



Питание растений

Вестник Международного института питания растений

Восточная Европа и Центральная Азия

№1, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Эффективное использование фосфогипса
в земледелии.....2

Международный Институт Питания Растений

Иванова С.Е., вице-президент
программы по Восточной Европе и
Центральной Азии
e-mail: sivanova@ipni.net

Носов В.В., директор
программы на Юге и Востоке России
e-mail: vnosov@ipni.net

Бесплатная подписка: ipni-eeca@ipni.net

125466 Россия, Москва,
ул. Ландышевая, д. 12, пом. 17а
тел./факс: +7 (495) 580 64 14

сайт: <http://www.ipni.net>
<http://eeca-ru.ipni.net>

e-mail: ipni-eeca@ipni.net

Перепечатка и любое воспроизведение материалов, опубликованных в
Вестнике, возможны только с письменного разрешения
Международного института питания растений
© Международный институт питания растений 2014



Уважаемый Читатель! Данный выпуск «Вестника» целиком посвящен вопросам применения фосфогипса в земледелии. В представляемом Вашему вниманию обзоре рассматриваются результаты использования этого побочного продукта промышленности минеральных удобрений в России и в мире для следующих основных целей: мелиорация солонцовых почв, применение в качестве многокомпонентного удобрения, получение органоминеральных удобрений, а также рекультивация загрязненных нефтепродуктами почв.



При этом отмечается, что фосфогипс – один из лучших побочных продуктов химической промышленности при использовании в качестве мелиоранта солонцовых почв. В обзоре описывается перспективная технология, позволяющая достичь максимального мелиоративного эффекта, когда мелиорант поступает непосредственно в солонцовый горизонт. Отдельное внимание уделяется имеющемуся опыту по мелиорации черноземов и каштановых почв, деградированных в рисовых системах.

Кроме того, фосфогипс рассматривается в качестве многокомпонентного минерального удобрения – источника фосфора, кальция, серы и микроэлементов для черноземных почв. Процитированы результаты исследований, согласно которым применение фосфогипса имеет важное значение для рисовых севооборотов, так как длительное отчуждение элементов питания с урожаем культур, а также со сбросными и фильтрационными водами в данных системах земледелия способствует значительному снижению содержания в почвах обменного кальция, а также подвижных форм серы и микроэлементов.

Также обобщаются работы, которые показывают, что добавление фосфогипса повышает качество компостов, приготавливаемых с использованием различных органических компонентов. При этом ускоряется созревание данных компостов и уменьшаются газообразные потери азота.

Отмечается, что при среднем нефтяном загрязнении сельскохозяйственных земель рекультивацию верхнего слоя почвы можно проводить без вывоза загрязненного грунта, используя фосфогипс и органические удобрения. При этом активизируются процессы распада нефтепродуктов, ускоряется испарение влаги из загрязненного субстрата и сокращается время на восстановление почвы.

Особое внимание уделяется и экологическим аспектам использования фосфогипса. В этой связи дается всесторонняя оценка содержания тяжелых металлов (меди, цинка, свинца, никеля, кадмия, стронция), фтора, а также радионуклидов в почвах и продукции растениеводства после внесения фосфогипса в исследованиях, проведенных как в нашей стране, так и за рубежом.

Надеемся, что публикуемый материал поможет эффективно использовать фосфогипс – ценный для почвенного плодородия ресурс.

С уважением,
Владимир Носов,
Региональный директор по Югу и Востоку России

125466 Москва ул.Ландышевая, д.12, пом.17 а
<http://www.ipni.net> <http://eeca-ru.ipni.net>

© Международный институт питания растений 2017

Эффективное использование фосфогипса в земледелии

Калиниченко В.П.

Из-за конфликта между биосферой и технологическими процессами в мире назрел вопрос о смене парадигмы развития, и предложено развивать природоподобные технологии (Glazko V., Glazko T., 2015; International Commission Calls ..., 2016). Почвы земель сельскохозяйственного назначения подвергаются уплотнению, осолонцеванию, слитизации; происходит обеднение почв гумусом и питательными веществами, поэтому внесение все больших доз минеральных удобрений не даёт ожидаемого эффекта (Аканова, 2013). До 99% объема почвы составляют тупиковые поры (Shein et al., 2014; Скворцова и др., 2015; 2016). Это отрицательно влияет на взаимодействие минеральной и органической фаз почвы, ухудшает условия агрегации природных дисперсных структур (Shein et al., 2016a; 2016b). Биологический процесс глубже пахотного слоя прекращается, проявляются признаки неудовлетворительного с точки зрения долгосрочного сохранения и воспроизводства плодородия почвы элювиально-иллювиального протекания ее эволюции. Это обуславливает появление неблагоприятных эффектов в почвах, ландшафтах, природно-территориальных комплексах (Лисецкий, 2016; Lisetskii et al., 2015a).

Тысячелетиями актуальна проблема почвенного конструирования (Лозановская, 1999; Шоба и др., 2015). Геохимический цикл вещества в почвах разомкнут: вещество из почвы теряется в атмосферу, гидросферу, литосферу, другие геосферы; на долгое время остается вне биосферы в геологических водных и сухопутных отложениях. Ввиду ограниченности ресурсов на Земле это опасно угасанием биосферы.

Неблагоприятные процессы способствуют выщелачиванию органического вещества, кальция и других биофильных элементов из почвы, особенно в условиях повышенного увлажнения и ирригации, а в наибольшей степени – в культуре риса. Страдает здоровье почвы (Соколов и др., 2015; Семенов, Соколов, 2016).

Неуправляемая природно-антропогенная эволюция почв, наземных и водных систем – это не только неблагоприятный, но и опасный процесс (Lisetsky et al., 2015b; Калиниченко и др., 2013; Разумов и др., 2008). Ранее (в 1994 г.) к числу объектов почвенной мелиорации относили только солонцы и другие деградированные почвы, площадь которых в РФ оценивалась в несколько десятков миллионов гектаров (Радугин, 2016). По состоянию на 2007 г., солонцовые и засоленные земли в РФ занимали 20% площади земельных угодий (Природа России, 2016). Деградация почв нарастает такими темпами, что в Справочнике «Земельный фонд Российской Федерации» солонцовые земли уже не выделяют (Государственный (национальный) доклад ..., 2016).

Очевидно, за последние десятилетия фонд земель РФ, подлежащих мелиорации, к сожалению, резко увеличился. Следует учитывать состояние в агрокультуре не только солонцов, но и других почв, которые ранее считались благополучными, не требующими мелиорации, и меры по управлению плодородием которых вверяли собственникам, а точнее – пользователям. С учетом недальновидного подхода к оценке состояния и использованию земельного фонда, а также отсутствия стратегического видения развития программы управления плодородием почв РФ за последние 25 лет привели к неприемлемым отрицательным результатам (Алексеев, 2014).

Даже лучшие, как полагали до недавнего времени, почвы мира – черноземы (Смагин, 2013) в агрокультуре, особенно в ирригационной агрокультуре, деградируют, приобретают иллювиально-элювиальное строение почвенного профиля и уплотняются (плотность достигает 1.5 и более т/м³) (Шеуджен и др., 2013). Состояние солонцовых почв, а также почв, приобретших солонцовые свойства в агрокультуре, свидетельствует о необходимости мелиорации. Мелиорация предназначена для того, чтобы более успешно решать агрохимическую задачу питания растений, преодолевать проблемы, связанные с защитой окружающей среды (Барсегян и др., 2013), и создавать экологический каркас агроландшафта (Годунова и др., 2015). При этом следует иметь в виду необходимость исключения механического, гидрологического, эолового распространения нативных веществ геосфер и утилизируемых в почве веществ (Endovitsky et al., 2015a; Kalinichenko, 2015; Kalinichenko, Starcev, 2015; Starcev, Kalinichenko, 2015), поскольку эоловое распространение загрязнений особо опасно (National Atmospheric Deposition Program, 2016; Мун и др., 2013).

По проблеме мелиорации почв имеется энциклопедически подробный научный обзор РосНИИПМ (Балакай и др., 2011) и рекомендации по химической мелиорации почв (Любимова и др., 2006; Байбеков и др., 2012). В мире действует программа убеждения всех заинтересованных лиц в том, что утилизировать крупнотоннажный побочный продукт химического производства – фосфогипс (ФГ) в виде отхода в реках и океане и складировать на суше – не самая лучшая практика (Batukaev et al., 2016; Endovitsky et al., 2016; Kalinitchenko, 2016a; 2016b; 2016c; Kalinitchenko et al., 2016; Калиниченко, 2016). В этой связи необходимо обеспечить устойчивый менеджмент фосфорсодержащих продуктов на междисциплинарном уровне (Scholz et al., 2014). Кроме того, надо освобождать земли для расширения активной биосферы (Кизинек, Локтионов, 2013).

Вызовы XXI века требуют принципиального переосмысления подходов к технологической активно-

сти в биосфере в фокусе ее устойчивости, продуктивности, рекреационного качества, привлекательности для жизни, синтеза природоподобных технологий и, соответственно, не имеющих в природе аналогов технических решений для их реализации (Прогноз долгосрочного социально-экономического развития ..., 2016).

1. Мелиорация почв

Все многообразие почв мира используют преимущественно с одной целью – получить больше биологической продукции, которую затем используют в качестве продовольствия и сырья. Эту задачу решают за счет агротехники – применяют систему мер для 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 (Демкин и др., 2012; Николаева, 2007; Yuan et al., 2014) и антропогенном воздействии, с целью повышения выхода биологического продукта применяют средне- и долгосрочные меры коррекции свойств почвы – мелиорацию.

Плодородные почвы мира часто имеют тяжелый гранулометрический состав. Это обуславливает их склонность к слитизации, осолонцеванию, образованию тупиковых пор, засолению и другим негативным процессам, вытекающим из условий генезиса и факторов текущей эволюции.

Потребность в мелиорации во многом вызвана тем, что Природа решает задачу биологического разнообразия, потому свойства почв чрезвычайно разнообразны и в большинстве случаев не соответствуют задаче агротехники – получить максимум биологической продукции при минимуме материальных затрат на создание и выполнение аграрных технологий.

Для реализации цели мелиорации применяют химическую мелиорацию, агротехническую мелиорацию, сочетают химическую и агротехническую мелиорацию (комплексная мелиорация), а также используют и другие виды мелиорации: фитомелиорацию, фитоэкстракцию, ризофилтрацию, ризостабилизацию, в том числе, для удаления тяжелых металлов (ТМ) и радионуклидов из почвы (Heavy Metal Soil Contamination, 2016). И, наконец, сложнейший вид мелиорации – это ирригация.

Мелиорация улучшает условия эволюции почвы с точки зрения питания растений, открывает возможность повысить отклик агрофитоценоза на дополнительное удобрение. Практически все средства химической мелиорации являются одновременно минеральными макро- и микроудобрениями широкого спектра действия (Шеуджен, Бондарева, 2015).

Самый распространенный объект почвенной мелиорации в мире – солонцовые почвы, причем и в зарубежной литературе достаточно широко распространен тот же термин. Общепринятой фундаментальной схемой генезиса и эволюции засоленной почвы является предложенная К.К. Гедройцем сек-

венция «солончак – солонец – солодь». Из этой схемы следует задача мелиорации солонцовой почвы – заменить содержащийся в почвенном поглощающем комплексе (ППК) иллювиального горизонта солонца (15-30 см: глубина расположения иллювиального горизонта варьирует для разных почвенных объектов) натрий на кальций. Это улучшает структуру, увеличивает водопроницаемость почвы, обеспечивает выщелачивание легкорастворимых солей, оптимизирует условия для развития корневой системы, питания растений и биоты почвы и, соответственно, повышает биологическую продуктивность сельскохозяйственных растений. Применяют мелиорант, который содержит кальций. Дозу мелиоранта определяют из расчета внесения в почву количества кальция, эквивалентного содержанию натрия в ППК в расчетном слое почвы (Любимова и др., 2006; Байбеков и др., 2012; Семендяева, Госс, 1984). Схема К.К. Гедройца за последнее столетие прошла успешную широкую практическую апробацию в мире.

Проявления деградации почвы, а в прикладном плане – потеря или ухудшение плодородия, в процессе эволюции разнообразны. Высокая дисперсность иллювиальных горизонтов почв и связанные с ней неблагоприятные водно-физические свойства солонцов составляют одну из характерных особенностей солонцового процесса почвообразования, под которым понимают процесс развития и поддержания комплекса происходящих в почве взаимосвязанных явлений, обусловленный особым сочетанием общей относительно низкой концентрации солей в почвенном растворе и относительно высокого содержания обменного натрия (Минкин и др., 1980, 1982; Хитров, 1995). Слитизацию и осолонцевание почвы сейчас не всегда напрямую связывают с наличием поглощенного натрия (Полевой определитель почв, 2008). Порог содержания натрия в ППК, при котором появляются признаки солонцового педогенеза, предлагают полагать равным 3%. Диагностическим признаком начала осолонцевания почв может служить степень агрегирования почвенной массы: за отсутствие деградации можно принять значение фактора дисперсности, равное 0-5% (Хитров, 2004).

В случаях, когда почва тяжелого гранулометрического состава подвержена слитизации и (или) осолонцеванию, но в ней относительно мало поглощенного натрия, дозу мелиоранта определяют иначе. Например, по методу коагуляции тонкодисперсной фазы почвы под воздействием мелиоранта (Любимова и др., 2006; Байбеков и др., 2012; Корниенко и др., 1990; Минкин и др., 1992).

Причиной неудовлетворительных агрофизических свойств почвы может быть минералогическая композиция тонкодисперсной фазы (Трофимов, Чижикова, 2007; Чижикова, 2013; Хитров, Чижикова, 1995; Чижикова, Столбовой, 2016), ее супердисперсность (Чижикова, 1995; Топунова и др., 2010). Деградация черноземов, темно-каштановых и лугово-каштановых почв при орошении на низком таксономическом уровне происходит в виде дегумификации, ухудшения состав гумуса и макроструктурности.

При близком залегании пресных или слабоминерализованных грунтовых вод ухудшается макроагрегированность, усиливаются разрушение многоуровневых микроагрегатов и уплотнение, возрастает неоднородность микростроения, а также пептизация коагулированных и накопление диспергированных микроформ гумуса и меланонов, диспергирование глинистых минералов, утрата защитных пленок с поверхности минеральных частиц, трансформация лабильных минералов в супердисперсную форму.

Не наблюдается перехода лабильных минералов в супердисперсную форму вследствие стабилизирующего воздействия гипса и карбонатов (Приходько, 2003; Солнцева, Калиниченко, 2011). Супердисперсное состояние тонкодисперсной фазы почвы способствует изменению минералов (Albani et al., 2010), транслокации элементов растениями и стабилизации иллитов в верхнем слое почв умеренного пояса (Barre et al., 2009). Экспериментально показана возможность синтеза монтмориллонита в почвах с обогащенным Si и Mg почвенным раствором в нейтральных или слабощелочных условиях (Reid-Soukup et al., 2002), а также иллит-сметита (Eberl, 1993).

Присутствие в почвенном растворе легкорастворимых солей, особенно сульфатов, уменьшает степень супердисперсного состояния минералов тонкодисперсной фазы почвы (Чижикова и др., 2011). Повышенная концентрация при относительно низком термодинамическом потенциале почвенного раствора от -0.3 до -0.5 МПа благотворна для его электропроводности и доставки элементов питания к корням (Зайцева и др., 2003; 2013), причем при таком потенциале темп нарастания биомассы проростков ячменя был наибольшим.

Для химической мелиорации почв широко используют самые разнообразные вещества – гипс, глауконит, цеолит, ФГ, железный купорос, пирит, пиритный огарок, электролит травления стали, продукты улавливания отходящих газов ТЭС и другие побочные продукты производства, а также руды и горные породы. Это вещества, как содержащие кальций, так и имеющие преимущественно сульфатную основу. Для карбонатных почв в качестве мелиоранта подходит вещество, содержащее сульфат, который, взаимодействуя с кальцием карбонатов почвы, обеспечивает затем замену в ППК натрия на кальций. Сульфат положительно воздействует на минеральную часть почвы и разрыхляет ее.

При производстве фосфорных удобрений по серноокислотной технологии в мире получают 150 млн т/год ФГ. Свойства ФГ – побочного продукта производства экстракционной фосфорной кислоты в РФ соответствуют ТУ 113-08-418-94, его отгружают насыпью с транспортировкой самовывозом (Фосфогипс для сельского хозяйства, 1994).

Исходные свойства ФГ и их динамика в процессе хранения зависят от природы фосфатной руды, типа и эффективности процесса переработки, способа утилизации, а также возраста, расположения, мощности и проницаемости пород и геологических слоев в основании полигона или отвала, где размещают ФГ. ФГ представляет собой порошкообразный

материал, непластичный, состоящий в основном из дигидрата сульфата кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (> 90% гипса) и фторсиликата натрия Na_2SiF_6 . Из-за остаточной фосфорной, серной и плавиковой (следы) кислот, содержащихся в пористом ФГ, он является кислотным побочным продуктом ($\text{pH} < 3$). Отфильтрованный материал содержит 25-30% влаги. Вертикальная проницаемость ФГ находится в диапазоне от $1 \cdot 10^{-3}$ до $2 \cdot 10^{-5}$ см/с. Содержание свободной воды в ФГ сильно варьирует в зависимости от условий дренирования и местных погодных условий. Растворимость ФГ зависит от его pH и состава растворителя, он обладает высокой растворимостью в морской воде (≈ 4.1 г/л). Плотность частиц – в диапазоне от 2.27 до 2.40 г/см³, объемная плотность – от 0.9 до 1.7 г/см³. Хранение высушенного продукта выполняют в хвостохранилище (Лапшина и др., 2012) или, после нейтрализации известью, что практикуют в мире (Tayibi et al., 2012), в виде пульпы в шламоборнике (Кизинек, Локтионов, 2013).

В прошлом в отношении использования ФГ были избыточные предубеждения, что сказывается и на текущей ситуации (Craig, Carlson, 2016). Утилизация ФГ в мире составляет 15%: компонент цемента (Shen et al., 2016), модификатор асфальтового битума (Cuadri et al., 2014), наполнитель бесцементных строительных блоков (Zhou et al., 2014), стабилизатор почвы при дорожном строительстве (Горлов и др., 2015; 2016). Остальное количество ФГ попросту сваливается – суша, прибрежные территории, мировой океан (в Европе запрещено с 1998 г.) (Villa et al., 2009).

ФГ в дозах 5, 10, 20 и 25% улучшает пластичность почвы (Sleiman et al., 2015), уменьшает прочность почвы на сжатие (Degirmenci et al., 2006), а также улучшает ее структуру. ФГ – один из лучших побочных продуктов химической технологии в фокусе использования в качестве мелиоранта почвы (Белюченко и др., 2010; Добрыднев, 2009; Муравьев, Добрыднев, 2008; Кремзин, 1990). В Бразилии до 40% ФГ используют в сельском хозяйстве (Hilton, 2010).

Достаточно высокая реактивность ФГ обусловлена тем, что это свежий химический продукт, в отличие от пассивированного в геологических депозитах природного гипса. Растворимость ФГ в почве в 12 раз больше по сравнению с растворимостью в воде вследствие высокого парциального давления CO_2 и засоления. В мире дозы данного химического мелиоранта для почвы апробированы *in situ* в пределах от 0.2 до 112 т/га и даже более (Добрыднев, Локтионов, 2013; Mullins, Mitchell, 1990; Mays, Mortvedt, 1984), но преимущественно рекомендуют диапазон от 1 до 7 т/га (Аканова, 2013; Шеуджен и др., 2013).

Агротехническую мелиорацию почвы применяют, если в пределах обрабатываемого слоя, чаще – в подсолонцовом горизонте, содержатся карбонаты и сульфаты. Путем механической обработки подсолонцовый горизонт (30-45 см) перемешивают с иллювиальным горизонтом почвы (15-30 см). Это позволяет создать в почве механический каркас, новую дисперсную систему и обеспечить протекание обменной реакции для замены поглощенного натрия на кальций. Для агротехнической мелиорации при-

меняют глубокую (от 0-45 до 0-120 см) отвальную, безотвальную, ярусную, роторную и комбинированную обработку почвы (Новикова, 2009). Используют плантажную обработку на 45 см плугом ПП-40, трехъярусную обработку на 45 см трехъярусным плугом ПТН-40 и его вариантами в двухъярусной наладке (Equipment Comparisons, 2016), глубокое безотвальное рыхление на 30-45 см рыхлителями РСН-2,9, РН-4 (Березин, Гиндемит, 2013; Berezin, 2014a; 2014b).

Если содержащиеся мелиорирующее начало вещества находятся глубже обрабатываемого слоя почвы, дополнительно применяют химическую мелиорацию. Мелиорант вносят разнообразными устройствами (Аканова, 2013; Балакай и др., 2011; Любимова и др., 2006; Байбеков и др., 2012; Семендяева и др., 1982; 1984; Кизинек и др., 2013). При комплексной мелиорации совмещают глубокую мелиоративную обработку почвы и химическую мелиорацию. Устройства для обработки почвы те же, что для агробиологического метода мелиорации. Мелиорант предварительно распределяют по поверхности почвы перед обработкой или вносят в процессе обработки.

Действие мелиоранта усиливают добавлением различных минеральных и органических веществ. Кислая реакция ФГ создает благоприятные условия для разрушения таких органических соединений, как ПАВы, углеводороды и др., что позволяет компостировать его с отходами, содержащими осадки бытовых стоков, опилки мебельных производств, а также различные виды навоза, птичьего помета (ГОСТ 53765-2009), и получать качественное безопасное органоминеральное удобрение (Белюченко и др., 2010). Для компоста применяют: навоз, кизельгур (диатомит), осадок сточных вод, барду, дефекакт (Трофимов и др., 2006), опилки, отходы пищевой промышленности, «биоچار» (биоуголь) (Белюченко, 2016a; 2016b), другие содержащие органическое вещество субстанции, смешивая их с ФГ в соотношении от 1 : 1 до 20 : 1. ФГ повышает качество компоста, предотвращая потерю аммиака, усиливая активность микрофлоры, снижая численность гельминтов, ослабляя минерализацию навоза и органического вещества почвы. Мелиоранты и компосты дают удобрительный эффект, обеспечивая химическую фиксацию азота и других ингредиентов органического вещества. Смешение ФГ и органического вещества при совместном внесении желательно выполнять непосредственно в почве (Сдобников, 1994; Калиниченко и др., 2013).

Успех мелиорации, то есть повышение производства биологической продукции и продолжительность действия мелиорации, во-первых, обусловлен не только тем, насколько выбранный прием мелиорации соответствует свойствам почвы и ландшафта на текущем этапе эволюции, но, во-вторых, в решающей степени определяется тем, каково будет новое, производное от мелиорации сочетание факторов эволюции почвы и ландшафта (Панов, 2008).

Экономическую эффективность применения химической мелиорации предлагают оценивать как долгосрочное отношение прибыли и затрат при

агрономическом использовании гипса, которое составляет 1.68 (Marvin, 2015).

Длительность действия мелиорации оценивается разными авторами по-разному: 5 лет (Докучаева, Юркова, 2011), 7-8 лет (Аканова, 2013), 25 лет (Любимова и др., 2006; Семендяева, Елизаров, 2014). Это отражает разнообразие условий генезиса и эволюции почв, но также свидетельствует и о нестабильности биогеосистемы, которой надо управлять дополнительно.

1.1. Опыт мелиорации почв в дождевой агрокультуре

Во многих регионах страны и мира улучшение агрофизических, физико-химических и химических свойств почвы после мелиорации хорошо документировано (Korcak, 1993; Панов, 2008). В депрессионных и содово-засоленных почвах под влиянием гипса уменьшается количество поглощенного натрия, и повышение концентрации растворимого кальция усиливает флокуляцию коллоидов.

