохранившиеся агрегаты теряют прочность за счет деформации при извлечении и последующем уплотнении, а расположенные между ними мелкие агрегаты образуют между собой относительно непрочные конгломераты. Такие агрегаты теряют прочность при обработке модельной системы почвы испытываемым механическим устройством значительно быстрее, чем почва с ненарушенным строением. Поэтому процесс обработки модельной системы происходит иначе, чем собственно почвы.

Указанные обстоятельства приводят к тому, что стохастическое распределение меченых частиц после мелиоративной обработки почвы преимущественно является результатом динамического процесса их встряхивания и последующего свободного перемещения в поле тяжести Земли сквозь промежутки между на один-два десятичных порядка более крупными блоками обрабатываемой почвы. По этой причине блоки обрабатываемой почвы, особенно с учетом того, что они в свою очередь свободно перемещаются в поле тяжести Земли в процессе их турбации рабочими органами устройства для механической обработки почвы, относительно мало влияют на режим перемещение меченых частиц и характер размещения их в профиле почвы после ее обработки.

Кроме того, метод меченых частиц в принципе не дает ответа на вопрос о размерах искусственных блоков почвы, формирующихся в процессе ее обработки. Впрочем, при трехъярусной обработке почвы вопрос такого рода даже вреден с точки зрения возможностей продвижения подобной технологии, поскольку сразу приводит к сомнениям по поводу ее почвенно-мелиоративной эффективности, также как агрономической и биосферной перспективы. В то же время при изучении внутрипочвенной роторной обработки вопрос о размерах искусственных блоков почвы актуален как вариант подтверждения эффективности такого рода обработки, но, особенно, с точки зрения возникающих уникальных почвенно-генетических мотивов синтеза высокопродуктивной почвы и долговременно устойчивой биogeосистемы.

Серьезным препятствием применения метода меченых частиц, напри-мер, из зерен кукурузы, или ином подобном исполнении, в случае роторной обработки является их разрушение при механическом воздействии фрез, что искажает количественную картину эксперимента.

Наконец, рассматриваемый метод не позволяет оценить решающее преимущество внутрипочвенной роторной фрезерной обработки – много-кратное пересечение обрабатываемого пласта режущим инструментом, что позволяет диспергировать, перемещать и тонко перемешивать между собой обрабатываемые горизонты почвы.

В связи с изложенными обстоятельствами отметим, что ранее нами, специально для случая внутрпочвенной роторной фрезерной обработки, был предложен количественный показатель характеристики этого технологического процесса:

$$K=16,67 \cdot D \cdot z \cdot n/v,$$

где K – критерий крошения почвы, D – диаметр фрезы, m , z – число режущих зубьев фрезы, n – частота вращения вала с фрезами, v – поступательная скорость движения агрегата «трактор – ФС-1,3».

Критерий крошения почвы K в полной мере характеризует процесс внутрпочвенной роторной обработки почвы. Это уникальный показатель, который в принципе невозможен и неработоспособен для других почвообрабатывающих устройств.

С нашей точки зрения, при изучении перемещения и перемешивания генетических горизонтов почвы при ее механической обработке в большей степени работоспособен вариант метода меченых частиц, не требующий предварительной искусственной механической турбации профиля обрабатываемой почвы. Это возможно, используя индивидуальные особенности вещественного состава генетических горизонтов почвы.

Для количественного изучения степени перемешивания генетических горизонтов почвы при глубокой мелиоративной обработке нами предложен морфологический метод.

На первом этапе метод был применен совместно с методом меченых частиц. При вскрытии траншеи после прохода мелиоративного почвообрабатывающего орудия проводили не только учет количества меченых частиц в профиле почвы, но и учет количества конгломератов почвы из различных генетических горизонтов почвы в створе траншеи, но в не нарушенной до обработки почве. Определяли исходную принадлежность агрегатов, образованных в результате обработки почвы, к генетическим горизонтам почвы до мелиорации по цвету, сложению и структуре материала каждого слоя агропочвы (табл. 2).

Таблица 2. Морфологическая характеристика степени перемешивания и дробления генетических горизонтов почвы при её механической обработке

Вариант эксперимента, глубина, см	Размер агрегата почвы из горизонта А, см	Площадь сечения разреза, занимаемая агрегатами почвы из горизонта А, %	Размер агрегата почвы из горизонта В, см	Площадь сечения разреза, занимаемая агрегатами почвы из горизонта В, %	Размер агрегата почвы из горизонта ВС, см	Площадь сечения разреза, занимаемая агрегатами почвы из горизонта ВС, %	Число границ разнородных по морфологическим признакам агрегатов почвы по диагонали площади 20·20 см ²
Контроль							
0–20	2,5	100,0	нет		нет		
20–30	нет	0,0	7,0	100,0	нет	0,0	нет
30–45	нет	0,0	нет	0,0	9,0	100,0	нет
Почвоуглубление на 40-45 см							
0–20	3,5	90,0	8,0	5,0	5,0	5,0	1,5
20–30	1,5	5,0	6,0	90,0	7,0	5,0	2,0
30–45	1,5	5,0	4,0	5,0	6,0	90,0	2,0
Трёхъярусная обработка на 40-45 см							
0–20	2,0	60,0	12,0	25,0	10,5	15,0	5,5
20–30	2,0	20,0	10,0	60,0	12,5	20,0	4,5
30–45	0,5	20,0	13,5	30,0	8,0	50,0	4,0
Обработка роторным фрезерным орудием ФС-1,3 на 40-45 см							
0–20	3,5	100,0	нет	0,0	нет	0,0	2,5
20–30	1,0	5,0	1,0	50,0	1,5	45,0	19,0
30–45	0,5	5,0	1,5	45,0	1,0	50,0	15,5

В варианте обработки почвы роторным фрезерным орудием ФС-1,3 на 40–45 см морфологические параметры перемешивания и дробления генетических горизонтов почвы на порядок лучше, чем в остальных вариантах эксперимента.

Через 30 лет после проведения обработки почвы крупные перемещенные агрегаты исходных горизонтов в варианте ПТН-40 сохранились, а в варианте ФС-1,3, где перемешивание слоев почвы между собой было надлежащим, различия отдельных морфонов в мелиорированном слое 20–45 см практически не сохранились, поскольку биологический процесс шел во всем этом слое равномерно.

Агрофизические свойства почвы. Обработку почвы чаще всего полагают агротехническим мероприятием, которое должно быть направлено на экономию ресурсов текущего экономического периода (квартал, год). На больший срок аграрные бизнес-планы в РФ, как правило, не применяются.

Это не соответствует ни природе почв, ни задаче долгосрочного экономического развития географической среды.

Циклическое применение мелиоративной обработки позволяет корректно управлять агрегатным составом почвы. Цикличность применения мелиорации почв следует из данных об этапах превращения биogeосистемы после снятия с нее нагрузки более-менее регулярной агротехники на базе основной отвальной обработки почвы на глубину 18–20, 20–22, 22–25 см, т.е. вариантов средней глубины обработки почвы.

Циклическая роторная фрезерная внутрипочвенная мелиоративная обработка имеет значительно более продолжительный период биологически и экономически эффективной продолжительности мелиоративного действия 30 лет и более. Очевидно, что этот период обусловлен более глубоким целесообразным в почвенно-биологическом аспекте техническим решением средства реализации обработки почвы. Это объективное обстоятельство предполагает возможность более широкого использования циклической роторной фрезерной внутрипочвенной мелиоративной обработки земельных объектов с маргинальными свойствами, но также и на землях, которые в настоящее время используются исключительно в регулярной агротехнике в беспечном предположении об их устойчивости и достаточной эффективности сельскохозяйственного использования.

Открытие возможности принципиально нового способа управления соотношением процессов педогенеза, седиментогенеза, слитогенеза, литосферного и, следовательно, собственно геологического процессов позволяет применять циклическую агротехнику как способ обеспечения высокой продуктивности и устойчивости почв и ландшафтов. Следует принять во внимание следующую из наших исследований необходимость переоценки действующих в настоящее время критериев назначения и реализации мелиорации почв. Особенно это касается мелиоративного блока программы повышения плодородия почв России, причем также и для случая черноземов и других в настоящее время полагаемых плодородными и, в рамках действующих критериев их мониторинга, якобы, не требующих мелиорации. В наших терминах «циклическое применение мелиоративной обработки» не только мелиоративная мера, но и новый способ реализации принципов Sustainable Development для обеспечения устойчивости природно-территориальных комплексов – «циклическая агротехника».

С использованием представлений биogeосистемотехники, следующей из нее необходимости циклического применения мелиоративной обработки, решается важная задача стратегии устойчивого развития, касающаяся этики географического подхода, который требует равенства территориальных возможностей развития географической среды в государстве. Это особенно актуально для России, где возможности использования земель объективно различаются географически, а нивелирование подхода к землепользованию столь же объективно ограничивает возможность равенства условий развития регионов РФ.

При разработке методических основ агрономической оценки устройств для почвоуглубления и ярусной обработки почвы применяли критерии качества их проведения, которые могли быть соблюдены техническим устройством, т.е. щелерезом или трехъярусным плугом. Эти критерии действуют и до настоящего времени. В результате агрономические требования (точнее, агрономические допуски) при проведении обработки почвы формально выполняются, но агрегаты почвы размером 50–100 мм и более,

сформированные в процессе обработки и назначенные регламентом допустимыми, в действительности плодородной почвой не являются.

В не обрабатываемом ежегодно слое почвы 20–45 см рассматриваемые конгломераты как механическое соединение разнородных частей – достаточно крупных блоков почвы исходного почвенного профиля – так и не превращаются в почву даже в течение 30 лет. Эволюция почвы не изменяется. Поэтому биологический эффект агротехнической мелиорации недостаточен и непродолжителен. Сильно измененные в геологическом процессе конгломераты иллювиального горизонта в активный биологический процесс не вовлекаются.

Конгломераты иллювиального и переходного горизонтов почвы, осадочной почвообразующей породы, содержащей органическое вещество и его следы прошлых этапов биосферы, при роторной фрезерной обработке внутреннего слоя почвы вовлекаются в активный биологический процесс. Агрофизические свойства почвы после обработки орудием ФС-1,3 изменяются в лучшую сторону – кардинально и на длительное время.

Следует отметить, что биogeосистема степи с точки зрения представленных там биологических видов имеет достаточно высокую устойчивость. Например, в широком спектре вариантов конкретных биogeосистем, существенно отличающихся с точки зрения продуктивности почвы, можно встретить ковыль, многие другие доминантные растений степных ценозов. Но это скорее показатель устойчивости, способности к приспособлению растительных ассоциаций, чем признак единства свойств почв. Это обстоятельство пластичности растений значимо с точки зрения вероятности сохранения биологических видов степи, чем с точки зрения её продуктивности. Здесь, кстати, один из мотивов нелинейного восприятия корреляции визуальной связи СПП и СРП.

В ещё большей степени это подтверждает практика попыток преобразования почв и ландшафтов по всему миру, используя для этого орошение. Во многих случаях в результате такого рода экспериментов получили гуманитарные катастрофы прошлого, и современности. Частично, как это произошло в Ростовской области, успели свернуть ирригацию до наступления очевидной катастрофы, хотя многие из её результатов – налицо. Просто не так заметны в силу наличия другого ресурса менее поврежденных в агротехнике почв для производства продуктов питания. Как известно, именно этот ресурс, точнее его заметное ослабление, заставляет обращать внимание на проблемы состояния окружающей среды, и причина тому вовсе не собственно экологические, тем более, почвенные и ландшафтные проблемы. Но от этого ситуация с орошением как демонстрация достаточно скромных (точнее, просто опасных для экосферы) возможностей цивилизации управлять почвами и ландшафтами не стала лучше. В мире при орошении увеличение подачи воды имеет место на 750–10 000 мм по сравнению с исходным состоянием природной почвы. Это приводит к печально известным засолению, слитизации, осолонцеванию, вместе со шлейфом их негативных последствий. Меньше внимания уделяют супердисперсности, гравитационно-ирригационному уплотнению. Оно возникает в результате ирригационной фронтально-гравитационной флотации структурных единиц почвы вплоть до уровня гранулометрической композиции, происходит при увлажнении почвы в процессе выпадения осадков или при ирригации в результате того, что интенсивность поступления воды на почву превосходит скорость впитывания. В зависимости от того, сколь интенсивно и сколь продолжительно поступление воды, переувлажнение в профиле почвы столь же разнообразно. В предельном случае культуры риса или длительных атмосферных осадков переувлажняется значительный, и даже обширный элемент СПП и значительная часть почвенного профиля соответствующего почвенного типа. Промежуточные ситуации отличаются частичным переувлажнением ареала, профиля, отдельных педов. Соответствующим образом варьирует водно-гравитационное разрушение структуры почвы. Оно проявляется в большей или меньшей степени, однако имеет место всегда, поскольку идеальный случай длительного равенства скорости поступления воды и скорости её впитывания в почву, т.е. простой транзит воды сквозь почву, в природе в принципе невозможен. Биogeосистема устроена так, чтобы в процессе увлажнения в ней формировался эксцесс воды. Иначе почва не будет функционировать. Как ни парадоксально, но иного механизма обрести в себе эксцесс воды без того чтобы потерять собственную структуру у почвы нет. В этой связи можно привести пример свежей брекчии, или любого иного

поверхностного наноса, в котором отсутствуют тонкодисперсные гранулометрические элементы. Сквозь такую дисперсную систему вглубь беспрепятственно проходят любые объемы воды без последствий для агрегатной композиции системы. Нет переувлажнения, нет разрушения структуры, но одновременно при этом проявления жизни в такой биосистеме весьма скудны.

Вследствие периодической фронтально-гравитационной фазы флотации структурных единиц почвы как неотъемлемой фазы режима соответствующей биосистемы возникает необходимость постоянно восстанавливать структуру почвы, что, например, в действующих системах земледелия как перманентная мера нигде в мире не предусмотрено. На проблему обращают внимания только после того, как свойства почвы в результате агрокультуры становятся неприемлемыми. Потому возникли 2 млрд уничтоженных агрокультурой земель (Добровольский, 2012). Ввиду эксцесса негативного воздействия на структуру почвы, на ее дисперсную систему, особенно на степень устойчивости дисперсной системы, соотношение открытых и тупиковых пор, пример чего являет собою агротехника, такая необходимость актуальна. В то же время единственный агрофизический параметр, который контролируют при обработке почвы, это глыбистость пашни, причем на уровне размера структурной отдельности 50–100 мм. Такой размер структурных отдельностей называть структурой в агрофизике будет значительной натяжкой. Всё что меньше в современной агротехнике полагают приемлемым. Однако с точки зрения почвоведения, особенно дисперсных систем, это совсем не так. Небрежение структурой почвы в агротехнике особенно очевидно при ирригации, хотя аналогичная ситуация имеет место повсеместно в мире также и в системах дождевого земледелия. Столь же повсеместно в мире наряду с избыточным уплотнением свойства почвы ухудшаются промывным и локально промывным агротехническим, ирригационным или природным водным режимом. Кроме выноса вглубь продуктов почвообразования, полезных для почвообразования продуктов, это усиливает водно-гравитационную рекомбинацию поровой дисперсной системы и структуры почвы, обуславливает супердисперсность вплоть до нарушения минералогической композиции, и лессиваж. Эти процессы в свою очередь ведут к антропогенному уплотнению почвы. Система нестабильна, педогенез деградационный. Все это стало очевидным еще одному из классиков ирригации СССР, А. Шарову, с учеником в далеких 50-х годах 20 века на примере ирригации в Средней Азии (Аманов, 1962). Однако, в силу очевидных причин, особенностей стиля и методов тогдашнего социума, А. Шаров предпочёл формулировку «сверхплановой подачи воды». Для специалиста в этом очевидна скорбная ирония. Она понятна, её можно разделить, поскольку у академика ВАСХНИЛ А. Шарова просто не было иного выбора. Это все очень личные мотивы. Однако оттого запущенная трагедия гуманитарной обусловленной неверной ирригацией в её необратимо устаревшей парадигме катастрофы Средней Азии не исчезает. Причиной катастрофы было не только профессиональное молчание А. Шарова, который, это справедливо, хотя бы решился обозначить проблему, по крайней мере, сделал это иносказательно. Ещё более значим «вклад» в подобные результаты других деятелей науки, которые и до настоящего времени боятся признаться в том, что трагедия ирригации для любой цивилизации весьма зрима, ведь со времен Шумера принципиально ничего не изменилось (Лозановская, 1997), вместо этого занимаются совершенствованием нормативов устаревшей ирригации (Бочкарев, Щедрин, 2011; Дубенок, 2014), парадигма которой негодна, а потому усилия к её совершенствованию бесполезны. Или вообще, вместо поиска хотя бы внешне приемлемых решений, разводят саксаул (Ассоциация Аральского моря, 2016).

