

Copyright © 2016 by Academic Publishing House *Researcher*



Published in the Russian Federation
International Journal of Environmental Problems
Has been issued since 2015.

ISSN: 2410-9339

E-ISSN: 2413-7561

Vol. 3, Is. 1, pp. 58-85, 2016

DOI: 10.13187/ijep.2016.3.58

www.ejournal33.com



UDC 631.1:631.459 (470.61): 633.11:551.588: 631.4:574:55:91:33:62

Technologies and Technical Means for Matter Recycling into the Soil (Review)

Valery P. Kalinitchenko

Institute of Soil Fertility of South Russian Federation, Russian Federation
346493 Persianovka, Rostov Region
Dr of Sc (Biol), Professor, Director
E-mail: kalinitch@mail.ru

Abstract

The conflict of biosphere and technology requires changed development paradigm, promotes the nature-similar technologies. The soils of agricultural lands are compacted, alkaline, acid, lose humus and nutrients. Geochemical cycle of matter in the soil is open, the material is leached and resides predominantly in deposits that due to the limited resources of the Earth leads to the extinction of the biosphere. The eluvial-illuvial soil evolution vector is unfavorable.

The by-products, as well as ores and rocks, are used to improve the soil. These are substances containing calcium and sulfate-containing, the last loosens the soil mineral phase. The volume of waste utilization in the soil is small.

The analysis is fulfilled of modern technologies and equipment focusing on by-products recycling in the soil. It is concluded that hardware is obsolete and outdated.

Biogeosystem Technique is proposed – the transcendental technical solutions and technology for management of biogeochemical cycles of matter in gaseous, liquid or solid phase for the environmentally sound recycling of matter in soils, consistent solutions of industrial and environmental problems of the Noosphere in a combined technological cycle:

- ✓ milling treatment of soil in a layer of 20-50 (30-60) cm introducing the substances in the soil allows to synthesize priority dispersion for biological processes;

- ✓ synthesis of substances directly in the soil;

- ✓ management of material composition of the soil solution;

- ✓ pulse intra continual-discrete paradigm irrigation and fertigation preserves the soil structure, eliminates the leaching of nutrients and humus, reduces water consumption by plants, enhances the geochemical barriers for contaminates spread, increases plant productivity.

Biogeosystem Technique increases the production of ecologically clean food and raw materials, enhances the attractiveness of environment to live in, creates prestigious jobs, strengthen influence of the Russian Federation as an exporter of high-tech products and innovative nature-similar technologies.

Keywords: biosphere, soil, by-products, recycling, biogeosystem technique, ecologically clean food and raw materials.

1. Введение

Почвы земель сельскохозяйственного назначения подвергаются уплотнению, осолонцеванию, слитизации, происходит обеднение гумусом и питательными веществами, поэтому внесение все больших доз минеральных удобрений не даёт ожидаемого эффекта [1]. Имеет место конфликт биосферы и технологии, в мире назрел вопрос о смене парадигмы развития, предложено развивать природоподобные технологии [2-4]. В почвах до 99 % тупиковых пор, что не позволяет корням растений и биоте полноценно развиваться [5]. Биологический процесс глубже пахотного слоя прекращается, складывается элювиально-иллювиальный вектор эволюции почвы и его отрицательные эффекты в почвах [6], ландшафтах, природно-территориальных комплексах которые приводят к деградации [7, 8], все больше усложняется проблема почвенного конструирования. Геохимический цикл вещества в почвах разомкнут, оно выщелачивается и преимущественно пребывает в депозитах. Это при ограниченности ресурсов Земли ведет к угасанию биосферы.

Неуправляемая природно-антропогенная эволюция почв – опасный процесс. Уже в 1994 году солонцы и другие деградированные почвы в РФ занимали несколько десятков миллионов гектаров [9], в 2007 году – 20,1 % площади земельных угодий [10]. Темп деградация почв таков, что солонцовые земли в официальных документах уже не выделяют.

Недальновидный подход к состоянию и использованию земельного фонда обуславливает отсутствие стратегического видения развития [11-13].

Стоит задача преодолевать проблемы защиты окружающей среды, создавать экологический каркас агроландшафта, утилизировать в почве минеральное и органическое вещество [14, 15], исключить эоловое распространение загрязнений [16-18].

XXI век требует принципиального переосмысления подходов к технологической активности в биосфере в фокусе ее устойчивости, продуктивности, рекреационного качества, привлекательности для жизни, синтеза природоподобных технологий и, соответственно, не имеющих аналогов технических решений для их реализации [3].

2. Обсуждение и результаты

Мелиорация почв

Многообразие почв мира используют с целью получить больше продовольствия и сырья. Агротехника – система мер создания стартовых условий развития агроценоза и ухода за ним, в частности, дополнительное питание растений – удобрение. Ввиду того, что почва – динамичная система, достаточно быстро эволюционирующая при смене условий развития, климатических флуктуациях, антропогенном воздействии, применяют меры коррекции ее свойств – мелиорацию.

Для выполнения этой цели применяют агротехническую, комплексную мелиорацию, фитомелиорацию, фитоэкстракцию, ризофилтрацию, ризостабилизацию. Сложнейший вид мелиорации – ирригация.

Важным предметом мелиорации является преодоление слитизации и осолонцевания почвы. Эти явления не всегда напрямую связаны с наличием поглощенного натрия [19]. Порог содержания натрия в почвенном поглощающем комплексе, при котором проявляются признаки солонцового педогенеза, предлагают полагать равным 3 %.

Причина неудовлетворительных агрофизических свойств почвы – минералогическая композиция тонкодисперсной фазы, трансформация лабильных минералов в супердисперсную форму [20].

Супердисперсное состояние тонкодисперсной фазы почвы способствует изменению минералов [21].

Сульфаты, карбонаты, легкорастворимые соли затрудняют переход лабильных минералов в супердисперсную форму. Возможности направленного синтеза минералов теоретически и практически показаны в сфере неорганических вяжущих веществ. Одним из драйверов процесса является сульфатная коррозия минералов как результат образования гипса при обменной реакции сульфата с гидроксидом кальция.

Для химической мелиорации почв широко используют самые разнообразные вещества – гипс, глауконит, цеолит, фосфогипс (ФГ), железный купорос, пирит, пиритный огарок, продукты серной кислоты, электролит травления стали, продукты улавливания отходящих газов ТЭС и другие побочные продукты производства, а также руды и горные породы [22].

Это вещества, как содержащие кальций, так и имеющие преимущественно сульфатную основу. Для карбонатных почв в качестве мелиоранта подходит вещество, содержащее сульфат, который, воздействует на минеральную часть почвы и разрыхляет ее, взаимодействует с кальцием карбонатов почвы, обеспечивая замену в ППК натрия на кальций [23].

Утилизация побочных химических продуктов недопустимо мала, по ФГ в мире она составляет 15 % Остальное – свалка – суша, прибрежные территории, Мировой океан (в Европе запрещено с 1998 г.) [24].

Реактивность химических побочных продуктов обусловлена тем, что они не пассивированы в геологических депозитах, как природные материалы [25-27].

Действие мелиоранта усиливают добавлением различных минеральных и органических веществ. Применяют: навоз, кизельгур, осадок сточных вод, барда, фекал, опилки, отходы пищевой промышленности, биочар, другие содержащие органическое вещество субстанции, смешивают их с ФГ в соотношении от 1:1 до 20:1. ФГ обеспечивает химическую фиксацию азота, что повышает качество компоста, предотвращает потерю аммиака, ослабляя минерализацию навоза и органического вещества почвы. ФГ в количестве 10 % сухой массы свиного навоза с добавлением 0,2 % дициандиамида (DCD, $C_2H_4N_4$) уменьшает эмиссию NH_3 , CH_4 , NO_2 . Смешение минеральных и органических веществ желательно выполнять непосредственно в почве [28].

Успех мелиорации определяется тем, каково будет новое сочетание факторов эволюции почвы и ландшафта [29, 30].

Мелиорация почв в дождевой агрокультуре

В автоморфных условиях дождевой агрокультуры рост корней растения замедляется при твердости почвы $>1,2$ МПа. Установлено, что твердость больше при редуцированной системе обработки почвы: 0-15 см -0,5 МПа; 30 см -4,5 МПа; 50 см -2,5 МПа; по сравнению со стандартной системой обработки: 0-25 см -0,5 МПа; 30 см -3,5 МПа; 50 см -2,5 МПа. Производство фуража на 33,6 % больше при стандартной обработке почвы по сравнению с редуцированной. Но в России продолжают использовать no-till [26].

В Ростовской области свойства солонцов в комплексе с каштановыми почвами улучшали посредством внутрипочвенной фрезерной обработки слоя 20-45 см, крошили и перемешивали иллювиальный и подсолонцовый горизонты почвы. Через 30 лет после почвенно-мелиоративной фрезерной обработки плугом ПМС-70 количество гумуса в слое 20-40 см достигает 3,3 %, в слое 20-40 см – 2,4 %, количество поглощенного Na^+ в слое 20-30 см составляет 10,6 % от емкости катионного обмена почвы и 19,8 % для необработанной почвы, как и до проведения мелиорации. Пространственная изменчивость структуры почвенного покрова меньше исходной. Прибавка урожайности сельскохозяйственных культур составляет 25-60 % и более от уровня стандартной технологии земледелия в течение всего периода наблюдений 1972-2012 гг. [31].

Изучили влияние длительного действия различных способов мелиорации почвы на агрофизические, физико-химические и агрохимические свойства комплекса темно-каштановой солонцеватой почвы с солонцами глубокими при отвальной обработке почвы ПЛН-5-35 на глубину 20-22 см (St), трехъярусной обработке почвы орудием ПТН-40 на глубину 45 см, отвальной обработке почвы + ФГ 11 т/га, трехъярусной обработке почвы орудием ПТН-40 на глубину 45 см + ФГ 11 т/га. Прибавка урожайности сельскохозяйственных культур за счет внесения ФГ 15-25 % в течение 30 лет после обработки [32].

На черноземе обыкновенном карбонатном южно-европейской фации северной зоны Краснодарского края изучен рециклинг ФГ в почве в дозе 10-40 т/га с внесением под ротационную агро-мелиоративную обработку слоя почвы 30-60 см. Урожайность подсолнечника составила 5,73 т/га, кукурузы на зерно – 12,44 т/га. Выше, чем в контрольном варианте соответственно, 4,65; 10,72 т/га, HSP_{05} , соответственно, 0,47; 0,98 т/га) [33].

На примере почвы имеющей $pH = 8.1$ изучили ФГ в теплице в дозах 0 (контроль), 15, 30, 45, 60 г/кг сухой почвы. Колонизация корневой системы пшеницы (*Triticum turgidum* var. *durum* cv. Petra) эндомикоризными грибом *Glomus mosseae* была наибольшей

при дозе ФГ 15 г/кг. Потребление P, Cu, Fe растениями были наибольшими при дозе ФГ 30 г/кг. Уменьшается потребность в фосфорном удобрении [34].

Ощелачивание почв степного Крыма в слое 50-100 см при длительном орошении из Северо-Крымского канала угнетает плодовые культуры. Для нейтрализации щелочности темно-каштановой слабосолонцеватой почвы на желто-бурых лессовидных глинах, содержащей гидрокарбонатов натрия и магния в слое 60-100 см, соду – на глубине 80 см, применяли гипс, ФГ, железный купорос, минеральные кислоты и др.

Доза мелиоранта для полной нейтрализации гидрокарбонатов натрия и магния и соды в слоя почвы 0-120 см составляла 4 т/га. Мелиоранты вносили на поверхность почвы, и на глубину 50 см.

При внесении на поверхность действие мелиорантов на солевой состав почвы продолжалось в течение четырех лет после внесения, затем затухало, выполняли повторную (периодическую) мелиорацию почвы.

Через 23 года после внесения мелиорантов (2012 г.) установлено, что по сравнению с контролем их внесение вглубь обеспечило выщелачивание легкорастворимых солей ниже критического для плодовых культур уровня за счет лучшей водопроницаемости почвы, особенно при использовании ФГ. Внесение железного купороса на глубину оказывало длительное действие на вынос ионов Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , но привело к накоплению сульфатов магния, особенно в нижней части профиля [35].

Значимыми для мелиорации почв, в том числе, содовых солонцов, являются отработанная серная кислота, электролит травления стали. Солонцеватость исходной почвы 36,0 % обменного Na в слое 0-40 см. Высокая щелочность почв, связанная с наличием в слое 0-40 см HCO_3^- (0,80-0,72 мг-экв/100 г) и CO_3^{2-} (1,0-2,0 мг-экв/100 г) при дозе электролита травления стали 25 т/га была устранена на второй год, и не реставрировалась через 9 лет.

Действия отхода серной кислоты после переработки нефти на Чеченском НПЗ изучено на почвах содового засоления ЧИ АССР. Исследования были проведены на опытных участках Шелковского и Брагунского массивов. Прибавка урожайности на темно-каштановых почвах 25 % [36].

Мелиорация почв в дождевой культуре в условиях повышенного атмосферного увлажнения

В условиях высокого атмосферного увлажнения почвы для преодоления слитизации, повышенной плотности внутренних горизонтов применяют объемное рыхление на глубину 0,5-1,2 м. с одновременным внутрипочвенным внесением пылевидных и жидких химических мелиорантов [37].

В Австралии в штате Южная Виктория в условиях повышенного дождевого увлажнения ярко выражено элювиально-иллювиальное устройство слитой почвы содового засоления. Реализуют проект подпочвенного удобрения. Применяют пассивный глубокорыхлитель, снабженный емкостью в виде воронки с дозатором материала, который высыпается за глубокорыхлителем внутрь щели, щель засыпают дисками, установленными за рыхлителем под углом к направлению движения устройства. При размещении в почве органического удобрения дозой 20 т/га на глубине 40 см урожайность пшеницы увеличилась в 1,7 раза. Эффект от аналогичного внесения известняка и гипса в дозе 1-5 т/га был меньше. Усилилась пролиферация корневой системы в угрожающей зоне, улучшилась структура почвы увеличилась микропористость, влагопроводность, больше воды извлечено растением из подпахотного горизонта [38].

В Австралии рекомендуют биочар, его вносят в борозды в дозе 5-50 т/га [39].

Во влажном климате промывной водный режим и выщелачивание ведут к усиленному варьированию свойств почв и щелочности, что влияет на урожайность возделываемых культур. Изучена долгосрочная мелиоративная эффективность гипса в дозах 10 и 35 т/га на ферраллитных почвах. Через 16 лет после внесения эффект отчетливо заметен: содержание SO_4 и обменного Ca по почвенному профилю больше чем в контроле; содержание обменного Al уменьшилось до глубины 80 см; но pH вниз по профилю почвы изменился не сильно; повышена урожайность кукурузы (*Zea mays* L.) на 29-50, люцерны (*Medicago sativa* L.) на 50 %. Гипсование экономически эффективно, поскольку затраты амортизируются на длительный период [40].