В автоморфных условиях дождевой агрокультуры неблагоприятна повышенная плотность и твердость почвы. Рост корней растения замедляется при уплотнении почвы, если показание пенетрометра > 1.2 МПа. Твердость почвы и сопротивление проникновению пенетрометра больше при редуцированной системе обработки почвы: 0-15 см – 0.5 МПа, 30 см – 4.5 МПа, 50 см – 2.5 МПа; в сравнении со стандартной системой обработки: 0-25 см – 0.5 МПа, 30 см – 3.5 МПа, 50 см – 2.5 МПа. Еще 30 лет назад установили, что редуцированная («минимальная») обработка хуже стандартной, причем даже на супесчано-глинистой почве. Производство фуража на 34% больше при стандартной обработке почвы в сравнении с редуцированной системой (Mullins, Mitchell, 1990).

Исследования, проведенные в США, показали, что через 2.5 года после поверхностного применения гипса уменьшился импеданс – сопротивление пенетрометру в подпахотном слое почвы (Korcak, 1993).

В Ростовской области свойства солонцов в комплексе с каштановыми почвами улучшали посредством внутрпочвенной 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%, а количество поглощенного Na^+ в слое 20-30 см составляет 10.6% от емкости катионного обмена (ЕКО) почвы по сравнению с 19.8% в необработанной почве. Пространственная изменчивость структуры почвенного покрова стала меньше исходной. Прибавка урожайности сельскохозяйственных культур составляет 25-60% и более от уровня стандартной технологии земледелия в течение всего периода наблюдений за 1972-2012 гг. (Минкин и др., 1980; Калиниченко и др., 2011; 2014).

Изучили также влияние длительного действия различных способов мелиорации почвы на агрофизические, физико-химические и агрохимические свойства комплекса темно-каштановой солонцева-

той почвы с солонцами глубокими при отвальной обработке почвы плугом ПЛН-5-35 на глубину 20-22 см (ST), трехъярусной обработке почвы орудием ПТН-40 на глубину 45 см, отвальной обработке почвы с внесением 11 т/га ФГ, трехъярусной обработке почвы орудием ПТН-40 на глубину 45 см с внесением 11 т/га ФГ. Прибавка урожайности сельскохозяйственных культур за счет применения ФГ составила 15-25% в течение 30-ти лет после однократного внесения (Суковатов, 2009).

В сухостепной зоне Калмыкии исследовано длительное действие агробиологической мелиорации темно-каштановых почв в комплексе с солонцами на основе использования мелиоративных плугов в двух- и трехъярусной наладке. Прибавка урожайности выращиваемых культур за счет данного приема составила 15-20% (Баранов, 1992).

В засушливом Заволжье также изучены агробиологический метод мелиорации солонцов (Федорина, Максимова, 1993) и вертикальное мульчирование почвы (Губов, 2005; 2012). На солонцах и солонцеватых черноземах Воронежской области было изучено использование различных мелиорантов, в том числе технологического мела (Цуриков, 1977). Опыт мелиорации почв имеется в Ставропольском крае (Годунова, 2011; Чижикова и др., 2012), Волгоградской области (Азовцев, Дегтярева, 1979), включая не имеющие аналогов в мире разработки в сфере фрезерных машин для мелиоративной обработки почвы (Кириллов, Миллер, 1969; Вакулин и др., 1972; Кузнецов, Елисеева, 2012; Кузнецов и др., 2012).

В Челябинской области заделка мелиоранта лемешно-ротормным плугом обеспечивала его интенсивное перемешивание с почвой, что способствовало улучшению агрохимических показателей почвы и повышению урожайности зеленой массы кукурузы на 17%. При этом содержание радионуклидов в зеленой массе кукурузы снижалось с 0.835 до 0.622 нКи/кг (Козаченко, 2000).

Важно отметить, что глубокая обработка почвы пассивными рыхлителями весной или летом в засушливые годы, увеличивая содержание в пахотном слое некапиллярных пор, ведет к большим потерям воды на испарение (Обработка почвы ..., 2015).

Черноземы Краснодарского края в агрокультуре приобретают неудовлетворительные свойства, что требует мелиорации. Изучено применение ФГ на черноземе выщелоченном слитом (Имгрунт, 2004). Схема опыта включала контроль, несколько стандартных вариантов минерального удобрения, ФГ в дозе 10 т/га. В контрольном варианте содержание физической глины в пахотном горизонте составило 71%, в иллювиальном горизонте – 76%, плотность почвы соответственно была равной 1.33 и 1.55 т/м³, то есть наблюдались крайне неблагоприятные агрофизические свойства почвы. После внесения ФГ они улучшились. Урожайность зерна кукурузы повысилась с 5.99 (контроль) до 8.37 т/га при внесении N40P40K20, и при внесении ФГ была практически на том же уровне – 8.01 т/га.

На примере чернозема обыкновенного карбонатного Краснодарского края изучен рециклинг ФГ в

почве при внесении в дозе 10-40 т/га под ротационную агромелиоративную обработку слоя почвы 30-60 см. При применении ФГ урожайность подсолнечника (5.73 т/га) и кукурузы на зерно (12.44 т/га) были значительно выше, чем в контрольном варианте (соответственно 4.65 и 10.72 т/га) (Мищенко и др., 2009).

Внесение ФГ в чернозем улучшает агрофизические свойства и питательный режим почвы (Белюченко, Муравьев, 2009; Муравьев, Белюченко, 2008; Антоненко, Белюченко, 2014). ФГ обеспечивает улучшение условий агрегирования тонких фракций компоста и почвы. Стабилизация органического вещества идет в виде вторичных органоминеральных комплексов (Белюченко, Славгородская, 2013; Белюченко, Антоненко, 2015; Мельник, 2013; Белюченко, 2014; 2015в; Славгородская, 2009). Формирование благоприятного гранулометрического и агрегатного состава почвы показано объективными данными исследований на микроскопическом уровне. Удельная поверхность ФГ составляет 3100-3600 см²/г. На коллоидных частицах ФГ устойчиво фиксируются тонкодисперсные частицы внесенного органического вещества и тонкодисперсные частицы почвы. Тонкодисперсная фракция смеси почвы, органического вещества и ФГ представлена темно-серыми структурными образованиями размером 1-2 мм, форма которых отличается от частиц ФГ более округлыми и рыхлыми контурами за счет скопления на них пылеватых частиц и органических веществ. Данные гранулы достаточно устойчивы в воде, за счет чего улучшается агрегатный состав, аэрация и условия увлажнения почвы. Так, в почве содержание фракции ила составляло 48%, а в смеси с ФГ – 15-24%. Содержание фракции мелкой пыли в чистой почве было равным 13%, в чистом ФГ – 5%, а в их смеси – 27% (Белюченко и др., 2015). Таким образом, при внесении ФГ степень супердисперсности тонкой фракции почвы уменьшается.

ФГ в количестве 10% сухой массы свиного навоза с добавлением 0.2% дициандиамида (C₂H₄N₄) уменьшает эмиссию NH₃, CH₄ и NO₂ (Luo, 2013). Было показано влияние ФГ и суперфосфата на созревание компоста из кухонных отходов и эмиссию парниковых газов (Yang et al., 2015). Компост из навоза и ФГ быстрее созревает. За 4 месяца потери из навоза составили: органическое вещество – 39%, азот – 63%; а из смеси навоза и 20% ФГ: органическое вещество – 19%, азот – 21%. За счет применения ФГ на черноземах обыкновенных прибавка урожайности зерна кукурузы и корнеплодов сахарной свеклы составила 11% (Белюченко, 2009а; 2009б; Мельник, 2009). В результате использования такого компоста усиливается кущение пшеницы (на 21%) и снижается засоренность посевов. При этом можно снизить норму высева на 20%. Кроме того, наблюдалось повышение качества зерна озимой пшеницы: увеличилось содержание белков, углеводов, провитамина А, витаминов группы В, аминокислот, растворимых полисахаридов и микроэлементов (Белюченко и др., 2010; Мельник, 2009; 2015).

Внесение куриного помета (0.4-0.8 г на 200 г почвы) и смеси куриного помета с ФГ (соответственно

0.4-0.8 г + 1.0 г на 200 г почвы) улучшает структуру и физико-химические свойства почвы, способствует лучшему усвоению питательных веществ и развитию растений овса и, в конечном итоге, увеличивает их продуктивность. При этом повышается количество семян в метелке, выполненность семян, а также масса 1000 семян (Помазанова, Попок, 2010). Аналогичные результаты при мелиорации почвы с использованием ФГ наблюдали в агрофитоценозе озимой пшеницы (Помазанова, Попок, 2012).

Проведенное в Индии исследование показало, что применение ФГ в количестве 10% от массы почвы улучшает ее физико-химические свойства и обеспечивает наибольшее количество колоний микроорганизмов (47.4 КОЕ/г) и грибов (17.8 КОЕ/г), а также наивысшую ферментативную и целлюлазную активность почвы (соответственно 38.4 и 38.37 мг/г за 1 ч) (Nayak et al., 2011).

В вегетационном опыте на примере щелочной почвы ($pH_{H_2O} = 8.1$) изучалось использование ФГ в дозах 0 (контроль), 15, 30, 45 и 60 г/кг сухой почвы. Колонизация корневой системы озимой пшеницы эндомикоризным грибом *Glomus mosseae* была наибольшей при дозе ФГ 15 г/кг. Потребление P, Cu, Fe, а также сухая масса растений были максимальными при дозе ФГ 30 г/кг. При этом уменьшалась потребность в фосфорном удобрении (Ghazi et al., 2002).

Изучено влияние ФГ на развитие микробиоценоза чернозема обыкновенного сверхмощного с определением численности бактерий, в том числе актиномицетов, и плесневых грибов в почве под озимой пшеницей, подсолнечником и кукурузой. В контрольном варианте доминировал прокариотный комплекс, численность которого на несколько порядков превышала численность микроскопических грибов. В данном варианте общая численность бактерий в почве в период проведения исследований варьировала от $8 \cdot 10^6$ до $1.78 \cdot 10^8$ КОЕ/г, и преобладали аммонифицирующие микроорганизмы. После внесения ФГ возросла численность микробного сообщества, но ингибировалось развитие нитрифицирующих бактерий. Увеличение численности актиномицетов на 11% наблюдали при этом под кукурузой и подсолнечником. Повышение концентрации P_2O_5 в верхнем слое почвы за счет внесения ФГ способствовало усилению ферментативной активности почвы, в частности увеличилась численность микроскопических грибов (Волошина, 2009; 2011).

В вышеуказанной серии исследований за счет внесения ФГ в почву численность микроорганизмов, использующих органические формы азота, увеличилась на 10%, количество микроорганизмов, ассимилирующих минеральный азот, – на 8%, актиномицетов – на 11%, целлюлозоразрушающих микроорганизмов (в основном, за счет рода *Pseudomonas*) – на 16%, число колоний азотобактера – на 8% (Пономарева, Белюченко, 2005).

Кроме того, было установлено, что по сравнению с контролем при внесении ФГ в дозе 3 т/га совместно с навозом в дозе 50 т/га в черноземе обыкновенном в 1.5-6 раз увеличивается количество ценных для почвообразования представителей почвенной ме-

зофауны: малощетинковых червей, муравьев, кивсяков и энхитреид. Возрастает также численность двупарноногих многоножек, что объясняется увеличением содержания кальция в почве. Свойство ФГ задерживать развитие проростков озимой пшеницы на стадии всходов позволяет сократить численность личинок жуликов первой и второй стадий развития, представляющих наибольшую опасность для посевов (Петух, Гукалов, 2009). После внесения в почву ФГ численность мышевидных грызунов снижается в несколько раз. Возможно, кислая реакция ФГ негативно влияет на работу их пищеварительного тракта. (Белюченко и др., 2011).

На черноземах обыкновенных урожайность кукурузы на зерно при стандартной агротехнике составила 6.61 т/га, а после внесения ФГ в дозе 3-5 т/га – 7.22 т/га; урожайность корнеплодов сахарной свеклы выросла при этом с 40.1 до 44.4 т/га; а урожайность зерна озимой пшеницы – с 5.90 до 6.28 т/га (Муравьев, Белюченко, 2008).

Ощелачивание почв степного Крыма в слое 50-100 см при длительном орошении из Северо-Крымского канала угнетает плодовые культуры. Плантажная обработка почвы при закладке сада способствует образованию щелочных солей вследствие протекания в почве неблагоприятных ионообменных процессов. Для нейтрализации щелочности темно-каштановой слабосолонцеватой почвы на желто-бурых лессовидных глинах, содержащей гидрокарбонаты натрия и магния в слое 60-100 см и соды на глубине 80 см, применяли гипс, ФГ и другие соединения (Клименко, 1992; 2015; Новикова, 2002). Доза мелиоранта для полной нейтрализации гидрокарбонатов натрия и магния и соды в слое почвы 0-120 см составила 4 т/га. Мелиоранты вносили на поверхность почвы и на глубину 50 см. В результате получили нейтрализацию щелочных солей, увеличение содержания водорастворимого и обменного кальция, а также повышение содержания элементов питания растений в почве.

При внесении на поверхность почвы действие мелиорантов на солевой состав почвы продолжалось в течение 4-х лет после внесения, затем затухало, поэтому выполняли повторную (периодическую) мелиорацию почвы. Через 23 года после внесения мелиорантов (2012 г.) установлено, что по сравнению с контролем внесение мелиорантов вглубь почвы обеспечило выщелачивание легкорастворимых солей ниже критического для плодовых культур уровня за счет лучшей водопроницаемости почвы, особенно при использовании ФГ (Клименко, 2015).

Лимитирующим фактором, обуславливающим продуктивность мелиорированных почв в регионах, где распространены автоморфные каштановые почвы и черноземы (свойства которых обусловлены природным или антропогенным проявлением солонцовых свойств, а также слитизацией), в условиях постмелиоративной дождевой агрокультуры является периодический недостаток влаги в почве в период органогенеза растений. В целом, повышение продуктивности земель после мелиорации составляет 15-30%. Срок окупаемости затрат – 1-2 года.

1.2. Опыт мелиорации почв в дождевой агрокультуре в условиях повышенного атмосферного увлажнения

В условиях высокого атмосферного увлажнения почвы для преодоления слитизации и повышенной плотности внутренних горизонтов применяют рыхлители объемного (без образования вертикальных щелей) рыхления на глубину 0.5-1.2 м с одновременным внутрипочвенным внесением пылевидных и жидких химических мелиорантов (Казаков, 1983; Технологии повышения плодородия почв, 2016).

В Австралии в южной части штата Виктория в условиях повышенного дождевого увлажнения ярко выражено элювиально-иллювиальное устройство слитой почвы, и предложено разрушать иллювиальный горизонт с внесением навоза и мелиорантов (Lawson, 2015). На почве содового засоления реализуют проект подпочвенного внесения удобрений (Subsoil Manuring, 2016). При этом 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. В результате использования вышеуказанной технологии усилилась пролиферация корневой системы в угрожающей зоне, улучшилась структура почвы, увеличилась её микропористость и влагопроводность, и больше воды было извлечено растениями из подпахотного горизонта (Peries, Gill, 2016; Gill et al., 2010; Costerfield, 2016; Subsoil placement ..., 2016; Sale, 2016).

ФГ применили как Са-мелиорант для улучшения почв содового засоления болотистой территории в районе г. Лебриха (юго-запад Испании) (Enamorado et al., 2014). Дозы ФГ составили 0, 20, 60 и 200 т/га. Содержание подвижного Сd в почве – 2.1 мг/кг. Фактор переноса тяжелых металлов (ТМ) из почвы в растение определили для большого набора элементов. Получили наибольший фактор переноса для Сd в побегах (4.0) и плодах томата (1.5). ФГ снизил концентрацию Мn, Со и Сu в побегах, а также В, Сu, Sb, Cs, Ва, Тl и Th в плодах и способствовал аккумуляции Se в плодах. Концентрация Сd в томатах превысила лимит при дозе ФГ выше 60 т/га.

Во влажном климате промывной водный режим и выщелачивание ведут к усиленному варьированию свойств почв и ощелачиванию, что влияет на урожайность возделываемых культур. Изучена долгосрочная мелиоративная эффективность гипса в дозах 10 и 35 т/га на ферраллитных почвах (Тома et al., 1998). Через 16 лет после внесения эффект отчетливо заметен: содержание SO_4^{2-} и обменного Са по почвенному профилю больше чем в контроле; содержание обменного Al уменьшилось до глубины 80 см, но рН вниз по профилю почвы изменился не сильно; повышение урожайности кукурузы произошло на 29-50%, люцерны – на 50%. Гипсование экономически эффективно, поскольку затраты амортизируются на

длительный период.

Изучено действие ФГ и других мелиоративных материалов на свойства почвы в севообороте соя – овес – сорго в условиях тропиков при нулевой системе обработки почвы (Hideo et al., 2016; Crusciol et al., 2016). В Бразилии (район Гуарапурава, штат Парана) изучали внесение ФГ на поверхность почвы в дозах 0, 1.5, 3.0, 4.5 и 6.0 т/га (Michalovicz et al., 2014). В результате уменьшилось содержание таких обменных катионов, как Al^{3+} и Mg^{2+} в слое 0-0.1 м, увеличился рН в слое 0.2-0.6 м и повысилось содержание катиона Ca^{2+} в слое 0-0.6 м, а также аниона SO_4^{2-} до глубины 0.8 м. Содержание Са и S в листьях увеличилось, а Mg – уменьшилось как функция дозы ФГ. Прибавка урожайности ячменя – линейная (урожайность: 4.45 т/га без ФГ; 4.8 т/га с ФГ в дозе 3 и 6 т/га), кукурузы – квадратичная (урожайность: 9.80 т/га без ФГ; 10.80 т/га с ФГ в дозе 3 т/га).

В Бразилии значительные территории занимают кислые почвы, природа кислотности которых обусловлена соединениями алюминия. ФГ предлагают использовать при нулевой обработке почвы без предварительного известкования. Так, полевой эксперимент проводили на супесчано-глинистой почве и применили поверхностное внесение доломитового известняка в дозах 0, 1.1, 2.7 и 4.3 т/га; а также ФГ в дозах 0 и 2.1 т/га в культуре риса и сои (Soratto, Rogério, 2008). После известкования увеличилось содержание Са, Mg и Mn во флаговых листьях риса, повысилась сухая масса побегов и урожайность риса, а также увеличилось содержание К в листьях сои и повысилась ее урожайность. После внесения ФГ уменьшилось содержание Mg в листьях риса и сои, увеличилось содержание S в листьях и зерне и повысилась урожайность риса. В присутствии ФГ известкование уменьшило содержание Zn в листьях и увеличило сухую массу побегов. Урожайность культур повышалась даже в отсутствие полного мелиоративного эффекта с точки зрения стандартных критериев.

1.3. Опыт мелиорации почв в дождевой агрокультуре в гидроморфных условиях

В гидроморфных условиях выполнение мелиорации почв сопряжено с дополнительными трудностями. Так, в дождевой агрокультуре юга Западной Сибири, где солонцы занимают 10 млн га (Березин, 2005; Березин, Гиндемит, 2013; Berezin, 2014a; 2014b; Березин и др., 2015), результаты применения агротехнической, химической и комплексной мелиорации определяются, к сожалению, именно неблагоприятной для протекания мелиорации почвы гидроморфной природой ландшафта.

Выполнены исследования в Тюменской области (Скипин, Гузеева, 2007). Северная лесостепь Западной Сибири – территория, где распространены солонцы корковые и мелкие луговые многонатриевые сульфатно-содовые высококарбонатные глубокогипсовые тяжелосуглинистые. Содержание гумуса в слое 0-20 см составляет 5%. Количество обменного Na в горизонте В – 40-72% от ЕКО. Карбонаты залегают с поверхности, максимум находится на глубине

40-60 см (12%). Исходные запасы легкорастворимых солей в слое 0-10 см равны 2.3 т/га, максимум – в слое 10-40 см (0.6%). Уровень грунтовых вод (УГВ) – 1.2-2.4 м, минерализация – 0.8-1.2 г/л.

Глубокое безотвальное рыхление, плантажная и трехъярусная обработка обусловили избыточное влагонакопление и запыление почвы. Мелиоранты (гипс – 7 т/га, ФГ – 7 т/га, сернокислое железо – 11 т/га) не обеспечили рассоления почвы. Содержание поглощенного натрия снизилось незначительно. Урожайность сена трав за счет улучшения аэрации и азотного режима почвы в относительном выражении повысилась, но оставалась низкой.

Землевание слоем от 5 до 20 см и сочетание землевания с внесением гипса дало немного более заметный эффект в плане повышения урожайности. Авторы предлагают луговые корковые многонариевые солонцы сульфатно-содового засоления вывести из пашни и сенокосов ввиду отсутствия прироста валовой энергии за счет комплекса агро-мелиоративных мер.

Южная лесостепь Западной Сибири – территория, где распространены солонцы сульфатно-хлоридные (нейтрального засоления). Содержание обменного Na в горизонте В составляет 23.5% от ЕКО. Содержание водорастворимых солей в слое 0-40 см – 0.4%, максимум залегает глубже 40 см. Исходное количество легкорастворимых солей в слое почвы 0-1 м равно 68.5-69.9 т/га. УГВ – 1.5-3.0 м.

На 3-й год действия глубокого рыхления и трехъярусной обработки выщелачивание из почвы легкорастворимых солей составило: контроль – 15.7-17.5 т/га; рыхлитель РСН-2,9 + 0.5 дозы ФГ – 31.8-33.3 т/га; рыхлитель РСН-2,9 + 1.0 дозы ФГ – 37.0 т/га. Отток легкорастворимых солей из почвы в период действия мелиорации улучшали путем ежегодного рыхления на 20-22 см. Вытеснение Na из ППК за счет применения ФГ составило от 5.8-6.8% (0.5 дозы ФГ) до 10.0-13.0% (1.0 дозы ФГ). Прибавка урожайности культур получена за счет мелиоративного действия сульфата кальция, а также содержания фосфора в ФГ. Урожайность сена трав повысилась в 2-3 раза, но оставалась низкой. Землевание слоем от 5 до 20 см, а также сочетание землевания с внесением ФГ дало большее повышение урожайности.

Для условий севера Тюменской области рекомендуют внесение ФГ дозой 21 (43) т/га в солонец луговой корковый сульфатно-содовый в слой 0-15 (0-30) см совместно с буровым шламом, содержащим полиакриламид, конденсированной сульфит-спиртовой бардой, карбоксиметилцеллюлозой и другими соединениями (Скипин и др., 2013).

Внесение в солонцы лесостепи Зауралья ФГ поверхностным способом в дозе 25 т/га обеспечило снижение дисперсности почвы. В сравнении с контролем – негипсованной пашней на 10-й год после проведения химической мелиорации в пахотном горизонте степень солонцеватости существенно снизилась (8.2 и 4.2% соответственно), а в солонцовом и подсолонцовом горизонтах, наоборот, увеличилась (соответственно 7.6 и 9.8%, 8.9 и 13.7%) (Шлегель, 2005).

Изучен солевой режим мелиорированных луго-

вых малонатриевых солонцов Западной Сибири. Показано изменение свойств и биологической активности солонцов корковых Барабинской низменности при длительном действии гипса (Семендяева, 1980; Семендяева, Госс, 1984; Семендяева и др., 2014).