Чем скорее наступит понимание того что любая почва, в том числе считающийся одной из лучших почв мира чернозём, в условиях агрокультуры нуждается в цивилизованном трансцендентальном подходе с целью вскрыть приоритеты управления почвой как компонентом биосферы и обеспечить принципиально новое управление биосистемами, тем лучше. После этого можно будет обеспечить реализацию целесообразных действий вместо как всегда запаздывающих и устаревших имитационных мер управления плодородием, что предлагают в известном наборе имитационных малопродуктивных воздействий на почву и ландшафт отечественные и зарубежные так называемые программы повышения плодородия. Тем выше будет вероятность своевременного и корректного формулирования парадигмы поведения человечества в

биосфере, понимание чего назрело, но что пока представляют только в виде разрозненных запросов на парадигму агрономии, парадигму ирригации, парадигму природопользования, Sustainable Development, Green Economy. Сохранение педосферы, являющейся важнейшей составляющей биосферы, должно быть в основе формулы парадигмы поведения человечества в окружающей среде.

Нестабильность почв в поле вариантов деградации – аградации это только часть проблемы. Известными составляющими в рассматриваемой области эволюции почв являются равновесия: химические равновесия, механические равновесия при уплотнении – рыхлении, синтез и минерализация органического вещества, иллювиальный процесс природного и антропогенного происхождения, режим влажности с преференсными потоками воды и вещества, засоление – рассоление почв и пр.

Мы полагаем, что в условиях стоящей в ближайшей перспективе задачи синтеза новой технологической платформы Земли, раскрытия современных высоких технических возможностей современной цивилизации, с учетом вызовов ноосферы и предоставленных в ней возможностей новой индустриализации, включая материаловедение, роботизацию, информатизацию, нужно сформулировать принципы синтеза новой почвы. Эта почва, с одной стороны, легко вынесет антропогенные нагрузки современной цивилизации, и, с другой стороны, будет нести лучшие черты чернозёма.

Проблема антропогенного воздействия на почвы актуальна, но еще более актуальна проблема поиска путей модернизации воздействия на почву.

Понимаем, что поставленная нами целевая функция еще только подлежит обсуждению. Не претендуем на то, что у нас есть весь спектр предложений по поводу решения поставленной невероятно трудной, еще не до конца осознанной научным сообществом, причем даже на уровне целесообразности, необходимости, а то и самой возможности её постановки. Но коренная модернизация функции цели и методов её достижения необходима.

Значимость проблемы следует из того, что природа почвы и антропогенный процесс ее эволюции принципиально различаются. Эксперимент природы с почвообразованием, с рациональной точки зрения, расточителен. Но именно расточительность природы обеспечивает разнообразие условий в биосфере и биологическое разнообразие.

Понимание человечеством проблемы биологического разнообразия в настоящее время никак не учитывают в практике взаимодействия с природой, в природопользовании, агрономии и других влияющих на природу сферах деятельности. Потому надо проблему биологического разнообразия оставить резерватам дикой природы, которые следует всемерно расширять, поскольку в настоящее время нет внятного ответа, сможет ли технологическая активность современной цивилизации предложить биосфере более значимую альтернативу по сравнению с уже существующей в ней функцией цели биологического разнообразия и продолжительности жизни на Земле. Более того, биологическое разнообразие как понятие при его прямом применении в практике превращается в свою противоположность. В частности, исследования в Персиановской степи и ее окрестностях показали, что формально, в числовом выражении количества биологических видов растительности, биологическое разнообразие в агрокультуре, пастбищной культуре избыточного выпаса скота возрастает. Но объективно оно превращается в свою противоположность, поскольку разнообразие состава растительных ассоциаций возрастает за счет увеличения в их составе непродуктивных, вредных и опасных растений.

Следует констатировать, что перед человечеством в нынешней конфигурации его взаимодействия с биосферой стоят две задачи.

1. Минимальное воздействие на сохранившиеся резерваты дикой природы, водные и наземные экосистемы. Обеспечение их сохранения и возможности расширенного воспроизводства, если это будет востребовано на следующих этапах становления и развития ноосферы;

2. Максимально корректное, экономное, не травмирующее, не имитационное, трансцендентальное воздействие на вовлеченные в агрокультуру земли с целью обеспечения длительного выполнения технозёмами, агрозёмами и другими искусственно созданными почвенными и ландшафтными системами, природно-территориальными комплексами

функции плодородия. Также значима цель обеспечить этим системам возможности возврата в природный режим по мере изменения приоритетов, возможностей и перспективы человечества в условиях новой индустриализации в ноосфере, а также и в отдаленной перспективе Земли, её суши и воды.

4. Заключение

Некоторые аспекты проблемы управления динамикой почв в ноосфере.

На уровне постановки задач можно отметить следующее.

Дисперсная система современных почв недостаточно развита с точки зрения приема природного, особенно, искусственного увлажнения, без утраты целостности или ущерба для целостности пространственной структуры. Повышение степени дисперсности верхнего слоя почвы методами современной агротехники является незначительным, и не позволяет принять весь объем воды в почву без её деградации. При этом структура верхнего слоя почвы разрушается в значительно большей степени, чем природная структура, ввиду отсутствия защиты верхнего слоя от прямого воздействия с поверхности почвы факторов выветривания и деградации, а также по причине агрогенного иллювиирования почвы. Подпахотный слой имеет большую плотность и меньшую водопроницаемость, чем пахотный, происходит флотация и рекомбинация структурных элементов в условиях временного переувлажнения почвы при фронтальном прохождении в нее воды. Усиливается дифференциация почвы на расчлененный объем проводящих пор и обширный объем тупиковых пор, которые перекрываются в результате переувлажнения и последующей седиментации. Динамика почвы характерна стагнацией системы на низком уровне продуктивности и устойчивости.

Повышение степени дисперсности почвы современными системами рыхления с пассивными рабочими органами сводится к незначительному перемещению в профиле почвы крупных агрогенных блоков размером 100–300 мм. Преимущественное направление перемещения блоков при отвальном варианте обработки – вверх, при безотвальном варианте обработки – преимущественно латеральное смещение. Изменение дисперсной системы происходит только за счет просыпания верхнего слоя почвы вниз по образовавшимся между смещенными блоками полостям и небольшого разрушения блоков в зонах их контакта с обрабатывающим органом рыхлителя или между собой. Некоторое повышение продуктивности почвы за счет глубокого рыхления с пассивными рабочими органами носит временный характер 2–4 года и не приводит к изменению эволюции почвы в благоприятном направлении длительного повышения продуктивности и устойчивости ни в чернозёмах, ни в каштановых почвах, ни в их слитых или солонцовых вариантах.

Элювиально-иллювиальное устройство профиля почв, особенно заметное в агротехнике, преодолевают посредством химической и комплексной мелиорации. Системный парадокс химической мелиорации состоит в том, что подлежит мелиорации плотный иллювиальный горизонт, расположенный на глубине от 15–30 до 25–50 см, а мелиорирующее вещество вносят в пахотный слой 0–22 см. Преодоление парадокса видят в том, что мелиорирующее вещество поступит вглубь почвы со временем. Преодолевают парадокс также путем внесения мелиоранта под пассивные рыхлители. Самым эффективным для этого способом до настоящего времени полагают трехъярусную вспашку, перед проведением которой на почву раскладывают (разбрасывают) мелиорант. В результате образования после обработки почвы крупных блоков почвы и пересекающихся с ней менее крупных, но достаточно изолированных друг от друга блоков мелиоранта. Вместо соответствующего теории химической мелиорации повсеместного контакта мелиоранта и почвы на физическом и, соответственно, физико-химическом уровне емкости поглощения почвы, образуется слабо пересекающаяся система изолированных вещественных образований, усиление контакта между элементами которой до момента получения нужного контакта на наноуровне представляется невероятным событием. Или как минимум событием, отложенным от момента внесения мелиоранта на достаточно длительный срок. Этот срок можно оценить, например, по скорости горизонтальной диффузии вещества в почве, которая мала. Одновременно внесенное вещество будет охвачено явлением пассивирования со стороны других ингредиентов почвы. К тому же, будет подвержено преференсному переносу водой между блоками образованной почвы.

Следовательно, эффект химической или комплексной мелиорации недостаточен и краткосрочен.

Ирригацию, имитируя высокую обеспеченность почвы водой, полагают, как показано выше – опрометчиво – возможностью стабилизировать биогеосистему на высоком уровне биологической продуктивности. В аспекте уплотнения, который мы преимущественно рассматриваем в настоящем сообщении, это приводит к ирригационному избыточному уплотнению почвы и скорой деградации орошаемых земель, не преодолимой без трансцендентального подхода.

Динамика почвы после рыхления, химической мелиорации, орошения характерна высокой скоростью восстановления исходной стагнации на низком уровне продуктивности и низкой устойчивости биогеосистемы.

Примеры решения проблемы управления динамикой почв в ноосфере.

Для преодоления дефекта дисперсной системы и гидрологического режима почвы предлагается роторное рыхление внутреннего слоя почвы с глубины 20–30 до глубины 50–70 см. Это позволяет создать внутри почвы принципиально новую дисперсную систему, в которой приоритет имеют свежее или обновленное проводящее поровое пространство и искусственная структура почвы с большим количеством мелких агрегатов. В результате меньше переувлажнение верхнего слоя почвы при приеме нормы увлажнения, поскольку меньше вероятность фронтально-гравитационного поступления воды, меньше разрушение структуры верхнего и вновь созданной структуры внутреннего слоя почвы. Создаются приоритетные условия для функционирования ризосферы.

Для преодоления парадокса химической мелиорации предложено внесение мелиоранта в виде пульпы одновременно с роторной фрезерной обработкой внутреннего слоя почвы с глубины 20–30 до глубины 50–70 см. Внутри почвы синтезируется дисперсная система наноуровня. Обеспечивается непосредственный контакт мелиоранта и почвенного поглощающего комплекса почвы, поэтому реакции обмена протекают быстро, а продукты обмена немедленно удаляются ввиду доступности процессу обмена и массопереноса значительно большей части почвы, чем это имеет место при стандартной химической или комплексной мелиорации. Улучшается рециклинг отходов.

Для преодоления дефекта стандартной имитационной гравитационной фронтальной континуально-изотропной парадигмы ирригации нами предложена внутрипочвенная импульсная континуально-дискретная парадигма ирригации (Калиниченко и др., 2013). Открываются принципиально новые возможности управления дисперсной системой почвы. Поскольку увлажнению подвергают не всю почву, постоянно сохраняется каркас механической системы почвы, препятствующий деградации порового пространства и разрушению структуры почвы. Искусственное просачивание воды в почву отсутствует. В зоне непосредственной подачи воды в цилиндр первичного увлажнения структура почвы восстанавливается в течение 15–30 мин в режиме памяти почвы. Имеет место локальный пространственно дифференцированный дискретный гравитационный транспорт механического материала, с выраженными эффектами поверхностного натяжения воды на элементах синтезируемой структуры почвы. Этому способствует разрыв сплошности пульпы, состоящей из воды и почвы, в процессе ее быстрого подсушивания за счет интенсивного капиллярно-парообразного переноса воды в прилегающий к цилиндру первичного увлажнения объем почвы. Избыточная структура для приема воды достигается применением описанных выше систем управления дисперсностью и физико-химической композицией почвы.

За счет применения принципов биогеосистемотехники динамика почвы характеризуется высокой устойчивостью новой стагнации биогеосистемы на стабильном высоком уровне продуктивности.

Литература

Аканова, 2013 – Аканова Н.И. (2013). Фосфогипс нейтрализованный – перспективное агрохимическое средство интенсификации земледелия (по материалам семинаров ОАО «МХК» ЕвроХим) // *Плодородие*, № 1, С. 2–7.

Алексеев, 2014 – Алексеев А.В. (2014). Государственные программы: реальный или номинальный инструмент управления экономикой? // *Экономист*, №6, С. 20–27.

Аманов, 1962 – Аманов Х.А. (1962). Исследования суммарного расхода воды полев в зоне Каракумского Канала // Автореферат диссертации на соискание ученом степени кандидата технических наук. Работа выполнена в Институте водных проблем и гидротехники АН ТССР. Руководитель академик ВАСХНИЛ Иван Александрович Шаров. Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова. 22 с.

Ассоциация Аральского моря, 2016 – Ассоциация Аральского моря info@aralsea.org

Балаш, 1960 – Балаш А.П. (1960). Персиановская заповедная степь (под Новочеркасском) // *Труды Ростовского отделения ВБО*. Ростов-на-Дону, Вып. 1, С. 75–88.

Безуглова, 2011 – Безуглова О.С. (2011). Классификация почв // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, № 7. С. 10.

Безуглова и др., 2011 – Безуглова О.С., Горбов С.Н., Тагивердиев С.С. (2011). Влияние города на свойства почв (на примере г. Батайска) // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*, № 3, С. 12.

Безуглова и др., 2015 – Безуглова О.С., Голозубов О.М., Полуян Д.И. (2015). Региональные особенности процессов опустынивания в Ростовской области // *Аридные экосистемы*, Т. 21, № 1 (62), С. 17–21.

Бочкарев, Щедрин, 2011 – Бочкарев В.Я., Щедрин В.Н. (2011). О концепции развития правовой и нормативно-технической базы мелиорации в России на период 2010-2020 годы // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*, № 1, С. 1.

Василенко и др., 2005а – Василенко В.Н., Зинченко В.Е., Калиниченко В.П. (2005). Управление плодородием почв Южного федерального округа России. Часть 1 // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*, № 2, С. 78–83.

Василенко и др., 2005б – Василенко В.Н., Зинченко В.Е., Калиниченко В.П. (2005). Управление плодородием почв Южного федерального округа России. Часть 2 // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*, №3, С. 75–79.

Воеводина, 2016 – Воеводина Л.А. (2016). Структура почвы и факторы, изменяющие ее при орошении // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*, № 1 (21), С. 134–154.

Генезис и мелиорации почв солонцовых комплексов, 2008 – Генезис и мелиорации почв солонцовых комплексов (2008). Под общей редакцией академика РАСХН Н.П. Панова. М.: Россельхозакадемия, 316 с.

Герке, Скворцова, 2012 – Герке К.М., Скворцова Е.Б. (2012). Роль физических методов в современном почвоведении / *Материалы докладов VI съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева*. Петрозаводск–Москва, 13–18 августа 2012 г. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН.

Глинушкин и др., 2016 – Глинушкин А.П., Соколов М.С., Торопова Е.Ю. (2016). Фитосанитарные и гигиенические требования к здоровой почве. М.: «Издательство Агрорус», 288 с.

Горбов, Безуглова, 2014 – Горбов С.Н., Безуглова О.С. (2014). Влияние антропогенеза на почвенный покров Доно-Аксайской поймы и биоразнообразия // *Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН*, № 63, С. 25–28.

Горбов и др., 2016 – Горбов С.Н., Безуглова О.С., Абросимов К.Н., Скворцова Е.Б., Тагивердиев С.С., Морозов И.В. (2016). Физические свойства почв ростовской агломерации // *Почвоведение*, № 8, С. 964–974.

Горячкин, 1965 – Горячкин В.П. (1965). Собрание сочинений. М.: Колос, Т. 1, 720 с. Т. 2, 459 с. Т. 3, 384 с.

Государственный (национальный) доклад..., 2013 – Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации. Земельный фонд Российской Федерации по состоянию на 1 января 2013 года.

Демкин и др., 2012 – Демкин В.А., Борисов А.В., Демкина Т.С., Удальцов С.Н. (2012). Эволюция почв и динамика климата степей юго-востока русской равнины в эпохи энеолита и бронзы (IV-II тыс. до н.э.) // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. №1. С. 46–57.

Добровольский, 2012 – Добровольский Г.В. (2012). Педосфера – как оболочка высокой концентрации и разнообразия жизни на планете Земля // VI съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева, Всероссийская научная конференция с международным участием «Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования», Всероссийская молодёжная конференция «Знания о почве – развитию страны» 13–18 августа 2012 г. Петрозаводск.

Доспехов, 1987 – Доспехов Б.А. (1987). Практикум по земледелию. М.: Агрпромиздат, 383 с.

Дубенок, 2014 – Дубенок Н.Н. (2014). Приоритеты научного обеспечения развития мелиорации // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*, № 1, С. 96–104.

Ендовицкий и др., 2008 – Ендовицкий А.П., Калинин В.П., Ильин В.Б., Иваненко А.А. (2008). Термодинамическое состояние кадмия и свинца в почвах каштаново-солонцового комплекса // *Агрхимия*, № 9, С. 59–65.

Иозефович, 1928 – Иозефович Л.И. (1926). Почвы Сальских степей // *Почвоведение*, №2.

Казакова, 2006 – Казакова Л.А. (2006). Окультуривание трудномелиорируемых солонцов на орошаемых землях Нижнего Поволжья // *Мелиорация и водное хозяйство*, № 4, С. 45–47.

