

УДК 502/504:631.4:631.67

**В. П. КАЛИНИЧЕНКО, А. П. ЕНДОВИЦКИЙ**

Институт плодородия почв юга России, Персиановка

**Т. М. МИНКИНА**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

**Н. С. СКУРАТОВ, В. Б. ИЛЬИН**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Донской государственной аграрный университет, Персиановка

**В. Ч. КИМ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (Московский инженерно-физический институт)

**УПРАВЛЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ  
В ОРОШАЕМЫХ ПОЧВАХ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ  
НООСФЕРЫ**

*Управление геохимическими процессами при ирригации в ноосфере предложено выполнять посредством дискретного способа извлечения растворенных минеральных веществ из влажной тонкодисперсной системы почвы. Способ предусматривает погружение внутрь влажной тонкодисперсной системы шприцевых элементов, снабженных электродами и заполненных электролитом. Затем из тонкодисперсной системы гидромеханическим путем извлекать и собирать электролит. Шприцевые элементы наполнять свежим электролитом.*

*Создается возможность необратимо извлекать растворенные минеральные вещества из дисперсной системы. Извлечение легкорастворимых солей из почв происходит без экологических последствий для почв и ландшафтов.*

*Геохимия, ирригация, электролит, извлечения солей из почвы, робототехника.*

*Control of geochemical processes under irrigation in noosphere is proposed to fulfill by means of the discrete extraction method of dissolved mineral substances from the soil wet fine-dispersed system. The method provides submersion inwards the wet fine-dispersed system of syringe elements fitted with electrodes and filled with electrolytes. Then the electrolyte is hydromechanically extracted and gathered from the fine-dispersed system. Syringe elements are filled with a fresh electrolyte.*

*It becomes possible to irreversibly extract dissolved mineral matters from the disperse system. Extraction of readily soluble salts from soils is fulfilled without ecological consequences for soils and landscapes.*

*Geochemistry, irrigation, electrolyte, extraction of salts from soil, robotics.*

Удаление солей из орошаемых почв является актуальной проблемой. Исключение легкорастворимых солей из процесса почвообразования позволяет улучшить свойства почвы, повысить продуктивность выращиваемых на ней растений [1–3]. Разработана теория влаго- и солепереноса в почвах, грунтах [1–3]. Внесен значительный, но не всегда однозначный вклад в практику преодоления и предупреждения засоления почв [4].

Разнообразие способов удаления легкорастворимых солей из почвы сводится к использованию сочетания вертикального и горизонтального направлений потока влаго- и солепереноса в кол-

ллекторно-дренажную сеть. Принципиальной особенностью является аналоговый режим массопереноса, значительная протяженность линий тока почвенно-грунтового потока, обширный охват ландшафта искусственным гидрогеологическим процессом, значительная потребность в воде для промывки земель.

Легкорастворимые соли выщелачиваются из почвы в глубокие горизонты почвообразующей породы и частично в сопредельные ландшафты. Это нередко вызывает неблагоприятные изменения ландшафтов, ведет к ухудшению свойств водоприемников, опасным гидрогеологическим и геохимическим явлениям [4].

В орошаемом земледелии практика полива обусловлена гидрологическими свойствами почв. Если влажность почвы в каком-то ее слое составляет НВ или ниже этой величины, транзитное движение воды в жидкой форме прекращается. Поэтому при использовании имитационной фронтальной гравитационной континуально-изотропной парадигмы ирригации, которая до настоящего времени была единственной в мире, вынужденным результатом ирригации является излишне высокая влажность почв, а в результате преференсных потоков воды в почвах и грунтах также и высокая влажность грунтов. При высокой влажности происходит разрушение геохимических барьеров, усиливается влаго- и солеперенос, происходит засоление почв. Для преодоления засоления используют промывной водный режим, промывку (до 100 000 м<sup>3</sup>/га пресной воды). Это неприемлемо ни с экономической точки зрения, ни с точки зрения природопользования, пресная вода является глобальным дефицитом.