Разработано приспособление к рыхлителю РС-1,5 для внесения сыпучего мелиоранта в обрабатываемый слой с распределением по ширине захвата обрабатываемого слоя пневмотранспортом. При этом передняя группа рабочих органов рыхлит верхний слой почвы, а задняя группа перемешивает солонцовый и подсолонцовый горизонты. Заявлен желаемый результат – фрезерование и рыхление второго слоя. Однако в действительности имеет место только перемешивание почвы с мелиорантом пассивным рыхлителем. Урожайность сельскохозяйственных культур в Барабинском районе (Новосибирская обл.), по данным СибНИИЗХиМ, без мелиорации и при химической мелиорации почв была соответственно следующей: ячмень – 1.20 и 2.80 т/га; кукуруза на силос – 13.0 и 18.0 т/га; пшеница – 1.74 и 2.63 т/га. Однако в данном регионе мелиоративный эффект нестабилен во времени и по объектам. С одной стороны, сообщают, что через 20 и 25 лет после химической мелиорации улучшение свойств почвы наблюдали по всему почвенному профилю (Семендяева и др., 2015). С другой стороны, отмечают засоление малонатриевых солонцов после химической мелиорации. УГВ при этом – 1.5-2.4 м, при подъеме – 0.5 м; минерализация – 1.5-1.8 г/л. В почве и грунтовых водах присутствует сода, pH_{KCl} почвы – до 11. Авторы констатируют, что засоление почв после мелиорации усиливается, поскольку улучшаются их агрофизические свойства, и грунтовые воды легче проникают к почве. Засоление протекало интенсивнее в малонатриевых солонцах, чем в многонариевых: происходила реставрация натрия в ППК, что потребовало повторной мелиорации (Семендяева, Елизаров, 2014).

В Западной Сибири применяли стартовую дозу ФГ до 32 т/га (1970), затем через 15 лет – еще до 32 т/га (1985). За исследуемый период (1986-2005 гг.) на практически бесплодной почве после повторной мелиорации ФГ в дозах 8, 16 и 32 т/га прибавка урожайности сельскохозяйственных культур составила соответственно 1.33, 1.50 и 1.68 т к.е./га. Затраты на мелиорацию окупились за 3-4 года. ФГ вносили с поверхности (нет технического решения для иного варианта внесения), поэтому в слое 0-20 см количество поглощенного натрия уменьшилось с 14.8 мг-экв/100 г в контрольном варианте до 4.3 мг-экв/100 г в варианте с внесением 32 т ФГ/га, но в слое 20-40 см оно практически не изменилось – соответственно 18.2 и 17.8 мг-экв/100 г (Троценко, Тарасова, 2014). Напомним, горизонт В подлежит мелиорации, но не горизонт А.

Однако, кроме выбора надлежащего горизонта для внесения мелиоранта, необходимо изменение гидрологического режима, иначе и впредь будет наблюдаться неустойчивая незначительная прибавка продуктивности почвы и реставрация ее природных свойств в условиях неизменной суммы факторов эволюции.

Лимитирующим фактором мелиорации почвы в условиях дождевой агрокультуры в рассмотренном регионе является гидроморфный гидрогеологический режим территории, подверженной сульфатно-содовому засолению (Байбеков и др., 2012).

1.4. Опыт мелиорации почв в ирригационной агрокультуре

Требования СНиП 2.08.0385 «Мелиоративные системы и сооружения» от 1986 г. (СНиП 2.08.0385, 1986) 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 (Турсина, 2016).

Конфигурация технических решений современной парадигмы ирригации приводит к значительным длительным неблагоприятным изменениям орошаемых земель в результате переувлажнения (Калиниченко и др., 2013; Lisetsky et al., 2015) вплоть до трансформации минералогического состава почвы. Ирригацию ввиду высокой, доказанной тысячелетиями практики вероятности катастрофических последствий ее применения для почв, ландшафтов, территорий и цивилизаций следует выполнять квалифицировано, сочетая с мелиорацией почвы (Лозановская, 2001).

Хорошо изучена химическая и комплексная мелиорация орошаемых почв. К негативным процессам в почвах, в первую очередь, следует отнести переувлажнение и заболачивание, уплотнение и слитизацию. Эти процессы приводят к потере почвенного плодородия, а именно: резко снижаются запасы гумуса; в его составе увеличивается доля более подвижных форм – наблюдается преобладание фульвокислот; в анаэробных условиях появляются токсичные вещества, блокирующие доступность питательных элементов растениям. Применение органоминеральной системы удобрений на таких землях не способствует поддержанию почвенного плодородия и экономически нецелесообразно. В связи с этим на первый план выступают следующие мероприятия: поддержание уровня грунтовых вод ниже критического; борьба со щелочностью и солонцеватостью; разуплотнение орошаемых земель. При этом оросительная сеть должна быть только закрытой.

В нейтральные сульфатные или хлоридно-сульфатные остаточно-натриевые солонцовые почвы с содержанием в мелиорируемом слое карбонатов менее 3% и гипса менее 0.3% следует вносить гипс, глиногипс, ФГ. Для многонариевых хлоридно-сульфатных, сульфатно-хлоридных и содовых солонцов предпочтительнее «кислые» мелиоранты: ФГ, отработанная серная кислота, отработанный электролит травления стали, содержащий серную кислоту. При наличии высококарбонатных солонцов серную кислоту следует вносить непосредственно в карбонатный горизонт – это особо значимая рекомендация, но неисполнимая на имеющемся техническом уровне.

Дозу мелиоранта определяют расчетным мето-

дом. При содержании обменного натрия в ППК в количестве 8-12% она составляют: гипса – 10-12 т/га, ФГ – 12-16 т/га, удобрительно-мелиорирующего компоста – 15-25 т/га (Докучаева и др., 2011, Скуратов и др., 2005).

Улучшение мелиоративного состояния почвы, а именно водно-физических свойств, обеспечивает конструкция орудия, выполняющего равномерное распределение порошкообразного или гранулированного полиакриламида внутри пахотного горизонта, что позволяет сохранить структуру почвы и улучшить динамику уплотнения после полива (Семеновко, Абезин, 2014).

Применяют превентивное внесение мелиоранта в оросительную воду. Для улучшения состояния почв предлагают ежегодное внесение мелиоранта в дозах, эквивалентных содержанию натрия в оросительной норме воды (Аканова, 2013; Кизякова и др., 1987; Скуратов и др., 2000; Савич и др., 2014). В некоторых ирригационных схемах в мире имеет место прирост содержания магния в почве. Избыток магния удаляли из почвы внесением от 3.3 до 8 т/га ФГ; экономически наиболее выгодна доза 3.3 т/га (Vyshpolsky et al., 2010).

В Индии в длительном стационарном полевом эксперименте изучена ирригация водой содового (остаточный карбонат натрия, RSC – 10 мэкв л⁻¹) и смешанного содового состава (RSC – 10 мэкв л⁻¹; электропроводность, ЕС – 3 дСм м⁻¹) мелиорированной хорошо дренированной песчано-глинистой почвы (Typic Ustochrept). Контроль – полив качественной водой. При поливе водой содового и смешанного содового состава изучили внесение свиного навоза в дозе 20 т/га в год и гипса при каждом поливе из расчета нейтрализации RSC = 7.5 мэкв л⁻¹. Согласно полученным результатам, длительная ирригация водой содового и смешанного содового состава увеличивает рН, ЕС почвы, ЕС насыщенной водой почвенной пасты, однако отрицательный эффект относительно меньше при смешанном содовом составе воды.

Урожайность сахарного тростника при поливе качественной водой составила 12.2 т/га. Биометрические показатели сахарного тростника при орошении водой содового и смешанного содового состава были низкими. Урожайность, равная соответственно 10.2 и 8.3 т/га в первый год, в последующем снижалась на 0.29 и 0.18 т/га в год. При этом значительно возросла ЕС тростникового сока, а также увеличилось содержание Na⁺, Cl⁻ и SO₄²⁺ в соке.

Применение гипса дало прибавку урожайности сахарного тростника при использовании воды содового засоления на 30%, а при использовании воды смешанного содового засоления – на 13%. Свиной навоз обеспечил прибавку урожайности соответственно на 23 и 38%. Их совместный эффект получен при использовании воды содового засоления (12.3 т/га). Долговременно устойчивую урожайность сахара и высокое качество сока обеспечивало внесение свиного навоза и гипса (с каждым поливом) при поливе водой содового засоления, а также свиного навоза при использовании воды смешанного содового засоления (Choudhary et al., 2004).

В зависимости от дозы внесения ФГ в полевых опытах, проведенных в Казахстане, получена следующая урожайность хлопка-сырца: 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 (Vyshpolsky et al., 2010). В исследованиях, проведенных в Сирии, прибавка урожайности ячменя к контролю при дозе внесения ФГ 20 и 40 т/га составила соответственно 40 и 49% (Hilton, 2010).

Комплексная мелиорация рекомендована на орошаемых солонцовых и засоленных почвах Нижнего Поволжья (Казакова, 2006; 2007).

Действие ФГ в дозе 8 т/га изучали при ирригации на каштановой почве в комплексе с солонцами. После внесения ФГ количество поглощенного натрия в почве в слое 20-30 см снизилось с 15.1 до 1.7%; содержание подвижного фосфора (по Мачигину) в слое 0-20 см составило 3.91 мг $P_2O_5/100$ г, а в слое 20-40 см – 2.49 мг $P_2O_5/100$ г. В результате урожайность кукурузы на силос возросла с 26.0 до 33.0 т/га (или на 27%) (Калиниченко, 1990).

В Ростовской области изучали возможности оптимизации агрофизических свойств чернозема орошаемого деградированного в результате полива минерализованными оросительными водами (1.7-2.0 г/дм³) путем применения ФГ, а также удобрительно-мелиорирующих компостов на основе глауконита, ФГ и птичьего помета (Юркова, 2012). Внесение полной, рассчитанной на вытеснение поглощенного натрия, дозы ФГ (10-12 т/га) как отдельно, так и в составе компоста дало снижение плотности сложения почвы с 1.46 до 1.16 т/м³; пористость увеличилась до 47-56%; количество водопрочных агрегатов возросло с 30 до 50%. В период с 1-го по 5-й годы действия мелиорации щелочность почвы составила 0.4-0.6 мг-экв/100 г почвы (до мелиорации – 1.3 мг-экв/100 г); количество поглощенного натрия – 1-2 мг-экв/100 г почвы (до мелиорации – 7 мг-экв/100 г). Однако на 6-й год действия мелиорации щелочность почвы возросла до 1.1 мг-экв/100 г почвы; количество поглощенного натрия – до 3 мг-экв/100 г почвы. Авторы связывают ухудшение свойств почвы на 6-й год действия мелиорации с «усилением водной нагрузки». Полученные данные свидетельствуют о недостаточной устойчивости ирригационной системы.

За счет содержащих ФГ компостов получили значительную прибавку урожайности сельскохозяйственных культур, которая составила в среднем 36-44%: озимой пшеницы – 54%, кормовой свеклы – 31%, сои на зерно – 52% (Докучаева и др., 2012). За период действия мелиорации стоимость дополнительной продукции составила от 68.4 до 72.4 тыс. руб./га, экономический эффект – от 65.3 до 70.0 тыс. руб./га.

Изучено влияние комплексной мелиорации солонцов черноземных в комплексе с южными черноземами на фоне мелиоративной трехъярусной обработки плугом ПТН-3-40 и мелиоративной обработки плужно-фрезерным орудием ПТН-2-40Ф при различных сочетаниях доз ФГ и навоза (Балакай и др., 2015; Докучаева и др., 2011). Самый эффективный по мелиорирующему воздействию на почву вариант

эксперимента – использование орудия ПТН-2-40Ф, внесение ФГ в дозах 10-20 т/га и навоза в дозах 20-40 т/га. К 4-му году действия мелиорации солонцеватость почвы в слое 0-40 см снизилась на 65-70%, и доля обменного натрия составила 8-9% от ЕКО, приблизившись к значению для зональной почвы (6-7%). Также снизился рН почвы, возросла содоустойчивость. Вынос токсичных солей из мелиорированного слоя составил 53-62%, что было на 15-35% выше по сравнению с вариантом, где применялась трехъярусная обработка.

На темно-каштановой среднесуглинистой слабосолонцеватой почве изучалось использование ФГ в качестве мелиоранта при выращивании овощных культур (Мартыненко, 2014). Почва имела следующие показатели плодородия: гумус в слое 0-0.3 м – 2.35%, нитратный азот – 5 мг/кг, подвижные фосфор и калий (по Мачигину) – соответственно 72 и 293 мг/кг. При капельном поливе кальцинированной поливной водой (маточный раствор ФГ с концентрацией 1.5 г/л) и внесении ФГ в дозе 1.9 и 3 т/га получена прибавка урожайности лука репчатого 5.0-5.2 т/га (14-15%) по сравнению с вариантом орошения без использования мелиоранта.

1.5. Опыт мелиорации почв в культуре риса

Самой сложной в ирригации является культура риса. Из всех известных способов полива растений наибольшее отрицательное воздействие на почву и ландшафт оказывает полив затоплением, включая варианты периодического затопления или дискретного во времени полива в культуре риса. Полагают, что недостатки полива затоплением целиком определяются особенностями культуры риса, для успешного возделывания которого требуется много воды. В прошлом при возделывании риса в Средней Азии применяли высокие и сверхвысокие оросительные нормы – вплоть до 100 и более тыс. м³/га, что было связано с параллельным решением задачи по обеспечению промывного водного режима. В настоящее время оросительные нормы в культуре риса меньше.

Переувлажнение, особенно на фоне исходных неблагоприятных и неустойчивых свойств почвы, ведет к ее деградации: повышенной щелочности и осолонцеванию (Бобков, 1976); избыточному выщелачиванию растворимых веществ, в том числе кальция и элементов питания; диспергированию глинистого материала почвы – он переходит в супердисперсное состояние; переуплотнению в результате гидроморфной флотации тонкодисперсной фазы почвы; трансформации минеральной композиции. В результате имеет место неблагоприятная комбинация тонкодисперсной фазы, оглеение; а после сброса воды происходит слитизация, развиваются усадочные напряжения в цикле увлажнения – высушивание, разрушается каркас почвы (Минкин и др., 1980; 1982). Причем это проявляется даже на уровне минеральной композиции. Ее обычно считают консервативной, но эксперименты, в которых выполнен прямой синтез минералов группы монтмориллонита при стандартной температуре и давлении, свиде-

тельствуют о том, что минеральная композиция почвы весьма динамична. Минеральная композиция почвы – это не только след прошедших стадий преобразования материала почвообразующей породы, но также и продукт текущей эволюции при ирригации (Кизинек, Локтионов, 2013).

Опыт мелиорации черноземов, ухудшенных в культуре риса, накоплен в Краснодарском крае. Площадь земель антропогенной деградации почвенного покрова увеличивается. Ввиду избыточной водной турбации почвы формируется трещиноватая неблагоприятная структура, плотность почвы увеличивается до 1.5 т/м³ и становится неприемлемой для развития корневой системы растений (Шеуджен и др., 2013; Имгрунт, 2004).

При длительном использовании в рисосеянии солонцовых почв без химической мелиорации развиваются процессы осолодения и вторичного осолоднения, увеличивается подвижность гумуса, усиливается его вымывание, а также выщелачивание кальция из почвы. Потери кальция из почвы в СНГ составляют 72-200 кг/га, в Германии – 80-250/га, в Италии – 370 кг/га, а в России – 200-450 кг/га в год (Кизинек и др., 2013).

Внесение ФГ в дозе 3.0 т/га обеспечивает в лугово-черноземной почве значение суммы поглощенных оснований в 28.7 мг-экв/100 г почвы и содержание Са, равное 87% от ЕКО; при применении 5.0 т/га ФГ первый показатель достигает 30.1 мг-экв/100 г почвы, а второй – 90% (Локтионов и др., 2015).

При длительном затоплении почвы обеднение пахотного горизонта кальцием протекает наиболее интенсивно при систематическом внесении под рис высококонцентрированных безбалластных минеральных удобрений – карбамида, двойного суперфосфата и хлористого калия. Эти удобрения дополнительно повышают растворимость всех минеральных и органических веществ, имеющихся в почве (Кизинек, Локтионов, 2013).

Комплексная мелиорация южных черноземов и каштановых почв в культуре риса сочетанием ФГ и навоза на фоне глубокого рыхления обеспечивает улучшение агрофизических, физико-химических и химических свойств почвы (Скуратов и др., 2001; 2005).

Исследовано влияние ФГ на свойства темно-каштановой почвы в комплексе с солонцами в культуре риса (Радевич, 2012; Радевич, Баранов, 2015). Внесение ФГ дозой 10 и 40 т/га проводилось вразброс машиной РУМ-8, осуществлялась отвальная обработка на глубину 20-22 см осенью. Способ полива – затоплением. Оросительная норма находилась в диапазоне 22-25 тыс. м³. Урожайность риса в контрольном варианте без внесения ФГ составила 5.14 т/га, а при внесении ФГ (10 и 40 т/га) прибавка урожайности была равной соответственно 17 и 29%.

В Республике Калмыкия агромелиоративные свойства засоленных лугово-каштановых и лугово-бурых средне- и тяжелосуглинистых почв с прослоями шоколадных глин в комплексе с солонцами полупустыни на территории Сарпинской оросительно-обводнительной системы в культуре риса (лиман

Большой Царын) улучшали с помощью ФГ. УГВ – 0.7-1.0 м, минерализация – 20 г/л и более. Почвы – сильнозасоленные и солонцеватые сульфатно-хлоридного типа засоления, сумма легкорастворимых солей в слое 0-1.0 м – в диапазоне 1.56-1.97%. ЕКО – высокая, в пахотном слое на долю поглощенного натрия приходится 21%, содержание гумуса – 1.42%. Дозы мелиоранта 4 и 6 т/га вносились совместно с навозом (т/га): 4 + 60 и 6 + 60. Источник орошения – р. Волга, минерализация воды – 0.2-0.6 г/л. Оросительная норма риса составила 18.5-22.5 тыс. м³/га.

В первый год содержание солей в верхней части почвенного профиля 0-40 см уменьшилось на 565 т/га. На второй год в метровом слое сумма солей уменьшилась до 0.78-0.92%, а в слое 100-180 см повысилась до 1.96%. В контроле было получено 3.74 т/га зерна риса. Прибавка урожайности после внесения ФГ составила 0.74-0.88 т/га, а после внесения ФГ совместно с навозом – 1.07-1.21 т/га. Рентабельность производства зерна риса доходила до 72%. Авторы отмечают, что при уменьшении оросительной нормы риса с 22-25 до 18-20 тыс. м³/га происходило последующее снижение УГВ с 1.4-1.78 до 1.9-2.75 м, но наблюдалось увеличение минерализации с 3-4 до 6.4-7.8 г/л (Конилова, Пюрбеев, 2014).

В ряде работ рассматривается применение периодического дождевания при возделывании риса (Дедова, Шабанов, 2011; Маканникова, 2010), однако следует отметить, что этот прием в условиях Средней Азии в прошлом зарекомендовал себя отрицательно с точки зрения свойств почвы, гидрогеологического режима и урожайности возделываемых культур.

В Казахстане предложен способ восстановления ухудшенных в стандартных технологиях ирригации засоленных и осолодненных уплотненных почв на основе глубокого рыхления на 0.8-1.0 м, внесения химических мелиорантов, включая ФГ, промывки нормой 6000-8000 м³/га на фоне временного дренажа глубиной 0.8-1.0 м (Seitkazyev et al., 2013).

Биохимические процессы превращения соединений серы в почве имеют большое значение при образовании солонцовых почв. Трансформацию соединений серы в почве и минералах обуславливают восстановители – сульфатредуцирующие бактерии (Гусев, Минева, 2004) и окислители – серобактерии (накапливают серу внутри или на поверхности клеток) и тиобактерии (серу, как промежуточный продукт метаболизма, откладывают вне клеток) (Ленглер и др., 2005). Существует тионовая железобактерия *Thiobacillus ferrooxidans*. При минерализации серосодержащих органических соединений происходит потеря органического вещества почвы. При этом велика опасность того, что сочетание процессов, особенно при переувлажнении почвы, может привести к утрате серы, образованию соды, формированию содовых вод, и, соответственно, к почвенной и биологической деградации (Бобров, 1977; Клименко, 2015).

В США предпринимались попытки использовать инокуляцию почвы тиобактериями для перевода элементарной серы в доступную растениям форму. Однако процесс окисления серы до серной кислоты

шел очень медленно (Засоленные почвы мира, 2016). Это связано с тем, что сначала нужно создать в почве дисперсную систему с заданными характеристиками, и уже в ней обеспечивать условия для протекания необходимых реакций и последующего развития корней растений.

Полагают, что на начальной стадии – после внесения в почву гипса мелиоративный процесс идет относительно медленно, и поэтому считают, что гипс – это долговременно действующее средство. Однако это не так: просто не удается разместить мелиорант туда, куда нужно. Поэтому он действует не сразу и не так долго, как это возможно при надлежащей технологии внесения (Batte, Forster, 2015).

1.6. Особые варианты химической мелиорации почв

ФГ менее эффективен, чем щелочной шлак, для преодоления подпочвенной щелочности, что показано на примере почвенного профиля ултисолей (Ultisol) (Li et al., 2015). Сравнительное изучение топочной золы и ФГ показало, что ФГ снижает кислотность глубоких слоев почвы (Korcak, 1993).

Использование гипса, полученного при десульфуризации топочных газов, изучено в США (штат Миссисипи) на почве, имеющей кислый подпахотный слой. Урожайность семян хлопчатника при этом выросла с 1.86 до 2.24 т/га, а урожайность хлопка-сырца – с 6.86 до 8.86 т/га (Chen et al., 2011). Используют свежесаженный гипс – продукт десульфуризации топочных газов и для улучшения свойств эродированных почв при стандартной системе обработки (Rhoton, McChesney, 2011).

Для увеличения мощности корнеобитаемого слоя кислых почв предлагают использовать ФГ (Окорков, 2013; Farina, Channon, 1988; Reeve, Sumner, 1972; Radcliffe et al., 1986). В профиле почвы сульфат-ионы растворенного гипса снижают концентрацию подвижного алюминия за счет образования новой твердой фазы (джурбанита – $AlSO_4(OH) \cdot 5H_2O$) и различных комплексных соединений алюминия с сульфат-ионами в результате специфической адсорбции сульфатов поверхностью твердой фазы почвы и последующей хемосорбции оксидами алюминия.

ФГ эффективен на почвах с избыточной кислотностью, которые наиболее обеднены подвижной кремниевой кислотой. В данном случае он служит хорошим источником кремния для растений (Аканова, 2013).

В Нечерноземной зоне, а также на оподзоленных и выщелоченных черноземах предлагают совместное применение фосфоритной муки и ФГ для перевода труднодоступных соединений фосфора фосфоритов в более доступную растениям форму (Филлипова, 2006). Образующаяся при внесении ФГ в кислую почву серная кислота при этом расходуется на разложение фосфоритов.

На дерново-подзолистых почвах и черноземах лесостепи можно применять смесь ФГ с известкующим материалом (Рекомендации по использованию смесей ..., 1987), в качестве которого эффективно использовали технологический мел (побочный про-

дукт производства фосфорных удобрений по азотнокислотной технологии), в соотношении от 1:1.5 до 1:4 (Цуриков, 1977). Прибавка урожайности зерна по сравнению с чистым химическим мелиорантом составляет не менее 2.5 ц з.е./га (Аканова, 2013).

Согласно проведенным исследованиям, при рекультивации илистых грунтов осушаемых водохранилищ бассейна р. Кубани будут приемлемы дозы ФГ от 100 до 500 т/га (Сергин, Цай, 2014).

Предпринимались попытки моделировать влияние мелиорации (гипсования) на потери фосфора из почв в условиях сельскохозяйственного использования (Jaakkola et al., 2012). Известняк и гипс используют для сокращения потерь фосфора из почвы в водные системы (Ekholm, 2012; Murphy et al., 2010). Механизм положительного действия ФГ связан со снижением диспергирования почвы, а также с образованием труднодоступных фосфатов кальция при взаимодействии почвенных фосфатов с кальцием ФГ.

Мелиоранты влияют на результаты стандартных тестов на содержание подвижных форм фосфора в почве. Показано, что гипсование в дозах не менее 5 т/га гипса снижает содержание водорастворимых форм фосфора в почве (Brauer, 2005).

2. Фосфорсодержащее многокомпонентное удобрение

ФГ и органоминеральные мелиоративные смеси на его основе, получение и применение которых обсуждается в разделе 1, рассматриваются как кальциевое, серное, кремниевое удобрение и источник микроэлементов (Байбеков и др., 2012).