Калиниченко, 1990 – Калинин В.П. (1990). Регулирование гидрологического режима при мелиорации пространственно-неоднородных структур почвенного покрова степной и сухостепной зон юго-востока ЕТС / автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Москва, МГУ.

Калиниченко, 2004 – Калинин В.П. (2004). Устойчивость агроэкосистем как условие реализации федеральной программы повышения плодородия почв на 2002–2005 гг. (на примере Ростовской области) (Представлено академиком Россельхозакадемии Н.П. Пановым) // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*, № 6. С. 27–30.

Калиниченко, 2005 – Калинин В.П. (2005). Мелиорация компонентов агроландшафта в зависимости от структуры почвенного покрова // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*, № 4. С. 24–26.

Калиниченко, 2009 – Калинин В.П. (2009). Устройство для ротационного внутрипочвенного рыхления. Патент РФ на изобретение RU №2376737 С1. Патентообладатель ИППЮР. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 декабря 2009 г. МПК А01В 33/02 (2006.01) А01В 33/02 (2006.01). Заявка в ФИПС от 25.04.08. Входящий №2008118583/12(021536) от 08.05.2008. Опубликовано 27.12.2009. Бюл. №36. 7 с.

Калиниченко, 2012 – Калинин В.П. (2012). Биogeосистемотехника как гносеологическая основа управления экосистемами // *Живые и биокосные системы*. Декабрь 2012. Вып. 1.

Калиниченко, 2016 – Калинин В.П. (2016). Биogeосистемотехника – инновационный метод управления продуктивностью и здоровьем почвы // Международная научно-практическая конференция современные проблемы гербологии и оздоровления почв (21–23 июня 2016 г.), Большие Вяземы, С. 246–263.

Калиниченко и др., 1997 – Калинин В.П., Назаренко О.Г., Ильина Л.П. (1997). Особенности структурной организации почвенной массы в переувлажненных почвах склонов черноземной зоны // *Доклады Российской Академии сельскохозяйственных наук*, № 5, С. 22–24.

Калиниченко и др., 2008 – Калинин В.П., Шаршак В.К., Ладан Е.П., Зинченко В.Е., Морковской Н.А., Черненко В.В. (2008). Длительное действие фрезерной мелиоративной обработки солонцов. Представил академик РАСХН И.П. Кружилин // *Российская сельскохозяйственная наука*, № 1, С. 37–40.

[Калиниченко и др., 2013](#) – Калиниченко В.П., Минкина Т.М., Безуглова О.С., Зармаев А.А., Романов О.В., Ким В.Ч.-Д. (2013). Концепция внутрипочвенной дискретной импульсной ирригации // *Природообустройство*, № 2, С. 6–11.

[Корост и др., 2012](#) – Корост Д.В., Герке К.М., Скворцова Е.Б. (2012). Исследование структуры почв с помощью рентгеновской томографии: примеры российских почв и перспективы метода / *Материалы докладов VI съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева*. Петрозаводск Москва, 13–18 августа 2012 г. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН.

[Костычев, 1937](#) – Костычев П.А. (1937). Почвы черноземной области России, их происхождение, состав и свойства / Под ред., с введ. ст. и примеч. А.Н. Соколовского. М.; Л.: ОГИЗ Сельхозгиз, 1937. 239 с.

[Красильников и др., 2012](#) – Красильников П.В., Седов С.Н., Прадо-Пано, Б.Л., Кастаньо-Менесес, Р.Г., Старрок К., Васкес-Рохас, И.М. (2012). Зависимость видового разнообразия и размеров почвенной мезофауны от распределения пор по размерам в вулканических почвах Мичоакана, Мексика / *Материалы докладов VI съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева*. Петрозаводск–Москва, 13–18 августа 2012 г. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН.

[Лебедева \(Верба\), 2012](#) – Лебедева (Верба) М.П. (2012). Пространственная изменчивость микростроения почв аридных территорий / *Материалы докладов VI съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева*. Петрозаводск–Москва, 13–18 августа 2012 г. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН.

[Лисецкий и др. 2016а](#) – Лисецкий Ф.Н., Столба В.Ф., Голушов П.В. (2016). Моделирование развития черноземов в зоне степи и разработка метода почвенно-генетической хронологии // *Почвоведение*, № 8, С. 918–931.

[Лисецкий и др. 2016б](#) – Лисецкий Ф.Н., Смекалова Т.Н., Маринина О.А. (2016). Биогеохимические особенности разновременных залежей в степной зоне // *Сибирский экологический журнал*, Т. 23, № 3, С. 436–448.

[Лисецкий и др. 2016в](#) – Лисецкий Ф.Н., Судник-Войциковская Б., Мойсиенко И.И. (2016). Дифференциация флор по локальным экотопам в трансзональном контексте изучения курганов лесостепи и степи // *Известия Российской академии наук, Серия биологическая*, № 2, С. 207.

[Лисецкий, Родионова, 2016](#) – Лисецкий Ф.Н., Родионова М.Е. (2015). Изменение почв сухой степи в результате многовековых агрогенных воздействий (в окрестностях античной Ольвии) // *Почвоведение*. № 4. С. 397.

[Лозановская, 1997](#) – Лозановская И.Н. История мелиорации. Новочеркасск: НГМА, 97 с.

[Минкин и др., 1980](#) – Минкин М.Б., Бабушкин В.М., Садименко П.А. (1980). Солонцы юго-востока Ростовской области. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 271 с.

[Минкин и др., 1982](#) – Минкин М.Б., Горбунов Н.И., Садименко П.А. (1982). Актуальные вопросы физической и коллоидной химии почв. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 270 с.

[Минкин, Калиниченко, 1981](#) – Минкин М.Б., Калиниченко В.П. (1981). Интенсификация мелиоративного процесса на почвах солонцовых комплексов посредством регулирования гидрологического режима // *Почвоведение*, № 11, С. 88–99.

[Миркин, 1985](#) – Миркин Б.М. (1985). Теоретические основы современной фитоценологии. М.: Наука. 137 с.

[Мищенко, 2009](#) – Мищенко Н.А., Громько Е.В., Калиниченко В.П., Черненко В.В., Ларин С.В. (2009). Эколого-рекреационный рециклинг фосфогипса в черноземе на примере Краснодарского края // *Плодородие*, № 6, С. 25–26.

[Моисеева и др., 2011](#) – Моисеева Т.С., Безуглова О.С., Морозов И.В. (2011). Определение плотности твердой фазы почвы в черноземе обыкновенном // *Фундаментальные исследования*, № 11-1, С. 174–177.

[Морозов, Безуглова, 2011](#) – Морозов И.В., Безуглова О.С. (2011). Классификации элементарных почвенных частиц в разных школах почвоведения // *Фундаментальные исследования*, № 12-2, С. 281–285.

[Москаленко и др., 2013](#) – Москаленко А.П., Калиниченко В.П., Овчинников В.Н., Москаленко С.А., Губачев В.А. (2013). Биогеосистемотехника – основа практики

экологической политики и экологической экономики // *Экономика и предпринимательство*, № 12-3 (41-3), С. 160–165.

Панов и др., 2008 – Панов Н.П., Сычев В.Г., Зинченко В.Е., Калиниченко В.П. (2008). Циклическая природоохранная почвенно-мелиоративная агротехника // *Вестник аграрной науки Дона*, №2, С. 97–105.

Полевой определитель почв, 2008 – Полевой определитель почв. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.

Постановление Правительства РФ № 99, 2006 – *Постановление Правительства РФ от 20 февраля 2006 г. N 99 "О федеральной целевой программе "Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России на 2006 – 2010 годы и на период до 2013 года" (с изменениями и дополнениями)*

Постановление Правительства РФ № 922, 2013 – *Постановление Правительства РФ от 12 октября 2013 г. № 922. О федеральной целевой программе "Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014 – 2020 годы"*

Приходько, 2003 – Приходько В.Е. (2003). Развитие почв Поволжья под влиянием орошения / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Пушино

Розанов, 2003 – Розанов А.Ю. (2003). Ископаемые бактерии, седиментогенез и ранние стадии эволюции биосферы // *Палеонтологический журнал*, № 6, С. 41.

Рыльков и др., 2012 – Рыльков И.С., Хазарьян В.Э., Тагивердиев С.С., Безуглова О.С., Морозов И.В. (2012). Использование метода лазерной дифракции для изучения гранулометрического состава почв и грунтов / Материалы докладов VI съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Петрозаводск–Москва, 13–18 августа 2012 г. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН.

Семендяева, Елизаров, 2014 – Семендяева Н.В., Елизаров Н.В. (2014). Динамика солевого состава солонцов Барабы в течение 27–32-летнего действия гипса // *Вестник Новосибирского государственного аграрного университета*, Т. 1, № 30, С. 41–46.

Семенов, Соколов, 2016 – Семенов А.М., Соколов М.С. (2016). Концепция здоровья почвы: фундаментально-прикладные аспекты обоснования критериев оценки // *Агрохимия*, № 1, С. 3–16.

Сенькова, 2009 – Сенькова Л.А. (2009). Состояние почв агроландшафтов Южного Урала и пути их рационального использования // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Тюменская государственная сельскохозяйственная академия. Тюмень.

Смагин, 2013 – Смагин А.В. (2013). Настоящее и будущее самой плодородной почвы // *Наука в России*, № 1, С. 23–30.

Соколов, Глазко, 2015 – Соколов М.С., Глазко В.И. (2015). Минимизация негативных социально-экологических последствий техногенеза в агросфере России (в развитие ноосферной концепции В.И. Вернадского) // *Агрохимия*. № 3, С. 3–9.

Соколов и др., 2015 – Соколов М.С., Глинушкин А.П., Торопова Е.Ю. (2015). Средообразующие функции здоровой почвы – фитосанитарные и социальные аспекты // *Агрохимия*, № 8, С. 81–94.

Солнцева, Калиниченко, 2005 – Солнцева Н.Г., Калиниченко В.П. (2005). Изменение плотности чернозема обыкновенного Нижнего Дона при различном режиме увлажнения // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*, № 3, С. 91–94.

Солнцева, Калиниченко, 2011 – Солнцева Н.Г., Калиниченко В.П. (2011). Минералогическая композиция чернозема при антропогенном воздействии. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing & Co. KG, 274 с. ISBN: 978-3-8465-1964-9.

Топунова и др., 2010 – Топунова И.В., Приходько В.Е., Соколова Т.А. (2010). Влияние орошения на содержание и минералогический состав илистой фракции черноземов Ростовской области (Багаевско-Садковская оросительная система) // *Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение*, № 1, С. 3–10.

Турсина, 2016 – Турсина Т.В. (2016). Микроморфологическая диагностика устойчивости черноземов при орошении // *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева* (дата: 2016-02-23)

Удалов и др., 2005 – Удалов А.В., Збраилов М.А., Калининко В.П. (2005). Долгосрочная коррекция управления агрофитоценозом озимой пшеницы // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*, № 4, С. 73–79.

Удалов, Калининко, 2005 – Удалов А.В., Калининко В.П. (2005). Эколого-энергетическая оценка агрофитоценозов полевых культур // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*, № 2, С. 89–95.

Хитров, 1995 – Хитров Н.Б. (1995). Физико-химические условия развития солонцового процесса в почвах // *Почвоведение*, № 3, С. 298–307.

Хитров, 2004 – Хитров Н.Б. (2004). Выбор диагностических критериев существования и выраженности солонцового процесса в почвах // *Почвоведение*, № 1, С. 18–31.

Цховребов, 2012 – Цховребов В.С. (2012). Изменение содержания микроэлементов под озимой пшеницей в результате реминерализации чернозема выщелоченного // *Научный журнал КубГАУ*, № 77(03).

Чижикова, 2013 – Чижикова Н.П. (2013). Деградация минеральной основы почв // В книге: *Научные основы предотвращения деградации почв (Земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии*. М., 2013. С. 353–368.

Шаршак, 1987 – Шаршак В.К. (1987). Оценка машин и орудий для основной обработки солонцовых почв // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*, № 3, С. 17–19.

Шейн Е.В. и др., 2016 – Шейн Е.В., Скворцова Е.Б., Дембовецкий А.В., Абросимов К.Н., Ильин Л.И., Шнырев Н.А. (2016). Распределение пор по размерам в суглинистых почвах: сравнение микротомографического и капилляриметрического методов определения // *Почвоведение*, № 3, С. 344–354.

Шоба и др., 2015 – Шоба С.А., Смагин А.В., Садовникова Н.Б. (2015). Методологические аспекты почвенного конструирования // *Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства, IV Международная научная экологическая конференция*. Краснодар, С. 7–17.

Abe et al., 2004 – Abe E., Yan Y., Pennycook S.J. (2004). Quasicrystals as cluster aggregates, *Nature materials*, Vol. 3 (11), pp. 759–767.

Albani et al., 2010 – Albani A. E., Meunier A., Macchiarelli R., Ploquin F., Tournepiche J.-F. (2010). Local environmental changes recorded by clay minerals in a karst deposit during MIS 3 (La Chauverie, SW France) // *Quaternary International*, doi: 10.1016/j.quaint.2010.03.007.

Baldock et al., 2004 – Baldock J.A., Masiello C.A., Gelinas Y, and Hedges J.I. (2004). Cycling and composition of organic matter in n terrestrial and marine ecosystems // *Marine Chemistry* 92(1–4): 39–64.

Barre et al., 2009 – Barre P., Berger G., Velde B. (2009). How element translocation by plants may stabilize illitic clays in the surface of temperate soils // *Geoderma* 151 (2009) 22–30.

Bindi et al., 2009 – Bindi L., Steinhardt P.J., Yao N., Lu P.J. (2009). Natural quasicrystals // *Science*, Vol. 324 (5932), pp. 1306–1309.

Bykova, 2016 – Bykova G., Tyugai Z.N., Milanovsky E.Yu., Shein E.V. (2016). Soil-water contact angle of some soils of the Russian plane // *Geophysical Research Abstracts*, № 18, pp. 505.

Chen et al., 2015 – Chen W., Lu S., Pan N., Wang Y., & Wu L. (2015). Impact of reclaimed water irrigation on soil health in urban green areas // *Chemosphere*, 119, 654–661, doi:10.1016/j.chemosphere.2014.07.035

Cuadros et al., 2013 – Cuadros J., B.Afsin, P. Jadubansa, M. Ardakani, C. Ascaso, J. Wierzhos (2013). Microbial and inorganic control on the composition of clay from volcanic glass alteration experiments // *American Mineralogist*, Feb; 98: 319–334.

De Gryze et al., 2006 – De Gryze S., Jassogne L., Six J., Bossuyt H., Wevers M., Merckx R. (2006). Pore structure changes during decomposition of fresh residue: X-ray tomography analysis // *Geoderma*, Vol. 134, pp. 82–96.

Eberl et al., 1993 – Eberl, D. D., B. Velde, and T. McCormick. (1993). Synthesis of illite-smectite from smectite at earth surface temperatures and high pH // *Clays Clay Miner.* 28: 49-60.