В Бразилии (Guararuava, Parana) изучали внесение ФГ на поверхность почвы в дозах 0.0, (контроль) 1,5; 3.0; 4.5; 6.0 т/га. Уменьшилось содержание Al^{3+} и Mg^{2+} в слое 0.0-0.1 м, увеличился рН в слое 0.2-0.6 м, увеличилось содержание Ca^{2+} в слое 0-0,6 м и $S-SO_4^{2-}$ до глубины 0,8 м. Содержание Ca и S в листьях увеличилось, Mg уменьшилось. Прибавка урожайности ячменя линейная (4,45 т/га при PG 0; 4,8 т/га при PG 3 и 6 т/га), кукурузы квадратичная (9,8 т/га при PG 0; 10,8 т/га при PG 3 т/га) [41].

Мелиорация почв в дождевой культуре в гидроморфных условиях

В дождевой агрокультуре юга Западной Сибири солонцы занимают 10 млн га [42]. На результат применения агротехнической, химической и комплексной мелиорации влияет неблагоприятное протекание мелиорации почвы в гидроморфном ландшафте.

Сообщают о засолении малонатриевых солонцов после химической мелиорации. Уровень грунтовых вод 1,5-2,4 м, при подъеме – 0,5 м, минерализация 1,5-1,8 г/л. В почве и воде содержится сода, рН почвы до 11. Констатируют реставрацию натрия в поглощающем комплексе почвы, потребность в повторной мелиорации [43].

Поскольку ФГ вносили с поверхности (нет технического решения для иного варианта внесения), в слое 0-20 количество поглощенного натрия уменьшилось с 14,8 в контрольном варианте до 4,3 мг-экв/100 г в варианте с внесением 32 т/га, но в слое 20-40 см практически не изменилось, соответственно, 18,2; 17,8 мг-экв/100 г. [44].

Мелиорация почв в ирригационной агрокультуре

Требования СНиП 2.08.0385 «Мелиоративные системы и сооружения» от 1986 года определяли, что оросительная система должна включать комплекс технических решений, обеспечивающих возможность внесения в почву удобрений, химмелиорантов и гербицидов с оросительной водой, глубокое рыхление и внесение мелиорантов для оструктурирования почв [45].

Ирригация в конфигурации технических решений ее современной парадигмы приводит к трансформации минералогического состава почвы в результате переувлажнения [46], значительным длительным неблагоприятным изменениям орошаемых земель.

Полиакриламид позволяет сохранить структуру почвы и улучшить динамику уплотнения после полива [47].

Применяют превентивное внесение мелиоранта в оросительную воду [48], ежегодное внесение мелиоранта в дозах, эквивалентных содержанию натрия в оросительной воде [4]. Избыток магния удаляли из почвы внесением от 3,3 до 8 т/га ФГ [49].

В длительном стационарном полевом эксперименте с 1989-1990 по 1998-1999 изучена ирригация водой содового (residual sodium carbonate index – RSC, 10 me l^{-1}) и смешанного содового состава (RSC, 10 me l^{-1} ; electrical conductivity – EC, 3 dS m^{-1}) мелиорированной хорошо дренированной песчаной глинистой Typic Ustochrept почвы. Контроль – полив качественной водой. Применение гипса дало прибавку урожайности сахарного тростника при использовании воды содового засоления на 30 %, при использовании воды смешанного содового засоления – на 13 %. Свиной навоз (12,3 т/га) соответственно на 23 и 38 %. Совместный эффект получен при использовании воды содового засоления и свиного навоза 12,3 т/га. Долговременно устойчивую урожайность сахара и высокое качество сока обеспечивает внесение свиного навоза дозой 20 т/га в год и гипса при каждом поливе из расчета нейтрализации RSC, 7.5 me l^{-1} при поливе водой содового засоления, а также свиного навоза 20 т/га в год при использовании воды смешанного содового засоления [50].

В Казахстане получена урожайность хлопка: контроль 1,3 т/га; ФГ (3,3 т/га, январь) 1,8-2,2 т/га; ФГ (8.0 т/га, январь) 2,1 т/га; ФГ (3,3 т/га, апрель) 1,7-2,1 т/га; ФГ (8,0 т/га, апрель) 1,6-1,9 т/га. В Сирии прибавка урожайности ячменя от дозы внесения ФГ 20 и 40 т/га составила, соответственно, +40; +49 % [25].

Комплексная мелиорация рекомендована на орошаемых солонцовых и засоленных почвах Нижнего Поволжья [51].

Вносили расчетную на вытеснение поглощенного натрия дозу ФГ 10-12 т/га. На шестой год действия мелиорации щелочность почвы возросла до 1,1 мг-экв/100 г почвы; количество поглощенного натрия до 3 моль-экв/100 г почвы. Авторы связывают ухудшение свойств

почвы на шестой год действия мелиорации с «усилением водной нагрузки» [52]. Данные свидетельствуют о недостаточной устойчивости ирригационной системы.

Изучено влияние комплексной мелиорации солонцов черноземных в комплексе с южными черноземами на фоне мелиоративной трехъярусной обработкой плугом ПТН-3-40 и мелиоративной обработки плужно-фрезерным орудием ПТН-2-40Ф при различных сочетаниях доз фосфоипса и навоза. Самый эффективный по мелиорирующему воздействию на почву вариант эксперимента: ПТН-2-40Ф, ФГ 10-20, навоз 20-40 т/га. К четвертому году действия солонцеватость почвы в слое 0–40 см снизилась на 65-70 %, составив 8-9 % обменного натрия от суммы обменных катионов, приблизилась к значению для зональной почвы 6-7 %. Снижился рН почвы, возросла содоустойчивость. Вынос токсичных солей из мелиорированного слоя составил 53-62 %, выше на 15-35 % по сравнению с вариантом трехъярусной обработки [54].

На темно-каштановой почве среднесуглинистой слабосолонцеватой, гумус в слое 0-0,3 м 2,35 %, нитратный азот – 5, подвижный фосфор – 72, обменный калий – 293 мг/кг при капельном поливе кальцинированной поливной водой (маточный раствор ФГ 1,5 г/л) и внесении ФГ в дозе 1,9; 3 т/га получена прибавка урожайности лука репчатого 5,2 т/га (14,8 %) по сравнению с вариантом орошения без мелиоранта [55].

В качестве новаций предлагают гидроциклическую ирригацию, технологии малообъемного орошения [56, 57], но это комбинации устаревших технических решений.

Мелиорация почв в культуре риса

Исследовали влияние ФГ на свойства темно-каштановой почвы в комплексе с солонцами в культуре риса. Внесение ФГ дозой 10, 40 т/га разбросом машиной РУМ-8, отвальная обработка на глубину 20-22 см осенью. Способ полива затоплением. Оросительная норма 22-25 тыс. м³/год. Урожайность риса в контрольном варианте 5,14 т/га, при внесении ФГ 10 и 40 т/га прибавка урожайности соответственно 17,3 и 29,2 % [58].

Трансформацию сульфатов в почве, минералах обуславливают восстановители – сульфатредуцирующие бактерии и окислители – серобактерии (накапливают серу внутри клетки) и тиобактерии (серу депонируют как промежуточный продукт метаболизма вне клеток).

Сочетание указанных процессов может привести к утрате серы, образованию соды, формированию содовых вод, деградации биологического процесса и почвы, особенно при переувлажнении [35, 59].

В США предпринимали попытки использовать инокуляцию почвы тиобактериями для перевода элементарной серы в доступную растениям форму. Однако процесс окисления серы до серной кислоты шел очень медленно [60]. Это постольку, поскольку нужно создать в почве дисперсную систему, а уже в ней синтезировать условия для протекания реакций и последующего развития корней растений и тиобактерий.

Особые варианты химической мелиорации почв

Топочная зола (рН около 12; 52 % CaSO₄; 33 % CaO; 0,6 % CaSO₃; 0,8 % MgO; 0,3 % NaCl; 0,02 % P₂O₅; 4,5 % R₂O₃ (в основном Fe and Al оксиды), 7 % SiO₂ во влажном состоянии обеспечивает сорбцию SO₂ и пепла, одновременно продукт подсыхает, его рН уменьшается, можно использовать в почву содового засоления, нейтральную и кислую почву [30].

На примере почвенного профиля Ultisol показано, что щелочной шлак эффективнее ФГ для преодоления подпочвенной щелочности [61].

Использование гипса десульфуризации топочных газов изучено в США, штат Миссисипи, на почве, имеющей кислый подпахотный слой: контроль, ФГ 11 т/га. Урожайность семян хлопка 1,86; 2,24 т/га. Урожайность хлопка-сырца 686,0; 885,6 т/га [62].

Показано, что ФГ способен снизить кислотность почв [30], обедненных подвижной кремниевой кислотой. В Нечерноземной зоне и на оподзоленных и выщелоченных черноземах предлагают совместное применение фосфоритной муки и ФГ для перевода фосфора в доступную растениям форму. На дерново-подзолистых почвах и черноземах можно применять смесь ФГ с известковым материалом, например, мел ОАО Минудобрения, Россошь – побочный продукт производства фосфорных удобрений по азотнокислой технологии, в соотношении от 1:1,5 до 1:4 [4].

Изучали применение осадочных горных пород в качестве удобрения подсолнечника. Урожайность была наименьшей в контроле 35,8 ц/га. После внесения горных пород прибавка урожайности составила: лессовидный суглинок 40 т/га – 16,5 %; известняк-ракушечник 6 т/га, 12 т/га – 27,7, 35,2 %; апатит 1,5 и 3 т/га – 25,7; 32,7 %; ФГ 12 т/га – 5,8 ц/га, 16,2 %, наибольший эффект получен при совместном внесении горных пород: известняк-ракушечник 12 т/га + апатит 3 т/га + ФГ 12 т/га – 13,5 ц/га, 37,7 %. [63].

Вынос серы из почвы с урожаем сельскохозяйственных культур 20-50 кг/га в год, выщелачивание из корнеобитаемого слоя – 20-40 кг/га. Обеспеченность почв РФ серой низкая на 54,7 % земель, средняя – на 34,6 % земель. Дефицит серы выявлен у 89,3 % почв [64].

Изучили продукт десульфуризации газа как источник серы для кукурузы [65], как серно-кальциевое удобрение: контроль; ФГ 1,23 т/га, урожайность арахиса 3,68; 4,42 т/га. Содержание Са в плодах 0,021; 0,034 % [66].

Мелиоранты влияют на работоспособность стандартных тестов содержания фосфора в почве [67].

Охрана окружающей среды природно-территориальных комплексов при утилизации побочных химических продуктов

Понимание охраны окружающей среды в настоящее время во многом искажено. Будучи доведенным до абсурда, как с ложной проблемой секвестра углерода, ограничения ведут к исключению вещества из геохимического цикла, хотя Жизнь – продукт геохимических циклов, в том числе, извлеченного из недр Земли вещества. Для высокой нормы синтеза свежего живого вещества надо конструировать почвы с развитой дисперсной системой. Утилизация отходов создает дополнительные сырьевые ресурсы, причем сохраняя биосферу от загрязнения [68].

Вопрос нормирования загрязнений – многоцелевая задача:

- ✓ сохранить жизнь в почве;
- ✓ обеспечить ответственное использование биомассы;
- ✓ защитить здоровье и окружающую среду;
- ✓ определить риски, связанные с использованием биомассы, и обеспечить лучшие практики минимизации риска;
- ✓ создать в обществе настроение обеспокоенности по поводу преимуществ и рисков применения биомассы;
- ✓ минимизировать риски для экономики [69, 70].

Нормирование загрязнения

Самые жесткие в мире директивные нормативы были в СССР, в настоящее время в РФ используют те же Предельно допустимые концентрации (ПДК) [71], но приходится применять Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) по некоторым химическими элементам [72].

Имеет место драматическое расхождение директивных лимитов загрязнения, например, принятых в Великобритании и EC Contaminated Land Exposure Assessment (CLEA) [73].

В Великобритании нормирование загрязнения почв (Soil Guideline Values – SGV), ориентировано не на соблюдение какой-то конкретной величины нормируемого показателя, а на ранжированную квалифицированную экспертизу ситуации в экосистеме или природно-территориальном комплексе [74]. Это позволяет избежать устаревшей практики избыточно осторожного нормирования, когда норматив часто оказывался ниже, чем кларк, выработать взвешенный дальновидный подход к обеспечению охраны окружающей среды.

В департамент сельского хозяйства США доводит по землепользователей лимиты общего, годового и кумулятивного накопления загрязнений [18], это стимулирует использование ТМ в качестве микроудобрений, чтобы сохранялся геохимический цикл вещества, применяют растения – фитомелиоранты [75].

Содержание As в седиментах от 5 до 3000 мг/кг, причем это не влияет на содержание As в воде – работают геохимические барьеры. В странах мира директивный лимит содержания As в почве составляет от 0.039 до 150 мг/кг, потому Christopher M. Teaf с

соавторами [76] полагает, что «продолжать ориентироваться на мешанину предписаний, которые частью как-то обоснованы с точки зрения охраны здоровья, но неприемлемы для большинства реальных почв, частью базируются на кларке, но без подтверждения потенциальной токсичности бессмысленны с точки зрения научной оценки риска и токсичности».

Аналогично дело обстоит с нормативами других ТМ.

По мнению US EPA, стандарт загрязнения имеет экономическое содержание. Именно на основании анализа экономических следствий выбран стандарт Pb 400 мг/кг для почвы обитаемого объекта и 1200 мг/кг для удаленного объекта [75], в Новой Зеландии лимит Pb 300 мг/кг [70], в РФ санитарная норма допустимой концентраций свинца в почве 32,0 мг/кг [78].

При одинаковом уровне загрязнения поступление свинца в растение эоловым путем в несколько десятков раз интенсивнее, чем из почвы [79]. Это характерно для всех загрязнений.

Для человека опасно долговременное содержание фтора во вдыхаемом воздухе 100-500 мкг/м³. Лимит фтора в питьевой воде 4 мг/л. Из продовольствия наивысшее содержание фтора в консервированной рыбе от 0,9 до 8,0 мг/кг. Пища, приготовленная на фторированной воде, содержит фтора 0,6-1 мг/кг, на обычной – 0,2-0,3 мг/кг [80].