При внесении 1 т/га ФГ нейтрализованного в качестве многокомпонентного удобрения в почву поступает (кг): Ca – 265, S – 215, P_2O_5 – 20 и SiO_2 – 9.8 (Шеуджен, Бондарева, 2015). За последние 15 лет вследствие отчуждения элементов с урожаем культур рисового севооборота, а также со сбросными и фильтрационными водами в почвах рисовых оросительных систем Краснодарского края содержание подвижных форм бора сократилось на 10%, кобальта – на 14%, марганца – на 10%, меди – на 7%, молибдена – на 15%, цинка – на 6%. Наблюдается интенсивное обеднение почв в рисовых севооборотах кальцием и серой. Необходимость применения микроудобрений под эту культуру диктуется также снижением в затопленной почве подвижности большинства микроэлементов. При системе удобрения риса N120P80K60 внесение в основной прием 4 и 6 т/га ФГ обеспечивает такой же уровень содержания фосфора в лугово-черноземной почве и растениях, как внесение 150 кг/га аммофоса. Урожайность риса за счет внесения ФГ при этом увеличилась на 0.57 т/га или 9% (2013 г.). Рост урожайности происходит в результате повышения выживаемости растений, озерненности метелки и массы зерна с растения. Варианты N120P80K60 и N120K60 + ФГ 4 т/га были практически идентичны как по степени действия на азотный, фосфорный и калийный режим почвы (с небольшим преимуществом последнего варианта, что обуслов-

лено влиянием входящих в состав ФГ микроэлементов), так и по влиянию на содержание в растениях риса азота, фосфора и калия. В плане повышения урожайности риса наблюдалось даже небольшое преимущество при использовании ФГ в качестве источника фосфора и других элементов питания по сравнению с аммофосом. Отмечено, что доза ФГ, равная 2 т/га, не компенсирует негативные последствия дисбаланса элементов питания в питательной среде по сравнению с контролем, а 6 т/га – замедляет поступление в растения азота, фосфора и калия. Условно чистый доход от применения ФГ вместо обычного фосфорного удобрения под рис в Краснодарском крае при оптимальной дозе внесения составил 13139.7 руб./га (Шеуджен, Бондарева, 2015).

Выполнена агроэкологическая оценка действия ФГ на чернозем выщелоченный при возделывании озимой пшеницы. ЕКО почвы составила 36-44 мг-экв/100 г, степень насыщенности основаниями – 94-98%, содержание гумуса – 2.81%, pH_{KCl} – 6.4-8.1. ФГ вносили под основную обработку почвы в дозах 2, 4 и 6 т/га. Прибавка урожайности зерна озимой пшеницы при возделывании после кукурузы составила соответственно 0.94, 0.93 и 0.92 т/га (28%); а после сои – 0.80, 0.79 и 0.81 т/га (14%) (Добрыднев и др., 2014).

Поступление в почву кальция при внесении ФГ обеспечивает стабилизацию её кальциевого режима (Добрыднев и др., 2014; Локтионов и др., 2013; Локтионов и др., 2015; Шеуджен и др., 2013; 2015а; 2015б). Максимальное содержание обменного кальция после внесения ФГ отмечено в слое почвы 60-80 см, а обменного магния – в слое 120-150 см. При увеличении дозы ФГ до 5.0 т/га содержание обменного магния в ППК в слое 120-150 см достигало 7.23 мг-экв/100 г почвы (Локтионов и др., 2015).

Предложена оптимизация системы удобрения сельскохозяйственных культур на основе внесения ФГ в дозе 4 т/га, исходя из результатов полевого опыта, проведенного на черноземе выщелоченном с высоким содержанием карбонатов. После внесения ФГ по сравнению с контролем содержание подвижного фосфора в почве под соей в фазе 4-5-ти листьев увеличилось на 18-23%, в фазе бутонизации – на 4-26%, в фазе полной спелости – на 17-28%; а в почве под кукурузой в фазе 4-5-ти листьев – на 6-14%, в фазе цветения – на 3-8% и в фазе полной спелости – на 12-26%. ФГ в качестве фосфорного удобрения дал достоверный прирост урожайности сои и кукурузы не только по сравнению с контролем, но и по отношению к варианту минерального питания N20P40K20 (Шеуджен и др., 2013).

Вынос серы из почвы с урожаем сельскохозяйственных культур оценивается в 20-50 кг/га в год, выщелачивание из корнеобитаемого слоя – в 20-40 кг/га в год. Обеспеченность почв РФ подвижной серой низкая на 55% земель и средняя на 35% земель. Таким образом, порядка 90% почв нуждаются в применении серосодержащих удобрений (Аристархов, 2007). Гипсодержащие материалы обеспечивают поступление в почву Са и S для питания растений (Korcak, 1993).

Например, молотую серу применяли на южном черноземе Оренбургского Предуралья перед посевом проса – исследования проводили в годы с разным увлажнением (Кравченко, Тукабаева, 2011). Прибавка урожайности зерна при этом составила 30% от внесения в почву 30 кг/га данного удобрения.

В штате Огайо (США) изучили продукт десульфуризации топочного газа (гипс) в качестве источника серы для кукурузы; также использование данного материала в качестве серно-кальциевого удобрения под арахис изучено в штате Флорида (Chen et al., 2008). Содержание Са в бобах при этом выросло с соответственно 0.021 до 0.034%, а урожайность – с 3.68 до 4.42 т/га.

Выполнен прогноз дефицита серы в почвах штата Огайо, США (Kost et al., 2008). ФГ рассматривается в качестве хорошего источника серы при внесении в супесчано-глинистую почву на юго-востоке США (оптимальная доза серы – 22 кг/га) (Mullins, Mitchell, 1990). На пылевато-суглинистой почве в штате Алабама (США) рекомендовано применять ФГ в дозе 0.5-1.0 т/га в качестве источника Са и S для растений (Mays, Mortvedt, 1984).

В лабораторных опытах серосодержащий компонент в составе ФГ угнетал развитие проростков озимой пшеницы на первом этапе их развития, но дополнительное внесение органического вещества компоста значительно увеличивало массу проростков (вариант ФГ + почва – чернозем обыкновенный + органическое удобрение) (Кихаев, Терещенко, 2009).

Внесение в почву ФГ, апатита и сульфата калия усиливало всхожесть семян и развитие корневой системы проростков, увеличивало содержание кальция и кремния в стеблях, а также содержание сульфатной серы в зерне озимой пшеницы и овса (Терещенко, Новопольцева, 2010).

Ввиду отчуждения с продукцией и выщелачивания при промывном водном режиме кальция возникает необходимость внесения под рис кальциевых удобрений. Их применение улучшает рост и развитие растений риса. Внесение известняковой муки на лугово-черноземной почве способствовало увеличению высоты растений риса на 5.0-7.8 см (в среднем за 2 года – с 88.0 см в контроле до 95.8 см при дозе 3.0 т/га); количество корней на 1 растении при этом возросло на 13.5-18.5 шт., а количество колосков в метелке – на 143-308 шт./10 растений (Кизинек, Локтионов, 2013). Данные биометрические показатели в варианте с внесением ФГ в дозе 3.0 т/га были выше. При этом получили и наибольшую прибавку урожайности риса (0.72 т/га или 12%). Внесение мелиоранта способствовало положительному балансу кальция в почве.

Внесение $CaCO_3$ и $CaSO_4$ в дозе 1.05 г/кг почвы (чернозем обыкновенный) и ФГ в дозе 5.4 г/кг почвы в вегетационных опытах увеличивало содержание кальция в стеблях овса до 0.028 и 0.018% соответственно, а также повышало устойчивость растений к полеганию по сравнению с контролем (Данюкова, Терещенко, 2009; Данюкова, Мельник, 2010; Зеленская, Терещенко, 2009).

Как уже отмечалось, ФГ – источник кремния для

растений. Кроме того, применение кремнийсодержащих компонентов (силикатов) в составе ФГ повышает доступность почвенного фосфора растениям (Терещенко, 2009; 2010; 2012).

Изучено применение горных пород и ФГ в качестве удобрения для подсолнечника на черноземах выщелоченных (Цховребов, 2012; Цховребов и др., 2011). Урожайность была наименьшей в контроле – 3.58 т/га. После внесения горных пород прибавка урожайности составила: лесовидный суглинок в дозе 40 т/га – 17%; известняк-ракушечник в дозах 6 и 12 т/га – соответственно 28 и 35%; апатит в дозах 1.5 и 3 т/га – соответственно 26 и 33%; ФГ в дозе 12 т/га – 16%. Однако наибольший эффект получен при совместном внесении горных пород: известняк-ракушечник (12 т/га) + апатит (3 т/га) + ФГ (12 т/га). Прибавка урожайности при этом составила 1.35 т/га или 38%. Исходное содержание элементов питания растений (N, P, K и S) в горных породах больше, чем в почвах. Кроме этого, сказывается меньшее количество туپиковых пор во вносимом материале и, соответственно, повышение количества активных пор в почве при контакте механически турбированных нативной и вносимой в почву дисперсных систем.

Пока в России обсуждают возможность гранулирования ФГ (хорошо это или плохо, будет ли растворим или нет) (Гукалов, 2010), в США гранулированный ФГ уже производят как удобрение, поставляя в мешках по 4.5 и 18 кг. Рекомендуют дозу 1-2 т/га (или 0.13 т/т компоста) вносить любым разбрасывателем (Granular Gypsum, 2016).

Применение мелиорантов, органических удобрений и компостов рекомендуется совместно с минеральными удобрениями (Аканова, 2013; Шеуджен и др., 2013; Тао et al., 2014). При таком комплексном подходе достигается максимальная эффективность от использования агрохимикатов.

3. Рекультивация почв, загрязненных нефтепродуктами

Необходимость рекультивации почв, загрязненных нефтепродуктами, – следствие низкой надежности элементов транспортировочных систем, что приводит к утечкам, загрязнению земель, деградации почв (Губов, Лайдин, 2014). В результате сосредоточенного загрязнения нефтепродуктами ухудшаются водно-физические свойства почвы; количество обменного натрия в верхних горизонтах повышается до 25-35%; вследствие формирования пленки преобладают восстановительные условия; ухудшаются условия для биоты; изменяется ферментативная активность (Kolesnikov et al., 2016); повышается содержание микроэлементов; в десятки раз возрастает соотношение C : N.

Если обеспечить равномерное дисперсное распределение нефтепродукта в почве (10% и менее), то появляется возможность провести биodeградацию нефтепродуктов и рекультивацию почвы. Уровни загрязнения почвы нефтью классифицируются следующим образом (мг/кг почвы): слабое – 3000-6000, среднее – 6000-12000, сильное – 12000-25000, очень

сильное >25000. В инструкции по рекультивации земель, загрязненных нефтью (РД 39-0147103-365-86), предложены ориентировочные уровни загрязненности почв. Однако они представляются слабо обоснованными с точки зрения генезиса и эволюции почв и природно-территориальных комплексов (Технологии восстановления почв ..., 2003).

Для очистки почв используют комбинацию методов, в том числе сепарацию с последующей отдельной переработкой нефтепродукта и почвы (грунта) до заданной кондиции. Для деструкции разлива нефтепродуктов применяют гидродинамическое и аэродинамическое, ультразвуковое, термическое, СВЧ воздействие, но в большинстве случаев это связано с избыточными затратами и неблагоприятным воздействием на окружающую среду (Физические методы очистки грунтов, 2016). Все методы направлены на ускорение процесса разложения материала нефтепродукта путем турбации с целью уменьшения относительного содержания загрязнителя, улучшения условий испарения его летучих фракций и ускорения микробиологической переработки.

Сначала выполняют сбор нефтепродуктов, затем утилизируют или перерабатывают неочищенный продукт и рекультивируют загрязненную почву. Для этого необходимо применение операций по перемещению материала, что связано с дополнительными расходами. Сепарацию нефтепродукта и почвы проводят до содержания в почве 0.5% нефтепродукта (Установка «Каскад», 2016), что усложняет оборудование и избыточно с учетом последующей стадии микробиологической очистки. Как правило, после сбора разлива нефти достаточно выполнить рекультивацию непосредственно в ареале разлива и, при необходимости, на прилегающей территории.

Для ликвидации нефтепродуктовых загрязнений в настоящее время широко используются испарение загрязнителя в почве, биологическая очистка, складирование почвы с последующей самоочисткой, экскавация загрязненного грунта с последующим захоронением или термической обработкой. Наиболее щадящей по отношению к окружающей среде является биоочистка на месте загрязнения. Ее преимущество заключается в относительной простоте технологической реализации установки и эксплуатации, а также в невысоких финансовых затратах. Она широко используется во многих странах уже в течение 30-ти лет при очистке почв от бензина, дизельного топлива и других нефтепродуктов (Коннов, Пашковский, 2016). Очистка почв при этом основана на способности микроорганизмов использовать углеводороды нефти в качестве источника питания и энергии.

Загрязнение мазутом не вызывает катастрофического ухудшения состояния почв. И под старой коркой мазута, и под свежим его слоем почва сохраняет биологическую активность, способность выполнять экологические функции и обеспечивать нормальное функционирование всей экосистемы. Обилие азотфиксирующих бактерий рода *Azotobacter* не зависит от загрязнения почв мазутом. Иногда наблюдается повышение численности микроорганизмов в верх-

них слоях почвы под коркой мазута. Возможно, в низких концентрациях нефть и некоторые ее компоненты стимулируют почвенную биоту. Активность каталазы и дегидрогеназы при загрязнении мазутом, как правило, снижалась, но только на 30-50%.

Разрабатываются методы активации аборигенной углеродородоксилирующей микрофлоры путем оптимизации агрофизических и агрохимических свойств загрязненных почв для ускорения деградации загрязнителей. В целях повышения биологической активности и ускорения минерализации углеводов в нефтезагрязненных почвах рекомендуется использование минеральных или органоминеральных удобрений, активного ила микробиологических производств, биологических добавок, специализированных штаммов микроорганизмов, дождевых червей, полимерных добавок, а также других биодеструкторов (Гайворонский и др., 2014; Жаркова, 2014; Петрова и др., 2014; Кирий и др., 2013; Колесников и др., 2014а; 2014б; Апти и др., 2014; Бреус и др., 2014; Рязанова, Федорова, 2015; Рогозина и др., 2011; Шулаев и др., 2009). Нефтепродукты оказывают стимулирующее воздействие на прорастание и развитие семян.

Для оценки эффективности рекультивации почв, загрязненных нефтью или нефтепродуктами, может быть использована методика определения интегрального показателя биологического состояния (ИПБС) почвы, рассчитанного по наиболее информативным биологическим показателям (Колесников и др., 2013).

Показана возможность рекультивации загрязненных нефтью почв с использованием ФГ (Колесников и др., 2011). При среднем нефтяном загрязнении сельскохозяйственных земель (до 15-16 л нефти/м²) рекультивацию верхнего слоя почвы можно провести без вывоза загрязненного грунта с использованием ФГ и органических удобрений. Концентрация нефтепродуктов в течение 1 года снижается в 70-80 раз. На 3-й год на сильно загрязненной нефтепродуктами участке всхожесть семян озимой пшеницы была аналогичной незагрязненной почве. Проростки в варианте совместного внесения перегноя и ФГ имели лучшую жизнеспособность.

ФГ в загрязненной почве активирует процессы распада нефтепродуктов, ускоряет испарение выделяемой влаги из загрязненного субстрата в 3-4 раза и сокращает время на восстановление почвы, что позволяет провести ее рекультивацию за сравнительно короткий срок без вывоза верхнего загрязненного слоя почвы (Белюченко и др., 2008; Калинина, Мельник, 2009; Мамась и др., 2010; Белюченко и др., 2008). Так, всхожесть семян озимой пшеницы в варианте вегетационного опыта «почва + мазут (10 : 1)» составила 10%, а в варианте «почва + мазут + перегной + ФГ (10 : 1 : 2 : 2)» – 80% (Калинина, Мельник, 2009).

Изучена рекультивация разлива нефти по поверхности обыкновенного чернозема в дозе 5-6 л/м² в двух вариантах: без обработки (контроль) и с внесением на поверхность почвы 2.2 кг/м² ФГ (Ветютнева и др., 2010). Участок под экспериментом перекопали на глубину проникновения нефти (28-30 см) дважды:

в год загрязнения и на следующий год. В контрольном варианте через 2 дня после разлива растительность и животные погибли. В варианте с внесением ФГ в течение 2-х недель масса загрязненной почвы и нефти подсохла; отмечено образование структурных гранул; аэрация субстрата была лучше, чем в контрольном варианте. На 2-й год провели посев овса и получили хорошие всходы и урожай семян в данном варианте. На 3-й год на участке с внесением ФГ не наблюдалось признаков нефтяного загрязнения.

На севере Тюменской области на луговом корковом сульфатно-содовом солонце изучено внесение в слой почвы 0-15 (0-30) см производственно-технологических отходов бурения, которые содержали полиакриламид, конденсированную сульфит-спиртовую барду, карбоксиметилцеллюлозу и другие компоненты, в сочетании с ФГ дозой 21 (43) т/га (Ягафарова и др., 1997). ФГ в данном случае был важным компонентом для рекультивации почвы, загрязненной нефтепродуктами.

Условия приведения нарушенных земель в состояние, пригодное для последующего использования, а также порядок снятия, хранения и дальнейшего применения плодородного слоя почвы устанавливаются уполномоченными организациями, предоставляющими земельные участки в пользование и дающими разрешение на проведение работ, связанных с нарушением почвенного покрова, на основе проектов рекультивации (Рекультивация нефтезагрязненных земель, 2016; Инструкция по рекультивации земель ..., 1997).

4. Охрана окружающей среды

Ввиду особенностей промышленной технологии большая часть радиоактивных элементов, ТМ, фтора оказывается в основном продукте – удобрении. В зависимости от качества сырья имеет место озабоченность загрязнением окружающей среды в результате длительного применения удобрений.

Понимание охраны окружающей среды в настоящее время во многом искажено из-за стремления к слабо обоснованным ограничениям. Однако, будучи доведенным до абсурда, исключение вещества из геохимического цикла сделает жизнь на Земле невозможной. Жизнь – продукт геохимических циклов, и эти циклы надо обогащать материалом, в том числе извлеченным из недр Земли, который обеспечивал в прошлом значительно более высокую норму синтеза живого вещества, чем это имеет место в настоящее время. Кроме того, необходимо создавать почвы с развитой дисперсной системой.

Утилизация отходов создает дополнительные сырьевые ресурсы, сохраняя при этом биосферу от загрязнения (Орлов и др., 2002). Вопрос нормирования загрязнений стоит в фокусе многоцелевой задачи: сохранить жизнь в почве; обеспечить ответственное использование получаемой биомассы; защитить здоровье человека и окружающую среду; определить риски, связанные с использованием получаемой биомассы, и обеспечить лучшие практики их минимизации; проинформировать человеческое сообщество

по поводу преимуществ и рисков использования получаемой биомассы; минимизировать риски для экономики (Guidelines ..., 2003; Resource Management ..., 2011). Важно отметить, что надо не просто вводить лимит на загрязнения, а создавать инструмент, как его выполнить.

4.1. Нормирование поступления тяжелых металлов и фтора

С точки зрения нормативов загрязнения почв и растений при использовании ФГ в мире имеет место следующее: применяют директивное нормирование; но самые жесткие в мире нормативы были в СССР. В настоящее время в РФ используют те же предельно допустимые концентрации (ПДК), но приходится применять ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) по некоторым химическими элементами (ГН 2.1.7.2041-06; ГН 2.1.7.2042-06).

В мире имеет место драматическое расхождение директивных лимитов загрязнения, например, принятых в Великобритании и Евросоюзе (ЕС): «Оценка подверженности земель загрязнению» (CLEA) (Heavy Metal Guidelines ..., 2009). В настоящее время распространена многошаговая многофакторная экспертно-поддерживаемая расчетная процедура получения лимита загрязнения с учетом конкретных условий и целевых групп людей, но не его конкретное значение (EPA/540/R/99/005, 2016).

Имеет смысл функциональный подход, применяемый в Великобритании при нормировании загрязнения почв, который, кроме собственно инструментов мониторинга, предстоит снабдить инструментами управления технологическими процессами (SGVs, 2016).

Теория и практика последнего времени ориентированы не на соблюдение какой-то конкретной величины нормируемого показателя, а на ранжированную квалифицированную экспертизу ситуации в экосистеме или природно-территориальном комплексе. Это позволяет избежать устаревшей практики «одиозного» избыточно осторожного нормирования, когда норматив часто оказывался ниже, чем кларк, и выработать взвешенный дальновидный подход к обеспечению охраны окружающей среды.

В Департаменте сельского хозяйства США (USDA) почву рассматривают в качестве накопителя загрязнений, и доводят по землепользователям лимиты их общего, годового и кумулятивного накопления. Полагают, что такой норматив стимулирует использование ТМ из почвы в качестве микроудобрений, то есть они должны постоянно уходить из почвы в растения, чтобы сохранялся геохимический цикл вещества. Растения-фитомелиоранты выбирают из соображений более эффективного удаления ТМ из почвы (Heavy Metal Soil Contamination, 2016).

Одним из ведущих загрязнителей окружающей среды считается мышьяк (As), который содержится в ФГ. Сравнительный химический анализ отечественного и зарубежного фосфатного сырья показал, что Ковдорское месторождение фосфатных руд характеризуется относительно низким содержанием при-

месей As (а также Cd, Pb, Ni, Zn, Cu, Hg и Cr) (Локтионов и др., 2015).

Содержание As в воздухе удаленной сельской территории составляет от 0.02 до 4 нг/м³, в городских условиях – от 3 до 200 нг/м³, а в окрестности индустриального источника загрязнения – более 1000 нг/м³. Содержание As в природных водах находится в диапазоне 1-2 мкг/л, в седиментах – 5-3000 мг/кг, причем содержание As в седиментах, как правило, не влияет на содержание As в воде – работают геохимические барьеры. Около 25% As в пище имеет неорганическое происхождение, но все зависит от типа питания. Основные источники потребления As человеком – мясо, птица (0.44 мг/кг), рыба, морская рыба (0.4-118 мг/кг). Летальная доза для человека составляет 1.5 мг/кг (As₂O₃) и 500 мг/кг (C₂H₇AsO₂). Острая токсичность As является функцией от интенсивности выведения элемента из организма. Согласно Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), действующий лимит концентрации As в питьевой воде 10 мкг/л остается подлежащим соблюдению. При этом, по мнению Объединенного экспертного комитета ФАО-ВОЗ по пищевым добавкам, при такой концентрации отрицательное влияние на здоровье населения установить трудно (Arsenic in Drinking-water ..., 2016).

На севере Чили при содержании As в питьевой воде 570 мкг/л было зарегистрировано некоторое увеличение числа раковых заболеваний. На этом основании заключают, что пересмотр лимита с 50 до 10 мкг/л якобы обоснован (Smith et al., 1998). Действующий лимит по содержанию As в питьевой воде 10 мкг/л был установлен Агентством по охране окружающей среды США (EPA) косвенным образом – на основании оценки риска рака крови и печени у населения юго-западного Тайваня при высоком загрязнении воды As (García-Esquinas et al., 2013).

Согласно имеющимся директивам (Heavy Metal Soil Contamination, 2016), лимиты накопления As в илстой фракции (почве) составляют: общий – 75 мг/кг, текущий – 2 кг/га в год, кумулятивный – 41 кг/га. Лимиты накопления As в твердых веществах биологического происхождения: уровень «а» – 20 мг/кг, уровень «б» – 30 мг/кг (Resource Management..., 2016). Получается, что лимиты назначаются достаточно произвольно.