- Endovitsky et al., 2014 – Endovitsky A.P., Minkina T.M. Kalinichenko V.P., Batukaev A.A., Dikaev Z.S., Sushkova S.N. (2014). The association of ions in the soil solution of saline soils // *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 9 (2): 238-244, 2014. ISSN: 1557-4989. ©2014 Science Publication. doi: 10.3844/ajabssp.2014.238.244
- Fischer et al., 2011 – Fischer S., Exner A., Zielske K., Perlich J., Deloudi S., Steurer W., Lindner P., Förster S. (2011). Colloidal quasicrystals with 12-fold and 18-fold diffraction symmetry // *PNAS*, Vol. 108 (5), pp. 1810–1814.
- Glazko V., Glazko T., 2015 – Glazko Valery I., Glazko Tatiana T. (2015). Conflicts of Biosphere and Agroecosystems // *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (1), Is. 1, pp. 4–16. doi: 10.13187/ijep.2015.1.4
- Grosbellet et al., 2011 – Grosbellet C., Vidal-Beaudet L., Caubel V., Charpentier S. (2011). Improvement of soil structure formation by degradation of coarse organic matter // *Geoderma*, Vol. 162, pp. 27–38.
- Hazen et al, 2013 – Hazen R.M, R.T. Downs, L. Kah, D. Sverjensky. (2013). Carbon Mineral Evolution // *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, Vol. 75, pp. 79–107.
- Kalinichenko, 2016 – Kalinichenko Valery P. (2016). Technologies and Technical Means for Matter Recycling into the Soil (Review) // *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (3), Is. 1, pp. 58–85. doi: 10.13187/ijep.2016.3.58
- Kalinichenko et al., 2011 – Kalinichenko V. P., Sharshak V. K., Bezuglova O. S., Ladan E. P., Genev E. D., Illarionov V. V., Zinchenko V. E., Morkovskoi N. A., Chernenko V. V., and Il'ina L. P. (2011). Changes in the Soils of Solonetzic Associations in 30 Years after Their Reclamation with the Use of Moldboard Plowing, Deep Tillage with a Three-Tier Plow, and Deep Rotary Tillage // *Eurasian Soil Science*, Vol. 44, No. 8, pp. 927–938. doi: 10.1134/S1064229311080060
- Kalinichenko et al., 2014 – Kalinichenko, V.P., Sharshak, V.K., Mironchenko, S.F., Chernenko, V.V., Ladan, E. P., Genev, E.D., Illarionov, V.V., Udalov, A.V., Udalov, V.V., Kippel, E.V. (2014). Changes in the properties of soils in a solonetz soil complex thirty years after reclamation // *Eurasian Soil Science*, Vol. 47, Is. 4, pp. 319–333. doi: 10.1134/S1064229314040024
- Kalinichenko et al., 2016 – Kalinichenko Valery, Abdulmalik Batukaev, Ali Zarmaev, Viktor Startsev, Vladimir Chernenko, Zaurbek Dikaev, Svetlana Sushkova (2016). Biogeosystem technique as the way to certainty of soil, hydrosphere, environment and climate // *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 18, EGU General Assembly. Vienna, 2016, EGU2016-3419
- Kalinina et al., 2015 – Kalinina O., Giani L., Dolgikh A.V., Goryachkin S.V., Lyuri D.I., Chertov O., Barmin A.N. (2015). Self-restoration of post-agrogenic soils of calcisol-solonetz complex: soil development, carbon stock dynamics of carbon pools // *Geoderma*, Vol. 237, pp. 117–128. doi:10.1016/j.geoderma.2014.08.013
- Kolesnikov et al., 2013 – Kolesnikov S.I., Yaroslavtsev M.V., Spivakova N.A., Kazeev K.S. (2013). Comparative assessment of the biological tolerance of chernozems in the South of Russia towards contamination with Cr, Cu, Ni, and Pb in a model experiment // *Eurasian Soil Science*, Vol. 46, No 2, pp. 176–181, doi: 10.1134/S1064229313020087
- Lin et al., 2016 – Lin L., Andrew Gettelman, Q. Fu, Yangyang Xu (2016). Simulated differences in 21st century aridity due to different scenarios of greenhouse gases and aerosols // *Climatic Change* · February 2016, doi: 10.1007/s10584-016-1615-3
- Lisetskii et al., 2013 – Lisetskii F.N., Stolba V.F., Ergina E.I., Rodionova M.E., Terekhin EA. (2013).. Post-agrogenic evolution of soils in ancient Greek land use areas in the Herakleian Peninsula, southwestern Crimea // *The Holocene*, 23(4), pp. 504–514.
- Lisetskii et al., 2015 – Lisetskii F., Marinina O., Stolba V.F. (2015). Indicators of agricultural soil genesis under varying conditions of land use, steppe Crimea // *Geoderma*, Vol. 239-240, pp. 304–316.
- Meyer et al., 1996 – Meyer Jh, Rianto Van Antwerpen and E Meyer (1996). A review of soil degradation and management research under intensive sugarcane cropping // *Proc S Afr Sug Technol Ass* 70: 22-28.
- Pardo et al., 2014 – Pardo T., Clemente R., Epelde L., Garbisu C., & Bernal M.P. (2014). Evaluation of the phytostabilisation efficiency in a trace elements contaminated soil using soil health indicators // *Journal of hazardous materials*, 268, 68–76, doi: 10.1016/j.jhazmat.2014.01.003

[Peries and Gill, 2015](#) – *Peries R and J S Gill* (2015). Subsoil manuring in the high rainfall zone: a practice for ameliorating subsoils for improved productivity // *Proceedings of the 17th ASA Conference, 20 – 24 September 2015*, Hobart, Australia.

[Pevzner, 2003](#) – *Pevzner, L.A.* (2003). Analysis of lipid biomarkers in rocks of the Archean crystalline basement // *Proceedings of SPIE*. 4939. 160–168.

[Reid-Soukup et al., 2002](#) – *Reid-Soukup D. A., Ulerly A. L. Smectites*. In: *Dixon J. B., Schulze D. G.* (Ed.) (2002). *Soil Mineralogy with Environmental Application*. Madison, Wisconsin, USA, pp. 467–499.

[Rothman, 2015](#) – *Rothman Daniel H.* (2015). Earth's carbon cycle: A mathematical perspective // *Bull. Amer. Math. Soc*, 52, 47–64, doi: <http://dx.doi.org/10.1090/S0273-0979-2014-01471-5>

[Shein, 2010](#) – *Shein E. V.* (2010). Soil Hydrology: Stage of Development, Current State, and Nearest Prospects // *Eurasian Soil Science*, Vol. 43, No. 2, pp. 158–167.

[Shein et al., 2013a](#) – *Shein E.V., G.V. Kharitonova, E.J. Milanovskii, A.V. Dembovetskii, A.V. Fedotova, N. S. Konovalova, S. E. Sirotskii, and N. E. Pervova* (2013). Aggregate Formation in Salt Affected Soils of the Baer Mounds // *Eurasian Soil Science*, Vol. 46, No. 4, pp. 401–412. doi: [10.1134/S1064229313040121](https://doi.org/10.1134/S1064229313040121)

[Shein et al., 2013b](#) – *Shein E.V., Milanovskii E.Y., Khaidapova D.D., Nikolaeva E.I., Rusanov A.M.* (2013). Mathematical models of some soil characteristics: substantiation, analysis, and using features of model parameters // *Eurasian Soil Science*, Vol. 46, No. 5, pp. 541–547, doi: [10.1134/S1064229313050128](https://doi.org/10.1134/S1064229313050128)

[Shein et al., 2014a](#) – *Shein E.V., S. A. Erol, E. Yu. Milanovskii, N. V. Verkhovtseva, F. D. Mikayilov, F. Er, and S. Ersahin* (2014). Agrophysical Assessment of Alluvial Calcareous Soils of the Cumra Region of Central Anatolia in Turkey // *Eurasian Soil Science*, Vol. 47, No. 7, pp. 694–698.

[Shein et al., 2014b](#) – *Shein E.V., Skvortsova E.B., Abrosimov K.N.* (2014). Tomographic studies of the soil pore space in swelling and shrinkage processes // Abstract book. 9th International Soil Science Congress on "The Soul of Soil and Civilization", Soil Science of Turkey Cooperation with Federation of Eurasian Soil Science Societies, p. 107.

[Sokolov, Glazko, 2015](#) – *Sokolov M.S., Glazko V.I.* (2015). The discoverer of the law "of diminishing returns", the doctrine of self-regulation and self-development of healthy soil // *International Journal of Environmental Problems*, No. 2 (2), pp. 78–96.

[Turmel M.S. et al. 2015](#) – *Turmel M.S. et al.* (2015). Crop residue management and soil health: A systems analysis // *Agricultural Systems*, Vol. 134, pp. 6–16.

[Verchot et al., 2011](#) – *Verchot L.V., Dutaur L., Shepherd K.D., Albrecht A.* (2011). Organic matter stabilization in soil aggregates: Understanding the biogeochemical mechanisms that determine the fate of carbon inputs in soils // *Geoderma* 161(3–4): 182–193. doi: [10.1016/j.geoderma.2010.12.017](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.12.017)

[Verkhovtseva et al., 2014](#) – *Verkhovtseva N., Milanovskiy E., Shein E., Larina G.* (2014). The role of probiotic microorganisms in the control of health and fertility of soil. Book of Proceedings 9th International Soil Science Congress on "The Soul of Soil and Civilization", pp. 682–688.

[Wu et al., 2013](#) – *Wu ZD, U Lall, M Zhao* (2013). A Worldwide Comparison of Water Use Efficiency of Crop Production // *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 275, pp. 2718–2722. doi: [10.4028/www.scientific.net/AMM.275-277.2718](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.275-277.2718)

[Yuan et al., 2014](#) – *Yuan, X., E. F. Wood, and M. Liang* (2014). Integrating weather and climate prediction: towards seamless hydrologic forecasting // *Geophys. Res. Lett.*, doi:[10.1002/2014GL061076](https://doi.org/10.1002/2014GL061076).

[Yun Zhu et al., 2011](#) – *Yun Zhu, Yan Li, Anhuai Lu, Haoran Wang, Xiaoxue Yang, Changqiu Wang, Weizheng Cao, Qinghua Wang, Xiaolei Zhang, Danmei Pan, Xiaohong Pan* (2011). Study of the interaction between bentonite and a strain of *Bacillus mucilaginosus* // *Clays and Clay Minerals*, Vol. 59, I. 5, pp. 538–545.

References

[Akanova, 2013](#) – *Akanova NI* (2013). Phosphogypsum neutralized – promising agrochemicals intensification of agriculture (by materials of workshops of "MCC" EuroChem), *Fertility*, No. 1, pp. 2–7.

- [Alekseev, 2014](#) – *Alekseev AV* (2014). Government programs: the real or nominal economic management tool, *Economist*, No. 6, pp. 20–27.
- [Amanov, 1962](#) – *Amanov XA.* (1962). Research of total water consumption of the field in the zone of Karakum Chanel // Abstract of dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Work performed at the Institute of Water Problems and Hydraulic Engineering of Turkmenian Academy of Sciences. Head – full member of VASHNIL IA Sharov. All-Union Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after AN Kostyakov. 22 p.
- [Aral Sea Foundation, 2016](#) – Aral Sea Foundation info@aralsea.org
- [Balazs, 1960](#) – *Balazs AP* (1960). Persianovsky reserve steppe (near Novocherkassk), *Proceedings of the Rostov branch of the UBE*. Rostov-on-Don, Vol. 1, pp. 75–88.
- [Bezuglova, 2011](#) – *Bezuglova OS* (2011). Soil classification, *International Journal of Applied and Basic Research*, № 7, pp. 10.
- [Bezuglova et al., 2011](#) – *Bezuglova OS, SN Gorbov, Tagiverdiev SS* (2011). Influence of soil properties on the city (the example of Bataysk), *Scientific Journal of the Russian Research Institute of reclamation problems*, No 3, pp. 12.
- [Bezuglova et al, 2015](#) – *Bezuglova OS, Golozubov OM DI Paluyan* (2015). Regional features of desertification processes in the Rostov region, *Arid eco-system*, T. 21, № 1 (62), pp. 17–21.
- [Bochkarev, Shchedrin, 2011](#) – *Bochkarev VJ, Shchedrin VN* (2011). On the concept of legal and regulatory framework of reclamation in Russia for 2010-2020, *Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation*, No. 1, pp. 1.
- [Vasilenko et al., 2005a](#) – *Vasilenko V.N., V. Zinchenko V.E., Kalinitchenko V.P.* (2005). Soil Fertility Management of the Southern Federal District of Russia. Part 1, *Proceedings of higher educational institutions. North Caucasus region. Natural sciences*, No. 2, pp. 78–83.
- [Vasilenko et al., 2005b](#) – *Vasilenko V.N., V. Zinchenko V.E., Kalinitchenko V.P.* (2005). Soil Fertility Management of the Southern Federal District of Russia. Part 2, *News of higher educational institutions. North Caucasus region. Natural sciences*, No. 3, pp. 75–79.
- [Voyevodina, 2016](#) – *Voyevodina LA* (2016). The structure of the soil and the factors that modify it under irrigation, *Russian Scientific Research Institute of Land Reclamation Journal*, No. 1 (21), pp. 134–154.
- [Genesis and Reclamation of alkaline soils complexes, 2008](#) – *Genesis and me-lioratsii complexes of alkaline soils* (2008). Edited by Academician of RAAS NP Panov, M.: RAAS, 316.
- [Gerke, Skvortsova, 2012](#) – *Gerke KM, Skvortsova EB* (2012). The role of physical methods in the modern soil science / *Proceedings of the VI Congress of the Soil Science Society of VV Dokuchaev*. Petrozavodsk-Moscow, 13–18 August 2012. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center RAS.
- [Glinushkin et al., 2016](#) – *Glinushkin AP, Sokolov MS, Toropova EY* (2016). Phytosanitary and hygienic requirements for healthy soil. M.: "Agrorus Publisher", 288 p. [in Russian].
- [Gorbov, Bezuglova, 2014](#) – *Gorbov SN, Bezuglova OS* (2014). Influence of Anthropogenic indepen-on soil Don-Aksay floodplains and biodiversity, *Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center, Russian Academy of Sciences*, No. 63, pp. 25–28.
- [Gorbov et al., 2016](#) – *Gorbov S.N., Bezuglova O.S., Tagiverdiev S.S., Morozov I.V., Abrosimov K.N., Skvortsova E.B.* (2016). Physical properties of soils in Rostov agglomeration, *Eurasian Soil Science*, Vol. 49, № 8, pp. 898–907.
- [Goryachkin, 1965](#) – *Goryachkin VP* (1965). *Collected Works*. M.: Kolos, T. 1. 720. 2. T. 459. 3. T. 384.
- [State \(National\) Report ..., 2013](#) – *State (national) report on the status and use of land in the Russian Federation*. Land Fund of the Russian Federation. As of January 1st, 2013.
- [Dyomkin et al, 2012](#) – *Dyomkin VA, Borisov AV, Demkina TS, Udaltsov S.* (2012). Evolution of soil and climate dynamics of the southeastern steppes of Russian Plain in the Era of Enel and Bronze (IV-II millennium BC.), *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographic Series*, №1, pp. 46–57.
- [Dobrovolsky, 2012](#) – *Dobrovolsky GV* (2012). Pedosphere – the shell of high concentration and diversity of life on Earth // VI Congress of the Soil Science Society of VV Dokuchaev, *Scientific Conference with international participation "Soil Russia: current status and prospects of the study*

and use of" All-Russian Youth Conference "Knowledge of the soil – the country's development" 13 – 18 August 2012. Petrozavodsk (in Russian).

[Dospikhov, 1987](#) – *Dospikhov BA* (1987). Workshop on Agriculture. M.: Agrpromizdat, 383 p.

[Dubenok, 2014](#) – *Dubenok NN* (2014). Priorities scientific software development reclamation, *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*, No. 1, pp. 96–104.

[Endovitsky et al., 2008](#) – *Endovitsky AP Kalinichenko VP, VB Il'in, AA Ivanenko* (2008). Thermodynamic state of cadmium and lead in chestnut solonchic soil complex, *Agrochemistry*, No. 9, pp. 59–65.

[Iozefovich, 1928](#) – *Iozefovich LI* (1926). Soils of Salsk steppes, *Soil Science*, №2.

[Kazakova, 2006](#) – *Kazakova LA* (2006). Cultivation trudnomeliorirue-Mykh solonchets on the irrigated lands of the Lower Volga region, *Irrigation and Water Management*, No. 4, pp. 45–47.

[Kalinichenko, 1990](#) – *Kalinichenko V.P.* Regulation of hydrological regime for reclamation of spatially inhomogeneous soil cover structures of steppe and dry steppe areas of South-East of European Territory of USSR / Dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences / Moscow, MSU, 1990.

[Kalinichenko, 2004](#) – *Kalinichenko V.P.* (2004). Sustainability of agro-ecosystems as a condition of the federal program of soil fertility increase for 2002-2005. (on example of the Rostov Region) (Presented by Academician of the RAAS N.P. Panov), *Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. No. 6, pp. 27–30.

[Kalinichenko, 2005](#) – *Kalinichenko V.P.* (2005). Reclamation of agrolandscape components depending on soil cover structure, *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*, № 4, pp. 24–26.

[Kalinichenko, 2009](#) – *Kalinichenko V.P.* (2009). Device for rotational subsurface loosening. Patent RU № 2376737 C1. Registered in the State Register of Inventions of the Russian Federation December 27, 2009. IPC A01B 33/02 (2006.01) A01B 33/02 (2006.01). Patentee Institute of Soil Fertility of South Russia. Application number 2008118583 / 12 (021536) from 08.05.2008. Published on 27.12.2009. Bull. No. 36.

[Kalinichenko, 2012](#) – *Kalinichenko VP* (2012). Biogeosystem technique as an epistemological framework for ecosystems managing, *Live and bioinert systems*, December, Issue. 1.

[Kalinichenko, 2016](#) – *Kalinichenko VP* (2016). Biogeosystem technique – an innovative method of managing productivity and soil health // International Scientific and Practical Conference Modern problems of herbology and improvement of soil health (21–23 June 2016), Big Vyazemy, pp. 246–263 (in Russian).

[Kalinichenko et al., 1997](#) – *Kalinichenko V.P., Nazarenko O.G., Il'ina L.P.* (1997). Structural organization of soil body in overmoistened soils on slopes in the chernozemic zone, *Proceedings of Russian Academy of Agricultural Sciences*, No. 5, pp. 22–24.

[Kalinichenko et al., 2008](#) – *Kalinichenko VP Sharshak VK, Frankincense EP, Zinchenko VE Morkovsky NA Chernenko VV* (2008). Long-acting milling reclamation solonch processing / Introduced by Academy of Agricultural Sciences, Academician IP Kruzhillin, *Russian Agricultural Sciences*, No. 1, pp. 37–40.

