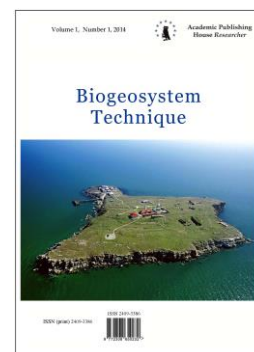


Copyright © 2017 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
Biogeosystem Technique
Has been issued since 2014.
ISSN: 2409-3386
E-ISSN: 2413-7316
2017, 4(1): 39-65

DOI: 10.13187/bgt.2017.1.39
www.ejournal19.com



UDC 631.67:574.42

Method of Intra-Soil Pulse Continuous-Discrete Moistening (Model Experiment)

Artyom E. Rykhlik ^{a,*}, Olga S. Bezuglova ^b

^a Institute of Soil Fertility in the South Russia, Russian Federation

^b Southern Federal University, Russian Federation

Abstract

The conventional imitational frontal gravitational continual-isotropic irrigation and drainage paradigm leads to negative results – destruction of soils and natural-territorial complexes, loss of fresh water. An experimental substantiation was fulfilled of the new intra-soil pulse continually-discrete irrigation paradigm, proposed in the framework of the scientific-technical direction "Biogeosystem Technique". The base element of model system was a plastic transparent cylinder of 20 cm in height and diameter of 5 cm, in which the soil was placed. The soil – a bulk sample of chernozem from the 0–30 cm soil layer, grated and compacted close to the natural density. An intra-soil pulse continual-discrete moistening of the soil was simulated with a 20 ml medical syringe, equipped with 12 cm medical spinal needle. The experiment was conducted with culture of spring barley at the initial stage of its organogenesis under natural insolation. Surface irrigation, sprinkling, drip irrigation, and a new intra-soil pulsed continual-discrete method of soil moistening were performed. After surface irrigation, sprinkling and drip irrigation the water percolation through soil was observed in an amount of 30–50 % of supply, general subsidence of the soil surface was observed, and then crusts formed on it. At drip irrigation, subsidence of the surface and the formation of the crust appeared locally under the dropper. At intra-soil pulse continually-discrete moistening, the soil in the base cylinder was discreetly moistened in the cylinder of 5-15 cm of depth and diameter of 2 cm, the soil surface till experiment remained the same to initial moment of experiment, the crust was not formed. In model system, the barley plants under new moistening method were better developed, and water consumption was 1.5–2.5 times lower than with standard methods of plants watering. The model experiment was performed in a focus of the soil intra-soil pulse continually-discrete moistening process robotics capabilities.

Keywords: modeling, surface irrigation, sprinkling, drip irrigation, crust formation, Biogeosystem Technique, intra-soil pulse continually-discrete soil moistening, barley, organogenesis.

1. Введение

Применение стандартных приемов ирригации как способов достижения диссипации воды в почве, включая капельный, внутрипочвенный полив, довольно быстро приводит к длительным неблагоприятным изменениям в почвах и ландшафтах (Назарова, Курвантаев, 2016). После прекращения орошения его отрицательные результаты сохраняются в течение

* Corresponding author

E-mail addresses: tyoma-4444@yandex.ru (A.E. Rykhlik)

десятилетий в богарной и дождевой агротехнике (Калиниченко и др., 2013).

Современные способы полива, имитируя естественное увлажнение почвы, дают нисходящий неуправляемый режим промачивания почвы. Это вызывает выщелачивание содержащихся в ней веществ. Происходит гравитационное водное переуплотнение почвы. В результате того, что почва избыточно увлажнена, происходит водная флотация ее агрегатов и гранулометрических элементов, и их переупаковка. Затем следует этап высушивания и формируется более плотная упаковка механических элементов, чем исходная, почва становится плотной и твердой. Динамика усадочных напряжений в цикле «увлажнение – высушивание» неблагоприятна с точки зрения формирования агрофизических свойств почвы (Минкин и др., 1980; Минкин и др., 1982). Природа почвообразующей породы орошаемых почв чаще всего эоловая или кольматационная. Переувлажнение губительно влияет на структуру такой легко подверженной разрушающему действию воды почвы, проявляется супердисперсное состояние тонкодисперсной фазы почвы (Топунова и др., 2010), развивается слитизация почв (Белицина и др., 1988; Чижикова, 1995; Безуглова, 2001; Приходько, 2003), и резко ухудшаются условия развития ризосферы растений и организмов (Rasmussen et al., 1972). Разрушение почвы, синтез в ней новых минералов наблюдают вплоть до уровня минералогической композиции (Barrй et al., 2009). При современной ирригации расход воды превышает расчетную потребность в 4–15 раз (Ильинская, Шкодина, 2009; Ochoa et al., 2014), что абсолютно неприемлемо с точки зрения сохранения экосферы и экономических результатов природопользования.