На примере As очевидно, что лимиты загрязнения окружающей среды открыты для самых вольных интерпретаций – в разных странах мира директивный лимит содержания As в почве составляет от 0.039 до 150 мг/кг. Поэтому К.М. Тиф с соавторами (Teaf et al., 2010) полагают, что нельзя «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 обстоит дело с нормативами и для других ТМ. По мнению EPA, стандарт загрязнения имеет экономическое содержание. Именно так на основании анализа экономических последствий для

диапазонов валового содержания Pb (5000-3000, 3000-2000 и 1200-500 мг/кг) предполагается, что при стандарте 400 мг/кг для почвы обитаемого объекта и 1200 мг/кг для удаленного объекта выгода от норматива будет наибольшей (Rules and Regulations ..., 2016). В Новой Зеландии лимит валового содержания Pb в почве – 300 мг/кг (Resource Management ..., 2016); в РФ санитарная норма (ПДК) – 32.0 мг/кг почвы (Санитарные нормы ..., 2006).

Можно выделить следующие основные источники поступления Pb на сельскохозяйственные угодья, например, в Средней Сибири: автотранспорт, ТЭС, предприятия черной и цветной металлургии, машиностроение, металлообработка, химическая промышленность, удобрения, полученные из твердых бытовых отходов и осадка сточных вод (Волошин, 2007). Диапазон валового содержания Pb в почвах региона – 1.1-68.5 мг/кг, среднее – 10.9 мг/кг. Распределение Pb по профилю индивидуальной почвы близко к равномерному. На долю подвижных форм Pb в почве приходится 1.1-3.9% (0.05-0.41 мг/кг). В растениях содержание Pb составляет 0.09-1.63 мг/кг. При одинаковом уровне загрязнения поступление Pb в растение эоловым путем в несколько десятков раз интенсивнее, чем из почвы (Ляшенко, Калининченко, 2006).

Установлено, что как при мелиорации почвы ФГ, так и при утилизации ФГ в почве, не имеющей отчетливых морфологических и физико-химических признаков потребности в химической мелиорации, Pb (и Cd), вносимые в почву с ФГ, не представляют значительной опасности для почв и экосистем (Kolesnikov, 2013).

Опасный загрязнитель окружающей среды – фтор (F). В промышленных регионах, например, Великобритании, доза вдыхаемого F составляет 0.01-0.04 мг/кг в день. Для человека опасно долговременное содержание F во вдыхаемом воздухе в диапазоне 100-500 мкг/м³. Длительное воздействие концентрации F в воздухе 0.2 мкг/м³ опасно для растений. Из продовольствия наивысшее содержание F отмечается в консервированной рыбе – от 0.9 до 8.0 мг/кг. Пища, приготовленная на фторированной воде, содержит 0.6-1.0 мг F/кг, на обычной воде – 0.2-0.3 мг F/кг. Чашка чая содержит 1-4 мг F. Оральная полудетальная доза для крыс – 51.6 мг F/кг (Fluorides ..., 2016). Лимит содержания фтора в питьевой воде – 4 мг F/л (Table of Regulated Drinking Water ..., 2016).

Земная кора содержит 1015 т F, его кларк – 0.027. По распространенности в природе F занимает 16-е место. Содержится в кислых изверженных породах: при магматической дифференциации большая часть его осталась в кислой магме, которая при затвердевании образовала граниты. Элемент связан исключительно с силикатной оболочкой Земли и отсутствует в ее металлическом ядре. В состав вулканических газов всегда входит фтороводород (HF), который попадает в почву с атмосферными осадками.

Известно свыше 100 минералов, содержащих F. В среднезернистых и идиоморфных апатитах Кольского полуострова содержание F составляет 1.2-1.3% (Krasnova, 2001), а по другим данным – 1.0-3.3%

(Veiderma et al., 1998). Россия занимает 2-е место в мире по запасам F в апатитах и фосфоритах (30% всех мировых запасов F в фосфатном сырье). Это в десятки раз больше запасов F во флюорите, который в настоящее время является основным сырьем для производства фтороводорода. В мире актуально исследование возможностей использования апатита (Ca₁₀(PO₄)₆(OH, F, Cl)₂) в качестве сырья не только для получения фосфорных удобрений и электротермической возгонки фосфора, но и для получения фторидных соединений (Дамм и др., 2013). Это, вместе с извлечением из апатита и ФГ редкоземельных металлов, – кардинальное решение проблемы избыточного поступления F и ТМ в окружающую среду.

В большинстве почв фториды связаны с глинистыми минералами. Валовое содержание фторидов в почве варьирует преимущественно от следов (< 10 мг/кг) до 3700 мг/кг, а в среднем составляет 430 мг/кг. У фосфорных предприятий в верхнем (1-2 см) слое почвы содержится до 1840 мг/кг фторидов. В РФ санитарная норма допустимого содержания транслокационного F в почве – 10 мг/кг (СанПиН 42-128-4433-87). Согласно гигиеническим нормативам, ПДК F в почве – 2.8 мг/кг для подвижной формы и 10 мг/кг – для водорастворимой (CAS No.16984-48-8; EPA/540/R/99/005, 2016).

Поступление F в почву с фосфорными удобрениями в несколько раз больше, чем из атмосферы, за исключением условий промышленного загрязнения. Например, в почвах Красноярского края преобладает содержание подвижного F на уровне фона (1 мг/кг). В отдельных ареалах загрязнения – в зоне выбросов Красноярского алюминиевого завода в слое почвы 0-20 см подвижного F накопилось до 60 мг/кг, а глубже – до 4-8 мг/кг (Танделов, 2007).

Фтор в регионах промышленного загрязнения попадает в растения преимущественно эоловым путем через устьичный аппарат. Для живых организмов в решающей степени губителен не почвенный, а эоловый путь поступления F. Содержание F в угле – от 4 до 30 г/кг, и это опасно при сжигании ввиду эолового загрязнения окружающей среды. В 1973 г. лес бальзамической пихты в зоне влияния предприятия, производящего фосфорные удобрения в г. Ньюфаундленде (Канада), был уничтожен в результате промышленных выбросов соединений F в атмосферу, при этом содержание подвижного F в верхнем слое почвы было лишь 58 мг/кг (Toxicological Profile for Fluorides ..., 2003).

Содержание подвижного F в почве, удаленной от фосфатных месторождений, составляет от 0.02 до 1 мг/кг, но достигает нескольких десятков мг/кг в зоне месторождений. Безопасная для организма концентрация F в лишайнике рода *Lichenes* составляет в среднем 150-250 мг/кг, а в растениях из родов *Dichapetalum*, *Thea*, *Camellia*, *Oxylobium*, *Acacia* и *Palicourea* – до 4000 мг/кг. При этом некроз у гладиолусов наступал при содержании 20 мг F/кг (Environmental Health ..., 2002).

При нормировании по F следует учитывать, что в почве данный элемент крайне слабо подвижен, поскольку активно связывается в нерастворимые ком-

плексы с органическим веществом и образует Al-F комплексы, включая AlF_2^+ and AlF_2^{2+} (Gago, 2002), особенно при pH 5.5-6.5, а в присутствии Ca образует фторид кальция – флюорит (CaF_2), что показано экспериментами в лизиметрах (Environmental Health ..., 2002). В модельных опытах с избыточным количеством промывочного раствора выщелачивание F за пределы почвы не наступало, причем даже после того, как ППК был насыщен F. Сорбция F идет не только в пределах емкости поглощения, но и на всей внутренней поверхности почвы. Таким образом, фториды в почве прочно связаны (Tylanda, 2003; Кизинек, Локтионов, 2013).

Была выполнена санитарно-гигиеническая оценка качества зерна риса после внесения ФГ в лугово-черноземную почву в дозе 3 т/га (Локтионов и др., 2015). Установлено следовое количество F, но достоверной разницы по отношению к контролю не обнаружено. Из всех органов растения в соломе риса содержание F было самым высоким – 1.68-1.75 мг/кг, но это накопление не было значимым.

Приоритетным загрязнителем окружающей среды считается кадмий (Cd). Лимит этого биодоступного элемента обусловлен спецификой и разнообразием его поведения в различных почвенных, гидрологических условиях и трофических цепях. Нормативы по Cd не прописаны в документе ЕС №2003/2003. Например, на национальном уровне при регулировании по Cd члены ЕС ориентируют на мнение Научного комитета по токсичности, экотоксичности и окружающей среде (CSTEE) о том, что содержание Cd в удобрении выше 20 мг/кг ведет к его аккумуляции в почве на горизонте прогноза в 100 лет. Однако в действительности прогноз баланса Cd в почвах Европы отрицательный. Ввиду отсутствия потребности промышленности в Cd, методы очистки сырья применяться не будут (Cichy et al., 2014).

Валовое содержание Cd в верхнем слое почвы составляет 0.06-1.1 мг/кг, разрешенный уровень (ОДК) для разных почв – 0.5-2.0 мг/кг. При уровне 3 мг/кг требуется оценка воздействия на окружающую среду. Лимиты содержания Cd в твердых веществах биологического происхождения: уровень «а» – 3.0 мг/кг, уровень «б» – 10.0 мг/кг. В илистой фракции (почве) общий лимит составляет 85 мг/кг, текущий – 1.9 кг/га в год, кумулятивный – 39 кг/га (Heavy Metal Soil Contamination, 2016). По другим данным, лимит для содержания валового Cd в почвах составляет: 1.8 мг/кг (SGVs, 2016) и 2.0 мг/кг (ГН 2.1.7.2042-06).

Содержание Cd в фосфатных рудах следующее (мг/кг): Кольский полуостров – 0.2, Южная Африка (Пхалаборва) и Марокко (Бу-Кра) – 38, США (Северная Каролина) – 47, Науру – 100 (Naidu et al., 1996). Минеральные удобрения, приготовленные из низкокачественного сырья, – основной источник поступления Cd в почвы, поскольку большая часть ТМ, содержащегося в осадочных отложениях, в процессе производства поступает в удобрение (Cadmium in fertilizers ..., 2016).

В среднезернистых и идиоморфных апатитах Кольского полуострова содержание стронция (Sr) составляет 0.2% (SrO) (Krasnova, 2001). В мире во мно-

гих исследованиях Sr изучают как рядовой ТМ, не рассматривая его как элемент с особыми свойствами (Enamorado et al., 2013; Wolicka, 2008).

Значительное внимание уделяют накоплению Sr в почве ввиду связанной с ним опасности урвской болезни. Полагают, что в почве отношение Ca/Sr должно быть не менее 50-100, но это на настоящий момент не обусловлено нормативом. Неблагоприятное воздействие на здоровье человека при отношении Ca/Sr, равном 40-50, не зарегистрировано нигде в мире ни в отношении почв, ни в отношении выращенных растений (Любимова и др., 2006).

При использовании ФГ (соотношение Ca : Sr = 80 : 1) в дозе 3 т/га в культуре риса соотношение Ca : Sr в сбросной воде составило от 156 : 1 до 215 : 1 (Локтионов и др., 2015). При внесении ФГ в чернозем обыкновенный карбонатный в дозе до 40 т/га превышение рекомендованного порога Ca/Sr не наблюдали (Endovitsky et al., 2015b).

Исключение по Sr – регионы распространения грунтовых вод, употребляемых для питьевого водоснабжения, где имеется его избыточное содержание в воде, а отношение Ca/Sr составляет 5-15 (Березин и др., 2013; Балюк, Чаусова, 2011). Однако эта опасность – не следствие применения ФГ. Применение ФГ с точки зрения накопления Sr в растительной продукции и развития урвской болезни безопасно.

Реальная опасность эолового переноса и, соответственно, негативного воздействия Sr на живые организмы связана с промышленными выбросами (в том числе ТЭС), а также с развеиванием отвалов. Содержание Sr в угольной золе достигает 2 г/кг (Юдович, Кетрис, 2016) – больше, чем в ФГ.

При внесении удобрительно-мелиорирующих компостов на основе глауконита, ФГ и птичьего помета в чернозем обыкновенный моделировали одновременное загрязнение почвы Cu, Zn, Pb, Ni и Cd на уровне 1, 2 и 3 ПДК (Юркова, 2012). По завершении эксперимента установили снижение содержания подвижных форм ТМ в 2-4 раза по сравнению с контролем, где компосты не вносились.

После внесения в лугово-черноземную почву ФГ в дозе 3 т/га не выявлено достоверного увеличения содержания ТМ в почве, а качество зерна соответствовало санитарно-гигиеническим требованиям СанПиН 2.3.3.1078-01 (Локтионов и др., 2015).

Изучена динамика содержания подвижных форм Cu, Zn, Ni, Pb и Cd при комплексной мелиорации каштановых почв в комплексе с солонцами (Суковатов, 2009). Оценку содержания ТМ в почвах выполняли с использованием кларка, ПДК и ОДК. Установлена длительная экологическая безопасность внесения ФГ в почву. Содержание в почве ТМ, внесенных с ФГ, уже в 1-2-й год действия мелиорации было в пределах значений ПДК. При низкой влажности почвы, свойственной сухой степи, ТМ переходят в малорастворимые формы и необратимо пассивируются. В течение длительного (более 5-ти лет) действия мелиорации содержание ТМ приближается к кларку. При низкой влажности почвы особенно эффективно работают геохимические и биологические барьеры, препятствующие поступлению ТМ в рас-

тение. Содержание ТМ в зерне ячменя, выращенном после внесения в почву ФГ, было в 5-10 раз ниже ПДК (Суковатов, 2009).

ТМ по-разному воздействуют на растение в зависимости от того, каковы условия их поступления из почвы в растительный организм. Например, в условиях ирригации лука за счет высокой влажности почвы ТМ беспрепятственно попадают в растение (Kwasniewska, 2014). Почвенный раствор разбавлен, потому не работает геохимический барьер почва – растение. К тому же, в результате разбавления почвенного раствора в растении формируется низкая концентрация межклеточного сока, что ослабляет функционирование внутренних биологических барьеров и приводит к повышению вероятности мутации организма.

Внесение в почвогрунт ФГ в дозе $\leq 3.3\%$ дает увеличение биомассы смеси газонных трав на 80% по сравнению с контролем, а при дозе $\geq 6.8\%$ наблюдается превышение ПДК для Sr и F (Яковлев и др., 2013). Наибольшая резистентность к ФГ отмечается у горчицы белой (*Sinapis alba*) – снижение всхожести семян в чистом ФГ составило 20%.

При дозе ФГ $\geq 9.6\%$ в сообществе почвенных микроорганизмов возрастает доля споровой биомассы в структуре микромицетов. Наиболее чувствительны к ФГ биологические тест-функции: на уровне продуцентов меняется прирост численности клеток микроводорослей *Scenedesmus quadricauda*, на уровне консументов – выживаемость рачков *Daphnia magna*, на уровне редуцентов – свечение люминесцентных бактерий *Escherichia coli* в составе препарата «Эколюм» (Яковлев и др., 2013). Полуэффективная концентрация (EC50) ФГ для *S. quadricauda* составляет 5.1%, для *D. magna* – 7.7%, а для *E. coli* – 15.3%. Безвредное содержание ФГ (NOEL) – 2.0, 2.8 и 5.3% соответственно. В порядке возрастания чувствительности к ФГ получен следующий ряд: редуценты < консументы < < продуценты. Для земель особо охраняемых природных территорий допустимое содержание ФГ в почвогрунте составляет $\leq 2.0\%$, для земель сельскохозяйственного назначения и населенных пунктов – $\leq 6.8\%$, для земель лесного и водного фонда, промышленности и транспорта – $\leq 9.6\%$ (Яковлев и др., 2013; Терехова, 2011).

4.2. Радиоактивность

Озабоченность в мире по поводу радиоактивности материалов обусловила выделение двух групп веществ: радиоактивный материал природного происхождения (NORM) и природный радиоактивный материал, обогащенный в процессе технологической обработки (TENORM) (TENORM, 2016; FAOLEX, 2006; EUR-Lex, 2016). В мире огромный объем побочных продуктов из группы TENORM нуждается в утилизации (наибольший объем – это топочная зола). В 2015 г. Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) в нормативе NORM VII с сожалением заявило, что пока нет гармонии национальных подходов к менеджменту побочных продуктов из группы TENORM, но имеет место нарастание

международной активности в поисках решения этой проблемы. Рециклинг данных побочных продуктов предусматривает при необходимости их «разбавление».

Действующая в мире лимитная доза радиоактивного облучения 0.3 мЗв/год составляет в действительности примерно 1/5 от натурального фонового уровня, и на 1-2 десятичных порядка ниже того, что испытывали многие люди в течение многих лет, не имея в дальнейшем никаких признаков лучевой болезни.

Радиоактивность фосфатных руд в мире достигает 10000 Бк/кг, а удобрений, полученных из них, – 3800 Бк/кг (Naturally-Occurring Radioactive..., 2015). ЕРА с 1989 г. запретило в США использовать ФГ радиоактивностью более 370 Бк/кг (Health and Ecosystem Protection, 2016). В отвалах ФГ радиоактивность достигает 1700 Бк/кг, так что в США основную часть ФГ хранят в отвалах (на закрытых частных территориях с оплатой землепользователям), несмотря на многолетние данные проведенных в данной стране исследований, демонстрирующих безвредность ФГ. Тем не менее, в штате Флорида разрабатываются пути сокращения объемов водно-кислотного ФГ – вырабатываются правила по его использованию. В этой связи можно отметить и то, что, например, в ЕС, лимит радиоактивности неядерных материалов в 30 раз выше по сравнению с лимитом для ядерных материалов.

Лимит радиоактивности ФГ 370 Бк/кг по образцу США принят в мире (Gezer et al., 2012). Данный порог относится к отвалу. Как отмечается рядом исследователей, размещать ФГ и радиоактивные вещества в целом следует в глубине почвы (Soil Amendments..., 1995; Мельченко, 2015; Мельченко и др., 2015). По-видимому, вышеуказанный порог можно преодолеть, если побочный продукт не складировать в отвал, а направлять сразу на внутрипочвенное внесение. Тем не менее, более высокий лимит в 1000 Бк/кг уже принят в Бразилии.

Самое радиоактивно чистое апатитовое сырье добывается на месторождении Сиилинъярви (Финляндия), практически того же высокого качества апатит из Ковдорского месторождения, и лишь совсем немного уступает сырье из Хибинского месторождения. Существенно выше радиоактивность сырья в Южной Африке (Палфос) – 0.1 Бк/г, в также в Финляндии (Сокли) – 0.16 Бк/г. Максимальные значения отмечаются для следующих месторождений: Марокко (К-10) – 0.55 Бк/г, Сенегал (Таиба) – 0.60 Бк/г, США (Флорида) – 1.0 Бк/г (Hilton, 2010).

Безопасность ФГ из месторождений РФ – самых чистых в мире в плане радиоактивности – при внесении в почву не вызывает сомнений у исследователей. В этой связи для других перспективных месторождений в мире на основе развития биогеосистемотехники возможно предложить принципиально новые технологии использования сырья (Lapin, Lyagushkin, 2014).

Охрану окружающей среды природно-территориальных комплексов при внесении ФГ в почву рассмотрим на примере США, где сырье в силу особен-

ностей формирования природных месторождений наиболее загрязнено. Однако важно отметить, что даже такой ФГ безопасен в плане радиоактивности. Так, при дозах ФГ от 0.5 до 1.5 т/га не установлено значимого влияния на радиоактивность и содержание ТМ в почве (Mullins, Mitchell, 1990).

ФГ (валовое содержание Cd – 0.23 мг/кг, радиоактивность – 92 Бк/кг) утилизировали в почве в дозах 0, 22 и 112 т/га и изучили влияние на развитие растений и потребление Cd и Ra в севообороте кукуруза – пшеница – соя (Mays, Mortvedt, 1984). Концентрация элементов питания и Cd в зерне всех культур после внесения ФГ не увеличилась. Следов избыточной радиоактивности в растениях не обнаружено. После уборки сои радиоактивность слоя почвы 0-15 см увеличилась с 35 Бк/кг в контрольном варианте до 73 Бк/кг при внесении очень высокой дозы ФГ (112 т/га); в подпахотном слое радиоактивность не изменилась.

5. Технологические аспекты

Достаточно детально описано многообразие почв, подлежащих мелиорации с использованием ФГ (Любимова и др., 2006). Однако использовать на практике эту важную информацию не позволяет чрезвычайно скудный набор технических средств для проведения химической мелиорации почв. Все, что доступно для внесения ФГ и других мелиорантов и побочных продуктов в почву – это распределитель вяжущего вещества по поверхности дорожного полотна (например, BS 12000 PROFI), использование которого как устройства для внесения ФГ поставлено под сомнение (Кизинек и др., 2013), и давно известные вальцовые и дисковые разбрасыватели материала по поверхности почвы (Hilton, 2010).

Как уже отмечалось выше, внесение мелиоранта внутрь почвы реализуется лишь частично в результате несовершенных технических подходов. Более того, замысел технического решения ПТН-40, ПТН-2-40Ф не предусматривает в принципе возможности поступления мелиоранта с поверхности вглубь почвы (Балакай и др., 2015). Пассивные рыхлители (Семендяева и др., 1982; 1984) не в состоянии выполнить желаемое фрезерование и перемешивание почвы с вносимым в нее веществом, а также такую заделку в почву, которая бы исключала опасность его неконтролируемого распространения. Устройства, которыми в Австралии по следу глубокорыхлителя вносят навоз или мелиорант, также не обеспечивают дисперсного контакта вещества с почвой, поскольку не дают необходимого дисперсного размещения мелиоранта или компоста в подлежащем мелиорации иллювиальном горизонте почвы (Lawson, 2015). Потому эффект мелиорации недостаточный – нет технической возможности реализовать теоретическую схему.

Например, сообщается, что после внесения ФГ на поверхность лугово-черноземной почвы, требующей мелиорации, в подпахотном горизонте 20-40 см содержание обменного Na в зависимости от дозы мелиоранта стало в 2.5-3.6 раза больше, чем в слое 0-20 см (Кизинек и др., 2013). По-видимому, это мо-

жет быть связано с внесением мелиоранта в ненадлежащий слой почвы с использованием имеющейся техники.

Требуется совершенствование технических решений и технологий утилизации ФГ и других веществ в почве для решения задачи по разработке природоподобных технологий. Происходит деградация почв, и необходим поиск принципиально новых возможностей для управления почвенными ресурсами (Смагин, 2013). Представляется важным обеспечить синтез необходимых соединений непосредственно внутри почвы (Калиниченко и др., 2012а; 2013) и управление веществом составом почвенного раствора (Калиниченко и др., 2012б). Однако, кроме признания актуальности проблемы почвенного конструирования, нужны еще и инструменты конструирования (Рабинович и др., 2004).

Перспективным комплексным методом мелиорации может служить фрезерная обработка почвы на глубину 20-50 (30-60) см при одновременном внесении в этот слой ФГ (Аканова, 2013), что позволяет синтезировать в почве приоритетную дисперсную систему для расширенного протекания биологических процессов (Розанов, 2003; Калиниченко, 2010). Размещение утилизируемого вещества внутри почвы, включая очень тонкие фракции (наноразмеров), содержащиеся в ФГ, снимает проблему эолового распространения ТМ, опасного для животных и высших растений. Особенно если учесть, что дозы в 10-50 и более ПДК безопасны для микроорганизмов почвы (Kolesnikov et al., 2013; Колесников и др., 2014).

Ввиду актуальности задачи управления геохимическими процессами в биосфере (Анисимов и др., 1991; Anisimov et al., 2015; Кочетков и др., 2011; Спирин и др., 2013; Glazko et al., 2015; Kalinitchenko, 2016) возможно проведение рециклинга материалов из группы TENORM путем рассредоточенной утилизации – разбавления побочных продуктов внутри почвы (Health and Ecosystem Protection, 2016; Миндубаев и др., 2013). При этом для внутрипочвенного внесения смоделировано преодоление принятого в мире порога радиоактивности в 0.37 Бк/г материала.

Ставится задача восполнить потери макро- и микроэлементов из почвы, особенно при ирригации, и в наибольшей степени – в культуре риса (Шеуджен, Бондарева, 2015; Кизинек и др., 2013). Данные потери – следствие избыточного выщелачивания элементов, избыточной минерализации и перемещения органического вещества. Для управления потоками вещества и воды в действующих технологиях необходима корректировка современного природопользования.