Кларк фтора 0,027. HF попадает в почву с атмосферными осадками [81]. В среднезернистых и идиоморфных апатитах Кольского полуострова содержание F 1,2-1,3 % [82], по другим данным Kovdor 1,0; Cola 3,3; Sokli 1,8 % [83].

Поступление фтора в почву с фосфорными удобрениями в несколько раз больше, чем из атмосферы [84].

Актуально исследование апатита Ca₅(PO₄F) в качестве сырья не только для получения фосфорных удобрений способами сернокислотного разложения фосфатов и электротермической возгонки фосфора, но и для получения фторидных соединений [81].

Это, вместе с извлечением из апатита и ФГ редкоземельных металлов (Rare Earth Elements – REE) – кардинальное решение проблемы избыточного содержания фтора и ТМ в почвах.

Фтор активно связывается с органическим и минеральным веществом в нерастворимые комплексные соединения.

Безопасная для организма концентрация F в лишайнике *Lichenes* в среднем 150-250 мг/кг, *Dichapetalum*, *Thea*, *Camellia*, *Oxylobium*, *Acacia* and *Palicourea* – до 4000 мг/кг, некроз у *Gladiolus sp.* наступал при 20 мг/кг [85].

В РФ санитарная норма допустимой концентрации транслокационного фтора в почве 10,0 мг/кг [78]. Согласно гигиеническим нормативам, ПДК фтора 2,8 мг/кг (подвижная форма), 10,0 мг/кг водно-растворимая форма (N CAS 16984-48-8) [72].

Опасен не просто фтор, а вдыхаемый фтор, поскольку, как большинство загрязнений, попадает в организм животного и растения преимущественно эоловым путем.

Содержание F в угле от 4 до 30 г/кг, это опасно при сжигании ввиду эолового загрязнения окружающей среды.

В большинстве почв фториды связаны с глинистыми минералами, количество фторидов варьирует преимущественно от следов <10 до 3700 мг/кг, в среднем 430 мг/кг, максимум до 7,07 %.

У фосфорных предприятий в верхнем 1-2 см слое почвы до 1840 мг/кг фторидов.

Для организмов в решающей степени губителен не почвенный, а эоловый путь поступления загрязнения. В 1973 году лес бальзамической пихты в зоне влияния предприятия, производящего фосфорные удобрения в Ньюфаундленде, Канада, был уничтожен в результате промышленных выбросов в атмосферу, при этом содержание F в верхнем слое почвы было лишь 58 мг/кг [86].

Нормативы Cd не прописаны в документах Европейского экономического сообщества. Прогноз баланса Cd в почвах Европы отрицательный. Ввиду отсутствия потребности промышленности в Cd, методы очистки удобрений применять не будут [87].

Кларк Cd в верхнем слое почвы 0,06-1,1 мг/кг, разрешенный уровень 0,04-2,0 мг/кг, при уровне 3 мг/кг требуется оценка воздействия на окружающую среду. Лимиты содержания кадмия: в почве 1,0, в твердых веществах биологического происхождения:

уровень «а» 3,0, уровень «б» 10,0 мг/кг. В иле (почве): общий 85 мг/кг, текущий 1,9 кг/га в год, кумулятивный 39 кг/га [18]; 1,8 мг/кг [74]; 2,0 мг/кг [72].

Содержание Cd в фосфорных рудах: Кольский полуостров 0,2; Южная Африка (Palaborwa); Марокко (Boucras) 38; США (North Caroline) 47; Nauru 100 мг/кг [88].

Минеральные удобрения, приготовленные из некачественного сырья – основной источник Cd в почвах, поскольку большая часть загрязнения, содержащегося в депозите, в процессе производства поступает в удобрение [89].

В среднезернистых и идиоморфных апатитах Кольского полуострова содержание Sr (0,2 % SrO) [82]. В мире во многих исследованиях Sr изучают наряду с другими как рядовой ТМ, не рассматривая его как элемент с особыми свойствами.

Уделяют внимание Sr в почве ввиду связанной с ним опасности урской болезни. При внесении ФГ в чернозем обыкновенный карбонатный южно-европейской фации северной зоны Краснодарского края в дозе до 40 т/га превышение рекомендованного порога Ca/Sr не наблюдали [33].

Реальная опасность эолового воздействия Sr на организмы связана с промышленными выбросами, в том числе ТЭС, обусловлена развеванием отвалов. Содержание Sr в угольной золе до 2 г/кг [91].

В условиях гидропоники лука за счет высокой влажности почвы ТМ беспрепятственно попадают в растение, и это приводит к повышению вероятности мутации организма. Почвенный раствор разбавлен, потому не работает геохимический барьер почва – растение, низкая концентрация межклеточного сока, что ослабляет функцию внутренних биологических барьеров в растении [92].

NORM & TENORM

Выделены группы веществ NORM (природный радиоактивный материал – Naturally-Occurring Radioactive Materials) и TENORM (технологически обогащенный природный радиоактивный материал – Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials) [93-95].

Радиоактивность фосфатных руд достигает 10000 Bq/кг, удобрений 3800 Bq/кг. Рециклинг TENORM предусматривает разбавление побочных продуктов – при необходимости. В мире наибольший из объемов TENORM – топочная зола – 280 млн т ежегодно, в ней содержатся U-238, Th-232 и изотопы. Полагают, что оценка опасности радиоактивных материалов находится под влиянием двойных стандартов – действующая лимитная доза радиоактивности 0,3 mSv/год в действительности составляет примерно пятую долю от натурального фонового уровня, и на один-два десятичных порядка ниже того, что испытывали многие люди в течение многих лет, которые затем не имели никаких признаков болезни [96].

Самое радиоактивно-чистое фосфатное сырье в Финляндии, Siilijärvi, практически того же высокого качества апатит из Ковдора, совсем немного хуже из Хибинского депозита, существенно хуже Южная Африка Palfos 0,1, Финляндия Sokli 0,16; худшие месторождения: Могоссо K-10 0,55 Bq/г; Senegal Taiba 0,60; USA Florida 1,0 Bq/г [25].

Безопасность ФГ из месторождений РФ – самых чистых в мире – при внесении в почву не вызывает сомнений у исследователей. Содержание ТМ в зерне ячменя, выращенном после внесения в почву ФГ, в 5-10 раз ниже ПДК [32].

Ресурс Ковдорского месторождения 7,3 млн т P_2O_5 . Сообщают, что в мире имеются вероятные и гипотетические депозиты от 17 до 600 млн т P_2O_5 [97]. Следовательно, ориентировать перспективу развития экспорта РФ только на ресурсы, в том числе, высококачественное сырье с Кольского полуострова, недальновидно. Высококачественное удобрение из него надо оставлять себе. А для перспективных месторождений в мире на основе опережающего развития биогеосистемотехники предложить принципиально новые технологии и укрепить свое влияние как экспортера наукоемкой продукции, а не сырья, или простых продуктов из сырья.

В США сырье загрязнено, но даже такой ФГ безопасен в отношении радиоактивности.

При дозах ФГ от 0,5 до 1,5 т/га в почве не установлено значимого влияния на радиоактивность и содержание ТМ [26].

ФГ (Cd 0.23 мг/кг, 925 Bq/кг) утилизировали в почве в дозах 0; 22; 112 т/га, изучили влияние на развитие растений и потребление Cd и Ra в севообороте: кукуруза (*Zea mays* L.), пшеница (*Triticum aestivum* L.), соя [*Glycine max* (L.) Merr.]. Концентрация элементов питания и Cd после ФГ в зерне всех культур не увеличилась. Следов избыточной радиоактивности в растениях не обнаружено. После сбора урожая сои радиоактивность слоя почв 0-15 см увеличилась с 35 Bq/кг в контрольном варианте до 73 Bq/кг при дозе ФГ 112 т/га, в подпахотном слое радиоактивность не изменилась [27].

Инициативы в сфере охраны окружающей среды, производства и использования ФГ координирует Международная организация производителей удобрений (International Fertilize Industry Association – IFIA) [98] совместно с Международной ассоциацией безопасного менеджмента (International Security Management Association – ISMA) [99].

Хранение и утилизация отходов

Хвостохранилища, согласно внутренним, и даже открыто опубликованным, корпоративным исследованиям, безвредны. Соответствующим образом выстраивают лоббирование ПДК и других нормативов в разных производственных сферах [199].

Отталкивающий зловещий противоестественный облик хвостохранилищ, отвалов, свалок, хранилищ радиоактивных отходов и других атрибутов индустриальной технологической платформы сводит на нет привлекательность для жизни обширных сухопутных и водных систем, аннулирует рекреационный потенциал Земли.

Озабоченность в связи с хранением ФГ нарастает в Китае.

Сообщают, что дамба накопителя ФГ нового хвостохранилища Xiangyun выдержит паводок обеспеченностью 0,2 % (1 раз в 500 лет) [101]. Очевидно, накопитель разместили в водной системе, нарушив ее. Если дамба столь надежна, и обратное водопользование декларируются все производители удобрений, то можно это делать в автоморфных территориальных комплексах. Но нет, поскольку в таком варианте результаты природоохранной «деятельности» станут заметнее.

Изучен отвал ФГ Piney Point Phosphates, Central Florida Mining District, Manatee County, Тампа-Бэй на берегу Мексиканского залива. Приведены графические данные о гидроизогипсах в отвале и сделано заключение о перехвате 99 % потока грунтовых вод из отвала дренажным каналом [102]. Не обосновано, почему дренажный канал «успешно» перехватывает поток не только со своей стороны отвала, но также и с трех оставшихся сторон. В действительности данная форма изогипсов при их близости к дневной поверхности следует не только из режима оттока, но также обусловлена эвапорацией. Разработчики предполагают, что фильтрация сквозь экран под отвалом в 10 и более раз ниже, чем сквозь другие элементы ландшафта, но качество экрана (при его наличии), особенно с учетом вероятности его разрывов, не раскрыто. Не рассмотрено перетекание грунтового стока через край экрана. Гибкий или монолитный экран, в том числе, изготовленный методами СВЧ под воздействием массы отвала нестабилен. Это: действие высокой неравномерной нагрузки; перерезывающие усилия в отвале в результате локальной суффозии в процессе латерального перетока фильтрата по экрану и через его край; перемещения основания. Формируются подвешенные блоки материала, которые спонтанно разгружаются в поле тяжести, динамически разрушая экран. Влияет малая несущая способность основания при избыточном увлажнении, сжатии и подпоре грунтового потока в основании отвала. Основание несет многократно возросшую нагрузку, склонно к просадкам, неустойчиво. Объект расположен у акватории Мексиканского залива – неограниченного гидрогеологического стока опасных фильтратов.

Под территорией ОАО Минудобрения (Россошь) находится сформированный под шламонакопителем и полями фильтрации купол грунтовых вод, которые разгружаются в реку Черная Калитва, В результате формирования карстовых полостей как продукта преференсных гидрогеологических потоков и суффозии, постоянно увеличивается поток грунтовых вод от техногенного объекта в окружающую среду [103].

Есть сообщения о достижении цели обратного водопользования в «ОАО Еврохим» [104]. Но в дренажный канал любого шламонакопителя поступает только лишь небольшая часть потока грунтовых вод. Значительно больший расход проходит сквозь толщу геологических отложений под руслом дренажного канала в реку или океан.

Независимые исследования показывают, что имеют место масштабные долгосрочные неблагоприятные глобальные и локальные гидрогеологические и эоловые эффекты открытого складирования отходов, репарация которых сложна. Потому привлекательные заявления корпораций о водообороте неисполнимы в конфигурации доступных на текущий момент технических решений. Это обусловлено тем, что Cd, Cu, U, Zn, как и многие другие химические элементы, известны склонностью к выщелачиванию [23].

Объективно зафиксирован поток загрязнений с территории хвостохранилища ФГ в окружающую среду дельт [105].

В модельном эксперименте оценили возможность выщелачивания из отвала ФГ в почвы, ландшафты и водные системы 3 % As; 1 % Cd; 5 % Cr; 9 % Cu; 4 % U; 3 % Zn [106]. Вынос значительный. Причем не учтены преференсные потоки, суффозия, карст. Потому данные надо корректировать в большую сторону ввиду краткосрочности лабораторного эксперимента. Это с точки зрения нарастания блочного строения массы отвала ФГ, усиления вклада преференсных геохимических потоков в перенос вещества.

Аномалии распределения ТМ в прибрежных седиментах относят на влияние индустриальных стоков предприятий южного берега Сицилии, производящих ФГ [107].

Сверхтонкие фракции и наноминералы, содержащиеся в ФГ, обсуждены в контексте здоровья человека как дополнительная опасность открытого хранения ФГ для окружающей среды [108]. Здесь как нельзя лучше подходят наши предложения спрятать это все «счастье» подальше, что обсуждено в заключении.

Для декомпозиции ФГ используют восстановление серой. Предлагают модернизированную технологию с меньшей эмиссией CO₂ [109]. Изучают возможности высокотемпературной скорой декомпозиции ФГ в присутствии CO, CO₂, что позволяет уменьшить содержание CaS для последующего использования продукта при производстве цемента [383]. Применяют высокотемпературную обработку ФГ, получают SO₂ в концентрации 7,6 % и используют для рециклинга серной кислоты, CaO в концентрации 57,13 % используют для производства цемента [111].

Предлагают, используя свойство растворения ФГ в морской воде, многошаговую процедуру химической декомпозиции ФГ, первая стадия – растворение в CaCl₂, NaCl [112]. Но процедура затяжная, причем непонятно, какой полезный материал кроме CaCO₃ получаем после валоризации. К тому же, такой материал можно получить без валоризации в виде прямого продукта азотнокислой технологии обработки апатита (ОАО Минудобрения, Россошь).

ФГ утилизировали с помощью микроволнового излучения, что позволило получить материал hydroxapatite nanoparticles (nHAp), который использовали для извлечения фтора из водных растворов. Максимальная адсорбционная способность согласно модели Langmuir–Freundlich 19,742; 26,108; 36,914; 40,818 mg F/g nHAp, соответственно, при 298, 308, 318, 328°K [113].

Утилизацию ФГ путем осаждения портландита рассматривают в фокусе секвестра углерода. Предложена улучшенная карбонизация ФГ азотом при повышенном давлении CO₂, биотрансформация ФГ аэробной бактериальной флорой и выделенными из хвостохранилища в Тунисе штаммами *Trichoderma asperellum* [114].

Отметим, что задача уменьшения количества сульфатов, карбонатов в биосфере не менее одиозна, чем секвестр углерода. Получается – двойной ущерб биосфере.

Хранилища следует модернизировать согласно новым более жестким стандартам и использовать. Требуется рециклинг и изменение методов агротехники [23].