Необходимо совершенствование приемов управления содержанием и потоками легкорастворимых солей в дисперсных системах, изменение парадигмы ирригации и дренажа [5, 6]. Это особенно актуально с учетом современных технических возможностей, которые предоставляют роботизация, механотроника, информатика в условиях технологической платформы [7].

Для удаления легкорастворимых солей из почвы применяют различные варианты воздействия электрического поля, электрического тока на почву, проводят электромелиорацию [8, 9]. Фундаментальным научным основанием применения электрохимического метода при промывке земель служит природа объекта воздействия. Почвенный раствор или грунтовые воды являются электролитом.

**Объект и предмет исследований.** Сущность известных технических решений электромелиорации почв заключается в следующем: на поверхности почвы создают слой воды, в слое воды или непосредственно в почве размещают электроды, к электродам подают электрическое напряжение. Под действием электрического потенциала электродов легкорас-

творимые соли из почвы поступают в находящуюся на ее поверхности воду и осаждаются на электродах. Поскольку осаждение солей из почвенного раствора, как относительно низко концентрированного электролита, имеет сложности, часто ограничиваются электрическим стимулированием промывки засоленных почв, скорость которой увеличивается за счет повышения солеотдачи почв и грунтов, обрабатываемых электрическим током.

**Теория и практика электромелиорации.** Известные способы электромелиорации имеют недостатки. Это значительная продолжительность процесса рассоления почвы, обусловленная большой протяженностью электрохимической линии тока ионов от одного электрода ко второму электроду сквозь слой воды, сквозь почву, затем снова сквозь слой воды. Неблагоприятно влияет большая продолжительность процесса рассоления почвы, обусловленная помимо прочего длительным временем осаждения ионов на электроде в процессе перехода из раствора в твердую форму. Сказывается стадийный процесс технологии рассоления. Он требует предварительной сборки оборудования, продолжительного пребывания на позиции рассоления, разборки оборудования и переноса его на очередную позицию рассоления. Необходимо большое число однотипных элементов комплекта оборудования для рассоления и рассолонцевания – электродов и электрических элементов их соединения, что следует из задачи увеличить производительность способа, но приводит к материалоемкости рассоления. Снижаются надежность, скорость и эргономичность исполнения технологии, повышается стоимость. Избыточное расходование электроэнергии на перераспределение ионов в почвенном растворе и в слое воды на поверхности почвы связано с тем, что после снятия электрического потенциала с электродов ионы мигрируют в почвенном растворе так, что электрическая нейтральность дисперсной системы у электродов восстанавливается. Перераспределенные под воздействием искусственного электрического потенциала ионы остаются в водной или почвенной среде – это следствие несовершенства технологии исполнения. Эффект электромелиорации ослабляется. Имеется

потребность в искусственном значительном увлажнении почвы ввиду необходимости обеспечить миграцию солей при большом расстоянии между электродами для повышения производительности способа. Большая потеря воды связана с ее просачиванием в почву.

Недостатком известных способов рассоления почв является временный характер удаления солей из почвы. Геохимическая природа биосистемы не изменяется, предпосылки ее восстановления – наличие легкорастворимых солей и большого количества воды – устойчивы.

Большинство перечисленных недостатков рассоления почв и электромелиорации, трудности реализации электрических методов воздействия на почву были обусловлены прошедшим этапом индустриального развития цивилизации, когда тонкие технические решения не было возможности реализовать. Причем и задача такого рода не ставилась в силу приверженности к крупным индустриальным производствам и соответствующим техническим решениям.

**Новый этап электрохимических методов управления вещественным составом почвы.** Технической задачей, на решение которой направлено предлагаемое исследование, является обеспечение необратимого извлечения растворенных минеральных веществ из дисперсной системы. Решается задача сокращения расхода электроэнергии, обеспечения эргономичности производственного процесса, сокращения материалоемкости технологии.