[Kalinichenko et al., 2013](#) – *Kalinichenko VP, Minkina TM, Bezuglova OS, Zarmaev AA Romanov OV, Kim V.CH.-D.* (2013). Concept of subsurface discrete pulse irrigation, *Environmental Engineering*, № 2, pp. 6–11 [in Russian].

[Korost et al., 2012](#) – *Korost DV, Gerke KM, EB Skvortsova* (2012). Exploration soil structure by X-ray tomography: examples of Russian soil and prospects of the method / Proceedings of the VI Congress of the Soil Science Society of VV Dokuchaev. Petrozavodsk-Moscow, 13–18 August 2012. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center RAS.

[Kostychev, 1937](#) – *Kostychev PA* (1937). Soils of the chernozem area of Russia, their origin, composition and properties / Ed., With the Entry. Art. and Notes by AN Sokolowsky. M.; L.: OGIZ Sel'khozgiz, 1937. 239 p.

[Krasilnikov et al, 2012](#) – *Krasilnikov PV, SN Sedov, Prado Pano, BL, Castaño-Meneses, RG, K. Sturrock, Vazquez Rojas, IM* (2012). The dependence of the species diversity and size of soil macrofauna from the pore size distribution in the volcanic soil of Michoacan, Mexico / Proceedings of the VI Congress of the Soil Science Society of them. VV Dokuchaev. Petrozavodsk-Moscow, 13-18 August 2012. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center RAS.

Lebedeva (Verba), 2012 – *Lebedeva (Verba) MP* (2012). Spatial variability of soil microstructure arid areas / Proceedings of the VI Congress of the Soil Science Society of VV Dokuchaev. Petrozavodsk-Moscow, 13–18 August 2012. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center RAS.

Lisetskii et al., 2016a – *Lisetskii F.N., Goleusov P.V., Stolba V.F.* (2016). Modeling of the evolution of steppe chernozems and development of the method of pedogenetic chronology, *Eurasian Soil Science*, Vol. 49, № 8, pp. 846–858.

Lisetskii et al., 2016b – *Lisetskii F.N., Smekalova T.N., Marinina O.A.* (2016). Biogeochemical features of fallow lands in the steppe zone, *Contemporary Problems of Ecology*, Vol. 9, № 3, pp. 366–375.

Lisetskii et al., 2016c – *Lisetskii F.N., Sudnik-Wojcikowska B., Moysiienko I.I.* (2016). Flora differentiation among local ecotopes in the transzonal study of forest–steppe and steppe mounds, *Biology Bulletin*, Vol. 43, № 2, pp. 169–176.

Lisetskii, Rodionova, 2016 – *Lisetskii F.N., Rodionova M.E.* (2015). Transformation of dry-steppe soils under long-term agrogenic impacts in the area of ancient Olbia, *Eurasian Soil Science*, Vol. 48, № 4, pp. 347–358.

Lozanovskaya, 1997 – *Lozanovskaya IN* (1997). The history of land reclamation. Novocheerkassk: NSMA, 97 p.

Minkin et al., 1980 – *Minkin MB, Babushkin VM, Sadimenko PA* (1980). Solonets of southeast of Rostov region. Rostov-on-Don: Publishing House of the RSU, 271 p.

Minkin et al., 1982 – *Minkin MB, NI Gorbunov, Ca dimenko PA* (1982). Topical issues of physical and colloid chemistry of soils. Rostov-on-Don: Publishing House of the RSU, 270 p.

Minkin, Kalinitchenko, 1981 – *Minkin M.B., Kalinitchenko V.P.* (1981). Intensification of melioration process on the soils of solonetz complexes by means of regulation of hydrological regime, *Soil Science*, No. 11, pp. 88–99.

Mirkin, 1985 – *Mirkin BM* (1985). Theoretical basis of modern-term phytocenology. M.: Nauka. 137 p.

Mishchenko, 2009 – *Mishchenko NA, Gromyko EV, Kalinichenko VP, Chernenko, VV, Larin SV* (2009). Ecological and recreational recycling of phosphogypsum in the black earth on the example of Krasnodar territory // *Fertility*, No. 6, pp. 25–26.

Moiseeva et al., 2011 – *Moiseeva TS, Bezuglova OS, Morozov IV* (2011). Determination of soil solids density in ordinary chernozem, *Basic Research*, № 11-1, pp 174–177.

Morozov, Bezuglova, 2011 – *Morozov IV, Bezuglova OS* (2011) Classification of elementary soil particles at different schools pochvove Denia, *Basic Research*, № 12-2, pp. 281–285.

Moskalenko et al., 2013 – *Moskalenko AP Kalinichenko VP Ovchinnikov V. Moskalenko SA, VA Gubachev* (2013). Biogeosystem technique – the practice framework for environmental policy and environmental economics // *Economy and Entrepreneurship*, No. 12-3 (41-3), pp. 160–165.

Panov et al., 2008 – *Panov NP Sychev VG, VE Zinchenko, VP Kalinichenko* (2008). Cyclical environmental SMOs-tively-reclamation agricultural machinery, *Bulletin of Agrarian Science of Don*, № 2, pp. 97–105.

Field identification of soils, 2008 – *Field identification of soils*. M.: Soilion Inst of VV Dokuchaev, 2008. 182 p.

Government Decree No. 99, 2006 – *Decree of the Government of Russian Federation of February 20, 2006 No. 99 "On the federal target program" Co-keeping and restoration of soil fertility of agricultural lands and agricultural landscapes as a national property of Russia for 2006 – 2010 and period up to 2013" (as amended)*

Government Decree No 922, 2013 – *Decree of the Government of Russian Federation. October 12, 2013 No. 922. On the federal target program "Development of reclamation of land for agricultural purposes Russia for 2014–2020 years"*.

Prikhodko, 2003 – *Prikhodko VE* (2003). Development of the Volga region the soil under the influence of irrigation / Abstract of dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences / Puschino

Rozanov, 2003 – *Rozanov AY* (2003). Fossil bacteria, sedimentogenesis and the early stages of evolution of the biosphere, *Paleontological Journal*, No. 6, p. 41.

Ryl'kov et al., 2012 – *Ryl'kov IS, Hazaryan VE, Tagiverdiev SS, Bezug-fishing OS, Morozov IV* (2012). The use of laser diffraction particle size distribution for the study of soils / Proceedings

of the VI Congress of the Soil Science Society of VV Dokuchaev. Petrozavodsk-Moscow, 13–18 August 2012. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center RAS.

[Semendyaeva, Elizarov, 2014](#) – Semendyaeva NV, NV Elizarov (2014). Dynamics of salt composition of Baraba solonchaks during the 27-32-year-old gypsum application, *Bulletin of the Novosibirsk State Agrarian University*, Vol. 30, pp. 41–46.

[Semenov, Sokolov, 2016](#) – Semenov A., Sokolov MS (2016). Concept of soil health: fundamental and applied aspects of the study evaluation criteria, *Agrochemistry*, № 1, pp. 3–16.

[Senkova, 2009](#) – Senkova LA (2009). Status of soil agricultural landscapes of the Southern Urals and the ways of their rational use // Abstract of dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences / Tyumen State Agricultural Academy. Tyumen.

[Smagin, 2013](#) – Smagin AV (2013). Present and future of the most fertile soil, *Science in Russia*, No. 1, pp. 23–30.

[Sokolov, Glazko, 2015](#) – Sokolov MS, Glazko VI (2015). Minimizing the negative social and environmental impacts of technogenesis on the agricultural sphere of the Russia (the development of the concept of the noosphere by VI Vernadsky) *Agrochemistry*, № 3, pp. 3–9.

[Sokolov et al., 2015](#) – Sokolov MS, Glinushkin AP, Toropova EY (2015). Habitat functions of healthy soil – phyto-sanitary and social aspects, *Agrochemistry*, № 8, pp. 81–94.

[Solntseva, Kalinichenko, 2005](#) – Solntseva N.G., Kalinichenko V.P. (2005). Change of the density of chernozem of Lower Don at different humidification mode, *Proceedings of higher educational institutions. North Caucasus region. Natural sciences*, No. 3, pp. 91–94.

[Solntseva, Kalinichenko, 2011](#) – Solntseva NG, Kalinichenko VP (2011). Mineralogical composition of black soil under anthropogenic impact. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing & Co. KG, 274 p. ISBN: 978-3-8465-1964-9.

[Topunova et al, 2010](#) – Topunova IV, Prikhodko VE, Sokolov Islands TA (2010). Effect of irrigation on the content and mineralogical composition of the clay fraction of chernozems of the Rostov region (Bagaevsky Sadkovskaya-irrigation system), *Bulletin of Moscow University. Episode 17: Soil*, No. 1, pp. 3–10.

[Tursina, 2016](#) – Tursina TV (2016). Micromorphological diagnostics steady-bility chernozems under irrigation, *Bulletin of Soil Science Institute VV Dokuchaev* (Date: 23/02/2016)

[Udalov et al., 2005](#) – Udalov A.V., Zbrailov M.A., Kalinichenko V.P. (2005). Long-term correction of winter wheat agrophytocenosis control, *Proceedings of higher educational institutions. North Caucasus region. Natural sciences*, No. 4, pp. 73–79.

[Udalov, Kalinichenko, 2005](#) – Udalov A.V., Kalinichenko V.P. (2005). Ecological and energy assessment of agrophytocenosis of field crops, *Proceedings of higher educational institutions. North Caucasus region. Natural sciences*, No 2, pp. 89–95.

[Khitrov, 1995](#) – Khitrov NB (1995). Physico-chemical conditions of the development process in the solonchak soil, *Soil Science*, № 3, C. 298–307.

[Khitrov, 2004](#) – Khitrov NB (2004). Selection of the diagnostic criteria of the existence and severity of solonchakization in soils, *Soil Science*, No. 1, pp. 18–31.

[Tskhovrebov, 2012](#) – Tskhovrebov VS (2012). Changing the content of microelements under winter wheat due to remineralization of chernozem leached, *Scientific Journal of KubGAU*, № 77 (03).

[Chizhikova, 2013](#) – Chizhikova NP (2013). The degradation of mineral wasps nova soil // In the book: Scientific basis for preventing land degradation (Ze-stranded) of agricultural land and the formation of Russia Shuffle production fertility systems in adaptive-landscape agriculture. M., pp. 353–368.

[Sharshak, 1987](#) – Sharshak VK (1987). Evaluation of machines and tools for basic processing of alkaline soils, *Mechanization and electrification of agriculture*, No. 3, pp. 17-19.

[Shein EV et al, 2016](#) – Shein EV, EB Skvortsova, Dembovetsky AV, Abrosimov KN, Ilyin LI, NA Shnyrev (2016). Pore size distribution in the loamy soils: a comparison of tomographic and micro-capillaries methods of the metric determining, *Soil Science*, No. 3, pp. 344–354.

[Shoba et al., 2015](#) – Shoba SA, Smagin AV, Sadovnikov NB (2015). Methodological aspects of soil constructing, Problems of household waste, industrial and agricultural production, *IV International Scientific Ecological Conference*. Krasnodar, pp. 7–17.

[Abe et al., 2004](#) – Abe E., Yan Y., Pennycook S.J. (2004). Quasicrystals as cluster aggregates, *Nature materials*, Vol. 3 (11), pp. 759–767.

- [Albani et al., 2010](#) – Albani A. E., Meunier A., Macchiarelli R., Ploquin F., Tournepicche J.-F. (2010). Local environmental changes recorded by clay minerals in a karst deposit during MIS 3 (La Chauverie, SW France), *Quaternary International*, doi: 10.1016/j.quaint.2010.03.007.
- [Baldock et al., 2004](#) – Baldock J.A., Masiello C.A., Gelin Y, and Hedges J.I. (2004). Cycling and composition of organic matter in n terrestrial and marine ecosystems, *Marine Chemistry* 92(1–4): 39–64.
- [Barre et al., 2009](#) – Barre P., Berger G., Velde B. (2009). How element translocation by plants may stabilize illitic clays in the surface of temperate soils, *Geoderma* 151 (2009) 22–30.
- [Bindi et al., 2009](#) – Bindi L., Steinhart P.J., Yao N., Lu P.J. (2009). Natural quasicrystals, *Science*, Vol. 324 (5932), pp. 1306–1309.
- [Bykova, 2016](#) – Bykova G., Tyugai Z.N., Milanovsky E.Yu., Shein E.V. (2016). Soil-water contact angle of some soils of the russian plane, *Geophysical Research Abstracts*, No 7, pp. 505.
- [Chen et al., 2015](#) – Chen W., Lu S., Pan N., Wang Y., & Wu L. (2015). Impact of reclaimed water irrigation on soil health in urban green areas, *Chemosphere*, 119, 654–661, doi:10.1016/j.chemosphere.2014.07.035
- [Cuadros et al., 2013](#) – Cuadros J., B. Afsin, P. Jadubansa, M. Ardakani, C. Ascaso, J. Wierzchos (2013). Microbial and inorganic control on the composition of clay from volcanic glass alteration experiments, *American Mineralogist*, Feb; 98: 319–334.
- [De Gryze et al., 2006](#) – De Gryze S., Jassogne L., Six J., Bossuyt H., Wevers M., Merckx R. (2006). Pore structure changes during decomposition of fresh residue: X-ray tomography analysis, *Geoderma*, Vol. 134, pp. 82–96.
- [Eberl et al., 1993](#) – Eberl, D. D., B. Velde, and T. McCormick. (1993). Synthesis of illite-smectite from smectite at earth surface temperatures and high pH, *Clays Clay Miner.* 28: 49–60.
- [Endovitsky et al., 2014](#) – Endovitsky A.P., Minkina T.M. Kalinichenko V.P., Batukaev A.A., Dikaev Z.S., Sushkova S.N. (2014). The association of ions in the soil solution of saline soils, *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 9 (2): 238–244, 2014.
- [Fischer et al., 2011](#) – Fischer S., Exner A., Zielske K., Perlich J., Deloudi S., Steurer W., Lindner P., Förster S. (2011). Colloidal quasicrystals with 12-fold and 18-fold diffraction symmetry, *PNAS*, Vol. 108 (5), pp. 1810–1814.
- [Glazko V., Glazko T., 2015](#) – Glazko Valery I., Glazko Tatiana T. (2015). Conflicts of Biosphere and Agroecosystems, *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (1), Is. 1, pp. 4–16. doi: 10.13187/ijep.2015.1.4
- [Grosbellet et al., 2011](#) – Grosbellet C., Vidal-Beaudet L., Caubel V., Charpentier S. (2011). Improvement of soil structure formation by degradation of coarse organic matter, *Geoderma*, Vol. 162, pp. 27–38.
- [Hazen et al., 2013](#) – Hazen R.M, R.T. Downs, L. Kah, D. Sverjensky. (2013). Carbon Mineral Evolution, *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, Vol. 75, pp. 79–107.
- [Kalinichenko, 2016](#) – Kalinichenko Valery P. (2016). Technologies and Technical Means for Matter Recycling into the Soil (Review), *International Journal of Environmental Problems*, 2016, Vol. (3), Is. 1, pp. 58–85. doi: 10.13187/ijep.2016.3.58
- [Kalinichenko et al., 2011](#) – Kalinichenko V. P., Sharshak V. K., Bezuglova O. S., Ladan E. P., Genev E. D., Illarionov V. V., Zinchenko V. E., Morkovskoi N. A., Chernenko V. V., and Il'ina L. P. (2011). Changes in the Soils of Solonetzic Associations in 30 Years after Their Reclamation with the Use of Moldboard Plowing, Deep Tillage with a Three-Tier Plow, and Deep Rotary Tillage, *Eurasian Soil Science*, Vol. 44, No. 8, pp. 927–938. doi: 10.1134/S1064229311080060
- [Kalinichenko et al., 2014](#) – Kalinichenko, V.P., Sharshak, V.K., Mironchenko, S.F., Chernenko, V.V., Ladan, E. P., Genev, E.D., Illarionov, V.V., Udalov, A.V., Udalov, V.V., Kippel, E.V. (2014). Changes in the properties of soils in a solonetz soil complex thirty years after reclamation, *Eurasian Soil Science*, Vol. 47, Is. 4, pp. 319–333. doi: 10.1134/S1064229314040024
- [Kalinichenko et al., 2016](#) – Kalinichenko Valery, Abdulmalik Batukaev, Ali Zarmaev, Viktor Startsev, Vladimir Chernenko, Zaurbek Dikaev, Svetlana Sushkova (2016). Biogeosystem technique as the way to certainty of soil, hydrosphere, environment and climate, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 18, EGU General Assembly. Vienna, 2016, EGU2016-3419
- [Kalinina et al., 2015](#) – Kalinina O., Giani L., Dolgikh A.V., Goryachkin S.V., Lyuri D.I., Chertov O., Barmin A.N. (2015). Self-restoration of post-agrogenic soils of calcisol-solonetz

complex: soil development, carbon stock dynamics of carbon pools, *Geoderma*, Vol. 237, pp. 117–128. doi:10.1016/j.geoderma.2014.08.013

Kolesnikov et al., 2013 – *Kolesnikov S.I., Yaroslavtsev M.V., Spivakova N.A., Kazeev K.S.* (2013). Comparative assessment of the biological tolerance of chernozems in the South of Russia towards contamination with Cr, Cu, Ni, and Pb in a model experiment, *Eurasian Soil Science*, Vol. 46, No 2, pp. 176–181, doi:10.1134/S1064229313020087

Lin et al., 2016 – *Lin L., Andrew Gettelman, Q. Fu, Yangyang Xu* (2016). Simulated differences in 21st century aridity due to different scenarios of greenhouse gases and aerosols, *Climatic Change* · February 2016, doi: 10.1007/s10584-016-1615-3

Lisetskii et al., 2013 – *Lisetskii F.N., Stolba V.F., Ergina E.I., Rodionova M.E., Terekhin EA.* (2013). Post-agrogenic evolution of soils in ancient Greek land use areas in the Herakleian Peninsula, southwestern Crimea, *The Holocene*, 23(4), pp. 504–514.