Предложена импульсная внутрипочвенная континуально-дискретная парадигма ирригации (Калиниченко, 2010; Калиниченко и др., 2013; Kalinitchenko, 2014; Kalinitchenko et al., 2014), рассматриваемая как новый перспективный подход (Воеводина, 2016). В почве формируют термодинамический потенциал почвенного раствора в диапазоне от -0.2 до -0.5 МПа, поэтому не выщелачиваются питательные вещества и гумус, достигается многократное сокращение потребления воды растениями, сохраняются структура почвы и повышается продуктивность растений за счет

«комфортного» органогенеза. Однако необходимо обеспечить термодинамический потенциал почвенного раствора, приемлемый для питания растений определенного вида. Для культуры риса экспертная оценка термодинамического потенциала почвенного раствора составляет от -0.02 до -0.05 МПа. Предполагается, что это позволит кардинально изменить неблагоприятный для растений, почвы и ландшафта гидрологический режим, формируемый при использовании стандартных способов ирригации: лабораторная всхожесть семян риса – 95%, полевая – только 20-30% ввиду избыточного увлажнения.

Предотвращение избыточного увлажнения почвы позволяет резко уменьшить непроемкий геохимический сток материала из почвы, устранить негативные последствия гидроморфного режима почвы, включая деструкцию органического вещества и восстановление сульфатов до сульфидов.

Регулирование влажности почвы в комфортном для растений диапазоне позволяет также усилить действие геохимического барьера «почва – ризосфера», поскольку при этом контролируется растворимость опасных для трофических цепей соединений. В почвенном растворе формируются ассоциированные и комплексные ионы, и основанная на этом возможность усиления действия геохимических барьеров была показана на примере Pb, Cd и Sr (Ендовицкий и др., 2014; Минкин и др., 1995; Минкина и др., 2012; Endovitsky et al., 2015a; 2015b; Batukaev et al., 2016a; 2016b, 2016c).

Следует также отметить, что вместо промывки засоленных почв от Na^+ и Cl^- эти ионы следует селективно извлекать из почвы, не затрагивая остальные ионы макроэлементов.

Все это составляющие научно-технического направления, называемого биогеосистемотехникой. Это не имеющие прямых аналогов в природе технические решения и технологии управления биогеохимическим циклом веществ в газообразной, жидкой и твердой фазе. Биогеосистемотехника нацелена на безопасный для окружающей среды рециклинг вещества в почвах, прирост ресурсов и продовольствия, а также на непротиворечивое решение производственных и экологических проблем ноосферы в едином технологическом цикле в соответствии с принципом природоподобия. Приоритетная задача – обеспечение качества окружающей среды для здорового обитания.

Следует также рассмотреть вопрос и по нейтрализации ФГ. В свое время решалась проблема обеспечения его складирования и, в какой-то степени, причинения меньшего экологического ущерба от шламосборников. Однако для мелиорации солонцовых почв ФГ не надо подвергать нейтрализации, поскольку содержащиеся в нем остаточные кислоты повышают растворимость соединений кальция в почве, способствуя протеканию процесса замены натрия на кальций в ППК. В этой связи поставка ФГ потребителям в возвратной таре, из которой могло бы осуществляться его внесение в почву, представляется рациональным решением.

Для оптимизации утилизации побочных продук-

тов представляется перспективным смешивание ФГ с золой ТЭС (Делицын и др., 2014). Чем менее качественный уголь, тем больше в золе содержание CaO и выше pH, что будет способствовать нейтрализации ФГ. При этом можно обеспечить рециклинг в почве обоих материалов.

Заключение

Инициативы в сфере охраны окружающей среды, производства и использования ФГ координирует Международная ассоциация производителей удобрений (IFA). Проводятся глобальные технические симпозиумы об устойчивости производственной и окружающей среды в связи с хранением и использованием ФГ (Jestness, 2014). Прорабатываются, например, следующие темы, связанные с сельским хозяйством: утилизация гипса – отхода химической промышленности (Harter, 1968); доступное и безопасное использование отходов в земледелии развитых и развивающихся стран (Hilton, Astley, 2005); текущая ситуация с хранением в отвалах и утилизацией ФГ в разных странах (Wirtel, 2013; Xiu, Xuefeng, 2014; Fourati, 2014; Goswami, Nand, 2015; Morris, 2004). Ведется также работа по совершенствованию нормирования загрязнений для материалов из группы NORM (Birky, 2014; Beckingham, 2014) и путей использования ФГ с точки зрения устойчивого развития (Misra, 2015). Исследуются риски использования ФГ (Potential Uses of Phosphogypsum ..., 1992) и разрабатывается соответствующая документация и справочные материалы (Hilton, 2015).

Применение побочных продуктов промышленного производства минеральных удобрений тесно связано с проблемой рационального использования природных ресурсов. Отбор принципиально новых – эффективных технических решений и технологий размещения побочных продуктов в почве должен базироваться на научно-обоснованном квалифицированном подходе.

Калиниченко В.П. – Институт плодородия почв юга России, Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, доктор биологических наук, профессор; e-mail: kalinitch@mail.ru.

Автор выражает глубокую признательность региональному директору по югу и востоку России Международного института питания растений, кандидату биологических наук В.В. Носову за ценные предложения и высококвалифицированные правки по тексту манускрипта, которые были приняты с благодарностью и в полном объеме в окончательной редакции обзора.

Литература

- Glazko Valery I., Glazko Tatiana T. Conflicts of Biosphere and Agroecosystems // International Journal of Environmental Problems. 2015. Vol. (1). Is. 1. P. 4-16.
International Commission Calls for 'Paradigm Shift' in Agriculture.

- www.worldwatch.org
- Аканова Н.И. Фосфогипс нейтрализованный – перспективное агрохимическое средство интенсификации земледелия (по материалам семинаров ОАО «МХК» ЕвроХим) // Плодородие. 2013. №1. С. 2-7.
- Shein E.V., Skvortsova E.B., Abrosimov K.N. Tomographic studies of the soil pore space in swelling and shrinkage processes // В кн.: 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.
- Скворцова Е.Б., Шеин Е.В., Абросимов К.Н., Герке К.М., Романенко К.А., Корост Д.В. Рентгеновская микротомография в российском почвоведении: достижения и перспективы // В сб.: Современные методы исследований почв и почвенного покрова. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. 2015. С. 19-35.
- Скворцова Е.Б., Рожков В.А., Морозов Д.Р. Использование многомерных статистических методов для классификации и диагностики строения порового пространства почвы в микроморфологических илифах // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева (дата: 2016-02-23).
- Shein Evgeny V., Nadezhda V. Verkhovtseva, Evgeny Yu. Milanovsky, Anna A. Romanycheva. Microbiological Modification of Kaolinite and Montmorillonite Surface: Changes in Physical and Chemical Parameters (Model Experiment) // Biogeosystem Technique. 2016. Vol. (9). Is. 3. P. 229-234.
- Shein Evgeny V., Galina V. Kharitonova, Evgeny Yu. Milanovsky. Aggregation of Natural Disperse Formations: Value of Organic Matter, Soluble Salts And Diatoms // Biogeosystem Technique. 2016. Vol. (7). Is. 1. P. 77-86.
- 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.
- Lisetskii F., Marinina O., Stolba V.F. Indicators of agricultural soil genesis under varying conditions of land use, steppe Crimea // Geoderma. 2015a. Vol. 239-240. P. 304-316.
- Лозановская И.Н. Известкование почв в античном земледелии и средневековых государствах западной Европы // В сб.: Мелиорация антропогенных ландшафтов Межвузовский сборник научных трудов. Министерство сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации; Новочеркасская государственная мелиоративная академия. Новочеркасск, 1999. С. 141-152.
- Шоба С.А., Смагин А.В., Садовникова Н.Б. Методологические аспекты почвенного конструирования // В сб.: Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. IV Международная научная экологическая конференция. Редколлегия: Трубилин А. И. Шоба С. А., Коцаев А. Г., Шеуджен А.Х. и др. Краснодар, 2015. С. 7-17.
- Соколов М.С., Глинушкин А.П., Торопова Е.Ю. Средообразующие функции здоровой почвы – фитосанитарные и социальные аспекты // Агротехника. 2015. №8. С. 81-94.
- Семенов А.М., Соколов М.С. Концепция здоровья почвы: фундаментально-прикладные аспекты обоснования критериев оценки // Агротехника. 2016. №1. С. 3-16.
- Lisetsky F.N., Vuryak J.A., Grigoreva O.I., Marinina O.A., Martsinevskaya L.V. Implementation of the basin-administrative and ecoregional approaches to environmentally oriented arrangement inter-settlement areas of the Belgorod region // Biogeosystem Technique. 2015b. №1 (3). С. 50-63.
- Калиниченко В.П., Минкина Т.М., Безуголова О.С., Зармаев А.А., Романов О.В., Ким В.Ч.-Д. Концепция внутрипочвенной дискретной импульсной ирригации // Природообустройство. 2013. №2. С. 6-11.
- Опасные природные процессы юга европейской части России. Разумов В.В., Притворов А.П., Перекрест В.В., Разумова Н.В. и др. Коллективная монография / Москва, 2008.
- Радугин Н. Земельный фонд России. <http://observer.materik.ru>
- Природа России: Земельные ресурсы. <http://www.priroda.ru>
- Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации. Земельный фонд Российской Федерации по состоянию на 1 января 2013 года. РОСРЕЕСТР. <https://rosreestr.ru>
- Алексеев А.В. Государственные программы: реальный или номинальный инструмент управления экономикой? // Экономист. 2014. №6. С. 20-27.
- Смагин А. Настоящее и будущее самой плодородной почвы // Наука в России. 2013. №1. С. 23-30.
- Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Добрыднев Е.П., Локтионов М.Ю. Агроэкологическая эффективность фосфогипса на посевах кукурузы и сои в условиях Северо-Западного Кавказа на черноземе выщелоченном // Плодородие. 2013. №1. С. 16-20.
- Барсегян А.Г., Гендугов В.М., Глазунов Г.П., Горбатов В.С. и др. Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель / С.А. Шоба, А.С. Яковлев, Н.Г. Рыбальский (ред.). Москва, 2013.
- Годунова Е.И., Шкабарда С.Н., Патюта М.Б. Роль экологического каркаса в агроландшафтном земледелии // В сб.: Эволюция и деградация почвенного покрова. Сборник научных статей по материалам IV Международной научной конференции. 2015. С. 207-211.
- 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. 2015a. Vol. (2). Is. 2. P. 136-153.
- Kalinichenko Valery P. Biogeosystem Technique as a Paradigm of Non-waste Technology in the Biosphere // Biogeosystem Technique. 2015. Vol. 3. Is. 1. P. 4-28.
- Starcev Viktor F., Valery P. Kalinichenko Utilization of Biological Waste by Biogeosystem Technics Method // International Journal of Environmental Problems. 2015. Vol. 2. Is. 2. P. 166-182.
- Kalinichenko Valery P., Starcev Victor F. Recycling of poultry litter by method of Biogeosystem technique // International Journal of Environment Problems. 2015. Vol. 1. Is. 1. P. 17-48.
- National Atmospheric Deposition Program, July 8, 2014. US EPA. <http://www.epa.gov>
- 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.
- Балакай Г.Т., Л.М. Докучаева, Р.Е. Юркова, Т.В. Усанина, и др. События мелиорации орошаемых солонцовых почв. Научный обзор. Новочеркасск, 2011. 73 с.
- Любимова И.Н., Бондарев А.Г., Борисочкина Т.И., Булгаков Д.С. и др. Рекомендации по использованию фосфогипса для мелиорации солонцов. М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 2006. 46 с.
- Байбеков Р.Ф., Шильников М.А., Аканова Н.И., Добрыднев Е.П. и др. Научно-практические рекомендации по применению

- фосфогипса нейтрализованного в качестве химического мелиоранта и серного удобрения. Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова Россельхозакадемии. М.: ВНИИА, 2012. 55 с.
- Batukaev Abdulmalik, Valery Kalinitchenko, Ali Zarmaev, Andrey Skovpen, Zaurbek Dikaev, Vaha Jusupov, Artem Rykhlik, Bauer Tatiana. Biogeosystem technique as a base of Sustainable Irrigated Agriculture // EGU General Assembly. Vienna, 2016a. Geophysical Research Abstracts. Vol. 18.
- Endovitsky Anatoly P., Abdulmalik A. Batukaev, Tatiana M. Minkina, Valery P. Kalinitchenko, Saglara S. Mandzhieva, Svetlana N. Sushkova, Nikolai A. Mischenko, Sirojdin Y. Bakoyev, Ali A. Zarmaev, Vaha U. Jusupov. Ions association in soil solution as the cause of lead mobility and availability after application of phosphogypsum to chernozem. Journal of Geochemical Exploration. Available online 31 August 2016.
- Kalinitchenko Valery P. Technologies and Technical Means for Matter Recycling into the Soil (Review) // International Journal of Environmental Problems. 2016a. Vol. (3). Is. 1. P. 58-85.
- Kalinitchenko Valery P. Optimizing the Matter Flow in Biosphere and the Climate of the Earth at the Stage of Technogenesis by Methods of Biogeosystem Technique (Problem-Analytical Review) // International Journal of Environmental Problems. 2016b. Vol. (4). Is. 2. P. 99-130.
- Kalinitchenko Valery P. Status of the Earth's geochemical cycle in the standard technologies and waste recycling, and the possibilities of its correction by Biogeosystem Technique method (problem-analytical review) // Biogeosystem Technique. 2016c. Vol. (8). Is. 2. P. 115-144.
- Kalinitchenko Valery, Abdulmalik Batukaev, Ali Zarmaev, Viktor Startsev, Vladimir Chernenko, Zaurbek Dikaev, Svetlana Sushkova. Biogeosystem technique as the way to certainty of soil, hydrosphere, environment and climate // EGU General Assembly. Vienna, 2016. Geophysical Research Abstracts. Vol. 18.
- Калиниченко В.П. Биогосистемотехника – инновационный метод управления продуктивностью и здоровьем почвы // Современные проблемы гербологии и оздоровления почв. Международная научно-практическая конференция (21-23 июня 2016 г.). Большие Вяземы, 2016. С. 246-263.
- Scholz Roland W., Amit H. Roy, Fridolin S. Brand, Deborah Hellums, Andrea E. Ulrich (Editors). Sustainable Phosphorus Management: A Global Transdisciplinary Roadmap. Springer, 2014. (eBook).
- Кизинек С.В., Локтионов М.Ю. Эффективность различных форм кальцийсодержащих удобрений при возделывании риса // Плодородие. 2013. №1. С. 14-16.
- Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года. Минэкономразвития РФ. <http://economy.gov.ru>
- Демкин В.А., Борисов А.В., Демкина Т.С., Удальцов С.Н. Эволюция почв и динамика климата степей юго-востока русской равнины в эпохи энеолита и бронзы (IV-II тыс. до н.э.) // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2012. №1. С. 46-57.
- Николаева З.Н. Некоторые закономерности современных изменений гидротермических характеристик в Южно-Минусинской котловине // Вестник Красноярского ГАУ. 2007. №1. С. 71-75.
- Yuan, X., E.F. Wood, and M. Liang. Integrating weather and climate prediction: towards seamless hydrologic forecasting. Geophys. Res. Lett. Vol. 41. Is. 16. 28 August 2014. P. 5890-5895.
- Heavy Metal Soil Contamination. USDA. 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>
- Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н. Использование фосфогипса нейтрализованного на посевах риса в качестве поликомпонентного удобрения. Сообщение I // Научный журнал КубГАУ. 2015. №113 (09).
- Семендяева Н.В., Госс Н.И. Об эффективности доз гипса на солонцах, рассчитанных различными методами // Мелиорация и использование солонцов в Сибири. Новосибирск, Изд-во СО ВАСХНИЛ, 1984. С. 64-72.
- Минкин М.Б., Бабушкин В.М., Садименко П.А. Солонцы юго-востока Ростовской области. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета, 1980. 272 с.
- Минкин М.Б., Горбунов Н.И., Садименко П.А. Актуальные вопросы физической и коллоидной химии почв. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета, 1982. 280 с.
- Хитров Н.Б. Физико-химические условия развития солонцового процесса в почвах // Почвоведение. 1995. №3. С. 298-307.
- Полевой определитель почв. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
- Хитров Н.Б. Выбор диагностических критериев существования и выраженности солонцового процесса в почвах // Почвоведение. 2004. №1. С. 18-31.
- Корниенко В.И., Минкин М.Б., Скуратов Н.С., Калиниченко В.П. Способ определения доз фосфогипса для мелиорации солонцов. А.с. СССР №1555668 от 8.12.89. Заявка №4296908. 12.08.87. Б.И. №13. 07.04.90. 4 с.
- Минкин М.Б., Калиниченко В.П., Корниенко В.И., Скуратов Н.С., Сытко М.Е. Способ определения количества фосфогипса, необходимого для мелиорации солонцовой почвы. А.с. СССР №1704070. 08.09.91. Заявка №4683723. 25.04.89. Б.И. №1. 07.01.92. 4 с.
- Трофимов И.Т., Чижикова Н.П. Химико-минералогический состав черноземов и засоленных почв Предалтайской провинции // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2007. №2 (28). С. 19-28.
- Чижикова Н.П. Деградация минеральной основы почв // В кн.: Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии. Москва, 2013. С. 353-368.
- Хитров Н.Б., Чижикова Н.П. Роль глинистых минералов в слитогенезе почв Ставрополя // Почвоведение. 1995. №11. С. 1408-1418.
- Чижикова Н.П., Столбовой В.С. Пространственное распределение глинистых минералов в почвах Центрального Тургай // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева (дата: 2016-02-23).
- Чижикова Н.П. Влияние орошения на изменение минералогического состава черноземов и каштановых почв // Почвоведение. 1995. №1. С. 128-144.
- 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.
- Приходько В.Е. Развитие почв Поволжья под влиянием орошения / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук. Пушино, 2003.

- Солнцева Н.Г., Калиниченко В.П. Минералогическая композиция чернозема при антропогенном воздействии. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing & Co. KG, 2011. 274 с.
- 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*. Vol. 241. Is. 1-2. 15 August 2011. P. 26-34.
- Barre P., Berger G., Velde B. 2009. How element translocation by plants may stabilize illitic clays in the surface of temperate soils // *Geoderma*, 151: 22-30.
- Reid-Soukup D.A., Utery A.L. Smectites. In: Dixon J.B., Schulze D.G. (Ed.). *Soil Mineralogy with Environmental Application*. Madison, Wisconsin, USA, 2002. P. 467-499.
- Eberl, D.D., B. Velde, and T. McCormick. 1993. Synthesis of illite-smectite from smectite at earth surface temperatures and high pH. *Clays Clay Miner.*, 28: 49-60.
- Чижикова Н.П., Харитонова Г.В., Коновалова Н.С. Роль растворимых солей в агрегации глинистых минералов // *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2011. №67. С. 40-48
- Зайцева Р.И., Судницын И.И., Никитина Н.С. Влияние концентрации и осмотического давления почвенного раствора на доступность воды растениям // *Почвоведение*. 2003. №9. С. 1124-1131.
- Зайцева Р.И., Комаров Н.М., Гришина Р.В., Кириченко А.В., Егоров Ю.В., Муромцев Н.А. Устойчивость сортов ярового ячменя в фазе прорастания – всходы к засолению почвы и к дефициту влаги при проращивании семян на растворах // *Современное состояние черноземов. Мат. между. научной конф.*, 24-26 сентября 2013. Ростов-на-Дону, 2013. С. 113-116.
- Фосфогипс для сельского хозяйства. ТУ 113-08-418-94.
- Лапина И.З., Тургумбаева Х.Х., Бейсекова Т.И. Физико-химические свойства фосфогипса, размещенного на отвале Жамбылского завода минеральных удобрений // *Промышленность Казахстана*. 2012. №5. С. 56-58.
- Tayibi Hanan, Mohamed Choura, Félix A. López, Francisco J. Alguacil and Aurora López-Delgado. *Environmental impact and management of phosphogypsum (Review)*. Madrid, 2012.
- Craig Peppin, Carlson Carrie. *Challenges in Processing Phosphates*. FEECO International. <http://feeco.com>
- Shen Yan, Jueshi Qian, Junqing Chai, Yunyan Fan. Calcium sulphoaluminate cements made with phosphogypsum: Production issues and material properties // *Cement and Concrete Composites*. Vol. 48. April 2014. P. 67-74.
- Cuadri A.A., F.J. Navarro, M. García-Morales, J.P. Bolívar Valorization of phosphogypsum waste as asphaltic bitumen modifier // *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 279. 30 August 2014. P. 11-16.
- Zhou Jun, Dongxue Yu, Zhu Shu, Tiantian Li, Yun Chen, Yanxin Wang A novel Two-step Hydration Process of preparing cement-free non-fired bricks from waste phosphogypsum // *Construction and Building Materials*. Vol. 73. 30 December 2014. P. 222-228.
- Горлов А.А., Кречетов П.П., Рогова О.Б. Изменение химического состава почв под влиянием фосфогипса // XXIII Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2016». 2016. С. 34-35.
- Горлов А.А., Кречетов П.П., Рогова О.Б. Влияние фосфогипсовых дорог на физико-химические свойства почв // *Роль почв в биосфере и жизни человека. Международная научная конференция: К 100-летию со дня рождения академика* Г.В. Добровольского, к Международному году почв. 2015. С. 34-35.
- 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*. Vol. 408. Is. 1. 15 December 2009. P. 69-77.
- Sleiman M. Al-Zaidyeen, and Arabi N. S. Al-Qadi Effect of Phosphogypsum As a Waste Material in Soil Stabilization of Pavement Layers // *Jordan Journal of Civil Engineering*. Vol. 9. No. 1. 2015.
- Degirmenci Nurhayat, Arzu Okucu, Ayse Turabi Application of phosphogypsum in soil stabilization // *Building and Environment*. Vol. 42. Is. 9. September 2007. P. 3393-3398.
- Белюченко И.С., Добрыднев Е.П., Муравьев Е.И. Экологические особенности фосфогипса и целесообразность его использования в сельском хозяйстве // *Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. II Всероссийская научно-практическая конференция*. Краснодар: КубГАУ, 2010. С. 13-22.
- Добрыднев Е.П. Использование нейтрализованного фосфогипса в качестве минерального грунта-рекультиванта в промышленных масштабах на примере ООО «ЕвроХим-БМУ» // *Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. I Всероссийская научно-практическая конференция*. Краснодар: КубГАУ, 2009. С. 14-19.
- Муравьев Е.И., Добрыднев Е.П. Физические свойства фосфогипса и его смесей // *Экологический вестник Северного Кавказа*, 2008. Т.4. №2. С. 18-23.
- Кремзин Н.М. Удобрение и химическая мелиорация солонцовых почв Кубани, используемых под рис // *Автореф. дис. канд. с.-х. н. М.*, 1990, 23 с.
- Hilton Julian. *Phosphogypsum (PG): Uses and Current Handling Practices Worldwide*. 2010. In: *Proc. 25th Annual Lakeland Regional Phosphate Conference*. Lakeland, USA.
- Добрыднев Е.П., Локтионов М.Ю. Основные результаты исследования агроэкологической эффективности фосфогипса в земледелии Краснодарского края // *Плодородие*. 2013. №1. С. 7-9.
- 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. Pub. No. 01-048-084.
- 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.
- Новикова А.В. Исследования засоленных и солонцовых почв: генезис, мелиорация, экология. *Избранные труды*. Харьков: Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского, 2009. 720 с.
- Equipment Comparisons For Deep Plowing Solonchic Soils. Ministry of Agriculture and Forestry, Alberta, Canada. <http://www.agriculture.alberta.ca>
- Березин Л.В., А.М. Гиндемит. Мелиоративная обработка малоплодородных почв // *Доклады РАСХН*. 2013. №4. С. 31-34.
- Berezin Leonid V. Scientific Basis of the Adaptive Landscape Reclamation Farming Systems // *Biogeosystem Technique*. 2014a. Vol. (1). №1. P. 30-40.
- Berezin Leonid V. New Paradigm of Soil Treatment // *Biogeosystem Technique*, 2014b, Vol. (2), No 2, pp. 133-149.
- Семендяева Н.В., Носов Д.П., Пыльник П.А. Внутрипочвенное