Новый способ извлечения вещества из тонкодисперсной системы относится к электрохимии, химической технологии и мелиорации [11]. Способ предусматривает погружение внутрь влажной дисперсной системы пары шприцевых элементов 7 (рис. 1, 2). Шприцевые элементы выполнены с открытым нижним концом – выходным отверстием 8, снабжены электродами 9 и заполнены электролитом. К электродам подают разность электрических потенциалов. Удерживают шприцевые элементы в дисперсной системе. Затем снимают с электродов разность электрических потенциалов и в тот же момент извлекают шприцевые элементы из дисперсной

системы гидромеханическим путем извлекают и собирают электролит, содержащий вещество, извлеченное из дисперсной системы электролитическим путем, в емкость 10. Наполняют шприцевые элементы свежим электролитом и продолжают технологический процесс. Шприцевые элементы перемещают по поверхности дисперсной системы с помощью шасси 2 и блока электрического питания 1, последовательно по сигналу блока управления 3 погружая нижний конец пары шприцевых элементов 7 в дисперсную систему пошагово вдоль направления движения шасси.

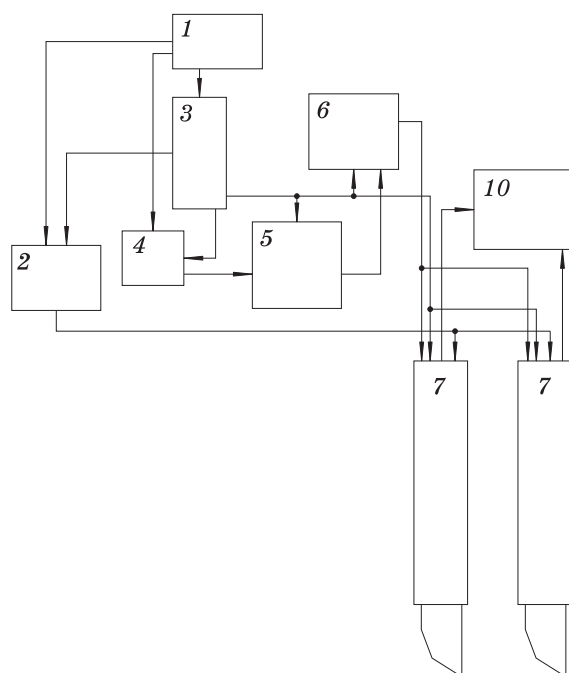


Рис. 1. Блок-схема извлечения вещества из тонкодисперсной системы

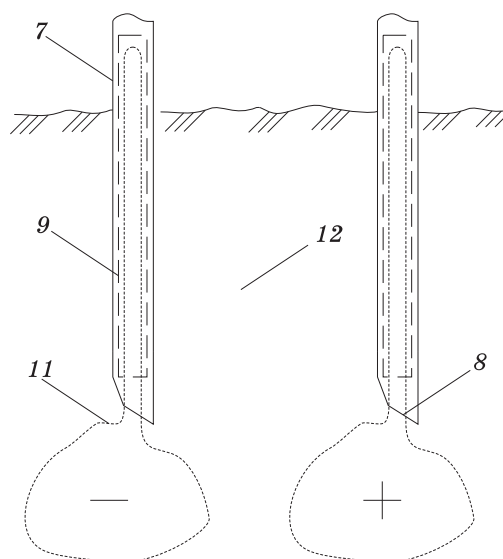


Рис. 2. Ионное облако в шприцевом элементе и тонкодисперсной системе

Способ включает блок подачи воды 4, блок рабочего электролита 5, гидромеханическую систему регенерации электрода 6.

Внутренняя полость шприцевого элемента 7 в рабочем положении. Электролит в рабочем шприцевого элемента 7 гидравлически изолируют от системы подачи электролита, он находится в замкнутом объеме и сообщается только с выходным отверстием 8.

Подача пары шприцевых элементов 7 с электродом 9 в дисперсную систему осуществляется циклически импульсно в дискретный объем дисперсной системы, из которого затем производится извлечение растворенных минеральных веществ.