Lisetskii et al., 2015 – *Lisetskii F., Marinina O., Stolba V.F.* (2015). Indicators of agricultural soil genesis under varying conditions of land use, steppe Crimea, *Geoderma*, Vol. 239–240, pp. 304–316.

Meyer et al., 1996 – *Meyer Jh, Rianto Van Antwerpen and E Meyer* (1996). A review of soil degradation and management research under intensive sugarcane cropping, *Proc S Afr Sug Technol Ass* 70: 22-28

Pardo et al., 2014 – *Pardo T., Clemente R., Epelde L., Garbisu C., & Bernal M. P.* (2014). Evaluation of the phytostabilisation efficiency in a trace elements contaminated soil using soil health indicators, *Journal of hazardous materials*, 268, 68–76, doi:10.1016/j.jhazmat.2014.01.003

Peries and Gill, 2015 – *Peries R and J S Gill* (2015). Subsoil manuring in the high rainfall zone: a practice for ameliorating subsoils for improved productivity, *Proceedings of the 17th ASA Conference, 20 – 24 September 2015*, Hobart, Australia.

Pevzner, 2003 – *Pevzner, L.A.* (2003). Analysis of lipid biomarkers in rocks of the Archean crystalline basement, *Proceedings of SPIE*. 4939. 160–168.

Reid-Soukup et al., 2002 – *Reid-Soukup D. A., Ulery A. L. Smectites. In: Dixon J. B., Schulze D. G. (Ed.)* (2002). *Soil Mineralogy with Environmental Application*. Madison, Wisconsin, USA, pp. 467–499.

Rothman, 2015 – *Rothman Daniel H.* (2015). Earth's carbon cycle: A mathematical perspective, *Bull. Amer. Math. Soc*, 52, 47–64, doi: <http://dx.doi.org/10.1090/S0273-0979-2014-01471-5>

Shein, 2010 – *Shein E. V.* (2010). Soil Hydrology: Stage of Development, Current State, and Nearest Prospects, *Eurasian Soil Science*, Vol. 43, No. 2, pp. 158–167.

Shein et al., 2013a – *Shein E.V., G.V. Kharitonova, E.J. Milanovskii, A.V. Dembovetskii, A.V. Fedotova, N. S. Konovalova, S. E. Sirotskii, and N. E. Pervova* (2013). Aggregate Formation in Salt Affected Soils of the Baer Mounds, *Eurasian Soil Science*, Vol. 46, No. 4, pp. 401–412. doi: 10.1134/S1064229313040121

Shein et al., 2013b – *Shein E.V., Milanovskii E.Y., Khaidapova D.D., Nikolaeva E.I., Rusanov A.M.* (2013). Mathematical models of some soil characteristics: substantiation, analysis, and using features of model parameters, *Eurasian Soil Science*, Vol. 46, № 5, pp. 541–547, doi: 10.1134/S1064229313050128

Shein et al., 2014a – *Shein E.V., S. A. Erol, E. Yu. Milanovskii, N. V. Verkhovtseva, F. D. Mikayilov, F. Er, and S. Ersahin* (2014). Agrophysical Assessment of Alluvial Calcareous Soils of the Cumra Region of Central Anatolia in Turkey, *Eurasian Soil Science*, Vol. 47, No. 7, pp. 694–698.

Shein et al., 2014b – *Shein E.V., Skvortsova E.B., Abrosimov K.N.* (2014). Tomographic studies of the soil pore space in swelling and shrinkage processes // Abstract book. 9 th International Soil Science Congress on "The Soul of Soil and Civilization", Soil Science of Turkey Cooperation with Federation of Eurasian Soil Science Societies, p. 107.

Sokolov, Glazko, 2015 – *Sokolov M.S., Glazko V.I.* (2015). The discoverer of the law "of diminishing returns", the doctrine of self-regulation and self-development of healthy soil. *International Journal of Environmental Problems*, No. 2 (2), pp. 78–96.

Turmel M.S. et al. 2015 – *Turmel M.S. et al.* (2015). Crop residue management and soil health: A systems analysis, *Agricultural Systems*, Vol. 134, pp. 6–16.

Verchot et al., 2011 – Verchot L.V., Dutaur L., Shepherd K.D., Albrecht A. (2011). Organic matter stabilization in soil aggregates: Understanding the biogeochemical mechanisms that determine the fate of carbon inputs in soils, *Geoderma* 161(3–4): 182–193. doi:10.1016/j.geoderma.2010.12.017

Verkhovtseva et al., 2014 – Verkhovtseva N., Milanovskiy E., Shein E., Larina G. (2014). The role of probiotic microorganisms in the control of health and fertility of soil. Book of Proceedings 9th International Soil Science Congress on "The Soul of Soil and Civilization", pp. 682–688.

Wu et al., 2013 – Wu ZD, U Lall, M Zhao (2013). A Worldwide Comparison of Water Use Efficiency of Crop Production, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 275, pp. 2718–2722. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.275-277.2718

Yuan et al., 2014 – Yuan, X., E. F. Wood, and M. Liang (2014). Integrating weather and climate prediction: towards seamless hydrologic forecasting, *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1002/2014GL061076.

Yun Zhu et al., 2011 – Yun Zhu, Yan Li, Anhuai Lu, Haoran Wang, Xiaoxue Yang, Changqiu Wang, Weizheng Cao, Qinghua Wang, Xiaolei Zhang, Danmei Pan, Xiaohong Pan (2011). Study of the interaction between bentonite and a strain of *Bacillus mucilaginosus*, *Clays and Clay Minerals*, Vol. 59, Is. 5, pp. 538–545.

УДК 631:574.4:62

Управление динамикой почв

Валерий Петрович Калининченко ^{a, b}

^a Институт плодородия почв юга России, Российская Федерация

^b Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Российская Федерация

Аннотация. Рассмотрена дисперсная система почвы с точки зрения квазистационарных флуктуаций её эволюции, биологического, мелиоративного процесса, теории и практики успешного, продуктивного, длительного, устойчивого и безопасного для окружающей среды агрономического использования. Показано, что выполнение почвой биологических функций в стандартной парадигме агротехники проблематично – моделировать, нормировать и синтезировать почву следует не так как это принято в агротехнике и мелиорации – имитационным путем, а искать новые трансцендентальные возможности обрести приемлемую вероятность нового качества управления эволюцией почвы, гидрологический режим и структуру почвенного покрова. Иначе есть риск утраты почв. В качестве апробированного варианта трансцендентального подхода к управлению равновесиями в почвенном растворе, гидрологическим режимом, плодородием, здоровьем и эволюцией почв, синтеза качественной окружающей среды и получения в ней высокого экономического результата от применения программных методов развития предложена биогеосистемотехника. Представлены данные исследований, свидетельствующие, что эволюция почв степи может идти как в направлении аградации, так и деградации сукцессии растительности, агрономического качества почвы и структуры почвенного покрова. За счет фрезерной внутрипочвенной обработки комплекса каштановых почв статистический диапазон варьирования относительно нормы контрастности структуры почвенного покрова и структуры растительного покрова в течение срока действия мелиорации 30 лет снизилась с 0,5–1,8 до 0,8–1,1. Морфологическая характеристика степени перемешивания и дробления генетических горизонтов почвы при её механической обработке показала, что размер агрегата почвы из горизонта В в контрольном варианте (отвальная обработка почвы на 20–22 см) составил 7,0 см, в варианте обработка роторным фрезерным орудием ФС-1,3 на глубину 40–45 см – 1,0–1,5 см. По сравнению с контролем фрезерная внутрипочвенная мелиоративная обработка имеет значительно более продолжительный период биологически и экономически эффективной продолжительности мелиоративного действия 30 лет и более. Биогеосистемотехника повышает водную эффективность дождевой и ирригационной

агротехники. Биогеосистемотехника обеспечивает высокую устойчивость принципиально новой стагнации биогеосистемы на стабильном высоком уровне продуктивности.

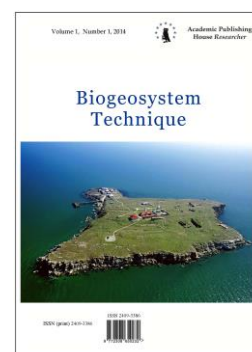
Биогеосистемотехника позволяет купировать нарастающий конфликт биосферы и технологии, сменить парадигму развития, синтезировать природоподобные технологии.

Ключевые слова: почва, продуктивность, эволюция, устойчивость, аградация, деградации, дисперсная система, агротехника, биогеосистемотехника.

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. 317-327, 2016

DOI: 10.13187/bgt.2016.10.317
www.ejournal19.com



UDC 631.422

Effect of Natural and Technogenic Factors on the Mobility and Transformation of Metal Compounds in Soil

Saglara S. Mandzhieva ^a, Tatiana M. Minkina ^a, Marina V. Buratchevskaya ^a, Victor A. Chaplugin ^a, Viktoriia S. Tsitsuashvili ^{a,*}, Vishnu D. Rajput ^a, Karen A. Ghazaryan ^b, Palma Orlović-Leko ^c, Ivan Šimunić ^c

^a Southern Federal University, Russian Federation

^b Yerevan State University, Armenia

^c University of Zagreb, Croatia

Abstract

The effect of natural and technogenic factors on the Cu, Ni, Mn, Pb, Cd, and As compounds mobility and transformation were studied from an analysis of the fractional–group composition of Cu, Zn, and Pb compounds in the soils of areas adjacent to the Novochoerkassk power station. Novochoerkassk Power Station is one of the largest power plants at the South of the Russian Federation. The soils sampled from the non-arable sites at different distances from the Power Station. The investigated soils were meadowy chernozem, calcareous chernozem, and alluvial-meadowy soil. The total concentration of metals was determined by the X-ray-fluorescent method. Mobile forms of metals include exchangeable, complex and specifically adsorbed compounds were determined. The fractionation method by Tessier (1979) was applied for metal compounds determination. Changes in the composition of Cu, Zn, and Pb compounds in the soils of technogenic landscapes were estimated. The effect of aerosol technogenic emissions on the mobility of metal compounds was revealed; a higher metal mobility was found in soils with low buffering capacity. Common and specific features of the formation of Cu, Zn, and Pb compounds in soils were determined. The role of individual soil components in the retention of metals in clean and contaminated soils was established.

Keywords: availability, fractions, heavy metals, power station.

1. Introduction

The natural and technogenic factors influence biogeochemical cycle of biosphere (Kalinitchenko, 2016). Novochoerkassk Power Station is one of the largest power plants of the Russia Federation; it is the principal source of contaminants in Novochoerkassk, because it is located only 7.5 km southeast of the city. The Novochoerkassk Power Station (NPS) produces 1 % of the emissions across the territory of the Russia Federation and more than 50 % over the Rostov Region (Mandzhieva et al., 2016). The power station emits annually 250000 tons of contaminants, which include heavy metals (HMs), which are deposited on the soil (Ecological Bulletin of the Don

* Corresponding author

E-mail addresses: viktoria447@yandex.ru (V.S. Tsitsuashvilli)

Region, 2015; Public report, 2015; Orlović-Leko et al., 2010). The major components of NPS emissions include ash, sulfur dioxide, nitrogen oxide, soot (more than 30 t/year), vanadium pentoxide (about 8 t/year), iron oxide (more than 5 t/year), chromic anhydride (about 0.1 t/year), hydrogen fluoride (7 kg/year), etc. Ash retains up to 85 % of the initial content of chemical elements from coal (Kizil'shtein et al., 1990). During the combustion of fuel, most chemical elements get into aerosols; therefore, the content of HMs in the volatile ash of emissions is higher than that in the raw materials by a factor of several.

Heavy metals and hazardous elements play a significant role among the pollutants (Il'in et al., 2003). The pollution of soils with metals due to the aerotechnogenic emission is a worldwide issue (Moon et al., 2013). Metals are released during various processes, such as combustion or component wearing. Lead, copper, zinc and cadmium are considered as major inorganic pollutants (Kizilkaya et al., 2012; Minkina et al., 2015; Minkina et al., 2011; Motuzova et al., 2014; Šeda et al., 2017). The aim of this work was to study the heavy metal content in the soils and plants around Novocheerkassk Power Station.

2. Materials and methods

The monitoring plots were laid out in 2000. The monitoring plots were located in non-arable patches of soils at different distances from the Power Station (Fig. 1). Most of them lie to the northwest of the station and in the direction of the prevailing wind (Minkina et al., 2013). The soils investigated were meadowy chernozem, calcareous chernozem, and alluvial-meadowy soil. The majority of the soils of monitoring plots were ordinary chernozems; the soils of plots 9 and 10 + were used as control soils.

The low-humus calcareous sandy alluvial meadow soil (plot 2), which had a light texture and a low cation exchange capacity (CEC), and the low-humus silty clayey meadow-chernozemic floodplain soil (plot 3) with a high CEC that differed from the control soils (Minkina et al., 2009; Tishchenko, Bezuglova, 2012).

Soil samples for the determination of soil properties and the contents of Cu, Ni, Mn, Pb, Cd, and As compounds were taken from a depth of 0–20 cm. Basic physical and chemical properties of the studied soils were determined (Methodological guidelines for the integrated monitoring of soil fertility of agricultural lands, 2003). Separated extractions for determination of HM forms including exchangeable (NH_4OAc , pH 4.8), complexed (from the difference between the contents of metals in the 1 % EDTA in 1 M NH_4OAc and NH_4OAc extracts) and specifically adsorbed (from the difference between the contents of metals in the 1N HCL and 1 M NH_4OAc extracts) (Minkina et al., 2008; Mandzhieva et al., 2014); and the fractionation method by Tessier (1979) were applied. The total contents of HMs in the soil were determined by the X-ray fluorescent scanning spectrometer "SPECTROSCAN MAKС-GV". Mobile concentrations were determined by atomic absorption spectrophotometer.

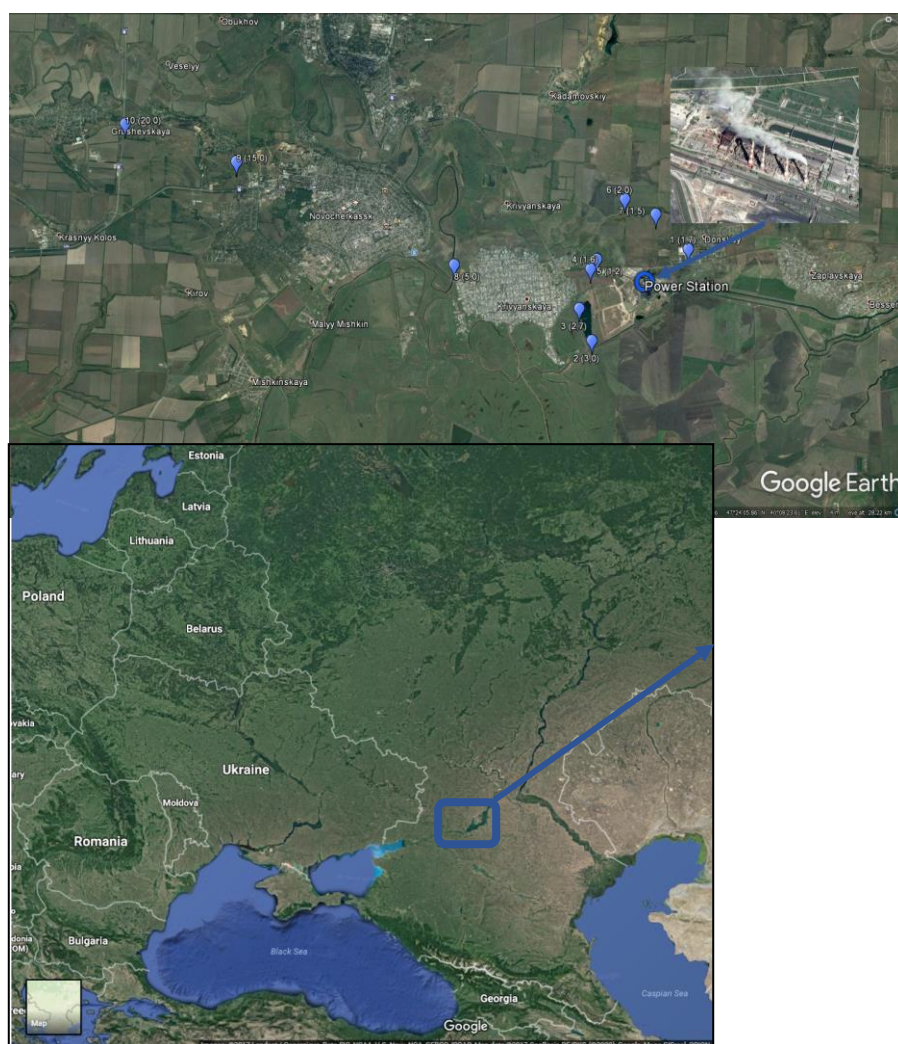


Fig. 1. Schematic map of monitoring plots in the area affected by the Novocherkassk power Station

Plot no. – direction and distance from the Power Station: 1–1 km to the northeast; 2–3 km to the southwest; 3–2.7 km to the southwest; 4–1.6 km to the northwest; 5–1.2 km to the northwest; 6–2.0 km to the north-northwest; 7–1.5 km to the north; 8–5 km to the northwest; 9–15 km to the northwest; 10–20 km to the northwest.