Пириты, сульфаты – потенциальные мелиоранты почв в агрономии, лесном хозяйстве, строительстве. Фильтраты из хвостохранилищ – источник редкоземельных элементов [115], без собственных редкоземельных металлов РФ не может развиваться [116].

3. Заключение

Констатируют необходимость восполнения потери вещества из почвы, особенно при ирригации, в наибольшей степени – в культуре риса. Но такого рода задача – следствие избыточного выщелачивания, избыточной минерализации вещества, неверного управления потоками вещества и воды в действующих индустриальных технологиях – дефект современной парадигмы сельского хозяйства и природопользования.

Имеющийся уровень технических решений и технологий утилизации вещества в почве не соответствует задаче синтеза в России природоподобных технологий.

Все, что придумано для внесения побочных продуктов в почву, это распределитель вяжущего вещества по поверхности дорожного полотна BS 12000 PROF1 [117], предназначенный для отсыпки заданного слоя материала при устройстве дорог, да известные вальцовые и дисковые разбрасыватели материала по поверхности почвы [25]. Устройства, которыми в Австралии по следу глубокорыхлителя вносят навоз или мелиорант, не обеспечивают дисперсного контакта с почвой. То же – аналогичные машины со щелерезами или пассивными дисками [118].

В любую почву можно вносить и кислые, и щелочные отходы, при этом одиозно выглядит нейтрализация сернокислотного ФГ. Вместо нейтрализации ФГ, его можно смешивать с золой ТЭС, биочаром, другими продуктами пиролиза, выстроить новую логику побочных продуктов, увеличить объем и эффект рециклинга. Сульфатные отходы практически не применяют в почву ввиду заблуждения по поводу того, что в них нет кальция. Кальций можно добавить с другими побочными продуктами, кальций имеется в почвах.

Для успеха утилизации следует преодолеть опасность седиментогенеза и обеспечить приоритетные условия развития корневой системы растений в дисперсной системе почвы, которые, управляя парциальным давлением углекислого газа в почве, обеспечивают для своего развития и живого вещества почвы стабильный pH около 7,0, резервирование буфера биологического вещества.

Фрезерная обработка почвы в слое 20-50 (30-60) см при одновременном внесении в этот слой ФГ и других веществ позволяет синтезировать в почве приоритетную дисперсную систему для протекания биологического процесса [119]. Предложен синтез вещества непосредственно внутри почвы [28], управление вещественным составом почвенного раствора [120].

Повышенная концентрация почвенного раствора благотворна для его электропроводности и доставки элементов питания. При относительно низком термодинамическом потенциале почвенного раствора от -0,3 до -0,5 МПа темп нарастания биомассы проростков ячменя был наибольшим [121].

Импульсная внутрипочвенная континуально-дискретная парадигма ирригации и фертигации [122] обеспечивает в почве потенциал почвенного раствора от -0,2 до -0,5 МПа. Это сохраняет структуру почвы, исключает выщелачивание питательных веществ и гумуса, позволяет сократить потребление воды растениями, повышает продуктивность растений за счет комфортного органогенеза. Для культуры риса экспертная оценка термодинамического потенциала почвенного раствора от -0,02 до -0,05 МПа. При таком потенциале будет возможность сформировать в почве благоприятный для растений гидрологический режим. Это даст возможность исключить практику ирригации риса, при которой лабораторная всхожесть риса 95 %, а полевая – только 20-30 % ввиду избыточного увлажнения.

Это – составляющие заявленного нами научно-технического направления биогеосистемотехника – трансцендентальные технические решения и технологии управления биогеохимическим циклом вещества в газообразной, жидкой, твердой фазе для экологически безопасного рециклинга вещества в почвах, прироста ресурсов и продовольствия, непротиворечивого решения производственных и экологических проблем ноосферы в едином технологическом цикле.

Метод биогеосистемотехники позволяет безопасно для окружающей среды с агрономическим эффектом рассредоточено утилизировать внутри трансформированной дисперсной системы почвы любые вещества, содержащиеся в промышленных отходах [123], в том числе, особо опасные биологические отходы, сверхтонкие фракции и наноминералы, TENORM [124-128]. Снимается проблема эолового распространения загрязнений, опасных в такой форме для высших животных и растений, и, одновременно, безопасных после внесения внутрь почвы в дозах 10-50 и более ПДК для микроорганизмов почвы [129]. Регулирование влажности почвы в комфортном для растений диапазоне позволяет одновременно усилить действие геохимического барьера «почва – ризосфера», в почвенном растворе формируются ассоциированные и комплексные ионы, усиливается действие геохимических барьеров [14, 130].

Решается задача увеличить производство и повысить привлекательность окружающей среды для проживания. В фокусе роботизации производственных процессов сократить затраты в десятки раз, обеспечить создание престижных рабочих мест [131], укрепить влияние РФ как экспортёра наукоемкой продукции и принципиально новых природоподобных технологий.

Примечания:

1. Аканова Н.И. Фосфогипс нейтрализованный – перспективное агрохимическое средство интенсификации земледелия (по материалам семинаров ОАО «МХК» ЕвроХим) // Плодородие. 2013. №1. С. 2-7. <http://plodorodie-j.ru/journal/2013-2/nomer-11/n60.html>
2. Glazko Valery I., Glazko Tatiana T. Conflicts of Biosphere and Agroecosystems // International Journal of Environmental Problems. 2015. Vol. (1). Is. 1. pp 4-16. DOI: 10.13187/ijep.2015.1.4
3. International Commission Calls for 'Paradigm Shift' in Agriculture. www.worldwatch.org/node/5712
4. Путин В.В. Выступление на заседании генеральной Ассамблеи ООН. 28 сентября 2015 г. <http://www.itv.ru/news/polit/293099>
5. Shein E.V., Skvortsova E.B., Abrosimov K.N. Tomographic studies of the soil pore space in swelling and shrinkage processes // В книге: 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. 2014. С. 107.
6. Семенов А.М., Соколов М.С. Концепция здоровья почвы: фундаментально-прикладные аспекты обоснования критериев оценки // Агрохимия. 2016. № 1. С. 3-16.
7. Лисецкий Ф.Н., Пичура В.И. Оценка и прогноз направленности почвообразовательного процесса при оросительных мелиорациях земель в степной зоне Украины // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2016. № 1. С. 26-30.
8. Lisetskii F., Marinina O., Stolba V.F. Indicators of agricultural soil genesis under varying conditions of land use, steppe Crimea // Geoderma. 2015. Т. 239-240. С. 304-316.
9. Радугин Н. Земельный фонд России http://observer.materik.ru/observer/N19-20_94/012.htm
10. Природа России: Земельные ресурсы http://www.priroda.ru/regions/earth/index.php?SHOWALL_1=1
11. 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) <http://base.garant.ru/2160945/>
12. Правительство Российской Федерации Постановление от 12 октября 2013 г. № 922 Москва. О федеральной целевой программе "Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014 – 2020 годы" <http://government.ru/media/files/41d49957ae2064e53ee1.pdf>
13. Алексеев А.В. Государственные программы: реальный или номинальный инструмент управления экономикой? // Экономист. 2014. №6. С. 20-27.
14. Endovitsky Anatoly P., Valery P. Kalinichenko, Tatiana M. Minkina Carbonate Calcium Equilibrium in Soil Solution as a Driver of Heavy Metals Mobility // International Journal of Environmental Problems, 2015, Vol. (2), Is. 2, pp. 136-153. DOI: 10.13187/ijep.2015.2.136
15. Starcev Viktor F., Valery P. Kalinichenko Utilization of Biological Waste by Biogeosystem Technics Method // International Journal of Environmental Problems, 2015, Vol. (2), Is. 2, pp 166-182. DOI: 10.13187/ijep.2015.2.166
16. National Atmospheric Deposition Program, accessed July 8, 2014 at http://www.epa.gov/airmarkets/progress/ARPO9_3.html.
17. Мун С.А., Ларин С.А., Глушков А.Н. Влияние добычи угля на загрязнение атмосферы и заболеваемость раком легкого в Кемеровской области // Современные проблемы науки и образования. 2013. №1. <http://www.science-education.ru/107-8406>
18. Heavy Metal Soil Contamination. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Soil Quality Institute 411 S. Donahue Dr. Auburn, AL 36832 334-

844-4741 X-177 September, 2000. SOIL QUALITY – URBAN TECHNICAL NOTE No. 3
http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053279.pdf

19. Полевой определитель почв. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
http://soils.narod.ru/download/field_guide_int.pdf

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

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

22. Soil Amendments <http://www.brettyoung.ca/images/file/PTR-webfiles/reclamation-catalogue-sections/07-by-reclam-soil-amm.pdf>

23. Hanan Tayibi, Mohamed Choura, Félix A. López, Francisco J. Alguacil and Aurora López-Delgado Environmental impact and management of phosphogypsum (Review). Madrid, 2012. <http://digital.csic.es/bitstream/10261/45241/3/Environmental%20impact%20and%20management%20of%20phosphogypsum.pdf>

24. Villa M., F. Mosqueda, S. Hurtado, J. Mantero, G. Manjón, R. Periañez, F. Vaca, R. García-Tenorio Contamination and restoration of an estuary affected by phosphogypsum releases // Science of The Total Environment, Volume 408, Issue 1, 15 December 2009, Pages 69-77 doi:10.1016/j.scitotenv.2009.09.028

25. Hilton Julian Phosphogypsum (PG): Uses and Current Handling Practices Worldwide <http://stackfree.com/resources/content/file/resources/pdf/PGUsesandHandlingPracticesOvervie w2010Hilton.pdf>

26. Mullins G. L. and C. C. Mitchell, Jr. Use of phosphogypsum to increase yield and quality of annual forages. Prepared By Auburn University Department of Agronomy and Soils Under a Grant Sponsored by the Florida Institute of Phosphate Research Bartow, Florida MAY, 1990 Publication No. 01-048-084 <http://fipr.state.fl.us/wp-content/uploads/2014/11/01-048-084Final.pdf>

27. Mays D. A. and, J. J. Mortvedt Crop Response to Soil Applications of Phosphogypsum // Journal of Environmental Quality. 1984. Vol. 15 No. 1, p. 78-81 doi:10.2134/jeq1986.00472425001500010018x

28. Калиниченко В.П., Ильин В.Б., Ендовицкий А.П., Черненко В.В. Способ синтеза вещества внутри тонкодисперсной системы. Патент на изобретение RU №2476055 С2. МПК Кл. А01С 23/00 (2006.01). Патентообладатель: ООО Структура К°. Заявка №2011100187/21(000278) от 11.01.2011.) Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 февраля 2013 г. Опубликовано 27.02.2013. Бюл. №6. 6 с. : 2 ил.

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

30. Korcak R.F. High-gypsum Byproducts as Soil Amendments for Horticultural Crops. Fruit Laboratory, Beltsville Agricultural Research Center, ARS/USDA, Beltsville, MD 20705. http://www.unicentroagronomia.com/imagens/noticias/gypsum_horticulture_marcelo_muller.pdf

31. Калиниченко В.П., Шаршак В.К., Миронченко С.Ф., Черненко В.В., Ладан Е.П., Генева Е.Д., Илларионов В.В., Удалов А.В., Удалов В.В., Киппель Е.В. Изменение свойств почв солонцового комплекса через 30 лет после мелиоративных обработок // Почвоведение. 2014. №4. С. 490-506. DOI: 10.7868/So032180X14040029

32. Суковатов В.А. Длительность действия мелиорации солонцового комплекса каштановых почв // Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Донской государственный аграрный университет. п. Персиановский, 2009. 140 с. <http://elibrary.ru/item.asp?id=19212993>

33. Мищенко Н.А., Громько Е.В., Калиниченко В.П., Черненко В.В., Ларин С.В. Эколого-рекреационный рециклинг фосфогипса в черноземе на примере Краснодарского края // Плодородие. 2009. №6. С. 25-26.

34. Ghazi N. Al-Karaki & M. Al-Omouh Wheat response to phosphogypsum and mycorrhizal fungi in alkaline soil // *Journal of Plant Nutrition*. Volume 25, Issue 4, 2002. pages 873-883 DOI: 10.1081/PLN-120002966
35. Клименко О.Е. Длительное последствие химической мелиорации на солевой состав почвы // *Инновации в науке*. Выпуск № 1 (38) / 2015
36. Разработать способы повышения эффективности применения промышленных отходов для мелиорации солонцов: отчет о НИР (заключ.): 1.15 / ЮжНИИГиМ; рук: Скуратов Н. С. Новочеркасск, 1985. 305 с. Исполн. Докучаева Л. М., Яньшина А. Ф., Кулинич Г. С. [и др.]. № ГР 01.83.0 058602.
37. Технологии повышения плодородия почв путем глубокого их разуплотнения, внесения неосветленных животноводческих стоков и возделывания культуры-мелиоранта. <http://www.vniigim.ru/index.php?categoryid=25>
38. Peries R and J S Gill 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. Web site www.agronomy2015.com.au <http://www.agronomy2015.com.au/papers/agronomy2015final00282.pdf>
39. Julie Major Guidelines on Practical Aspects of Biochar Application to Field Soil in Various Soil Management Systems. 2010. http://www.biochar-international.org/sites/default/files/IBI%20Biochar%20Application%20Guidelines_web.pdf
40. Toma M., M.E. Sumner, G. Weeks and M. Saigusa Long-term Effects of Gypsum on Crop Yield and Subsoil Chemical Properties // *Soil Science Society of America Journal*. 1998. Vol. 63 No. 4, p. 891-895 doi:10.2136/sssaj1999.634891x
41. Michalovicz Leandro; Marcelo Marques Lopes Müller; José Salvador Simoneti Foloni; Jackson Kawakami; Ronaldo do Nascimento IV; Luiz Fernando Machado Kramer Soil fertility, nutrition and yield of maize and barley with gypsum application on soil surface in no-till. SECTION 3 – SOIL USE AND MANAGEMENT // *Rev. Bras. Ciênc. Solo* vol.38 no.5 Viçosa Sept./Oct. 2014 <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000500015>
42. Березин Л.В. Сапаров А.С., Канн В.М., Шаяхметов М.Р. Технология комплексной мелиорации экосистем России и Казахстана. Алматы, Омск, 2013. 215 с.
43. Семендяева Н.В., Елизаров Н.В. Динамика солевого состава солонцов Барабы в течение 27-32-летнего действия гипса // *Вестник Новосибирского государственного аграрного университета*. 2014. Т. 1. № 30. С. 41-46.
44. Троценко И.А., Тарасова М.В. Влияние однократной и повторной мелиорации на мелиоративное состояние многонатриевого коркового солонца // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета* № 8 (118), 2014. С.38-44.
45. СНиП 2.08.0385 Мелиоративные системы и сооружения / Госстрой СССР. М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1986. http://www.snip-info.ru/Snip_2_06_03-85.htm
46. Турсина Т.В. Микроморфологическая диагностика устойчивости черноземов при орошении // "Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева" (дата: 2016-02-23) <https://socionet.ru/collection.xml?h=spz:cyberleninka:29038&page=3&s=a>
47. Семененко С.Я., Абезин В.Г. Орудия для улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*. № 1 (33), 2014. <http://cyberleninka.ru/article/n/orudiya-dlya-uluchsheniya-meliorativnogo-sostoyaniya-oroshaemyh-zemel.pdf>
48. Савич В., Дубенок Н., Гукалов В., Подволоцкая Г. Влияние мелиорации поливных вод на свойства почв // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2014. № 5. С. 34-36.
49. Vyshpolsky F., K. Mukhamedjanov, U. Bekbaev, S. Ibatullin, T. Yuldashev, A.D. Noble, A. Mirzabaev, A. Aw-Hassan, M. Qadir Optimizing the rate and timing of phosphogypsum application to magnesium-affected soils for crop yield and water productivity enhancement // *Agricultural Water Management*, Volume 97, Issue 9, September 2010, Pages 1277-1286 doi:10.1016/j.agwat.2010.02.020
50. Choudhary O.P, A.S Josan, M.S Bajwa, M.L Kapur Effect of sustained sodic and saline-sodic irrigation and application of gypsum and farmyard manure on yield and quality of sugarcane under semi-arid conditions // *Field Crops Research*. Volume 87, Issues 2–3, 10 May 2004, Pages 103–116 doi:10.1016/j.fcr.2003.10.001 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429003002259> - COR1mailto:opc_2k@yahoo.com,