Размер дискретного объема дисперсной системы зависит от локальных физических и химических свойств, количества находящихся в этом дискретном объеме растворенных веществ и воды, от электропроводности дискретного объема дисперсной системы.

После погружения шприцевого элемента 7 в дисперсную систему содержащийся в нем электролит входит в электрический контакт с дисперсной системой, в которую он погружен, формируя единую электролитическую цепь «источник электрического тока – электроды – почвенный раствор».

Контур 11 ионного облака в дисперсной системе 12 в момент завершения импульса напряжения на электродах 9 представлен на рис. 2.

Извлеченные из дисперсной системы вещества в составе электролита гидромеханическим путем подают из шприцевого элемента 7 в емкость 10. Шприцевой элемент 7 заполняют свежей порцией электролита из блока рабочего электролита 5. Электролит в шприцевом элементе 7 регенерирован и готов к новому циклу работы.

Способ отличается тем, что часть ионного облака, примыкающая в пространстве к электроду, но остающаяся за его пределами внутри прилегающей части дисперсной системы, не извлекается из почвы. После снятия напряжения ионы этой части ионного облака рассредоточиваются в пространстве дисперсной системы согласно внутреннему квазиста-

ционарному термодинамическому равновесию. Результат приемлем, поскольку, например, при использовании известного способа ионы вообще не извлекаются из почвы, только промываются вглубь, причем высока вероятность их возврата в почву восходящим потоком растворов в биogeосистеме.

Предлагаемый способ дает принципиально новое качество необратимого воздействия на вещественный состав дисперсной системы, изменяя его без возможности реставрации исходных свойств системы.

Технические задачи, поставленные при разработке нового способа преодоления засоления почвы, тесно связаны с природой почвы как дисперсной системы. Свойство дисперсности является важнейшим с точки зрения реализации почвой своего ведущего свойства – плодородия. Дисперсность почвы обусловлена свойствами почвообразующей породы, геологическим выветриванием, деятельностью биоты, агротехникой и многими другими обстоятельствами.

**Управление дисперсностью почвы.** Актуальная степень дисперсности является результатом эволюции, взаимодействия текущих факторов генезиса почвы. Большинство орошаемых почв избыточно уплотнено, поскольку компенсация уплотнения за счет указанных выше факторов дисперсности почвы подавлена переувлажнением, при котором происходит флотация структуры почвы. Разрушение структурных отдельностей идет до гранулометрических фракций. После увлажнения большая часть энергии биogeосистемы затрачивается на восстановление структуры почвы. Однако утрата структуры почвы при стандартной ирригации полностью не компенсируется. Поэтому плодородие почвы лимитировано. Во многом это обусловлено минеральным составом почвенного раствора. При увлажнении наиболее подвижные ионы натрия постоянно возвращаются в почвенный слой и определяют его солонцовые свойства [9].

Применяют рыхление орошаемых почв. Однако результат рыхления лимитирован техникой исполнения. Как правило, это пассивные рыхлители, которые не обеспечивают дисперсности, только сдвигают с места крупные блоки почвы [12].



Для улучшения орошаемых почв применяют химическую мелиорацию. Имеет место парадокс химической мелиорации. В отсутствие надлежащих технических средств мелиоранты вносят в верхний слой почвы, тогда как мелиорации подлежит иллювиальный слой почвы, расположенный на глубине 20–30...40–60 см. Поступление в этот слой мелиорирующих веществ происходит сверху по трещинам в виде преференсных потоков. Значительная часть мелиоранта просто теряется, контакт мелиоранта и дисперсной системы почвы в иллювиальном горизонте ненадлежащий.

Для решения задачи создания в почве дисперсной системы, обеспечивающей комфортное развитие, питание растений и одновременно химическую мелиорацию, предложено техническое решение (рис. 3) [13].