The total contamination index was calculated as:

$$Z_c = \sum K_c - (n-1),$$

where Z_c – the total contamination index; K_c – concentration index ($K_c = C_i / C_{bi}$, C_i – concentration of elements; C_{bi} – background concentration of elements); n – number of elements (Il'in, 2000).

3. Results and discussion

The local areas within a 5 km distance to the north-west of the Power Station have become contaminated with total and mobile forms of Cu, Pb, Zn and mobile Ni (Table 1, 2). The HM contents gradually decrease with distance; their contents in remote soils (plots 9, 10) approach the background level (Belousova, 2001; Bezuglova et al., 2016; Minkina et al., 1998; Nikityuk, 1998; Samokhin, 2003; Samokhin et al., 2005; Sobornikova, Kizilshtein, 1990).

In the soils of the background plots, the total content of Cu was 37 mg/kg and that of Zn was 72–80 mg/kg (Table 1). The soil of plot 9 characterized the background content of Pb (25 mg/kg), because plot 10 was located 500 m from a highway, which affected (increased) its Pb content.

The background contents of the above metals in soils were higher than their Clarkes – 20, 50, and 10 mg/kg for Cu, Zn, and Pb, respectively (Vinogradov, 1957), which was related to the

mineralogy of soil-forming rocks in Rostov region (Russia). The yellow-brown loesslike loams and clays of the Ciscaucasian Plain partially inherited stable minerals from the original rocks enriched in heavy metals. Some metal ions released during weathering and pedogenesis were strongly fixed in the structure of clay minerals (Minkina et al., 2009; Mandzhieva et al., 2014).

The increase in the total metal content due to Power Station emissions was the most greatly manifested in the soils located near the source of contamination along the main wind direction (plots 4, 5, 8) and in the soils of plot 6. The contents of total Cu, Pb, and Zn in these soils exceeded their MPC values (55, 32, and 100 mg/kg for Cu, Pb, and Zn, respectively). At the same time, the soils of plot 1 and, especially, plots 2 and 3 were less contaminated, although they are located near the source of contamination. This is related to the fact that these plots are beyond the zone of the predominant wind direction. HM total and mobile content lessened with depth, with maximum concentrations found in the 0–5 cm soil layer.

Table 1. Total heavy metals concentrations in monitoring plot soils and their buffer ability

Distances (km) and directions from the Power station	Soil	The total HM concentration in 0-5 cm layer, mg/kg								The total contamination index	Soil HM buffering capacity
		As	Pb	Zn	Cu	Ni	Mn	Cd	Cr		
1,0 NE	Calcareous chernozem	11.0	45.9	114	54.5	69.7	879	0.5	134	11.9	High
3,0 SW	Alluvial-meadowy soils	7.6	10.9	110	48.5	32.9	861	0.5	66	6.1	Middle
2,7 SW	Meadowy soils	7.5	28.0	103	48.3	50.8	361	0.3	113	6.1	Middle
1,6 NW	Calcareous chernozem	8.1	38.5	116	80.6	56.7	566	0.5	134	9.7	High
1,2 NW	Calcareous chernozem	10.2	53.3	146	66.5	55.4	827	0.5	157	12.3	High
2,0 NN W	Meadowy soils	8.1	45.5	120	60.1	68.7	928	0.5	136	10.6	High
1,5 N	Calcareous chernozem	9.1	28.0	99	42.7	56.7	849	0.7	136	10.0	High
5,0 NW	Meadowy soils	9.4	31.9	120	65.8	67.8	983	0.3	131	9.7	High
15,0 NW	Calcareous chernozem	9.4	31.1	100	58.2	57.0	808	0.3	104	8.3	High
20,0 NW	Calcareous chernozem	10.0	28.6	119	46.1	50.3	744	0.3	117	8.3	High
Elements background concentration for present soil		1,8	18.0	72	39.0	32.0	624	0.2	110	-	

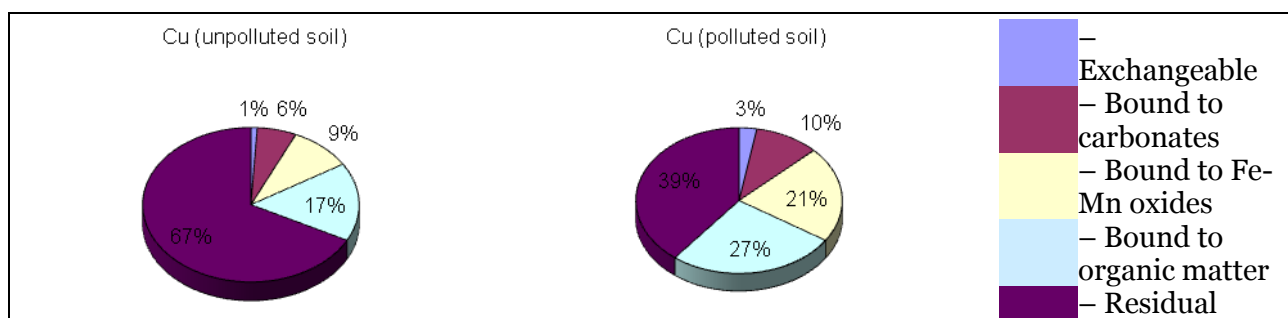
The mobility of metals in the contaminated soils varied analogously to their total content (Endovitskii et al., 2009). In the soils closest to the Power Station, the mobile forms of Cu, Pb, and Zn increased by 2.7, 2.5, and 3.8 times, respectively. The content of exchangeable compounds exceeded the metal MPC in the soils of plots 4, 5, 6, and 8 for Cu; plots 5 and 6 for Pb; and plot 5 for Zn (the MPCs are 3, 6, and 23 mg/kg for the mobile compounds of Cu, Pb, and Zn, respectively). Distribution of mobile Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, Mn, Ni within non-contaminated soils is

characterized by the following trend: complexed < exchangeable < specifically adsorbed. The same succession is relevant for metals contained within contaminated soils, with the exception of Cu, Pb and Ni, in which the exchangeable forms content becomes less than complexed forms.

Table 2. Concentration of exchangeable heavy metals in soil of monitoring plots, mg/kg

Distances (km) and directions from the Power station	Depth, cm	Pb	Zn	Cu	Ni	Mn	Cd	Cr
1,0 NE	0–5	6.5	27.0	3.7	4.4	76.7	0.2	5.4
	5–20	4.4	11.2	1.9	3.1	57.6	0.2	5.2
3,0 SW	0–5	5.3	23.8	4.0	3.8	61.5	0.9	5.6
	5–20	4.5	25.7	3.5	3.4	40.7	0.8	5.6
2,7 SW	0–5	7.1	14.4	1.5	3.6	54.1	0.4	4.1
	5–20	6.3	12.8	0.7	2.3	32.3	0.4	3.8
1,6 NW	0–5	13.2	22.4	7.1	3.4	70.2	0.6	4.9
	5–20	9.5	14.1	4.9	2.2	57.4	0.4	3.8
1,2 NW	0–5	10.7	21.8	5.6	5.9	69.1	0.9	6.4
	5–20	8.4	16.9	4.0	4.4	57.2	0.7	5.3
2,0 NNW	0–5	14.2	23.5	5.2	5.8	88.7	0.4	6.3
	5–20	12.9	19.3	2.7	4.5	73.2	0.2	5.5
1,5 N	0–5	10.1	12.6	3.7	5.7	76.2	0.5	5.3
	5–20	7.5	9.8	1.6	3.7	62.7	0.3	4.3
5,0 NW	0–5	13.1	14.8	4.7	4.3	104.2	0.8	5.7
	5–20	9.9	12.3	2.4	2.9	85.4	0.2	4.7
15,0 NW	0–5	10.5	11.1	7.3	3.6	57.6	0.8	4.6
	5–20	7.2	7.1	2.2	2.5	41.8	0.7	3.5
20,0 NW	0–5	6.5	23.0	4.6	3.3	59.7	0.7	4.7
	5–20	3.2	18.1	1.9	2.3	47.9	0.4	3.5
The maximum concentration limits (MCLs)		6.0	23.0	3.0	4.0	700.0	–	6.0

The fractionation of soil compounds revealed the role of individual soil components in the retention of metals in clean and contaminated soils (Ladonin, Karpukhin, 2011). The main tendency in the changes in the fractional compositions of metals was the increase in the portion of more mobile compounds with increasing accumulation of metal (Fig. 2). The strong fixation of Cu and Pb that has reached the soil is caused by organic matter and nonsilicate Fe minerals, and nonsilicate Fe minerals are responsible for the fixation of Zn. The greatest amount of metals is concentrated within the minerals' crystal lattices in unpolluted soils (Fig. 2). A significant decrease in the most residual fraction can be used to diagnose anthropogenic contamination.



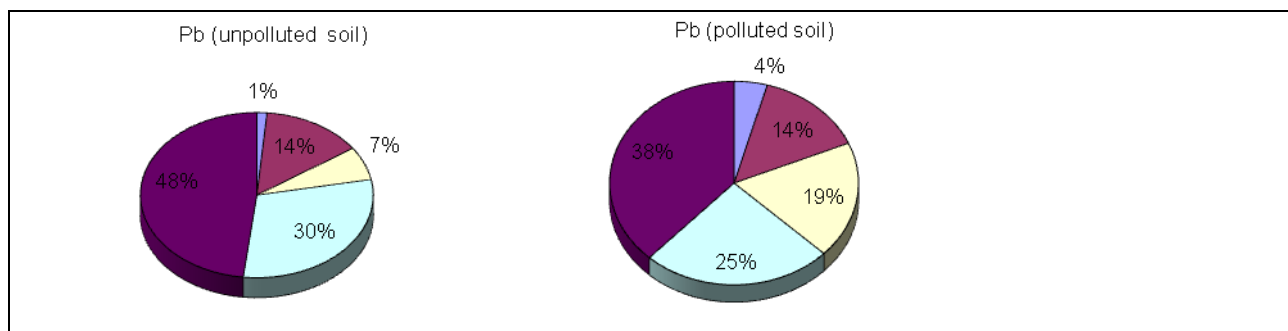


Fig. 2. Fractionation of Cu and Pb in soils around the Power Station

The mobility of metals in soils depended on the buffering properties of the soils (Table 1). The largest differences in buffering properties were revealed for soils strongly differing in texture. The buffering capacity of the soils investigated towards HMs decreases in the following order: calcareous chernozem > meadowy chernozem > alluvial-meadowy soils (Table 1). The highest buffering capacity was observed for the silty-clayey meadowchernozemic soil (plot 3); the lowest buffering capacity was found for the sandy alluvial meadow soil (plot 2). In the meadow-chernozemic soils (plots 3, 6, 8), organic substances actively interacted with HMs (especially Cu and Pb); the highest content of organomineral complex compounds of metals was found in these soils. This was especially true for copper and lead, which are active complexing agents. The combined input of metals had a higher effect than individual input. According to the danger of contamination under similar metal loads, the soils formed the following decreasing series: meadow-chernozemic soils > ordinary chernozems > alluvial meadow soils. In the sandy alluvial soil, the highest content of exchangeable metals was found in comparison to other soils, as well as an insignificant content of their complex compounds. This was related to the low sorption capacity of those soils characterized by a low content of the clay fraction and organic matter and, hence, the surface sorption of ions by soil components as the main mechanism of metal binding. The high mobility of metals in the sandy alluvial meadow soil was responsible for their hazardous migration from the soil into ground and surface waters.

The total contamination index is higher in the monitoring plots which are located closest to the Power Station (Table 1).

4. Conclusion

1. Aerosol emissions from the Novocherkassk Power Station are the major agents of technogenic impact on the soils under study in the Rostov region (Russia); exhaust gases of automobile engines are additional sources of Pb emission. The highest degree of contamination with metals is observed for soils located within a radius of 5 km from the Power Station along the predominant wind direction. The contents of Cu, Zn, and Pb in these soils exceed their MPC levels.

2. In the contaminated soils, the increase in the total metal content (above the MPC) is accompanied by changes in the proportions of metal compounds. In contrast to clean soils, where the metals strongly retained in the structure of silicate minerals are predominant (48–78 % of the total amount), the content of loosely bound metal compounds increases in the contaminated soils. These changes are proportional to the HM load.

3. The group composition of metal compounds varies among the contaminated soils. Copper and lead arriving with technogenic emissions are retained in the mobile forms, predominantly as organomineral complexes, and zinc occurs in exchangeable form and as compounds specifically sorbed by Fe–Mn (hydr)oxides. Organic substances and nonsilicate Fe minerals are the most involved in the strong fixation of Cu and Pb; nonsilicate Fe minerals are also involved in the strong fixation of Zn. The major hazard of contamination of the ecosystem with HMs is related to the increase in metal mobility.

4. The environmental contamination hazard increases with the decreasing metal-buffering capacity of soils. According to the buffering capacity with respect to HMs, the soils in the vicinity of the NPS form the following increasing sequence: silty clayey meadow-chernozemic soil < clay loamy meadow-chernozemic soil < clay loamy ordinary chernozem < sandy alluvial meadow soil.

5. There is dependence between the HM accumulation and location around the Novocherkassk Power Station as well as soil adsorption properties.

Acknowledgments

The work was supported by the Ministry of education and science of Russia (project no. 5.948.2017/PCh), the Russian Foundation for Basic Research (project no. 16-34-00573, 16-35-60055). Analytical work was carried out on the equipment of Centers for collective use of Southern Federal University “Biotechnology, biomedical, and environmental monitoring”.

Литература

Belousova, 2001 – Belousova N.V. (2001). Ecology of Novocherkassk. Problems and Solutions // *SKNTs Vyssh. Shk.*, 387-395.

Bezuglova et al., 2016 – Bezuglova O.S., Gorbov S.N., Tischenko S.A., Aleksikova A.S., Tagiverdiev S.S., Sherstnev A.K., Dubinina M.N. (2016). Accumulation and migration of heavy metals in soils of the Rostov region, south of Russia // *Journal of Soils and Sediments*. 16(4): 1203-1213. doi:10.1007/s11368-015-1165-8

Ecological Bulletin of the Don Region, 2015 – Ecological Bulletin of the Don Region. (2015). The State of the Environment and Natural Resources in Rostov oblast in 2014. Rostov-on-Don.

Endovitskii et al., 2009 – Endovitskii A.P., Kalinichenko V.P., Il'in V.B., Ivanenko A.A. (2009). Coefficients of association and activity of cadmium and lead ions in soil solutions // *Eurasian Soil Sci.*, 42(2): 201-208. doi: 10.1134/S1064229309020112

Il'in et al., 2003 – Il'in V.B., Syso A.I., Baidina N.L., Konarbaeva G.A., Cherevko A.S. (2003). Background concentrations of heavy metals in soils of southern western Siberia // *Eurasian Soil Science*, 36(5): 494-500

Il'in, 2000 – Il'in V.B. (2000). Analysis of the current ecological standards for the heavy metal content in the soil // *Eurasian Soil Science*, 33(2):184-189.

Kalinitchenko, 2016 – Kalinitchenko Valery 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

Kizil'shtein et al., 1990 – Kizil'shtein L.Ya., Gofen G.I., Peretyatko A.G. (1990). Element Impurities in Coals, Combustion Products, Plants, Soils, and Atmosphere in the Area of Fuel-Burning Power Station // *SKNTs Vyssh. Shk.*, 2, 42-52.