51. Казакова Л.А. Окультуривание трудномелиорируемых солонцов на орошаемых землях Нижнего Поволжья // Мелиорация и водное хозяйство. 2006. № 4. С. 45-47.
52. Юркова Р. Е. Приемы инактивации тяжелых металлов и восстановления почвенного плодородия орошаемых земель // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 1(05), 2012 г.
53. Докучаева Л.М., Юркова Р.Е., Шалашова О.Ю. Использование фосфогипса и фосфогипсосодержащих мелиорантов для мелиорации солонцовых почв в условиях орошения // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2012. № 3(07). С. 52-64.
54. Балакай Г.Т., Докучаева Л.М., Юркова Р.Е., Шалашова О.Ю. Влияние комплексной мелиорации на физико-химические свойства солонцов черноземных // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2015. № 4(20). С. 39-56.
55. Мартыненко Т.А. Агромелиоративная эффективность применения фосфогипса в условиях капельного орошения минерализованными водами при выращивании лука репчатого // Мелиорация 2014 №2(72). С. 24-29.
56. Щедрин В. Н., Г. Т. Балакай, С. М. Васильев, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, А. В. Акопян, Ю. А. Свистунов, А. Ю. Свистунов, С. В. Гаркуша, С. А. Шевель, С. А. Гаркуша, Н. Н. Малышева Комплекс мероприятий, направленных на сохранение и восстановление почвенного плодородия при циклическом орошении сельскохозяйственных культур в Краснодарском крае. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. 76 с. <http://www.rosniipm.ru/izdan/2015/СОК.pdf>
57. Технологии малообъемного орошения сельскохозяйственных культур <http://helion-ltd.ru/agr-land-water-wood-eco37-48/>
58. Радевич Е.В., Баранов А.И. Влияние внесения различных доз фосфогипса на свойства орошаемых темно-каштановых почв Ростовской области // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2015. № 1 (17). С. 72-87.
59. Бобров В.А. Некоторые аномалии засоленности почв темно-каштановой подзоны Кустанайской области // Почвоведение. 1977. №2. С.73-80.
60. Засоленные почвы мира <http://issar.com.ua/downloads/docs/nv6.pdf>
61. Li Jiu-yu, Zhao-dong Liu, Wen-zhi Zhao, M.M. Masud, Ren-kou Xu Alkaline slag is more effective than phosphogypsum in the amelioration of subsoil acidity in an Ultisol profile // Soil and Tillage Research, Volume 149, June 2015, Pages 21-32 doi:10.1016/j.still.2014.12.017
62. Rhoton, F.E. and D. S. McChesney. 2011. Influence of FGD Gypsum on the Properties of a Highly Erodible Soil under Conservation Tillage. Communications in Soil Science and Plant Analysis 42(16):2012-2023.
63. Цховребов В.С. Изменение содержания микроэлементов под озимой пшеницей в результате реминерализации чернозема выщелоченного // Научный журнал КубГАУ, №77(03), 2012 год. <http://ej.kubagro.ru/2012/03/pdf/45.pdf>
64. Аристархов А.Н. Агрохимия серы. М.: ВНИИА, 2007. 272 с.
65. Chen, Liming, David Kost, and Warren A. Dick. 2008. Flue Gas Desulfurization products as Sulfur Sources for Corn // Soil Science Society of America Journal 72:1464-1470.
66. Chen, Liming and Warren A. Dick. Gypsum as an agricultural amendment // Ohio State University, Bulletin 945. 2011. <http://fabe.osu.edu/sites/fabe/files/imce/files/Soybean/Gypsum%20Bulletin.pdf>
67. Brauer, D., G. E. Aiken, D. H. Pote, S. J. Livingston, L. D. Norton, T. R. Way, and J. H. Edwards. 2005. Amendment Effects on Soil Test Phosphorus // Journal of Environmental Quality 34:1682-1686.
68. Орлов Д. С., Садовникова Л. К., Лозановская И. Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высш. шк., 2002. 334 с.
69. Guidelines for the safe application of biosolids to land in New Zealand. August 2003. New Zealand Water & Wastes Association (NZWWA). Ministry for the Environment. <http://www.aucklandcouncil.govt.nz/EN/planspoliciesprojects/plansstrategies/unitaryplan/Documents/Material%20incorporated%20by%20reference/upmirbmfguidelinesforthesafeapplicationofbiosolidstolandinnewzealand.pdf>
70. Ministry for the Environment. Resource Management (National Environmental Standard for Assessing and Managing Contaminants in Soil to Protect Human Health) Regulations 2011 [New Zealand Legislation website]. <http://www.mfe.govt.nz/more/about-us>

71. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06 [http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/544121/predelno_dopustimye_kontsentratsii_\(pdk\)_khimicheskikh_veshchestv_v_pochve.pdf](http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/544121/predelno_dopustimye_kontsentratsii_(pdk)_khimicheskikh_veshchestv_v_pochve.pdf)
72. Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. ГН 2.1.7.2042-06 http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ_data_normativ/46/46590/
73. CLEA 2009. Heavy Metal Guidelines in Soil. Technical Bulletin No.6 http://yara.co.uk/images/6_Heavy_Metals_tcm430-99440.pdf
74. Land contamination: soil guideline values (SGVs) <https://www.gov.uk/government/publications/land-contamination-soil-guideline-values-sgvs>
75. Mandzhieva S.S., Minkina T.M., Chaplygin V.A., Sushkova S.N., Bauer T.V., Nevidomskaya D.G., Motuzova G.V. Plant contamination by heavy metals in the impact zone of Novocherkassk power station in the South of Russia // *Journal of Soils and Sediments*. 2015.
76. Teaf, Christopher M.; Covert, Douglas J.; Teaf, Patrick A.; Page, Emily; and Starks, Michael J. Arsenic Cleanup Criteria for Soils in the US and Abroad: Comparing Guidelines and Understanding Inconsistencies // *Proceedings of the Annual International Conference on Soils, Sediments, Water and Energy*: 2010. Vol. 15, Article 10. Available at: <http://scholarworks.umass.edu/soilsproceedings/vol15/iss1/10>
77. US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Federal Register / Rules and Regulations / Vol. 66, No. 4 / Friday, January 5, 2001. p. 1211. <https://www.epa.gov/lead/hazard-standards-lead-paint-dust-and-soil-tsca-section-403>
78. Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве. САНПИН 42-128-4433-87 (УТВ. МИНЗДРАВом СССР 30.10.1987 N 4433-87) (по состоянию на 7 октября 2006 года) <http://russia.bestpravo.ru/ussr/data01/tex11819.htm>
79. Ляшенко Г.М., Калиниченко В.П. Почвенное и воздушно-лиственное загрязнение растений свинцом // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*. 2006. №S12. С. 124-130.
80. Fluorides. Chapter 6.5. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0018/123075/AQG2ndEd_6_5Fluorides.PDF
81. Дамм Ю.П., О.Г. Жеронкина, К.В. Холина, В.Л. Софронов, А.А. Галата Сырьевая база и перспективы производства фтора в России // *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2013. Т. 56, № 4/2. С. 114-123. <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000475805>
82. Krasnova Natal'ya I. The kovdor phlogopite deposit, Kola peninsula, Russia // *The Canadian Mineralogist*. 2001. Vol. 39. pp 33-44. http://rruff.info/doclib/cm/vol39/CM39_33.pdf
83. Mihkel Veiderma, Rena Knubovets and Kaia Tõnsuaadu Structural properties of apatites from finland studied by FTIR spectroscopy // *Bulletin of the Geological Society of Finland* 70(1):69-75 · January 1998. https://www.researchgate.net/publication/287549177_Structural_properties_of_apatites_from_Finland_studied_by_FTIR_spectroscopy http://www.geologinenseura.fi/bulletin/Volume70/sgs_bt_070_pages_069_075.pdf
84. Танделов Ю.П. Природное содержание водно-растворимого фтора в почвах Красноярского края и техногенное загрязнение окружающей среды // *Вестник Красноярского ГАУ*. 2007. №1. С. 97-110.
85. Environmental Health Criteria 227 FLUORIDES. First draft prepared by Dr R. Liteplo and Ms R. Gomes, Health Canada, Ottawa, Canada and Mr P. Howe and Mr H. Malcolm, Centre for Ecology and Hydrology, Cambridgeshire, United Kingdom. World Health Organization Geneva, 2002.
86. Fluorides, Hydrogen Fluoride, and Fluorine. 6. Potential for Human Exposure. 6.1 Overview. pp 203-242. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp11-c6.pdf>
87. Cichy Barbara, Hanna Jaroszek, Andrzej Paszek Cadmium in phosphate fertilizers; ecological and economical aspects // *CHEMIK* 2014, 68, 10, 837-842 <http://www.chemikinternational.com/wp-content/uploads/2014/10/3.pdf>
88. Contaminants and the Soil Environment in the Australasia-Pacific Region. Editors: R. Naidu, R.S. Kookana, D.P. Oliver, S. Rogers, M.J. McLaughlin Kluwer Academic Publishers, 1996. https://books.google.ru/books?id=YR_-CAAQBAJ&pg=PA165&lpg=PA165&dq=mpc+cd+in+soil&source=bl&ots=t51zRGzLEQ&sig=jIUZhdyzYSal8uMwW9eBtftpadxk&hl=ru&sa=X&ved=

oCE4Q6AEwB2oVChMI-OmdrZPlxwIVSP4sCh3D-gGx#v=onepage&q=mpc%20cd%20in
%20soil&f=false

89. Cadmium in fertilisers. Risks from cadmium accumulation in agricultural soils due to the use of fertilisers containing cadmium Model estimations October 2000 http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/reports/denmark_en.pdf

90. Wolicka Dorota Biotransformation of phosphogypsum in wastewaters from the dairy industry // *Bioresource Technology*, Volume 99, Issue 13, September 2008, Pages 5666-5672 doi:10.1016/j.biortech.2007.10.029

91. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. 539 с.

92. Kwasniewska J Molecular Cytogenetics Serves Environmental Monitoring // Published in abstract book of 3rd ScienceOne International Conference on Environmental Sciences 2014, Page No. 25. Proceeding <http://thescienceone.com/ices/proceedingsices2014.php> 4/16

93. TENORM: Fertilizer and Fertilizer Production Wastes. United States Environment Protection Agency <https://www.epa.gov/radiation/tenorm-fertilizer-and-fertilizer-production-wastes>

94. FAOLEX – legislative database of FAO legal office. European Union: Commission Regulation (EC) No. 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. http://faolex.fao.org/cgi-bin/faolex.exe?rec_id=052610&database=faolex&search_type=link&table=result&lang=eng&format_name=@ERALL

95. EUR-Lex <http://eur-lex.europa.eu/homepage.html>

96. World Nuclear Organization. Naturally-Occurring Radioactive Materials (NORM) (Updated July 2015) <http://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/radiation-and-health/naturally-occurring-radioactive-materials-norm.aspx>

97. Lapin A. V., Lyagushkin A. P. The Kovdor apatite-francolite deposit as a prospective source of phosphate ore // *Geology of Ore Deposits*. February 2014, Volume 56, Issue 1, pp 61-80 <http://link.springer.com/article/10.1134%2FS1075701513060056>

98. International Fertilizer Industry Association <http://www.fertilizer.org/Phosphogypsum>

99. International Security Management Association <https://isma.com>

100. ГОСТ 53765-2009. <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-53765-2009>

101. Wang T., Y. Zhou, Q. Lv, Yuanle Zhu, C. Jiang A safety assessment of the new Xiangyun phosphogypsum tailings pond // *Minerals Engineering*, Volume 24, Issue 10, August 2011, Pages 1084-1090 doi:10.1016/j.mineng.2011.05.013

102. How does phosphogypsum storage affect ground waters? Florida State University. 1998. <http://fipr.state.fl.us/wp-content/uploads/2014/12/05-042-142Final.pdf>

103. Зинюков Ю.М. Структурно-иерархическая модель природно-технической системы «ОАО Минудобрения – природная среда» // *Вестник Воронежского государственного университета*. 2001. Вып. 12. С. 190-197. <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/heologia/2001/12/Zinyukov.pdf>

104. Добрыднев Е.П. Бессточная система водопользования исключает возможный риск аварийного загрязнения водного объекта // *Экологический вестник России*. 2012. № 10. С. 46-48.