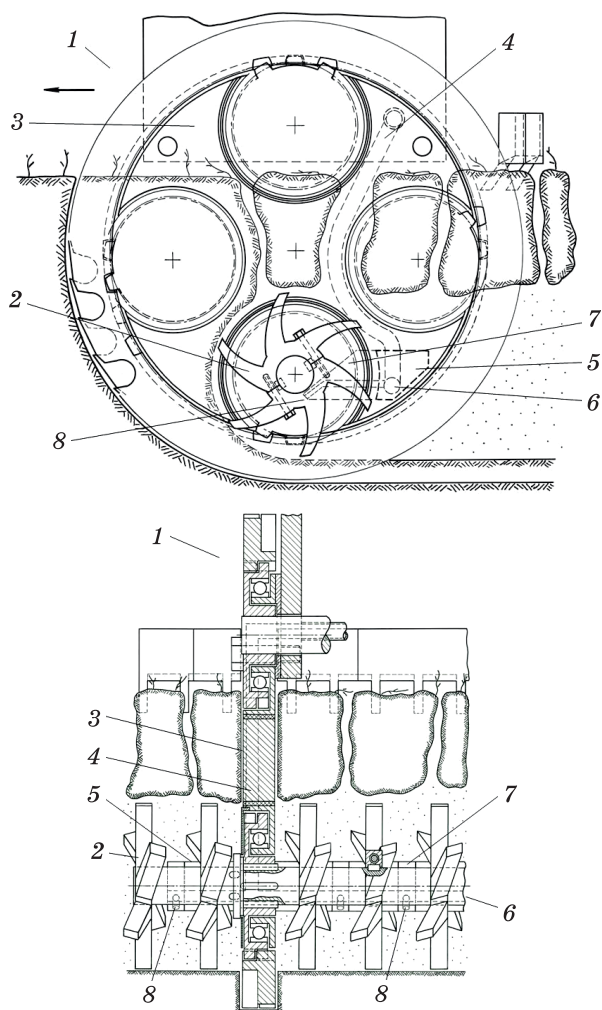


Рис. 3. Устройство для внесения вещества при ротационном внутрипочвенном рыхлении

Устройство для внесения вещества при ротационном внутрипочвенном рыхлении выполнено симметрично по направлению движения. Ротационные щелерезы 1 производят привод фрезерователя 2, который рыхлит дисперсную систему почвы, и нарезают в почве щели для прохода сквозь почву диска 3 без тягового сопротивления. В канал 4 подается жидкое или пастообразное мелиорирующее вещество, предназначенное для внесения в почву. Из канала 4 вещество поступает в рампу 5 по каналу 6 через рыхлящие пальцы 7 и по распределительным каналам 8 в почву. Вещество перемешивается с почвой фрезерователем 2.

Применение роторного рыхления с одновременным внесением мелиоранта является важным условием для реализации нового способа извлечения вещества из тонкодисперсной системы на фоне предложенного авторами ранее в порядке реализации внутрипочвенной импульсной континуально-дискретной парадигмы ирригации способа полива [14].

Ввиду меньшей влажности почвы при применении нового способа полива ее свойства – дисперсность и структурность – будут стабильными длительное время [12]. Неблагоприятные эффекты ирригационного переувлажнения почв и ландшафтов строго лимитированы. В результате дисперсная система почвы долгое время будет доступна для проникновения электродов и перманентного извлечения из почвы легкорастворимых солей, неблагоприятно влияющих на почву и растения, особенно ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ . Достоинство нового способа в избирательности рассоления. Ионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  в больших количествах опасны для растений и почвы. В процессе извлечения они являются приоритетными. Сульфаты и карбонаты полезны для почвы, улучшают ее мелиоративное состояние, устойчивость и плодородие.