Kizilkaya et al., 2012 – Kizilkaya R., Dengiz O., Ozyazici M., Askin T., Mikayilov F., Shein E. (2012). Spatial distribution of heavy metals in soils of the Bafra Plain in Turkey // *Eurasian Soil Sci.*, 44(12):1343-1351

Ladonin, Karpukhin, 2011 – Ladonin D.V., Karpukhin M.M. (2011). Fractional composition of nickel, copper, zinc, and lead compounds in soils polluted by oxides and soluble metal salts // *Eurasian Soil Science*, 44(8): 874-885. doi: 10.1134/S1064229311040053

Mandzhieva et al., 2014 – Mandzhieva S., Minkina T., Motuzova G., Golovatyi S., Miroshnichenko N., Lukashenko N., Fateev A. (2014). Fractional and group composition of zinc and lead compounds as an indicator of the environmental status of soils // *Eurasian Soil Sci.*, 47(5):511–518.

Mandzhieva et al., 2016 – Mandzhieva S.S., Minkina T.M., Chaplugin V.A., Motuzova G.V., Sushkova S.N., Bauer T.V., Nevidomskaya D.G. (2016). Plant contamination by heavy metals in the impact zone of Novocherkassk Power Station in the south of Russia // *Journal of Soils and Sediments*, 16 (4): 1383-1391. doi: 10.1007/s11368-015-1098-2.

Methodological guidelines for the integrated monitoring of soil fertility of agricultural lands, 2003 – Methodological guidelines for the integrated monitoring of soil fertility of agricultural lands (2003). Moscow. 24 p.

Minkina et al., 1998 – Minkina T.M., Kalinitchenko V.P., Nazarenko O.G., Nikityuk N.V., Samokhin A.P. (1998). Peculiarities of heavy metals mobility investigation in calcareous chernozem. Abstracts book of 16th World Congress of Soil Science. Montpellier, France. V.1. p. 120.

Minkina et al., 2008 – Minkina T.M., Motuzova G.V., Nazarenko O.G., Kryshchenko V.S., Mandzhieva S.S. (2008). Forms of heavy metal compounds in soils of the steppe zone // *Eurasian Soil Sci.*, 41 (7), 708–716.

Minkina et al., 2011 – Minkina T., Motusova G., Mandzhieva S., Nazarenko O., Šimunic I. (2011). Transformation of heavy metal compounds during the remediation of contaminated soils // *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 76(1), 19–25.

Minkina et al., 2013 – Minkina T.M., Motuzova G.V., Mandzhieva S.S., Nazarenko O.G., Burachevskaya M.V., Antonenko E.M. (2013). Fractional and group composition of the Mn, Cr, Ni, and Cd compounds in the soils of technogenic landscapes in the impact zone of the Novochoerkassk Power Station // *Eurasian Soil Sci.*, doi: 10.1134/S1064229313040108

Minkina et al., 2015 – Minkina, T.M., Nevidomskaya D.G., Fedorov Yu.A., Mandzhieva S.S., Bauer T.V., Chaplygin V.A., Sherstnev A.K., Zamulina I.V., Kravtsova N.E. (2015). Specific features of the accumulation and distribution of heavy metals in soils of the floodplain and deltaic landscapes of the Don river // *American Journal of Applied Sciences*, 12 (11): 885–895 doi:10.3844/ajassp.2015.885.895

Minkina et al., 2009 – Minkina T.M., Motuzova G.V., Nazarenko O.G., Mandzhieva S.S. (2009). Group Composition of Heavy Metal Compounds in the Soils Contaminated by Emissions from the Novochoerkassk Power Station // *Eurasian Soil Science*, 42(13), 1533–1542.

Moon et al., 2013 – Moon SA, Larin SA, Glushkov AN (2013). The impact of rising coal mining on air pollution and lung cancer in the Kemerovo region // *Modern problems of science and education*, № 1; <http://www.science-education.ru/107-8406> (in Russian).

Motuzova et al., 2014 – Motuzova G.V., Minkina T.M., Karpova E.A., Barsova N.U., Mandzhieva S.S. (2014). Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment // *J. Geochem. Explor.*, 144: 241–246; <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.01.026>.

Nikityuk, 1998 – Nikityuk N.V. (1998). The mobility of heavy metals in chernozem calcareous soils and methods of its evaluation. Extended Abstract of Candidate's Dissertation in Agriculture. KGAU, Krasnodar (in Russian).

Orlović-Leko et al., 2010 – Orlović-Leko P., Kozarac Z., Čosović B., Strmečki S., Plavšić M. (2010). Characterization of atmospheric surfactants in the bulk precipitation by electrochemical tools // *Journal of Atmospheric Chemistry*, 66(1-2), 11–26. doi: 10.1007/s10874-011-9189-y

Public report, 2015 – Public report “About environmental condition in Novochoerkassk in 2014”, Novochoerkassk, 2015 (in Russian).

Samokhin et al., 2005 – Samokhin A., Minkina T., Mandzhieva S. (2005). Impact produced by remediation upon the heavy metal statement in calcareous soil. Proceeding of 8th International conference on the Biogeochem. of Trace Elements. Adelaida, Australia. V.3. pp. 343–344.

Samokhin, 2003 – Samokhin A.P. (2003). The transformation of heavy metals in the soils of the Lower Don Area. Extended Abstract of Candidate's Dissertation in Biology. Rostov-on-Don (in Russian).

Šeda et al., 2017 – Šeda M., Šíma J., Volavka T., Vondruška J. (2017). Contamination of soils with Cu, Na and Hg due to the highway and railway transport // *Eurasian J. Soil Sci.*, 6(1): 59 - 64. DOI: 10.18393/ejss.284266

Sobornikova, Kizilshtein, 1990 – Sobornikova I.G., Kizilshtein L.Y. (1990). Copper, zinc, and lead in soils and woodworm plants in the city of Rostov-on-Don and its suburbs // *Izvestiya Severo-Kavkazskogo Tsentra Vushei Shkoly. Estestvennye Nauki*, 4, 3–8 (in Russian).

Tessier, 1979 – Tessier A., Campbell P.G.C., Bisson M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals // *Anal. Chem.*, 51, 844–851.

Tishchenko, Bezuglova, 2012 – Tishchenko S.A., Bezuglova O.S. (2012). The humus state of the soils of locally hydromorphic landscapes in the lower reaches of the Don river // *Eurasian Soil Science*, 45(2): 132–140. doi: 10.1134/S1064229312020135

Vinogradov, 1957 – Vinogradov A.P. (1957). Geochemistry of Trace Elements in Soils. M.: Izd-vo Akad. Nauk SSSR.

References

Belousova, 2001 – Belousova N.V. (2001). Ecology of Novochoerkassk. Problems and Solutions, *SKNTs Vysh. Shk.*, 387–395.

Bezuglova et al., 2016 – Bezuglova O.S., Gorbov S.N., Tishchenko S.A., Aleksikova A.S., Tagiverdiev S.S., Sherstnev A.K., Dubinina M.N. (2016). Accumulation and migration of heavy

metals in soils of the Rostov region, south of Russia, *Journal of Soils and Sediments*. 16(4): 1203-1213. doi:10.1007/s11368-015-1165-8

[Ecological Bulletin of the Don Region, 2015](#) – Ecological Bulletin of the Don Region. (2015). The State of the Environment and Natural Resources in Rostov oblast in 2014. Rostov-on-Don.

[Endovitskii et al., 2009](#) – Endovitskii A.P., Kalinichenko V.P., Il'in V.B., Ivanenko A.A. (2009). Coefficients of association and activity of cadmium and lead ions in soil solutions, *Eurasian Soil Sci.*, 42(2): 201-208. doi: 10.1134/S1064229309020112

[Il'in et al., 2003](#) – Il'in V.B., Syso A.I., Baidina N.L., Konarbaeva G.A., Cherevko A.S. (2003). Background concentrations of heavy metals in soils of southern western Siberia, *Eurasian Soil Science*, 36(5): 494-500

[Il'in, 2000](#) – Il'in V.B. (2000). Analysis of the current ecological standards for the heavy metal content in the soil, *Eurasian Soil Science*, 33(2):184-189.

[Kalinitchenko, 2016](#) – Kalinitchenko Valery 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

[Kizil'shtein et al., 1990](#) – Kizil'shtein L.Ya., Gofen G.I., Peretyatko A.G. (1990). Element Impurities in Coals, Combustion Products, Plants, Soils, and Atmosphere in the Area of Fuel-Burning Power Station, *SKNTs Vyssh. Shk.*, 2, 42-52.

[Kizilkaya et al., 2012](#) – Kizilkaya R., Dengiz O., Ozyazici M., Askin T., Mikayilov F., Shein E. (2012). Spatial distribution of heavy metals in soils of the Bafra Plain in Turkey, *Eurasian Soil Sci.*, 44(12):1343-1351.

[Ladonin, Karpukhin, 2011](#) – Ladonin D.V., Karpukhin M.M. (2011) Fractional composition of nickel, copper, zinc, and lead compounds in soils polluted by oxides and soluble metal salts, *Eurasian Soil Science*, 44(8): 874-885. doi: 10.1134/S1064229311040053

[Mandzhieva et al., 2014](#) – Mandzhieva S., Minkina T., Motuzova G., Golovatyj S., Miroschnichenko N., Lukashenko N., Fateev A. (2014) Fractional and group composition of zinc and lead compounds as an indicator of the environmental status of soils, *Eurasian Soil Sci.*, 47(5):511–518.

[Mandzhieva et al., 2016](#) – Mandzhieva S.S., Minkina T.M., Chaplygin V.A., Motuzova G.V., Sushkova S.N., Bauer T.V., Nevidomskaya D.G. (2016) Plant contamination by heavy metals in the impact zone of Novocherkassk Power Station in the south of Russia, *Journal of Soils and Sediments*, 16 (4): 1383-1391. doi: 10.1007/s11368-015-1098-2

[Methodological guidelines for the integrated monitoring of soil fertility of agricultural lands, 2003](#) – Methodological guidelines for the integrated monitoring of soil fertility of agricultural lands (2003). Moscow. 24 p.

[Minkina et al., 1998](#) – Minkina T.M., Kalinitchenko V.P., Nazarenko O.G., Nikityuk N.V., Samokhin A.P. (1998) Peculiarities of heavy metals mobility investigation in calcareous chernozem. Abstracts book of 16th World Congress of Soil Science. Montpellier, France. V.1. p. 120.

[Minkina et al., 2008](#) – Minkina T.M., Motuzova G.V., Nazarenko O.G., Kryshchenko V.S., Mandzhieva S.S. (2008). Forms of heavy metal compounds in soils of the steppe zone, *Eurasian Soil Sci.*, 41 (7), 708–716.

[Minkina et al., 2011](#) – Minkina T., Motuzova G., Mandzhieva S., Nazarenko O., Šimunic I. (2011). Transformation of heavy metal compounds during the remediation of contaminated soils, *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 76(1), 19-25.

[Minkina et al., 2013](#) – Minkina T.M., Motuzova G.V., Mandzhieva S.S., Nazarenko O.G., Burachevskaya M.V., Antonenko E.M. (2013). Fractional and group composition of the Mn, Cr, Ni, and Cd compounds in the soils of technogenic landscapes in the impact zone of the Novocherkassk Power Station, *Eurasian Soil Sci.*, doi: 10.1134/S1064229313040108

[Minkina et al., 2015](#) – Minkina, T.M., Nevidomskaya D.G., Fedorov Yu.A., Mandzhieva S.S., Bauer T.V., Chaplygin V.A., Sherstnev A.K., Zamulina I.V., Kravtsova N.E. (2015). Specific features of the accumulation and distribution of heavy metals in soils of the floodplain and deltaic landscapes of the Don river, *American Journal of Applied Sciences*, 12 (11): 885-895 doi:10.3844/ajassp.2015.885.895

Minkina et al., 2009 – Minkina T.M., Motuzova G.V., Nazarenko O.G., Mandzhieva S.S. (2009). Group Composition of Heavy Metal Compounds in the Soils Contaminated by Emissions from the Novochoerkassk Power Station, *Eurasian Soil Science*, 42(13), 1533–1542.

Moon et al., 2013 – Moon SA, Larin SA, Glushkov AN (2013). The impact of rising coal mining on air pollution and lung cancer in the Kemerovo region, *Modern problems of science and education*, № 1; <http://www.science-education.ru/107-8406> (in Russian).

Motuzova et al., 2014 – Motuzova G.V., Minkina T.M., Karpova E.A., Barsova N.U., Mandzhieva S.S. (2014). Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment, *J. Geochem. Explor.*, 144: 241–246; <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.01.026>.

Nikityuk, 1998 – Nikityuk N.V. (1998). The mobility of heavy metals in chernozem calcareous soils and methods of its evaluation. Extended Abstract of Candidate's Dissertation in Agriculture. KGAU, Krasnodar (in Russian).

Orlović-Leko et al., 2010 – Orlović-Leko P., Kozarac Z., Čosović B., Strmečki S., Plavšić M. (2010). Characterization of atmospheric surfactants in the bulk precipitation by electrochemical tools, *Journal of Atmospheric Chemistry*, 66(1-2), 11-26; doi: 10.1007/s10874-011-9189-y

Public report, 2015 – Public report “About environmental condition in Novochoerkassk in 2014”, Novochoerkassk, 2015 (in Russian).

Samokhin et al., 2005 – Samokhin A., Minkina T., Mandzhieva S. (2005). Impact produced by remediation upon the heavy metal statement in calcareous soil. Proceeding of 8th International conference on the Biogeochem. of Trace Elements. Adelaida, Australia. V.3. pp. 343–344.

Samokhin, 2003 – Samokhin A.P. (2003). The transformation of heavy metals in the soils of the Lower Don Area. Extended Abstract of Candidate's Dissertation in Biology. Rostov-on-Don (in Russian).

Šeda et al., 2017 – Šeda M., Šíma J., Volavka T., Vondruška J. (2017). Contamination of soils with Cu, Na and Hg due to the highway and railway transport, *Eurasian J. Soil Sci.*, 6(1): 59-64. doi:10.18393/ejss.284266

Sobornikova, Kizilshtein, 1990 – Sobornikova I.G., Kizilshtein L.Y. (1990). Copper, zinc, and lead in soils and woodworm plants in the city of Rostov-on-Don and its suburbs, *Izvestiya Severo-Kavkazskogo Tsentra Vushei Shkoly. Estestvennye Nauki*, 4, 3–8 (in Russian).

Tessier, 1979 – Tessier A., Campbell P.G.C., Bisson M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals, *Anal. Chem.*, 51, 844–851.

Tishchenko, Bezuglova, 2012 – Tishchenko S.A., Bezuglova O.S. (2012). The humus state of the soils of locally hydromorphic landscapes in the lower reaches of the Don river, *Eurasian Soil Science*, 45(2): 132-140. doi: 10.1134/S1064229312020135

Vinogradov, 1957 – Vinogradov A.P. (1957). Geochemistry of Trace Elements in Soils. M.: Izd-vo Akad. Nauk SSSR.

УДК 631.422

Влияние природных и техногенных факторов на подвижность и трансформацию соединений металлов в почве

Саглар Сергеевна Манджиева ^a, Татьяна Михайловна Минкина ^a, Марина Викторовна Бурачевская ^a, Виктор Анатольевич Чаплыгин ^a, Виктория Сергеевна Цицуашвили ^{a,*}, Вишну Даял Раджпут ^a, Карен А. Казарян ^b, Пальма Орлович-Леко ^c, Иван Симунич ^c

^a Южный федеральный университет, Российская Федерация

^b Ереванский государственный университет, Армения

^c Загребский университет, Хорватия

* Корреспондирующий автор

Адрес электронной почты: viktoria447@yandex.ru (В.С. Цицуашвили)

Аннотация. Влияние природных и техногенных факторов на подвижность и трансформацию соединений металлов изучена на основании анализа фракционно-группового состава соединений Cu, Zn, Pb в почвах территорий, прилегающих к Новочеркасской электростанции. Новочеркасская электростанция одна из крупнейших на юге России. Почвы отобраны на участках залежи или целины на разном расстоянии от ГРЭС. Исследуемыми почвами были чернозем обыкновенный, аллювиально-луговая почва и лугово-черноземная. Общее содержание металлов определено методом рентгенфлюоресцентной спектроскопии. Были определены мобильные формы металлов, включающие обменные, комплексные и специфически сорбированные соединения. Для определения соединений металлов в почве был использован метод фракционирования по Tessier (1979). Оценены изменения в составе соединений Cu, Zn, Pb в почвах техногенных ландшафтов. Выявлено влияние аэрозольных техногенных выбросов на подвижность соединений металлов; более высокая подвижность металлов была обнаружена в почвах с низкой буферной способностью. Определены общие и специфические особенности формирования соединений Cu, Zn, Pb в почвах. Установлена роль отдельных почвенных компонентов в сохранении металлов в естественных и загрязненных почвах.

Ключевые слова: доступность, фракции, тяжелые металлы, электростанции.