105. Pérez-López Rafael, Francisco Macías, Carlos Ruiz Cánovas, Aguasanta Miguel Sarmiento, Silvia María Pérez-Moreno Pollutant flows from a phosphogypsum disposal area to an estuarine environment: An insight from geochemical signatures // *Science of The Total Environment*, Volume 553, 15 May 2016, Pages 42-51 doi:10.1016/j.saa.2015.04.017

106. Al-Hwaiti M.S., J.F. Ranville, P.E. Ross Bioavailability and mobility of trace metals in phosphogypsum from Aqaba and Eshidiya, Jordan // *Chemie der Erde - Geochemistry*, Volume 70, Issue 3, 2010, Pages 283-291 doi:10.1016/j.chemer.2010.03.001

107. Tranchida G., E. Oliveri, M. Angelone, A. Bellanca, P. Censi, M. D'Elia, R. Neri, F. Placenti, M. Sprovieri, S. Mazzola Distribution of rare earth elements in marine sediments from the Strait of Sicily (western Mediterranean Sea): Evidence of phosphogypsum waste contamination // *Marine Pollution Bulletin*, Volume 62, Issue 1, January 2011, Pages 182-191 doi:10.1016/j.marpolbul.2010.11.003

108. Luis F.O. Silva, James C. Hower, Maria Izquierdo, Xavier Querol Complex nanominerals and ultrafine particles assemblages in phosphogypsum of the fertilizer industry and implications

on human exposure // *Science of The Total Environment*, Volume 408, Issue 21, 1 October 2010, Pages 5117-5122 doi:10.1016/j.scitotenv.2010.07.023

109. Yang Xiushan, Zhiye Zhang, Xinlong Wang, Lin Yang, Benhe Zhong, Jingfeng Liu Thermodynamic study of phosphogypsum decomposition by sulfur // *The Journal of Chemical Thermodynamics*, Volume 57, February 2013, Pages 39-45 doi:10.1016/j.jct.2012.08.006

110. Liping Ma, Xuekui Niu, Juan Hou, Shaocong Zheng, Wenjuan Xu Reaction mechanism and influence factors analysis for calcium sulfide generation in the process of phosphogypsum decomposition // *Thermochimica Acta*, Volume 526, Issues 1–2, 10 November 2011, Pages 163-168 doi:10.1016/j.tca.2011.09.013

111. Zheng Shaocong, Ping Ning, Liping Ma, Xuekui Niu, Wei Zhang, Yuhang Chen Reductive decomposition of phosphogypsum with high-sulfur-concentration coal to SO₂ in an inert atmosphere // *Chemical Engineering Research and Design*, Volume 89, Issue 12, December 2011, Pages 2736-2741 doi:10.1016/j.cherd.2011.03.016

112. Hammam Ines, Karima Horchani-Naifer, Mokhtar Férid Solubility study and valorization of phosphogypsum salt solution // *International Journal of Mineral Processing*, Volume 123, 10 September 2013, Pages 87-93 doi:10.1016/j.minpro.2013.05.008

113. Zhang Deyi, Heming Luo, Liwen Zheng, Kunjie Wang, Hongxia Li, Yi Wang, Huixia Feng Utilization of waste phosphogypsum to prepare hydroxyapatite nanoparticles and its application towards removal of fluoride from aqueous solution // *Journal of Hazardous Materials*, Volumes 241–242, 30 November 2012, Pages 418-426 doi:10.1016/j.jhazmat.2012.09.066

114. Jalali Jihen, Salwa Magdich, Raja Jarboui, Mouna Loungou, Emna Ammar Phosphogypsum biotransformation by aerobic bacterial flora and isolated *Trichoderma asperellum* from Tunisian storage piles // *Journal of Hazardous Materials*, Volume 308, 5 May 2016, Pages 362-373. doi:10.1016/j.saa.2015.04.0177

115. Valkov A.V., V.A. Andreev, A.V. Anufrieva, Y.N., Makaseev, S.A. Bezrukova, N.V. Demyanenko Phosphogypsum Technology with the Extraction of Valuable Components // *Procedia Chemistry*, Volume 11, 2014, Pages 176-181 doi:10.1016/j.proche.2014.11.031

116. На редкоземельной игле. Российское атомное общество. 14 февраля 2011. <http://www.atomic-energy.ru/articles/2015/05/06/18690>

117. Binder spreader BS 12000 PROFI <http://www.bomag.sk/Docs/BS12000.pdf>

118. Комплекс машин для внесения жидкого навоза http://agroyug.ru/page/item/_id-5142/

119. Калиниченко В.П. Патент на изобретение RU № 2387115 С2. Устройство для внесения вещества при ротационном внутрипочвенном рыхлении. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 апреля 2010 г. Патентообладатель ИППЮР. Заявка № 2008124500/12(029710) от 16.06.2008. Опубликовано 27.04.2010. Бюл. № 12. 6 с. : 2 ил.

120. Калиниченко В.П., Ильин В.Б., Ендовицкий А.П., Черненко В.В. Патент на изобретение RU №2464967 С2. Способ извлечения вещества из тонкодисперсной системы. МПК Кл. А61J 1/20 (2006.01), А61М 3/00 (2006.01), В03С 5/00 (2006.01). Патентообладатель: ООО Структура К°. Опубликовано 27.10.2012. Бюл. №30. 9 с. : 2 ил.

121. Зайцева Р.И., Комаров Н.М., Гришина Р.В, Кириченко А.В., Егоров Ю.В., Муромцев Н.А. Устойчивость сортов ярового ячменя в фазе прорастание – всходы к засолению почвы и к дефициту влаги при проращивании семян на растворах // Современное состояние черноземов. Мат. межд. научной конф., 24-26 сентября 2013. Ростов-на-Дону, 2013. С. 113-116.

122. Kalinitchenko Valery, Abdulmalik Batukaev, Tatiana Minkina, Natalia Solntseva, Andrey Skovpen, Ali Zarmaev, Vaha Jusupov, and Olga Lohmanova. Biogeosystem technique – the fundamental base of modern Water Policy and Management // *Geophysical Research Abstracts*. EGU General Assembly. Vienna, 2014. DOI: Vol. 16, EGU2014-17014, 2014.

123. Миндубаев А.З., Волошина А.Д., Кулик Н.В., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Яхваров Д.Г., Алимова Ф.К., Ахоссийенагбе С.К., Болормаа Ч. Возможность анаэробной биодegradации белого фосфора // *Экологический Вестник Северного Кавказа*. 2013. Т. 9. № 2. С. 4-15.

124. Мельченко А.И. Миграция стронция в разных слоях чернозема выщелоченного // *Агрехимический вестник*. 2015. Т. 1. № 1. С. 12-14.

125. Проникающая радиация и способы защиты от нее <http://you-doctor.ru/content/view/277/83/>

126. Anisimov V.S., Kochetkov I.V., Dikarev D.V., Anisimova L.N., Korneev Y.N. Effects of physical-chemical properties of soils on ^{60}Co and ^{65}Zn bioavailability // *Journal of Soils and Sediments*. 2015. Т. 15. № 11. pp 2232-2243.

127. Кочетков И.В., Анисимов В.С., Крикунов И.А., Еремин М.В. Влияние физико-химических свойств почв на биологическую доступность ^{60}Co // *Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика*. 2011. № 4. С. 50-57.

128. Спиринов Е.В., Анисимов В.С., Дикарев Д.В., Кочетков И.В., Крыленкин Д.В. Модель прогноза коэффициентов накопления ^{137}Cs в растениях // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2013. Т. 53. № 2. С. 199.

129. Kolesnikov S.I., Rotina E.N., Kazeev K.S. Technology of evaluation methods of soil remediation effectiveness according to biological indicators // *Middle East Journal of Scientific Research*. 2013. Т. 17. № 7. С. 914-918.

130. Abdulmalik A. Batukaev, Anatoly P. Endovitsky, Andrey G. Andreev, Valery P. Kalinichenko, Tatiana M. Minkina, Zaurbek S. Dikaev, Saglara S. Mandzhieva, and Svetlana N. Sushkova 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, 415-423, doi:10.5194/se-7-415-2016, 2016

131. Рабинович А.Л., Лозановская И.Н., Луганская И.А. Ресайклер – новая профессия XXI века // В сборнике: Мелиорация антропогенных ландшафтов Межвузовский сборник научных трудов. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Новочеркасская государственная мелиоративная академия. Новочеркасск, 2004. С. 147-158.

References:

1. Akanova NI Neutralized phosphogypsum – a promising agrochemical for intensive agriculture (based on seminars of "MCC" EuroChem) // *Fertility*. 2013. №1. pp 2-7. <http://plodorodie-j.ru/journal/2013-2/nomer-11/n60.html> (in Russian)

2. Glazko Valery I., Glazko Tatiana T. Conflicts of Biosphere and Agroecosystems // *International Journal of Environmental Problems*. 2015. Vol. (1). Is. 1. pp 4-16. DOI: 10.13187/ijep.2015.1.4

3. International Commission Calls for 'Paradigm Shift' in Agriculture. www.worldwatch.org/node/5712

4. Putin VV. Speech at the UN General Assembly. September 28, 2015 <http://www.itv.ru/news/polit/293099>

5. Shein E.V., Skvortsova E.B., Abrosimov K.N. Tomographic studies of the soil pore space in swelling and shrinkage processes // В книге: 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. 2014. С. 107.

6. Semenov A.M., Sokolov MS The concept of soil health: fundamental and applied aspects of the study evaluation criteria // *Agrochemistry*. 2016. № 1. pp. 3-16.

7. Lisetskii FN, Pichura VI Evaluation and forecast the direction of soil-forming process at irrigation and reclamation of land in the steppe zone of Ukraine // *Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2016. № 1. pp 26-30.

8. Lisetskii F., Marinina O., Stolba V.F. Indicators of agricultural soil genesis under varying conditions of land use, steppe Crimea // *Geoderma*. 2015. Т. 239-240. С. 304-316.

9. Radugin N. Land Fund of Russia http://observer.materik.ru/observer/N19-20_94/012.htm

10. Nature of Russia: Land Resources http://www.priroda.ru/regions/earth/index.php?SHOWALL_1=1

11. RF Government Resolution dated February 20, 2006 N 99 "On the federal target program" Conservation and restoration of soil fertility of agricultural lands and agricultural landscapes as a national property of Russia for 2006 – 2010 and for the period up to 2013" (as amended) <http://base.garant.ru/2160945/>

12. Russian Federation Government Resolution dated October 12, 2013 № 922 Moscow the Federal Target Program "Development of reclamation of land for agricultural purposes Russia for 2014 – 2020 years" <http://government.ru/media/files/41d49957ae2064e53ee1.pdf>
13. Alekseev AV Government programs: real or nominal instrument of economic regulation? // *Economist*. 2014. №6. S. 20-27. (in russian)
14. Endovitsky Anatoly P., Valery P. Kalinichenko, Tatiana M. Minkina Carbonate Calcium Equilibrium in Soil Solution as a Driver of Heavy Metals Mobility // *International Journal of Environmental Problems*, 2015, Vol. (2), Is. 2, pp 136-153. DOI: 10.13187/ijep.2015.2.136
15. Starcev Viktor F., Valery P. Kalinichenko Utilization of Biological Waste by Biogeosystem Technics Method // *International Journal of Environmental Problems*, 2015, Vol. (2), Is. 2, pp. 166-182. DOI: 10.13187/ijep.2015.2.166
16. National Atmospheric Deposition Program, accessed July 8, 2014 at http://www.epa.gov/airmarkets/progress/ARPO9_3.html.
17. Moon SA The impact of rising coal mining on air pollution and lung cancer in the Kemerovo region / Moon SA, Larin SA, Glushkov AN // *Modern problems of science and education*. 2013. №1. <http://www.science-education.ru/107-8406> (in russian) <http://www.science-education.ru/107-8406>
18. Heavy Metal Soil Contamination. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Soil Quality Institute 411 S. Donahue Dr. Auburn, AL 36832 334-844-4741 X-177 September, 2000. SOIL QUALITY – URBAN TECHNICAL NOTE No. 3 http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053279.pdf
19. Field guide of soils. M.: Soil Inst VV Dokuchaev, 2008. 182 p. http://soils.narod.ru/download/field_guide_int.pdf (in Russian)
20. Topunova IV, Prikhodko, VE Sokolova TA 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. Series 17: Soil*. 2010. № 1. pp. 3-10.
21. Albani A. E., Meunier A., Macchiarelli R., Ploquin F., Tournepiche J.-F. Local environmental changes recorded by clay minerals in a karst deposit during MIS 3 (La Chauverie, SW France) // *Quaternary International*. (2010), doi:10.1016/j.quaint.2010.03.007.
22. Soil Amendments <http://www.brettyoung.ca/images/file/PTR-webfiles/reclamation-catalogue-sections/07-by-reclam-soil-amm.pdf>
23. Hanan Tayibi, Mohamed Choura, Félix A. López, Francisco J. Alguacil and Aurora López-Delgado Environmental impact and management of phosphogypsum (Review). Madrid, 2012. <http://digital.csic.es/bitstream/10261/45241/3/Environmental%20impact%20and%20management%20of%20phosphogypsum.pdf>
24. Villa M., F. Mosqueda, S. Hurtado, J. Mantero, G. Manjón, R. Periañez, F. Vaca, R. García-Tenorio Contamination and restoration of an estuary affected by phosphogypsum releases // *Science of The Total Environment*, Volume 408, Issue 1, 15 December 2009, Pages 69-77 doi:10.1016/j.scitotenv.2009.09.028
25. Hilton Julian Phosphogypsum (PG): Uses and Current Handling Practices Worldwide <http://stackfree.com/resources/content/file/resources/pdf/PGUsesandHandlingPracticesOvervie w2010Hilton.pdf>
26. Mullins G. L. and C. C. Mitchell, Jr. Use of phosphogypsum to increase yield and quality of annual forages. Prepared By Auburn University Department of Agronomy and Soils Under a Grant Sponsored by the Florida Institute of Phosphate Research Bartow, Florida MAY, 1990 Publication No. 01-048-084 <http://fipr.state.fl.us/wp-content/uploads/2014/11/01-048-084Final.pdf>
27. Mays D. A. and, J. J. Mortvedt Crop Response to Soil Applications of Phosphogypsum // *Journal of Environmental Quality*. 1984. Vol. 15 No. 1, p. 78-81 doi:10.2134/jeq1986.00472425001500010018x
28. Kalinichenko V.P., Il'in, V.B., Endovitsky A.P., Chernenko V.V. Patent RU №2476055 C2. Method of synthesis of the substance inside the fine system. IPC Cl. C01B (2006.01). Patent holder: Company Structure K° Ltd. Application № 2011100187/21 (000278) on 11.01.2011. Bul 6 : 2 fig