**Использование извлеченных легкорастворимых солей.** После извлечения из почвы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  удаляют. Их можно сбросить в водоприемник в виде рассолов или растворов повышенной концентрации. Но это нежелательно

ввиду ландшафтных последствий. Лучше соли направить для другого технологического процесса [15]. Если такой возможности нет, то их можно разместить на невозделываемой полосе в порядке реализации нового способа стадийного использования почвы [16]. Перераспределения солей в зону, освобожденную от солей, не будет, поскольку влажность почвы здесь будет постоянно низкая. Особенно в пустыне. В степи неподвижность легкорастворимых солей в невозделываемой зоне будет обеспечена перераспределением осадков в обработанную зону. В зоне увлажнения, при дискретных поливах и последующем извлечении солей, влажность невысокая, потому геохимическая стабильность зоны повышенного засоления обеспечена.

#### Заключение

Предложенный способ извлечения вещества из тонкодисперсной системы исключает неблагоприятные экологические последствия стандартных технических решений промывки легкорастворимых солей и электромелиорации. Принципиальным преимуществом способа является возможность селективно извлечь легкорастворимые соли только из почвы, причем до контролируемого предела, минимизируется опасная избыточная потеря вещества из почвы. За счет применения способа управления геохимическим процессом в ирригационном ландшафте в рамках внутрпочвенной импульсной континуально-дискретной парадигмы ирригации исключается поступление легкорастворимых солей в почву из подстилающих слоев. Нет просачивания воды в виде преференсных потоков. Формируется стабильный геохимический барьер.

Способ может быть реализован как элемент развития современной научно-технической платформы в виде роботизированной системы. Предложенный подход к управлению геохимическими ирригационными процессами имеет перспективу в ноосфере при развитии технических средств нового поколения, для реализации представлений новой индустриализации.

Сохранение почвы, ландшафта и

воды методами, которые следуют из внутрпочвенной дискретной импульсной концепции ирригации и способа управления геохимическим процессом в ирригационном ландшафте, представляет собой принципиально новую возможность кардинальной модернизации водной стратегии Российской Федерации, особенно в свете новых планов развития мелиорации [17]. Эти планы неубедительны, поскольку основаны на имитационной фронтальной гравитационной континуально-изотропной парадигме ирригации, которая себя полностью исчерпала [4, 14]. И старая парадигма, и программа мелиорации, построенная в ее развитие, – плод устаревшей индустриальной технологической платформы, которая в ноосфере подлежит срочной замене. Ей нет места в эпоху новой индустриализации [7].

1. Ковда В. А. Происхождение и режим засоленных почв. – М., 1946. – Т. 1. – 573 с. – М., 1947. – Т. 2. – 375 с.

2. Аверьянов С. Ф. Закрытый горизонтальный дренаж при борьбе с засолением земель. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 84 с.

3. Антипов-Каратаев И. Н., Красников С. Н. Опыт применения методов электрофильтрации, электродиализа к анализу почв: В кн. Труды Почвенного института имени В. В. Докучаева. – Т. 8. – Вып. 8. – Л.: Изд-во АН СССР, 1933.

4. Щедрин В. Н., Васильев С. М. Теория и практика альтернативных видов орошения черноземов юга Европейской территории России. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 435 с.

5. Морозов А. Н. Об условиях возможного применения совершенных способов полива в современных условиях // Проблемы и пути формирования экономических взаимоотношений водного и сельского хозяйства в условиях развития рыночных реформ: тезисы докладов USAID, AED и САНИИРИ. – Ташкент: САНИИРИ, 2004. – С. 176–181.

6. Marshall J. English, M.; Kenneth H. Solomon, M.; and Glenn J. Hoffman. A Paradigm Shift in Irrigation Management // Journal of irrigation and drainage engineering. – 2002. – September/October. –

Р. 267–277.

7. **Мусин М. М., Губанов С. С.** Сверхновая реальность // Рециклинг отходов. – 2013. – Вып. 6. – С. 20–27.

8. **Вадюнина А. Ф.** Электромелиорация почв засоленного ряда. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 225 с.

9. **Минкин М. Б., Бабушкин В. М., Садименко П. А.** Солонцы юго-востока Ростовской области. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1980. – 271 с.