- внесение мелиорантов на солонцах Западной Сибири // Сиб. вестник с.-х. науки. 1982. №1. С. 49-53.
- Семендяева Н.В., Макаренко Г.П., Носов Д.П. Сравнительное действие поверхностного и внутрипочвенного внесения гипса на солонцах Барабы // Мелиорация и использование солонцов в Сибири. Новосибирск: Изд-во СО ВАСХНИЛ, 1984. С. 83-92.
- Кизинек С.В., Шеуджен А.Х., Аканова Н.И., Локтионов М.Ю., Лиманский А.Н. Экологические и агроэкономические аспекты применения фосфогипса в сельском хозяйстве // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2013. Т. 2. №9 (13). С. 206-216.
- Помет птицы. Сырье для производства органических удобрений. ГОСТ 53765-2009.
- Трофимов И.Т., Макарычев С.В., Иванов А.Н. Использование дефекаата для известкования почв западной Сибири // Плодородие. 2006. №4. С. 15-16.
- Белюченко И.С. Применение сложных компостов для повышения плодородия почв // Экологический вестник Северного Кавказа. 2016а. №1. С. 55-69.
- Белюченко И.С. Осадки сточных вод, их очистка и использование // Экологический вестник Северного Кавказа. 2016б. №1. С. 82-95.
- Сдобников С.С. Пахать или не пахать? (новое в обработке и удобрении полей). М., 1994. 286 с.
- 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 РФ 27 февраля 2013 г. Опубликовано 27.02.2013. Бюл. №6. 6 с.: 2 ил.
- Генезис и мелиорации почв солонцовых комплексов. Под общей редакцией академика РАСХН Н.П. Панова. М.: Россельхозакадемия. 2008. 316 с.
- Marvin T. Batte and D. Lynn Forster. Old is New Again: The Economics of Agricultural Gypsum Use. 2015. Journal of ASFMRA.
- Докучаева Л.М., Юркова Р.Е., Шалашова О.Ю. Влияние удобрительно-мелиорирующих компостов на физико-химические свойства чернозема обыкновенного деградированного // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2011. №4 (24).
- 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.
- Korcak R.F. High-gypsum Byproducts as Soil Amendments for Horticultural Crops. Fruit Laboratory, Beltsville Agricultural Research Center, ARS/USDA, Beltsville, MD 20705. // HortTechnology. Apr./June 1993. 3 (2). P. 156-161.
- Калиниченко В.П., Шаршак В.К., Безуглова О.С., Ладан Е.П., Гевев Е.Д., Илларионов В.В., Зинченко В.Е., Морковской Н.А., Черненко В.В., Ильина Л.П. Изменение почв солонцового комплекса за 30-летний период после отвальной, трехъярусной и нового приема роторно-фрезерной обработки // Почвоведение. 2011. №8. с. 1010-1022.
- Калиниченко В.П., Шаршак В.К., Миронченко С.Ф., Черненко В.В., Ладан Е.П., Гевев 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.
- Суковатов В.А. Длительность действия мелиорации солонцового комплекса каштановых почв. Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Донской государственной аграрный университет, п. Персиановский, 2009. 140 с.
- Баранов А.И. Мелиорация целинных автоморфных солонцов сухостепной зоны Калмыкии // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Новочеркасск, 1992.
- Федорина В.М., Максимова А.И. Использование солонцовых почв в Саратовском Заволжье // МиВХ. 1993. №1. С. 35-37.
- Губов В.И. Агробиологический метод мелиорации солонцов засушливого Заволжья // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Саратов, 2005.
- Губов В.И. Вертикальное мульчирование почвы – способ перераспределения и сохранения летних осадков в посевах кукурузы // Научное обозрение. 2012. №3. С. 32-40.
- Цуриков А.Т. Сравнительное изучение применения различных мелиорантов на солонцах и солонцеватых черноземах Воронежской области // Науч. тр. Воронеж: СХИ, 1977. Т. 92. С. 37-41.
- Годунова Е.И. Итоги изучения солонцовых почв и разработки приемов их мелиорации // В сб.: Ставропольский НИИ сельского хозяйства - 100 лет на службе аграрной науке и производству сборник статей к юбилею института. Ставрополь, 2011. С. 44-53.
- Чижикова Н.П., Годунова Е.И., Шкабарда С.Н., Самсонова А.А., Малугева Т.И. Пространственное распределение глинистых минералов в азрочерноземах эрозионно-денудационных равнин Ставропольского края // Почвоведение. 2012. №9. С. 983.
- Азовцев В.И., Дегтярева Е.Т. О мелиорации солонцов в Волгоградской области // Пути рационального использования и повышения плодородия солонцовых почв СССР Волгоград, 1979. С. 113-114.
- Кириллов В.В., Миллер Ф.А. SU №242532 Кл. 45a13/10. МПК 6 А 01В 13/10 Орудие для основной обработки солонцовых почв. Волгоградский сельскохозяйственный институт. Заявка: 1216124 29.01.68. Опубликовано: 25.04.1969. Бюллетень №15. Дата опубликования описания 09.09.69. 2 с.: фиг.
- Вакулин А.А., Кириллов В.В., Кобзарев А.И. Обработка солонцов роторным орудием // Докл. ВАСХНИЛ. 1972. №2. С. 41-43.
- Кузнецов Н.Г., Елисеева М.Н. Кинематический показатель роторных почвообрабатывающих орудий погружного типа // Техника в сельском хозяйстве. 2012. №2. С. 30.
- Кузнецов Н.Г., Елисеева М.Н., Шарипов Р.В. Оптимизация конструктивных параметров погружного роторного орудия для обработки солонцовых почв // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2012. №4. С. 183-188.
- Козаченко А.П. Обоснование системы обработки почв, подверженных деградации, для различных зон Челябинской области / Автореферат ... кандидата сельскохозяйственных наук. 2000.
- Обработка почвы в районах Среднего Поволжья // Земледелие от «А» до «Я». 29.03.2015. <http://raceschrono.ru>
- Имгрунт И.И. Влияние приемов повышения плодородия почвы на урожай зерна кукурузы / Агроэкология Северо-Западного Кавказа: проблемы и перспективы. Белореченск: ООО

- «Эльбрус», 2004. С. 65-72.
- Мищенко Н.А., Громыко Е.В., Калинин В.П., Черненко В.В., Ларин С.В. Эколого-рекреационный рециклинг фосфогипса в черноземе на примере Краснодарского края // *Плодородие*. 2009. №6. С. 25-26.
- Белюченко И.С., Муравьев Е.И. Влияние отходов промышленного и сельскохозяйственного производства на физико-химические свойства почв // *Экологический вестник Северного Кавказа*. 2009. Т. 5. №1. С. 84-86.
- Муравьев Е.И., Белюченко И.С. Свойства фосфогипса и возможность его использования в сельском хозяйстве // *Экологический вестник Северного Кавказа*. 2008. Т. 4. №2. С. 5-18.
- Антоненко Д.А., Белюченко И.С. Отходы производства и потребления как сырьевая основа сложных компостов // *Экологический вестник Северного Кавказа*. 2014. Т. 10. №3. С. 14-23.
- Белюченко И.С., Славгородская Д.А. Изменение агрегатного состава чернозема обыкновенного при внесении органо-минерального компоста // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2013. №4. С. 23-25.
- Белюченко И.С., Антоненко Д.А. Влияние сложного компоста на агрегатный состав и водно-воздушные свойства чернозема обыкновенного // *Почвоведение*. 2015. №7. С. 858.
- Мельник О.А. Влияние сложного компоста на развитие сельскохозяйственных культур и их продуктивность // *Экологический вестник Северного Кавказа*. 2013. Т. 9. №2. С. 23-29.
- Белюченко И.С. Особенности минеральных отходов и целесообразность их использования при формировании сложных компостов // *Научный журнал КубГАУ*. 2014. №101 (07).
- Белюченко И.С. Отходы быта и производства как сырье для подготовки сложных компостов. Краснодар: КубГАУ, 2015в. 405 с.
- Славгородская Д.А. Изучение взаимодействия элементарных частиц почвы и фосфогипса // *Материалы I Всероссийской научной конференции «Проблемы рекультивации отходов быта и сельскохозяйственного производства»*, Краснодар, 2009. С. 230-232.
- Белюченко И.С., Антоненко Д.А., Мельник О.А. Особенности коллоидов в отходах различного происхождения // В сб.: *Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства*. IV Международная научная экологическая конференция. Редколлегия: Трубилин А.И., Шоба С.А., Коцаев А.Г., Шедужен А.Х. и др. Краснодар, 2015. С. 3-6.
- Luo Yiming, Guoxue Li, Wenhai Luo, Frank Schuchardt, Tao Jiang, Degang Xu. Effect of phosphogypsum and dicyandiamide as additives on NH₃, N₂O and CH₄ emissions during composting // *Journal of Environmental Sciences*. Vol. 25. Is. 7. 1 July 2013. P. 1338-1345.
- Yang Fan, Guoxue Li, Hong Shi, Yiming Wang. Effects of phosphogypsum and superphosphate on compost maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting // *Waste Management*. Vol. 36. February 2015. P. 70-76.
- Белюченко И.С. Использование фосфогипса для рекультивации чернозема обыкновенного в степной зоне Кубани // В сб.: *I Всерос. науч. конф. «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства»*. Краснодар, 2009а. С. 54-59.
- Белюченко И.С. Проблемы рекультивации отходов быта и производства (по материалам I Всерос. научной конф. по проблемам рекультивации отходов) // *Экологический Вестник Северного Кавказа*. 2009б. Т. 5. №3. С. 72-77.
- Мельник О.А. Влияние фосфогипса на развитие и продуктивность кукурузы // В сб.: *Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства*. Ответствен. редактор: А.И. Трубилин. Краснодар, 2009. С. 226-229.
- Мельник О.А. Изменение агрохимических свойств чернозема обыкновенного при использовании сложного компоста в условиях степной зоны Краснодарского края // В сб.: *Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства*. IV Международная научная экологическая конференция. Редколлегия: Трубилин А.И., Шоба С.А., Коцаев А.Г., Шедужен А.Х. и др. Краснодар, 2015. С. 762-769.
- Помазанова Ю.Н., Попок Л.Б. Влияние совместного использования куриного помета и фосфогипса на физико-химические свойства почв и развитие растений овса // В сб.: *Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства (с участием ученых Украины и Белоруссии)*. Краснодар, 2010. С. 184-189.
- Помазанова Ю.Н., Попок Л.Б. Влияние смеси куриного помета и фосфогипса на развитие и продуктивность озимой пшеницы // *Экологический вестник Северного Кавказа*. 2012. Т. 8. №2. С. 36-39.
- Nayak Soumya, C.S.K.Mishra, B.C. Guru, Monalisa Rath. Effect of phosphogypsum amendment on soil physico-chemical properties, microbial load and enzyme activities // *J Environ Biol*. 2011 Sep. 32(5): 613-617.
- Ghazi N. Al-Karaki and M. Al-Omoush. Wheat response to phosphogypsum and mycorrhizal fungi in alkaline soil // *Journal of Plant Nutrition*. Vol. 25. Is. 4. P. 873-883.
- Волошина Г.В. Влияние фосфогипса на развитие почвенных микробных сообществ // В сб.: *Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства*. Ответствен. редактор: А.И. Трубилин. Краснодар, 2009. С. 141-145.
- Волошина Г.В. Влияние фосфогипса на микробоценозы почв под посевами кукурузы // *Экологический вестник Северного Кавказа*. 2011. Т. 7. №4. С. 59-64.
- Пономарева Ю.В., Белюченко И.С. Влияние фосфогипса на свойства почвы и прорастание семян озимой пшеницы // *Экологические проблемы Кубани*. 2005. №27. С. 184-192.
- Петух Ю.Ю., Гукалов В.В. Влияние фосфогипса на состав почвенной мезофауны в посевах озимой пшеницы // *Экологический вестник Северного Кавказа*. 2009. Т. 5. №2. С. 66-69.
- Белюченко И.С., Добрыднев Е.П., Гукалов В.В., Мельник О.А., Петух Ю.Ю. Способ борьбы с мышевидными грызунами. Патент RU №2421990. 27.06.2011.
- Клименко О.Е. Влияние орошения и плантажной вспашки на процесс ошелачивания темно-каштановой слабосолонцеватой почвы // *Агрохимия и почвоведение: респ. межведом. темат. научн. сборник*. К.: Урожай, 1992. Вып. 54. С. 35-38 (укр.).
- Клименко О.Е. Длительное последствие химической мелиорации на солевой состав почвы // *Инновации в науке*. Вып. №1 (38). 2015.
- Новикова А.В. Некоторые особенности галоморфизма, необходимые для уточнения приемов мелиорации солонцовых почв Украины // *Вестник ХНАУ*. 2002. №1. С. 9-14.
- Казаков В.С. Технологические основы бестраншейного строительства закрытых осушительных систем и рыхления почвогрунтов при мелиорации земель / Автореферат ... доктор технических наук. Москва. 1983.

- Технологии повышения плодородия почв путем глубокого их уплотнения, внесения неосветленных животноводческих стоков и возделывания культуры-мелиоранта. ВНИИ-ГиМ, Москва. <http://www.vniigim.ru>
- Lawson Alistair. Subsoil manuring comes of age in HRZ. Australian Government. Grain Research and development Corporation. 06.01.2015.
- Subsoil Manuring Projects 2015. Southern Farming Systems, Australia. <http://www.sfs.org.au>
- Peries R. and J.S. Gill. Subsoil manuring in the high rainfall zone: a practice for ameliorating subsoils for improved productivity // Proc. 17th ASA Conference, 20-24 September 2015. Hobart, Australia. www.agronomy2015.com.au
- Gill J.S., J. Byrne, P.W. Sale and C. Tang. Subsoil manuring with different organic manures increased canola yield in a dry spring // Soil Solutions for a Changing World. 19th World Congress of Soil Science, 1-6 August 2010. Brisbane, Australia. Published on DVD. P. 165-168.
- Costerfield. Subsoil Chicken Manure trial, Goulburn Broken Catchment Management Authority, Australia. <http://www.gbcm.vic.gov.au>
- Subsoil Placement of Soil Ameliorants to Improve Sodic Soils Trial – Background, Experimental Protocol and Timeline. Subsoil Manuring Project 2014/15. Holbrook Landcare Network, Australia. <http://www.holbrooklandcare.org.au>
- Sale Peter. Subsoil manuring. La Trobe University, Australia. <http://www.latrobe.edu.au>
- Enamorado Santiago, José M. Abril, Antonio Delgado, José L. Más, Oliva Polvillo, José M. Quintero. Implications for food safety of the uptake by tomato of 25 trace-elements from a phosphogypsum amended soil from SW Spain // Journal of Hazardous Materials. Vol. 266. 15 February 2014. P. 122-131.
- 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.
- Hideo Martins da Costa Claudio, Carlos Alexandre Costa Crusciol. Long-term effects of lime and phosphogypsum application on tropical no-till soybean–oat–sorghum rotation and soil chemical properties // European Journal of Agronomy. Vol. 74. March 2016. P. 119-132.
- Crusciol Carlos A.C., Angela C.C.A. Artigiani, Orivaldo Arf, Antonio C.A. Carmeis Filho, Rogério P. Soratto, Adriano S. Nascente, Rita C.F. Alvarez Soil fertility, plant nutrition, and grain yield of upland rice affected by surface application of lime, silicate, and phosphogypsum in a tropical no-till system // CATENA. Vol. 137. February 2016. P. 87-99.
- 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.
- Soratto, Rogério P. Dolomite and Phosphogypsum Surface Application Effects on Annual Crops Nutrition and Yield // Agronomy Journal. Vol. 100. No. 2. 2008. P. 261-270.
- Беззин Л.В. Экологические проблемы использования мелиорированных земель в Западной Сибири // Мелиорация и водное хозяйство. 2005. №6. С. 56–58.
- Беззин Л.В. Сапаров А.С., Канн В.М., Шаяхметов М.Р. Технология комплексной мелиорации экосистем России и Казахстана. Алматы-Омск, 2013. 215 с.
- Скипин Л.Н., Гузеева С.А. Возможности мелиоративного освоения солонцов Западной Сибири // Вестник Красноярского ГАУ. 2007. №1. С. 89-97.
- Скипин Л.Н., Храмов Н.В., Гузеева С.А., Петухова В.С. Возможности рекультивации буровых шламов и солонцов с использованием фосфогипса // Аграрный вестник Урала. 2013. №6 (112). С. 71-73.
- Шлегель Р.И. Влияние химической мелиорации на свойства и продуктивность солонцов в условиях лесостепи Зауралья / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Курган, 2005.
- Семендяева Н.В. Солевой режим мелиорированных луговых малонатриевых солонцов Западной Сибири // Сиб. вестн. с.-х. науки, 1980, №3. с. 45-54.
- Семендяева Н.В., Коробова Л.Н., Елизаров Н.В. Изменение свойств и биологической активности солонцов корковых Барабинской низменности при длительном действии гипса // Почвоведение. 2014. №11. С. 1325.
- Семендяева Н.В., Ломова Т.Г., Утенков Г.Л. Научное обеспечение сельскохозяйственного освоения солонцовых почв юга Западной Сибири за период с 1969 по 2014 г. // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2015. №1 (34). С. 7-22.
- Троценко И.А., Тарасова М.В. Влияние однократной и повторной мелиорации на мелиоративное состояние многоатриевого коркового солонца // Вестник Алтайского государственного аграрного университета №8 (118), 2014. С.38-44.
- СНиП 2.08.0385 Мелиоративные системы и сооружения / Госстрой СССР. М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1986.
- Турсина Т.В. Микроморфологическая диагностика устойчивости черноземов при орошении // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева (дата: 2016-02-23).
- Лозановская И.Н. Орошаемое земледелие и древние цивилизации Средней Азии // В сб.: Мелиорация антропогенных ландшафтов. Межвузовский сборник научных трудов. МСХ РФ, Новочеркасская государственная мелиоративная академия. Новочеркасск, 2001. С. 124-142.
- Докучаева Л.М., Долина Е.В., Юркова Р.Е., Стратинская Э.Н., Шалашова О.Ю. Приемы, исключаящие негативные процессы в почвах орошаемых агроландшафтов черноземной зоны юга России // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2011. №1(01).
- Скуратов Н.С. и др. Мелиорация солонцовых почв в условиях орошения / Под ред. Н.С. Скуратова. Новочеркасск: Изд-во «НОК», 2005. 180 с.
- Семененко С.Я., Абезин В.Г. Орудия для улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель // Известия Нежневолжского агроуниверситетского комплекса. №1 (33), 2014.
- Кизякова Ю.Е. и др. Эффективность фосфогипса при орошении минерализованными водами // Химия и сельское хозяйство. 1987. №3. С. 23-29.
- Скуратов Н.С. и др. Руководство по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель при их использовании. Новочеркасск, 2000. 86 с.
- Савич В., Дубенок Н., Гукалов В., Подволоцкая Г. Влияние мелиорации поливных вод на свойства почв // Международный сельскохозяйственный журнал. 2014. №5. С. 34-36.
- 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*. Vol. 97. Is. 9. September 2010. P. 1277-1286.
- 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*. Vol. 87, Is. 2-3. 10 May 2004. P. 103-116.
- Казакова Л.А. Окультуривание трудномелиорируемых солонцов на орошаемых землях Нижнего Поволжья // *Мелиорация и водное хозяйство*. 2006. №4. С. 45-47.
- Казакова Л.А. Комплексная мелиорация орошаемых солонцовых и засоленных почв Нижнего Поволжья. Автореферат диссертации ... доктор сельскохозяйственных наук. Волгоград, 2007.
- Калининченко В.П. Регулирование гидрологического режима при мелиорации пространственно-неоднородных структур почвенного покрова степной и сухостепной зон юго-востока ЕТС / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Москва, МГУ, 1990.
- Юркова Р.Е. Приемы инактивации тяжелых металлов и восстановления почвенного плодородия орошаемых земель // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. 2012. №1(05).
- 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.
- 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.
- Мартыненко Т.А. Агрономелиоративная эффективность применения фосфогипса в условиях капельного орошения минерализованными водами при выращивании лука репчатого // *Мелиорация*. 2014. №2 (72). С. 24-29.
- Бобков В.М. Содовое засоление почв как стадия естественного или искусственного рассоления территории // *Почвоведение*. 1976. №6. С. 99-110.
- Скуратов Н.С., Докучаева Л.М., Шалашова О.Ю. Использование и охрана орошаемых черноземов. М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ». 2001. 246 с.
- Радевич Е.В. Регулирование плодородия солонцовых почв каштановой зоны в условиях рисосеяния // диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Донской государственный аграрный университет. Персиановский, 2012.
- 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.
- Кониева Г.Н., Пюрбеев Б.Г. Влияние химического мелиоранта на урожайность риса в засоленных почвах Республики Калмыкия // В сб.: *Комплексные мелиорации – средство повышения продуктивности сельскохозяйственных земель. Материалы юбилейной международной научно-практической конференции*. М.: ВНИИГиМ, 2014. С. 85-88.
- Дедова Э.Б., Р.М. Шабанов. Возделывание риса при орошении дождеванием в условиях пустынной зоны Калмыкии // *Плодородие*. 2011. №6 (63). С. 32-33.
- Маканникова М.В. Применение периодического дождевания при возделывании риса в Приамурье // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2010. №5. С. 30-31.
- Seitkaziyev Adeubai, Asker Taishybekoy, Karlygash Seitkaziyeva. Methods of Salt and Alkaline Soils Improvement in Zhambylsk Region // *European Researcher*. 2013. Vol. 64. №12-1. P. 2768-2773.
- Гусев М.В., Минеева Л.А. *Микробиология*. М.: Изд-во МГУ, 2004. 448 с.
- Современная микробиология. Прокариоты: В 2-х томах / Под ред. Й. Ленглера, Г. Дрекса, Г. Шлегеля*. М.: Мир, 2005.
- Бобров В.А. Некоторые аномалии засоленности почв темно-каштановой подзоны Кустанайской области // *Почвоведение*. 1977. №2. С. 73-80.
- Засоленные почвы мира. Институт почвоведения и агрохимии, Харьков, Украина*. <http://issar.com.ua>
- Batte Marvin T., D. Lynn Forster. Old is New Again: The Economics of Agricultural Gypsum Use. *Journal of ASFMRA*. 2015.
- 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*. Vol. 149. June 2015. P. 21-32.
- Chen, Liming and Warren A. Dick. Gypsum as an agricultural amendment // *Ohio State University, Bulletin* 945. 2011.
- Rhodon, 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.
- Окорков В.В. Использование фосфогипса в земледелии // *Плодородие*. 2013. №1. С. 20-25.
- Farina M.P.W., Channon P. 1988. Acid-subsoil amelioration II. Gypsum effects on growth and subsoils chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am.*, 52: 175-180.
- Reeve N.G., Sumner M.E. 1972. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching surface applied amendments. *Agrochimophisica*, 4: 1-6.
- Radcliffe D.E., Clark R.L., Sumner M.E. 1986. Effect of gypsum and deep rooting perennials on subsoil mechanical impedance. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:1566-1570.
- Филлипова Т.Е. Агрохимические аспекты комплексной мелиорации агроландшафтов Нечерноземной зоны России. Тверь, Тверской гос. ун-т, 2006. 283 с.
- Рекомендации по использованию смесей известковых материалов с фосфогипсом для химической мелиорации кислых почв*. М.: ЦИНАО, 1987. 35 с.
- Сергин С.Я., Цай С.Н. Будущее бассейна Кубани: управление стоком без мелководных водохранилищ // *Аграрная география в современном мире*. Краснодар, 2014. С. 109-113.
- Jaakkola, Elina, Sirkka Tattari, Petri Ekholm, Liisa Pietola, Maximilian Posch, Ilona Bärlund. 2012. Simulated effects of gypsum amendment on phosphorus losses from agricultural soils. *Agricultural and Food Science*, 21(3): 292-306.
- Ekholm, Petri, P. Valkama, E. Jaakkola, M. Kiirikki, K. Lahti, and L. Pietola. 2012. Gypsum Amendment of Soils Reduces Phosphorus Losses in An Agricultural Catchment. *Agricultural and Food Science*, 21: 279-291.
- Murphy, Paul N.C., R.J. Stevens. 2010. Lime and Gypsum as Source Measures to Decrease Phosphorus Loss from Soils to Water // *Water, Air and Soil Pollution*, 212: 101-111.
- 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.
- Добрыднев Е.П., Шеуджен А.Х., Локтионов М.Ю., Аканова Н.И.,