29. Genesis and reclamation of alkaline soil complexes / Under the general editorship of Academician of RAAS NP Panov M. : Rosselkhozakademia. 2008. 316 p.
30. Korcak R.F. High-gypsum Byproducts as Soil Amendments for Horticultural Crops. Fruit Laboratory, Beltsville Agricultural Research Center, ARS/USDA, Beltsville, MD 20705. http://www.unicentroagronomia.com/imagens/noticias/gypsum_horticulture_marcelo_muller.pdf
31. Kalinichenko V.P., Chernenko V.V., Udalov A.V., Kippel E.V., Sharshak V.K., Mironchenko S.F., Ladan E.P., Genev E.D., Illarionov V.V., Udalov V.V. Changes in the properties of soils in a solonetz soil complex thirty years after reclamation // Eurasian Soil Science. 2014. T. 47. № 4. C. 319-333. DOI: 10.7868/S0032180X14040029
32. Sukovatov VA The duration of reclamation of solonetzic complex chestnut soils / Thesis for the degree of Candidate of Agricultural Sciences / Don State Agrarian University. Persianovsky, 2009. 140 p. <http://elibrary.ru/item.asp?id=19212993>
33. Mishchenko NA, Gromyko EV Kalinichenko VP, Chernenko VV, SV Larin Ecological and recreational phosphogypsum recycling in chernozem on example of the Krasnodar Territory // Fertility. 2009. № 6. pp. 25-26.
34. Ghazi N. Al-Karaki & M. Al-Omouh Wheat response to phosphogypsum and mycorrhizal fungi in alkaline soil // Journal of Plant Nutrition. Volume 25, Issue 4, 2002. pages 873-883 DOI: 10.1081/PLN-120002966
35. Klimenko OE Long-term effect of chemical amelioration on the soil salt content // Innovations in science. Issue № 1 (38) / 2015
36. Developing ways to improve the efficiency of industrial waste for reclamation of solonetz: research report (final): 1.15 / YuzhNIIGiM; Supervisor: Skuratov NS. Novocherkassk, 1985. 305 p. Fulfilled by Dokuchaeva LM, Yan'shin AF, Kulinich GS [et al.]. Number SR 01.83.0 058 602.
37. Technologies to increase soil fertility by deep decompression, making clarified livestock waste and cultivation of soil improving crop. <http://www.vniigim.ru/index.php?categoryid=25>
38. Peries R and J S Gill 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. Web site www.agronomy2015.com.au <http://www.agronomy2015.com.au/papers/agronomy2015final00282.pdf>
39. Julie Major Guidelines on Practical Aspects of Biochar Application to Field Soil in Various Soil Management Systems. 2010. http://www.biochar-international.org/sites/default/files/IBI%20Biochar%20Application%20Guidelines_web.pdf
40. Toma M., M.E. Sumner, G. Weeks and M. Saigusa Long-term Effects of Gypsum on Crop Yield and Subsoil Chemical Properties // Soil Science Society of America Journal. 1998. Vol. 63 No. 4, p. 891-895 doi:10.2136/sssaj1999.634891x
41. Michalovicz Leandro; Marcelo Marques Lopes Müller; José Salvador Simoneti Foloni; Jackson Kawakami; Ronaldo do NascimentoIV; Luiz Fernando Machado Kramer Soil fertility, nutrition and yield of maize and barley with gypsum application on soil surface in no-till. SECTION 3 – SOIL USE AND MANAGEMENT // Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.38 no.5 Viçosa Sept./Oct. 2014 <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000500015>
42. Berezin LV, Saporov AS, Cannes VM, MR Shayahmetov Technology of complex reclamation of Russia and Kazakhstan ecosystems. Almaty, Omsk, 2013. 215 p.
43. Semendyaeva NV, NV Elizarova Dynamics of salt composition of Baraba solonetz during the 27-32-year-old gypsum application // Bulletin of the Novosibirsk State Agrarian University. 2014. V. 30. pp 41-46.
44. Trotsenko IA, Tarasova MV Effect of single and repeated reclamation on the state of high-Na cortical solonets // Herald of Altai State Agrarian University No 8 (118), 2014. pp 38-44.
45. SNIP 2.08.0385 Drainage systems and facilities / USSR State Building. M. : TSITP USSR State Committee. 1986. http://www.snip-info.ru/Snip_2_06_03-85.htm
46. Tursina TV Micro Morphological diagnosis of chernozem stability under irrigation // Bulletin of the Soil Institute of Dokuchaev (Date: 23/02/2016) <https://socionet.ru/collection.xml?h=spz:cyberleninka:29038&page=3&s=a>
47. Semenenko SA Abezin VG The tools to improve ameliorative condition of irrigated lands // News Nizhnevolzhsky AGROUNIVERSITETSKOGO By omplex. № 1 (33) 2014.

<http://cyberleninka.ru/article/n/orudiya-dlya-uluchsheniya-meliorativnogo-sostoyaniya-oroshaemyh-zemel.pdf>

48. Savich V., N. Dubenok, Gukalov V., G. Podvolotsky Impact of irrigation water reclamation on soil properties // *International Journal of Agricultural*. 2014. № 5. pp 34-36.
49. Vyshpolsky F., K. Mukhamedjanov, U. Bekbaev, S. Ibatullin, T. Yuldashev, A.D. Noble, A. Mirzabaev, A. Aw-Hassan, M. Qadir Optimizing the rate and timing of phosphogypsum application to magnesium-affected soils for crop yield and water productivity enhancement // *Agricultural Water Management*, Volume 97, Issue 9, September 2010, Pages 1277-1286 doi:10.1016/j.agwat.2010.02.020
50. Choudhary O.P, A.S Josan, M.S Bajwa, M.L Kapur Effect of sustained sodic and saline-sodic irrigation and application of gypsum and farmyard manure on yield and quality of sugarcane under semi-arid conditions // *Field Crops Research*. Volume 87, Issues 2–3, 10 May 2004, Pages 103–116 doi:10.1016/j.fcr.2003.10.001 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429003002259> - COR1mailto:opc_2k@yahoo.com,
51. Kazakova LA Cultivation of hardly-reclaimed solonetz on the irrigated lands of the Lower Volga region // *Irrigation and Water Management*. 2006. № 4. pp 45-47.
52. Jurkova RE Methods of inactivation of heavy metals and recovery of soil fertility of irrigated lands // *Scientific Journal of Russian Scientific-Research Institute of the land reclamation problems*. No 1 (05), 2012.
53. Dokuchaeva LM, Jurkova RE, Shalashova OJ. The use of phosphogypsum and phosphogypsum-containing amendments for reclamation of alkaline soils under irrigation // *Scientific Journal of Russian Scientific-Research Institute of the land reclamation problems*. 2012. № 3 (07). pp 52-64.
54. Balakay GT, Dokuchaeva DM, Jurkova RE, Shalashova OJ. Influence of complex land reclamation on the physical and chemical properties of solonetz black soil // *Scientific Journal of Russian Scientific-Research Institute of the land reclamation problems*. 2015. No 4 (20). pp 39-56.
55. Martynenko TA Agromeliorative effectiveness of phosphogypsum at a drip irrigation with saline water when growing onions // *Reclamation*. 2014 №2 (72). pp 24-29.
56. Shchedrin VN, GT Balakay, S. Vasilyev, LM Dokuchaeva RE Jurkova, A. Akopyan, A. Yu Whistlers, A. Yu Whistlers, S. Vladimir Garkusha, SA Shevel, SA Garkusha, NN Malysheva Complex of measures aimed at the preservation and restoration of soil fertility under cyclic irrigation of crops in the Krasnodar region. Novocherkassk: RosNIIPM, 2015. 76 p. <http://www.rosniipm.ru/izdan/2015/COK.pdf>
57. Low-volume irrigation technologies <http://helion-ltd.ru/agr-land-water-wood-eco37-48/>
58. Radevich EV Baranov AI Effect of different doses of phosphogypsum application on the properties of irrigated dark chestnut soils of the Rostov region // *Scientific Journal of Russian Scientific-Research Institute of the land reclamation problems*. 2015. No 1, (17). pp 72-87.
59. Bobrov VA Some anomalies in salinity of soils of dark chestnut subzone of Kustanai region // *Soil Science*. 1977. №2. pp 73-80.
60. Saline Soils of the World <http://issar.com.ua/downloads/docs/nv6.pdf>
61. Li Jiu-yu, Zhao-dong Liu, Wen-zhi Zhao, M.M. Masud, Ren-kou Xu Alkaline slag is more effective than phosphogypsum in the amelioration of subsoil acidity in an Ultisol profile // *Soil and Tillage Research*, Volume 149, June 2015, Pages 21-32 doi:10.1016/j.still.2014.12.017
62. Rhoton, F.E. and D. S. McChesney. 2011. Influence of FGD Gypsum on the Properties of a Highly Erodible Soil under Conservation Tillage // *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 42(16):2012-2023.
63. Tskhovrebov VS Change of microelement's content under the winter wheat due to remineralization of leached chernozem // *Scientific Journal KubGAU*, №77 (03), 2012. <http://ej.kubagro.ru/2012/03/pdf/45.pdf>
64. Aristarkhov AN Agrochemistry of sulfur. M.: VNIIA, 2007. 272 p.
65. Chen, Liming and Warren A. Dick. Gypsum as an agricultural amendment // *Ohio State University, Bulletin* 945. 2011. <http://fabe.osu.edu/sites/fabe/files/imce/files/Soybean/Gypsum%20Bulletin.pdf>
66. Chen, Liming, David Kost, and Warren A. Dick. 2008. Flue Gas Desulfurization products as Sulfur Sources for Corn // *Soil Science Society of America Journal* 72:1464-1470.

67. Brauer, D., G. E. Aiken, D. H. Pote, S. J. Livingston, L. D. Norton, T. R. Way, and J. H. Edwards. 2005. Amendment Effects on Soil Test Phosphorus // *Journal of Environmental Quality* 34:1682-1686.
68. Orlov DS, Sadovnikov LK, Lozanovskaya IN. Ecology and protection of biosphere with chemical contamination. M.: Higher School, 2002. 334 p.
69. Guidelines for the safe application of biosolids to land in New Zealand. August 2003. New Zealand Water & Wastes Association (NZWWA). Ministry for the Environment. <http://www.aucklandcouncil.govt.nz/EN/planspoliciesprojects/plansstrategies/unitaryplan/Documents/Material%20incorporated%20by%20reference/upmirbmfeguidelinesforthesafeapplicationofbiosolidstolandinnewzealand.pdf>
70. Ministry for the Environment. Resource Management (National Environmental Standard for Assessing and Managing Contaminants in Soil to Protect Human Health) Regulations 2011 [New Zealand Legislation website]. <http://www.mfe.govt.nz/more/about-us>
71. Maximum permissible concentration (MPC) of chemicals in the soil. Hygienic standards ГИ 2.1.7.2041-06 [http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/544121/predelno_dopustimye_kontsentratsii_\(pdk\)_khimicheskikh_veshchestv_v_pochve.pdf](http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/544121/predelno_dopustimye_kontsentratsii_(pdk)_khimicheskikh_veshchestv_v_pochve.pdf)
72. Roughly allowable concentration (RAC) of chemicals in the soil. Hygienic standards ГИ 2.1.7.2042-06 http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/46/46590/
73. CLEA 2009. Heavy Metal Guidelines in Soil. Technical Bulletin No.6 http://yara.co.uk/images/6_Heavy_Metals_tcm430-99440.pdf
74. Land contamination: soil guideline values (SGVs) <https://www.gov.uk/government/publications/land-contamination-soil-guideline-values-sgvs>
75. Mandzhieva S.S., Minkina T.M., Chaplygin V.A., Sushkova S.N., Bauer T.V., Nevidomskaya D.G., Motuzova G.V. Plant contamination by heavy metals in the impact zone of Novocherkassk power station in the South of Russia // *Journal of Soils and Sediments*. 2015.
76. Teaf, Christopher M.; Covert, Douglas J.; Teaf, Patrick A.; Page, Emily; and Starks, Michael J. Arsenic Cleanup Criteria for Soils in the US and Abroad: Comparing Guidelines and Understanding Inconsistencies // *Proceedings of the Annual International Conference on Soils, Sediments, Water and Energy*: 2010. Vol. 15, Article 10. Available at: <http://scholarworks.umass.edu/soilsproceedings/vol15/iss1/10>
77. US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Federal Register / Rules and Regulations / Vol. 66, No. 4 / Friday, January 5, 2001. p. 1211. <https://www.epa.gov/lead/hazard-standards-lead-paint-dust-and-soil-tsca-section-403>
78. Sanitary norms of permissible concentrations of chemicals in the soil. SANPIN 42-128-4433-87 (UTV. USSR Ministry of 30.10.1987 N 4433-87) (as at 7 October 2006) <http://russia.bestpravo.ru/ussr/data01/tex11819.htm>
79. Lyashenko GM, VP Kalinichenko Soil and air lead-sheet plants' pollution // *Proceedings of the higher educational institutions. North-Caucasian region. Natural Sciences*. 2006. №S12. pp 124-130.
80. Fluorides. Chapter 6.5. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0018/123075/AQG2ndEd_6_5Fluorides.PDF
81. Damm YP, OG Zheronkina, KV Choline, VL Sofronov, AA Galata The raw material base and prospects for fluorine production in Russia // *Proceedings of the higher educational institutions. Physics*. 2013. V. 56, № 4/2. pp 114-123. <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000475805>
82. Krasnova Natal'ya I. The kovdor phlogopite deposit, Kola peninsula, Russia // *The Canadian Mineralogist*. 2001. Vol. 39. pp 33-44. http://rruff.info/doclib/cm/vol39/CM39_33.pdf
83. Mihkel Veiderma, Rena Knubovets and Kaia Tönsuaadu Structural properties of apatites from finland studied by FTIR spectroscopy // *Bulletin of the Geological Society of Finland* 70(1):69-75 · January 1998. https://www.researchgate.net/publication/287549177_Structural_properties_of_apatites_from_Finland_studied_by_FTIR_spectroscopy http://www.geologinenseura.fi/bulletin/Volume70/sgs_bt_070_pages_069_075.pdf
84. Tandelov YP The natural content of water-soluble fluorine in the Krasnoyarsk region and the technogenic pollution of soil environment // *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2007. №1. pp 97-110.