10. Способ рассоления и рассолонцевания почвы: SU 852266 A1. МПК A01G25/00, E02B13/00: заявка № 2776136 от 04.06.1979/ В. И. Елецкий, В. П. Русских, А. В. Николаев; опубл. 07.08.1981.

11. Способ извлечения вещества из тонкодисперсной системы: МПК Кл. А61J 1/20 (2011.01), А61М3/00 (2011.01), В03С 5/00 (2011.01) / В. П. Калиниченко, В. Б. Ильин, А. П. Ендовицкий, В. В. Черненко. – Патентообладатель: ООО Структура К°. – Заявка № 2011100186/13(000277) от 11.01.2011. – Решение о выдаче патента от 3.05.2012.

12. Изменение почв солонцового комплекса за 30-летний период после отвальной, трехъярусной и нового приема роторно-фрезерной обработки / В. П. Калиниченко и [и др.] // Почвоведение. – 2011. – № 8. – С. 1010–1022.

13. Устройство для внесения вещества при ротационном внутрипочвенном рыхлении: патент на изобретение RU № 2387115 С2 / В. П. Калиниченко; зарег. в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 апреля 2010 г.; патентообладатель ИППЮР. – МПК А01В 33/02 (2006.01) А01С 23/00 (2006.01). – Заявка № 2008124500/12(029710) от 16.06.2008. ФИПС. – Отдел № 20. 08.08.08. – Т. 2406015. – Решение о выдаче патента от 16.10.2009. – 7 с. – Опубл. 27.04.2010. – Бюл. № 12. – 6 с.

14. Способ внутрипочвенного импульсного дискретного полива растений: патент на изобретение RU № 2386243 С1 / В. П. Калиниченко; зарег. в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 20 апреля 2010 г. – МПК А01G 25/06 (2006.01) А01С 23/02 (2006.01); патентообладатель В. П. Калиничен-

ко; заявка № 2009102490/12(003172) от 26.01.2009. – Опубл. 20.04.2010. – Бюл. № 11. – 7 с.

15. **Myers R. L.** The 100 Most Important Chemical Compounds: A Reference Guide. – Westport: Greenwood Press, 2007. – P. 260.

16. Способ долговременного управления продуктивностью степных биогеосистем: патент на изобретение RU № 2480980 С1 / В. П. Калиниченко; зарег. в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 10 мая 2013 г.; опубл. 10.05.2013. – Бюл. № 13. – МПК Кл. МПК А01G 7/00 (2006.01) А01В 79/00 (2006.01) А01В 13/14 (2006.01) А01В 33/02 (2006.01); патентообладатель: В. П. Калиниченко; заявка № 2011135858/13(053162) от 26.08.2011.

17. Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России на 2006 – 2010 годы и на период до 2013 года («Развитие мелиорации сельскохозяйственных земель России на период до 2020 года» проект): программа. – URL: <http://fcp.economy.gov.ru/cgi-bin/cis/fcp.cgi/Fcp/ViewFcp/View/2011/192?yover=2012> (дата обращения 15.01.14).

Материал поступил в редакцию 29.01.14.

**Калиниченко Валерий Петрович**, доктор биологических наук, профессор  
E-mail: [kalinitch@mail.ru](mailto:kalinitch@mail.ru)

**Минкина Татьяна Михайловна**, доктор биологических наук, профессор  
E-mail: [tminkina@mail.ru](mailto:tminkina@mail.ru)

**Ендовицкий Анатолий Петрович**, эксперт  
E-mail: [kalinitch@mail.ru](mailto:kalinitch@mail.ru)

**Скуратов Николай Семенович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор  
E-mail: [ilyin07@rambler.ru](mailto:ilyin07@rambler.ru)

**Ильин Владимир Борисович**, кандидат технических наук, доцент  
E-mail: [ilyin07@gmail.com](mailto:ilyin07@gmail.com)

**Ким Владимир Чон-Денович**, кандидат технических наук, доцент  
E-mail: [instit03@mail.ru](mailto:instit03@mail.ru)