- Лиманский А.Н., Онищенко Л.М., Ашинов Ю.Н. Агроэкологическая эффективность нейтрализованного фосфогипса при возделывании озимой пшеницы в условиях Краснодарского края // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2014. №1 (17). С. 74-80.
- Локтионов М.Ю., Шильников И.А., Шеуджен А.Х., Аканова Н.И., Ефремова С.Ю. Экологическая и агроэкономическая эффективность применения нейтрализованного фосфогипса в земледелии // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2015. №5 (27). С. 134-146.
- Шеуджен А.Х., Аканова Н.И., Локтионов М.Ю., Лиманский А.Н. Агроэкологическая эффективность нейтрализованного фосфогипса на выщелоченных черноземах // В сб.: Актуальные проблемы социально-экономической и экологической безопасности Поволжского региона. Сборник материалов VII международной научно-практической конференции. Казанский филиал МИИТ. Казань, 2015а. С. 90-93.
- Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Бондарева Т.Н., Есипенко С.В. Фосфогипс нейтрализованный - высокоэффективное поликомпонентное удобрение на посевах зерновых культур // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015б. №52. С. 144-148.
- Локтионов М.Ю., Добрыднев Е.П., Шеуджен А.Х., Лиманский А.Н., Онищенко Л.М. Агроэкологическая эффективность фосфогипса на черноземе выщелоченном // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2013. Т. 2. №9 (13). С. 187-193.
- Аристархов А.Н. Агрохимия серы. М.: ВНИИА, 2007. 272 с.
- Кравченко В.Н., Тукабаева А.И. Действие серы и азота на урожайность проса // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2011. Выпуск №29-1. Том 1.
- 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.
- Kost, David, Liming Chen and Warren A. Dick. 2008. Predicting plant sulfur deficiency in soils: results from Ohio // Biology and Fertility of Soils, 44:1091-1098.
- Кихаев Г.С., Терещенко Е.В. Влияние фосфогипса в качестве серосодержащего удобрения на прорастание семян озимой пшеницы // В сб.: Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. Ответствен. редактор: А.И. Трубилин. Краснодар, 2009. С. 204-207.
- Терещенко Е.В., Новопольцева Л.С. Возможность использования фосфогипса в качестве серосодержащего удобрения // В сб.: Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства (с участием ученых Украины и Белоруссии). Краснодар, 2010. С. 206-208.
- Шеуджен А.Х. Биогеохимия. Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2003. 1028 с.
- Данюкова О.В., Терещенко Е.В. Изучение фосфогипса в качестве кальциевого удобрения при прорастании семян овса // В сб.: Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. Ответствен. редактор: А.И. Трубилин. Краснодар, 2009. С. 202-204.
- Данюкова О.В., Мельник О.А. Использование фосфогипса в качестве кальцийсодержащего удобрения // В сборнике: Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства (с участием ученых Украины и Белоруссии). Краснодар, 2010. С. 197-199.
- Зеленская О.В., Терещенко Е.В. Сравнительный анализ влияния фосфогипса и рисовой шелухи на прорастание семян озимой пшеницы // В сб.: Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. Ответствен. редактор: А.И. Трубилин. Краснодар, 2009. С. 151-156.
- Терещенко Е.В. Возможности использования фосфогипса в качестве кремниевого удобрения в зерновом севообороте // В сб.: Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. Ответствен. редактор: А.И. Трубилин. Краснодар, 2009. С. 252-255.
- Терещенко Е.В. Использование фосфогипса как кремниевого удобрения при выращивании озимой пшеницы // Экологический вестник Северного Кавказа. 2010. Т. 6. №2. С. 31-33.
- Терещенко Е.В. Изучение запасов кремния в черноземе обыкновенном и его влияние на сельскохозяйственные культуры // Экологический вестник Северного Кавказа. 2012. Т. 8. №2. С. 66-69.
- Цховребов В.С. Изменение содержания микроэлементов под озимой пшеницей в результате реминерализации чернозема выщелоченного // Научный журнал КубГАУ. 2012. №77 (03).
- Цховребов В.С., Калугин Д.В., Фаизова В.И., Новиков А.А. Применение горных пород в качестве удобрения подсолнечника // Агрохимический вестник. 2011. №4. С. 14-15.
- Гукалов В.В. Проблемы использования фосфогипса в сельском хозяйстве на Кубани // В сб.: Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства (с участием ученых Украины и Белоруссии). Краснодар, 2010. С. 42-44.
- Granular Gypsum, USA. <http://www.usagypsum.com>
- Tao Ren, Jingguo Wang, Qing Chen, Fusuo Zhang, Shuchang Lu. The Effects of Manure and Nitrogen Fertilizer Applications on Soil Organic Carbon and Nitrogen in a High-Input Cropping System // PLOS One Published: May 15, 2014.
- Губов В.И., Лайдин А.А. Изменение строения профиля каштановой почвы после длительного воздействия нефтепродуктов // В сб.: Вавиловские чтения - 2014. Сборник статей международной научно-практической конференции, посвященной 127-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова. Саратовский государственный аграрный университет, 2014. С. 177-178.
- Kolesnikov Sergei I., Anna A. Kuzina, Kamil Sh. Kazeev, Natal'ya A. Vernigorova, Natal'ya A. Evstegneeva. Change of the Dehydrogenase Activity in Soils of Caucasus Black Sea Coast at Pollution of Heavy Metals and Oil // Biogeosystem Technique. 2016. Vol. 9. Is. 3. P. 205-217.
- Технологии восстановления почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Справочник. М.: Изд-во РЭФИА и НИА-Природа, 2003.
- Физические методы очистки грунтов. ВГУ, геологический факультет, Воронеж. <http://www.geol.vsu.ru>
- Установка «Каскад». Институт эколого-технологических проблем. <http://designprom.ru>
- Коннов Д.В., Пашиковский И.С. Модель биологической очистки почвы и зоны аэрации от загрязнения нефтепродуктами. Геолинк Консалтинг. <http://www.geolink-consulting.ru>
- Гайворонский В.Г., Колесников С.И., Казеев К.Ш. Устойчивость почв юга России к загрязнению мазутом. Монография / Ростов-на-Дону, 2014.
- Жаркова М.Г., Колесников С.И., Казеев К.Ш., Кутузова И.В., На-

- лета Е.В. Оценка экотоксичности тяжелых металлов и нефти по биологическим показателям чернозема. Монография / Ростов-на-Дону, 2014.
- Петрова Н.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние химического загрязнения на биологические свойства почв аридных экосистем юга России. Монография / Ростов-на-Дону, 2014.
- Кирий О.А., Колесников С.И., Зинчук А.Н., Казеев К.Ш. Использование углеводородокисляющих бактерий при биоремедиации нефтезагрязненных почв и вод. Монография / Южный федеральный университет. Ростов-на-Дону, 2013.
- Колесников С.И., Казеев К.Ш., Татлок Р.К., Тлехас З.Р., Денисова Т.В., Даденко Е.В. Биодиагностика устойчивости бурых лесных почв западного Кавказа к загрязнению тяжелыми металлами, нефтью и нефтепродуктами // Сибирский экологический журнал. 2014а. Т. 21. №3. С. 493-500.
- Колесников С.И., Жаркова М.Г., Казеев К.Ш., Кутузова И.В., Самохвалова Л.С., Налета Е.В., Зубков Д.А. Оценка экотоксичности тяжелых металлов и нефти по биологическим показателям чернозема // Экология. 2014б. №3. С. 163
- Афти И.А., Янкевич М.И., Хадеева В.В., Пивоваров И.В., Королев М.Ю. Биопрепарат для очистки объектов окружающей среды от углеводородного загрязнения, способ его получения и применения. Патент RU 2535978 С1. С12N1/20, C02F3/34, B09C1/10, C12R1/01 (2006.01). Заявка: 2013112839/10, 15.03.2013. Опубликовано: 20.12.2014 Бюл. №35.
- Бреус В.А., Неклюдов С.А., Бреус И.П. Состав для очистки почв от загрязнения нефтью и моторным топливом. RU 2 519 997 С2 МПК В09С 1/00 (2006.01). Патентообладатель: ООО «Биохимические экотехнологии» (RU). Заявка: 2012129822/13, 16.07.2012. Опубликовано: 20.06.2014 Бюл. №17.
- Рязанова Т.В., Федорова О.С. RU 2 550 384 С2. МПК В01J 20/26 (2006.01). Патентообладатель: ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет» (СибГТУ) (RU). Заявка: 2013101832/05, 15.01.2013. Опубликовано: 10.05.2015 Бюл. №13.
- Рогозина Е.А., Орлова Н.А., Свечина Р.М. RU 2429089 С1. МПК В09С1/10 (2006.01), С12N1/26 (2006.01). Патентообладатель: ФГУП «Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт» (ВНИГРИ) (RU). Заявка: 2010116532/21, 26.04.2010. Опубликовано: 20.09.2011 Бюл. №26. 6 с.
- Шулаев М.В., Фаттахов С.Г., Захарова К.А., Шулаева М.М., Резник В.С., Синяшин О.Г., Коновалов А. Патент RU №2355488 С1. Способ биологической очистки почвы от нефтяных загрязнений. Заявка: 2007130925/13, 13.08.2007. Опубликовано 20.05.2009.
- Колесников С.И., Спивакова Н.А., Везденеева Л.С., Кузнецова Ю.С., Казеев К.Ш. Влияния модельного загрязнения нефтью на биологические свойства почв сухих степей и полупустынь юга России // Аридные экосистемы. 2013. Vol. 19. No. 2(55). С. 70-76.
- Колесников С.И., Азнаурьян Д.К., Казеев К.Ш., Денисова Т.В. Изучение возможности использования мочевины и фосфогипса в качестве мелиорантов нефтезагрязненных почв в модельном опыте // Агрохимия. 2011. №9. С. 77-81.
- Калинина О.В., Мельник О.А. Возможность рекультивации почв, загрязненных мазутом // I Всерос. науч. конф. Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. Краснодар, 2009. С. 216-219.
- Белюченко И.С., Добрыднєв Е.П., Муравьев Е.И., Мельник О.А., Славгородская Д.А., Терещенко Е.В. Использование фосфогипса для рекультивации загрязненных нефтью почв // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2008а. №12. С. 72-77.
- Мамась Н.Н., Перебора Е.А., Мельник О.А. Способ биологической рекультивации свалок твердых бытовых отходов. Патент RU 2448785 02.08.2010
- Белюченко И.С., Добрыднєв Е.П., Муравьев Е.И., Мельник О.А., Терещенко Е.В. Способ рекультивации почв, загрязненных нефтью. Патент RU 2402079 11.08.2008б.
- Ветютнева Е.В., Калинина О.В., Терещенко Е.В. Восстановление почв фосфогипсом после нефтяного загрязнения // В сб.: Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства (с участием ученых Украины и Белоруссии). Краснодар, 2010. С. 203-205.
- Ягафарова Г.Г., Мавлютов М.Р., Спивак А.И., Абызгильдина М.Ю. Патент РФ №2093478 от 20.10.97 г. Способ очистки почвы и воды от нефти, нефтепродуктов и полимерных добавок в буровой раствор. Б. И. №29. 282 с.
- Рекультивация нефтезагрязненных земель. Управление Россельхознадзора по Тверской и Псковской областям. <http://rshntver.ru>
- Инструкция по рекультивации земель, нарушенных и загрязненных при аварийном и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов. РД 39-00147105-006-97.
- Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: учеб. пособие для хим., хим.-технол. и биол. спец. вузов. М: Высш. шк., 2002. 334 с.
- Guidelines for the safe application of biosolids to land in New Zealand. August 2003. New Zealand Water and Wastes Association (NZWWA). Ministry for the Environment, New Zealand.
- Resource Management (National Environmental Standard for Assessing and Managing Contaminants in Soil to Protect Human Health) Regulations 2011. New Zealand Legislation. <http://www.mfe.govt.nz>
- Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06.
- Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. ГН 2.1.7.2042-06.
- Heavy Metal Guidelines in Soil. Technical Bulletin No. 6. CLEA, 2009.
- EPA/540/R/99/005 OSWER 9285.7-02EP PB99-963312 July 2004. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment) Final. Office of Superfund Remediation and Technology Innovation. US Environmental Protection Agency, Washington, DC. <https://www.epa.gov>
- Land contamination: Soil guideline values (SGVs). Environment Agency, UK. <https://www.gov.uk>
- Arsenic in Drinking-water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. WHO/SDE/WSH/03.04/75/Rev/1. WHO. <http://www.who.int>
- Smith Allan H., Mario Goycolea, Reina Haque, and Mary Lou Biggs. Marked Increase in Bladder and Lung Cancer Mortality in a Region of Northern Chile Due to Arsenic in Drinking Water // Am J Epidemiol. Vol. 147. No. 7. 1998. P. 660-669.
- García-Esquinas Esther, Marina Pollán, Jason G. Umans, Kevin A. Francesconi, Walter Goessler, Eliseo Guallar, Barbara Howard,

- John Farley, Jeunliang Yeh, Lyle G. Best, and Ana Navas-Acien. Arsenic Exposure and Cancer Mortality in a US-based Prospective Cohort: the Strong Heart Study // *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 2013 Nov, 22(11): 10.1158/1055-9965.EPI-13-0234-T. Published online 2013 Oct 17.
- Teaf, Christopher M., Covert, Douglas J., Teaf, Patrick A., Page, Emily, and Starks, Michael J. 2010. Arsenic Cleanup Criteria for Soils in the US and Abroad: Comparing Guidelines and Understanding Inconsistencies. *Proc. of the Annual International Conference on Soils, Sediments, Water and Energy.* Vol. 15. Article 10.
- US Environmental Protection Agency. Federal Register. Rules and Regulations. Vol. 66. No. 4. January 5, 2001. P. 1211. <https://www.epa.gov>
- 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).
- Волошин Е.И. Свинец в почвах Средней Сибири // *Вестник КрасГАУ.* 2007. №1. С. 79-89.
- 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.
- 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. С. 914-918.
- Fluorides. Chapter 6.5. WHO. <http://www.euro.who.int>
- Table of Regulated Drinking Water Contaminants. US Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov>
- 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.
- Krasnova Natal'ya I. The Kovdor phlogopite deposit, Kola Peninsula, Russia // *The Canadian Mineralogist.* 2001. Vol. 39. P. 33-44.
- Veiderma Mihkel, 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.
- 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.
- Gago C., M.L. Fernández Marcos, E. Álvarez. Aqueous aluminium species in forest soils affected by fluoride emissions from an aluminium smelter in NW Spain // *Fluoride.* Vol. 35. No. 110-121. 2002.
- 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. WHO, Geneva, 2002.
- Tylenda Carolyn A. Toxicological Profile for Fluorides, Hydrogen Fluoride, and Fluorine (Update). U.S. Dept. of Health and Human Services. 2003.
- Toxicological Profile for Fluorides, Hydrogen Fluoride, and Fluorine. U.S. Dept. of Health and Human Services. Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2003. Chapter 6.1. P. 203-242. <https://www.atsdr.cdc.gov>
- Cichy Barbara, Hanna Jaroszek, Andrzej Paszek. Cadmium in phosphate fertilizers; ecological and economical aspects // *CHEMIK* 2014, 68, 10, 837-842.
- 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.
- Cadmium in fertilisers. Risks from cadmium accumulation in agricultural soils due to the use of fertilisers containing cadmium. Model estimations. October 2000. European Commission. <http://ec.europa.eu>
- Wolicka Dorota. Biotransformation of phosphogypsum in wastewaters from the dairy industry // *Bioresource Technology.* Vol. 99. Is. 13. September 2008. P. 5666-5672.
- Endovitsky Anatoly P, Tatyana M. Minkina, Valery P. Kalinitchenko. Thermodynamic Status of Strontium in Chernozem at Application of Phosphogypsum // *Biogeosystem Technique.* 2015b. Vol. 6. Is. 4. P. 345-362.
- Балюк С.А., Л.А. Чаусова. Экологические аспекты накопления стронция в почвах, водах и сельскохозяйственной продукции при орошении // *Агротехніка і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. Випуск No 75.* Харків: ННЦ «ІПА імені О.Н. Соколовського», 2011.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. 539 с.
- Kwasniewska J. Molecular Cytogenetics Serves Environmental Monitoring // Published in abstract book of 3rd Science One International Conference on Environmental Sciences. 2014. P. 25.
- Яковлев А.С., Каниськин М.А., Терехова В.А. Экологическая оценка почвогрунтов, подверженных воздействию фосфогипса // *Почвоведение.* 2013. №6. С. 737-743.
- Терехова В.А. Биоместирование почв: подходы и проблемы // *Почвоведение.* 2011. №2. С. 190-198.
- TENORM: Fertilizer and Fertilizer Production Wastes. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov>
- FAOLEX – legislative database of FAO legal office. European Union: Commission Regulation (EC) No. 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs.
- EUR-Lex. <http://eur-lex.europa.eu>
- Naturally-Occurring Radioactive Materials (NORM). World Nuclear Organization. Updated July 2015.
- Health and Ecosystem Protection. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov>
- Gezer F., Ş. Turhan, F.A. Uğur, E. Gören, M.Z. Kurt, Y. Ufuktepe. Natural radionuclide content of disposed phosphogypsum as TENORM produced from phosphorus fertilizer industry in Turkey // *Annals of Nuclear Energy.* Vol. 50. December 2012. P. 33-37.
- Soil Amendments: Impacts on Biotic Systems / Edited by Jack E. Rechcigl. Lewis Publisher, CRC Press, Inc, 1995. 323 p.
- Мельченко А.И. Миграция стронция в разных слоях чернозема выщелоченного // *Агротехнический вестник.* 2015. Т. 1. С. 12-14.
- Мельченко А.И., Погорелова В.А., Крищенко Д.В. Накопление стронция в яблоне в зависимости от глубины залегания в почве // *Агроекология.* 2015. Т. 1. №1. С. 39-43.
- Lapin A.V., Lyagushkin A.P. The Kovdor apatite-francolite deposit as a prospective source of phosphate ore // *Geology of Ore Deposits.* February 2014. Vol. 56. Is. 1. P. 61-80.
- Смагин А.В. Ресурсный подход к экологической оценке и нормированию допустимых воздействий на почвы (окончание. начало в бюл. №4) // *Использование и охрана природных ресурсов в России.* 2013. №5 (131). С. 23-29.
- Калиниченко В.П., Ильин В.Б., Ендовицкий А.П., Черненко В.В. Патент на изобретение RU №2464967 С2. Способ из-

- влечения 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 27.10.2012б. Бюл. №30. 9 с.
- Рабинович А.Л., Лозановская И.Н., Луганская И.А. Ресайклер – новая профессия XXI века // В сб.: Мелиорация антропогенных ландшафтов. Межвузовский сборник научных трудов. МСХ РФ, Новочеркасская государственная мелиоративная академия. Новочеркасск, 2004. С. 147-158.
- Розанов А.Ю. Ископаемые бактерии, седиментогенез и ранние стадии эволюции биосферы // Палеонтологический журнал. 2003. №6. С. 41.
- Калиниченко В.П. Патент на изобретение RU №2387115 С2. Устройство для внесения вещества при ротационном внутрпочвенном рыхлении. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений РФ 27 апреля 2010 г. Патентообладатель ИППЮР. Заявка №2008124500/12(029710) от 16.06.2008. Опубликовано 27.04.2010. Бюл. №12. 6 с.
- Glazko V.I., Glazko T.T. Reproductive “Success” and Population-Genetic Consequences of Environmental Stress on the Example of Accidents in Chernobyl and Fukushima // *Biogeosystem Technique*. 2015. Vol. 6. Is. 4. P. 316-326.
- Анисимов В.С., Санжарова Н.И., Алексахин Р.М. О формах нахождения и вертикальном распределении ¹³⁷Cs в почвах в зоне аварии на Чернобыльской АЭС // Почвоведение. 1991. №9. С. 31-40.
- 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. P. 2232-2243.
- Кочетков И.В., Анисимов В.С., Крикунов И.А., Еремин М.В. Влияние физико-химических свойств почв на биологическую доступность ⁶⁰Co // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2011. №4. С. 50-57.
- Спирин Е.В., Анисимов В.С., Дикарев Д.В., Кочетков И.В., Крыленкин Д.В. Модель прогноза коэффициентов накопления ¹³⁷Cs в растениях // Радиационная биология. Радиоэкология. 2013. Т. 53. №2. С. 199.
- Kalinitchenko Valery P. Technologies and Technical Means for Matter Recycling into the Soil (Review) // *International Journal of Environmental Problems*. 2016. Vol. 3. Is. 1. P. 58-85.
- 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 биодеградации белого фосфора // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2013. Т. 9. №2. С. 4-15.
- Калиниченко В.П. Патент на изобретение RU №2386243 С1. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений РФ 20 апреля 2010 г. Способ внутрпочвенного импульсного дискретного полива растений. МПК А01G 25/06 (2006.01) А01С 23/02 (2006.01). Патентообладатель Калиниченко В.П. Заявка №2009102490/12 от 16.01.09. Опубликовано 20.04.2010. Бюл. №11. 7 с.
- Kalinichenko V. Biogeosystem technique as a base of the new world water strategy // *Biogeosystem Technique*. 2014. №2 (2). С. 100-124.
- 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.
- Воеводина Л.А. Структура почвы и факторы, изменяющие ее при орошении // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. №1 (21). С. 134-154
- Ендовицкий А.П., Калиниченко В.П., Минкина Т.М. Состояние свинца и кадмия в черноземе после внесения фосфогипса // Почвоведение. 2014. №3. С. 340-350.
- Минкин М.Б., Ендовицкий А.П., Калиниченко В.П. Карбонатно-кальциевое равновесие в почвенных растворах. М.: Изд-во МСХА, 1995. 210 с.
- Минкина Т.М., Ендовицкий А.П., Калиниченко В.П., Федоров Ю.А. Карбонатно-кальциевое равновесие в системе вода-почва. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2012. 376 с. ISBN 978-5-9275-0922-5.
- Batukaev Abdulmalik A., Anatoly P. Endovitsky, Andrey G. Andreev, Valery P. Kalinichenko, Tatiana M. Minkina, Zaurbek S. Dikaev, Saglara S. Mandzhieva, and Svetlana N. Sushkova. 2016b. Ion association in water solution of soil and vadose zone of chestnut saline solonetz as a driver of terrestrial carbon sink // *Solid Earth*, 7. Is. 2. P. 415-423.
- Batukaev Abdulmalik A., Anatoliy P. Endovitsky, Andrey G. Andreev, Tatiana M. Minkina, Valeriy P. Kalinichenko, Marina V. Burachevskaya, Zaurbek S. Dikaev, Saglara S. Mandzhieva and Svetlana N. Sushkova. 2016c. Thermodynamic Model of Calcium Carbonate System of Soil Solution // *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 11 (2): 82-92.
- Делицын Л.М., Ю.В. Рябов и А.С. Власов. Возможные технологии утилизации золы. Энергосбережение. 2014. №2. С. 60-66.