85. Environmental Health Criteria 227 FLUORIDES. First draft prepared by Dr R. Liteplo and Ms R. Gomes, Health Canada, Ottawa, Canada and Mr P. Howe and Mr H. Malcolm, Centre for Ecology and Hydrology, Cambridgeshire, United Kingdom. World Health Organization Geneva, 2002.
86. Fluorides, Hydrogen Fluoride, and Fluorine. 6. Potential for Human Exposure. 6.1 Overview. pp 203-242. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp11-c6.pdf>
87. Cichy Barbara, Hanna Jaroszek, Andrzej Paszek Cadmium in phosphate fertilizers; ecological and economical aspects // CHEMIK 2014, 68, 10, 837–842 <http://www.chemikinternational.com/wp-content/uploads/2014/10/3.pdf>
88. Contaminants and the Soil Environment in the Australasia-Pacific Region. Editors: R. Naidu, R.S. Kookana, D.P. Oliver, S. Rogers, M.J. McLaughlin Kluwer Academic Publishers, 1996. https://books.google.ru/books?id=YR_-CAAQBAJ&pg=PA165&lpg=PA165&dq=mpc+cd+in+soil&source=bl&ots=t51zRGzLEQ&sig=jIUZhdyzYSal8uMwW9eBtftpdxk&hl=ru&sa=X&ved=0CE4Q6AEwB2oVChMI-OmdrZPlxwIVSP4sCh3D-gGx#v=onepage&q=mpc%20cd%20in%20soil&f=false
89. Cadmium in fertilisers. Risks from cadmium accumulation in agricultural soils due to the use of fertilisers containing cadmium Model estimations October 2000 http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/reports/denmark_en.pdf
90. Wolicka Dorota Biotransformation of phosphogypsum in wastewaters from the dairy industry // Bioresource Technology, Volume 99, Issue 13, September 2008, Pages 5666-5672 doi:10.1016/j.biortech.2007.10.029
91. Yudovich JE, Ketris MP Valuable impurity elements in coals. M.-Berlin: Direct Media, 2016. 539 p.
92. Kwasniewska J Molecular Cytogenetics Serves Environmental Monitoring // Published in abstract book of 3rd ScienceOne International Conference on Environmental Sciences 2014, Page No. 25. Proceeding <http://thescienceone.com/ices/proceedingsices2014.php> 4/16
93. TENORM: Fertilizer and Fertilizer Production Wastes. United States Environment Protection Agency <https://www.epa.gov/radiation/tenorm-fertilizer-and-fertilizer-production-wastes>
94. FAOLEX – legislative database of FAO legal office. European Union: Commission Regulation (EC) No. 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. http://faolex.fao.org/cgi-bin/faolex.exe?rec_id=052610&database=faolex&search_type=link&table=result&lang=eng&form_at_name=@ERALL
95. EUR-Lex <http://eur-lex.europa.eu/homepage.html>
96. World Nuclear Organization. Naturally-Occurring Radioactive Materials (NORM) (Updated July 2015) <http://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/radiation-and-health/naturally-occurring-radioactive-materials-norm.aspx>
97. Lapin A. V., Lyagushkin A. P. The Kovdor apatite-francolite deposit as a prospective source of phosphate ore // Geology of Ore Deposits. February 2014, Volume 56, Issue 1, pp 61-80 <http://link.springer.com/article/10.1134%2FS1075701513060056>
98. International Fertilize Industry Association <http://www.fertilizer.org/Phosphogypsum>
99. International Security Management Association <https://isma.com>
100. GOCT 53765-2009. <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-53765-2009>
101. Wang T., Y. Zhou, Q. Lv, Yuanle Zhu, C. Jiang A safety assessment of the new Xiangyun phosphogypsum tailings pond // Minerals Engineering, Volume 24, Issue 10, August 2011, Pages 1084-1090 doi:10.1016/j.mineng.2011.05.013
102. How does phosphogypsum storage affect ground waters? Florida State University. 1998. <http://fipr.state.fl.us/wp-content/uploads/2014/12/05-042-142Final.pdf>
103. Zinyukov AM Structurally-hierarchical model of natural-technical system of "OAO Fertilizers – Natural environment" // Bulletin of Voronezh State University. 2001. Vol. 12. pp 190-197. <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/heologia/2001/12/Zinyukov.pdf>
104. Dobrydnev EP Internal-drainage water system eliminates the potential risk of accidental pollution of the water body // Ecological Bulletin of Russia. 2012. № 10. pp 46-48.
105. Pérez-López Rafael, Francisco Macías, Carlos Ruiz Cánovas, Aguasanta Miguel Sarmiento, Silvia María Pérez-Moreno Pollutant flows from a phosphogypsum disposal area to an

estuarine environment: An insight from geochemical signatures // *Science of The Total Environment*, Volume 553, 15 May 2016, Pages 42-51 doi:10.1016/j.saa.2015.04.017

106. Al-Hwaiti M.S., J.F. Ranville, P.E. Ross Bioavailability and mobility of trace metals in phosphogypsum from Aqaba and Eshidiya, Jordan // *Chemie der Erde - Geochemistry*, Volume 70, Issue 3, 2010, Pages 283-291 doi:10.1016/j.chemer.2010.03.001

107. Tranchida G., E. Oliveri, M. Angelone, A. Bellanca, P. Censi, M. D'Elia, R. Neri, F. Placenti, M. Sprovieri, S. Mazzola Distribution of rare earth elements in marine sediments from the Strait of Sicily (western Mediterranean Sea): Evidence of phosphogypsum waste contamination // *Marine Pollution Bulletin*, Volume 62, Issue 1, January 2011, Pages 182-191 doi:10.1016/j.marpolbul.2010.11.003

108. Luis F.O. Silva, James C. Hower, Maria Izquierdo, Xavier Querol Complex nanominerals and ultrafine particles assemblages in phosphogypsum of the fertilizer industry and implications on human exposure // *Science of The Total Environment*, Volume 408, Issue 21, 1 October 2010, Pages 5117-5122 doi:10.1016/j.scitotenv.2010.07.023

109. Yang Xiushan, Zhiye Zhang, Xinlong Wang, Lin Yang, Benhe Zhong, Jingfeng Liu Thermodynamic study of phosphogypsum decomposition by sulfur // *The Journal of Chemical Thermodynamics*, Volume 57, February 2013, Pages 39-45 doi:10.1016/j.jct.2012.08.006

110. Liping Ma, Xuekui Niu, Juan Hou, Shaocong Zheng, Wenjuan Xu Reaction mechanism and influence factors analysis for calcium sulfide generation in the process of phosphogypsum decomposition // *Thermochimica Acta*, Volume 526, Issues 1–2, 10 November 2011, Pages 163-168 doi:10.1016/j.tca.2011.09.013

111. Zheng Shaocong, Ping Ning, Liping Ma, Xuekui Niu, Wei Zhang, Yuhang Chen Reductive decomposition of phosphogypsum with high-sulfur-concentration coal to SO₂ in an inert atmosphere // *Chemical Engineering Research and Design*, Volume 89, Issue 12, December 2011, Pages 2736-2741 doi:10.1016/j.cherd.2011.03.016

112. Hammas Ines, Karima Horchani-Naifer, Mokhtar Férid Solubility study and valorization of phosphogypsum salt solution // *International Journal of Mineral Processing*, Volume 123, 10 September 2013, Pages 87-93 doi:10.1016/j.minpro.2013.05.008

113. Zhang Deyi, Heming Luo, Liwen Zheng, Kunjie Wang, Hongxia Li, Yi Wang, Huixia Feng Utilization of waste phosphogypsum to prepare hydroxyapatite nanoparticles and its application towards removal of fluoride from aqueous solution // *Journal of Hazardous Materials*, Volumes 241–242, 30 November 2012, Pages 418-426 doi:10.1016/j.jhazmat.2012.09.066

114. Jalali Jihen, Salwa Magdich, Raja Jarboui, Mouna Loungou, Emna Ammar Phosphogypsum biotransformation by aerobic bacterial flora and isolated *Trichoderma asperellum* from Tunisian storage piles // *Journal of Hazardous Materials*, Volume 308, 5 May 2016, Pages 362-373. doi:10.1016/j.saa.2015.04.0177

115. Valkov A.V., V.A. Andreev, A.V. Anufrieva, Y.N. Makaseev, S.A. Bezrukova, N.V. Demyanenko Phosphogypsum Technology with the Extraction of Valuable Components // *Procedia Chemistry*, Volume 11, 2014, Pages 176-181 doi:10.1016/j.proche.2014.11.031

116. On the rare-earth needle. Russian nuclear company. February 14, 2011. <http://www.atomic-energy.ru/articles/2015/05/06/18690>

117. Binder spreader BS 12000 PROFI <http://www.bomag.sk/Docs/BS12000.pdf>

118. Complex of machines for liquid manure apply http://agroyug.ru/page/item/_id-5142/

119. Kalinichenko V.P. Patent RU № 2387115 C2. Registered in the State Register of Inventions of the Russian Federation, April 27, 2010. Device for entering a substance at intra-soil rotary hoeing. Patentee IPPYUR. IPC A01B 33/02 (2006.01) A01C 23/00 (2006.01) . Application number 2008124500 / 12 (029710) from 16.06.2008 . Published on 27.04.2010 . Bull. Number 12. 7 p. : 2 fig.

120. Kalinichenko V.P., Il'in V.B., Endovitsky A.P., Chernenko V.V. Method for extraction of substances from the fine system. Patent for an invention RU № 2464967 C2. IPC Cl. A61J 1/20 (2006.01), A61M 3/00 (2006.01), B03C 5/00 (2006.01). Patent holder: Company Structure K °. Application № 2011100186/13 (000277) on 11.01.2011. Registered in the State Register of Inventions of the Russian Federation, October 27, 2012. Posted on 27.10.2012. Bull. Number 30. 9 p. : 2 fig.

121. Zaitseva RI, Komarov, NM, NV Grishina, Kirichenko AV, Egorov, YV, Muromtsev NA Resistance of spring barley varieties in the phase of germination – the shoots to soil salinity and moisture deficit during the germination of seeds in solutions // The current state of chernozems. Mat. Int. Conf., September 24-26, 2013. Rostov-on-Don, 2013. pp 113-116.
122. Kalinitchenko Valery, Abdulmalik Batukaev, Tatiana Minkina, Natalia Solntseva, Andrey Skovpen, Ali Zarmaev, Vaha Jusupov, and Olga Lohmanova. Biogeosystem technique – the fundamental base of modern Water Policy and Management // Geophysical Research Abstracts. EGU General Assembly. Vienna, 2014. DOI: Vol. 16, EGU2014-17014, 2014.
123. Mindubava AS, Voloshin AP Kulik, NV, Minzanova ST, Mironova LG, Yahvarov DG, Alimov FK, Ahossiyenagbe SK, Bolormaa C. Ability of anaerobic biodegradation of white phosphorus // Ecological Bulletin of the North Caucasus. 2013. V. 9. № 2. pp 4-15.
124. Melchenko A. Strontium migration in different layers of leached chernozem // Agrochemical Bulletin. 2015. V. 1. № 1. pp 12-14.
125. Ionizing radiation and how to protect against it <http://you-doctor.ru/content/view/277/83/>
126. Anisimov V.S., Kochetkov I.V., Dikarev D.V., Anisimova L.N., Korneev Y.N. Effects of physical-chemical properties of soils on ⁶⁰Co and ⁶⁵Zn bioavailability // Journal of Soils and Sediments. 2015. T. 15. № 11. pp 2232-2243.
127. Kochetkov IV, Anisimov VS, Screamer IA, MV Eremin Influence of physical and chemical properties of the soil on the bioavailability of ⁶⁰Co // Proceedings of the higher educational institutions. Nuclear energy. 2011. № 4. pp 50-57.
128. Spirin EV, Anisimov VS, Dikarev D., Kochetkov IV, DV Krylenkin Prediction model for coefficients of ¹³⁷Cs accumulation in plants // Radiation Biology. Radioecology. 2013. T. 53. № 2. pp 199.
129. Kolesnikov S.I., Rotina E.N., Kazeev K.S. Technology of evaluation methods of soil remediation effectiveness according to biological indicators // Middle East Journal of Scientific Research. 2013. T. 17. № 7. C. 914-918.
130. Abdul-Malik A. Batukaev, Anatoly P. Endovitsky, Andrey G. Andreev, Valery P. Kalinichenko, Tatiana M. Minkina, Zaurbek S. Dikaev, Saglara S. Mandzhieva, and Svetlana N. Sushkova 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, 415-423, doi:10.5194/se-7-415-2016, 2016
131. Rabinovich AL, Lozanovskaya IN, Luganskaya IA Recycler – a new profession of the XXI Century // In: Land reclamation of anthropogenic landscapes. Interuniversity collection of scientific papers. The Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Novocherkassk State reclamation Academy. Novocherkassk, 2004. pp 147-158.

УДК 631.1:631.459 (470.61): 633.11:551.588: 631.4:574:55:91:33:62

Технологии и технические средства утилизации вещества в почве (обзор)

Валерий Петрович Калиниченко

Институт плодородия почв юга России, Российская Федерация
346493 Персиановка, Октябрьского района, Ростовской области, ул. Кривошлыкова, корпус 2
Доктор биологических наук, профессор, директор
E-mail: kalinitch@mail.ru

Аннотация. Конфликт биосферы и технологии требует смены парадигмы развития, развития природоподобных технологий. Почвы земель сельскохозяйственного назначения испытывают уплотнение, осолонцевание, слитизацию, теряют гумус и питательные вещества. Геохимический цикл вещества в почвах разомкнут, вещество выщелачивается и пребывает преимущественно в депозитах, что ввиду ограниченности ресурсов Земли ведет к угасанию биосферы. Имеет место неблагоприятный элювиально-иллювиальный вектор эволюции почв.

Для химической мелиорации почв используют побочные продукты производства, а также руды и горные породы. Это вещества, содержащие как кальций, так и сульфат, который, разрыхляет минеральную фазу почвы. Объем утилизации в почве мал.

Выполнен анализ современных технологий и технических средств утилизации побочных продуктов в фокусе утилизации в почве. Установлено, что технологии и технические средства устарели.

Предложена биогеосистемотехника – трансцендентальные технические решения и технологии управления биогеохимическим циклом вещества в газообразной, жидкой, твердой фазе для экологически безопасного рециклинга вещества в почвах, непротиворечивого решения производственных и экологических проблем ноосферы в едином технологическом цикле:

- ✓ фрезерная обработка почвы в слое 20-50 (30-60) см при одновременном внесении в этот слой вещества позволяет синтезировать в почве приоритетную дисперсную систему для протекания биологического процесса;

- ✓ синтез вещества непосредственно внутри почвы;

- ✓ управление вещественным составом почвенного раствора;

- ✓ импульсная внутрипочвенная континуально-дискретная парадигма ирригации и фертигации обеспечивает сохранение структуры почвы, исключает выщелачивание питательных веществ и гумуса, позволяет сократить потребление воды растениями, усиливает геохимические барьеры распространению загрязнений, повышает продуктивность растений.

Биогеосистемотехника позволяет увеличить производство экологически чистого продовольствия и сырья, повысить привлекательность окружающей среды для проживания, создать престижные рабочие места, укрепить влияние РФ как экспортера наукоемкой продукции и принципиально новых природоподобных технологий.

Ключевые слова: биосфера, почва, побочный продукт, рециклинг, биогеосистемотехника, экологически чистое сырье, продовольствие.