Общепринятая в мире имитационная фронтальная гравитационная континуально-изотропная парадигма ирригации и дренажа на протяжении тысячелетий не претерпевает изменений. Она отличается совмещением фазы увлажнения и фазы распределения воды в почве – техническими средствами имитируют природные фронтальные гидрологические, русловые, гидрологические явления поступления и режима воды в биосфере. Стандартная ирригация обуславливает деградацию почв, разрушение природно-территориальных комплексов (Бронфман, Хлебников, 1985). Тем не менее, тиражирование устаревших технологий ирригации продолжается (Ростов-на-Дону, 2017).

Преодолеть последствия применения устаревшей парадигмы ирригации позволяют методы биогеосистемотехники (Калиниченко, 2012; Kalinitchenko et al., 2016).

1.1. Достигнутый уровень и оценка перспектив ирригации

Роль ирригации в обеспечении устойчивого производства продовольствия непреходяща (Tyagi, 2017). Ввиду современной неопределенности водного режима Земли, уменьшения доступности воды как ресурса, важна оптимизация режима орошения (Anvari et al., 2017).

Констатируют наличие у растений ирригационного стресса различного уровня в зависимости от режима орошения (Shadman et al., 2017), но что надо делать с почвой, растением и водой, чтобы избежать стресса – не указано.

Показан дефицит воды и энергии для аграрной деятельности, и авторы задаются резонным вопросом – может ли модернизация ирригации быть ответом на вызов современности (Ahmad, Khan, 2017). Но, предлагая ответ, лишь констатируют имеющееся, по их мнению, преимущество дождевания перед поверхностным поливом.

В настоящее время заявлена высокая роль международной программы по ирригации и дренажу в преодолении неопределенности производства продовольствия (Role of International..., 2017). Но при этом, не указывают, на какой технологической платформе видится перспектива развития. Рассматривают роль рынка, поведение фермеров в преодолении ограниченности водных ресурсов (Du et al., 2017). Уделяют внимание только выбору режима орошения в сфере ранее известных способов полива, и развитию рынка с точки зрения стандартных экономических воззрений. В то же время техника подачи воды внутрь почвы без ущерба почве, окружающей среде, комфортное снабжение растений водой, экономия воды за счёт возможностей принципиально нового подхода к управляемому режиму её диссипации внутри почвы (Batukaev et al., 2016b) пока не являются предметом широкого интереса.

Ошибочными, хотя на первый взгляд, привлекательными, выглядят предложения экономить воду, уменьшая её подачу растениям в завершающей стадии органогенеза, не меняя способа полива (Banihabib, 2017). В результате имеет место не столько экономия воды, сколько

обращение органогенеза растений в зону стресса. Это ввиду непреодолимости в традиционной парадигме ирригации режима фронтального просачивания воды – вода, будучи поданной в малом количестве, оказывается размещенной в верхнем слое почвы. Потому в большой степени она расходуется не на транспирацию, а на физическое испарение, причём в более глубоких слоях почвы имеет место диапазон низкой влажности, ограничивающий развитие корневой системы и успех органогенеза в виде биологической продукции.

Несовершенство техники полива приводит к постановке задач, противоречащих природе увлажнения почвы. Пример тому – повторное использование дренажной воды (Wahba, 2017). Если иметь в виду строгую постановку задачи увлажнения почвы, то избыточная вода, стекающая из почвенного профиля в процессе и после завершения полива, к собственно обсуждаемому явлению создания почвенного раствора для питания растений не имеет отношения. Появление такой воды – всего лишь результат неверного решения задачи диссипации воды внутри почвы, продукт неверного учета свойств этой дисперсной системы при попытке управлять системой. Следовательно, надо не утилизировать теряемую из почвы воду, а преодолевать предпосылки этого явления, используя принципиально новые технические решения.

Показано, что полив дождеванием обуславливает неравномерность промачивания почв (Jangra et al., 2017). Проблему соответствия интенсивности искусственного дождя и скорости инфильтрации почвы решают известным путем увеличения скорости перемещения дождевального устройства и уменьшения интенсивности дождя (Zhu et al., 2017). Но на почвах относительно тяжелого гранулометрического состава, склонных к стадии супердисперсности при увлажнении (Топунова и др., 2010), предлагаемый подход ведёт к удорожанию полива, причём это всё равно не снимает проблему ирригационной деградации почвы.

Показано, что после полива дождеванием даже при малой поливной норме 300 м³/га, имеет место значительная дифференциация влажности почвы (Балакай и др., 2017). Это установлено как по данным визуального обследования процесса локального поверхностного стока в процессе полива и непосредственно по его завершении, так и на основе определения содержания влаги в почве после полива. Авторы относят проблему на счет несовершенства системы распределения воды существующими дождевальными устройствами, и предлагают использовать дождевальные аппараты с индивидуальными регуляторами, работающими по алгоритму с наперед заданными данными о влажности почвы и возможностью подачи воды и вещества путём online-коррекции, учитывая также данные дистанционного зондирования Земли. Отметим, что предложенный способ решения задачи равномерного увлажнения почвы не позволяет преодолеть системный недостаток полива дождеванием, вытекающий из принятой в настоящее время устаревшей парадигмы ирригации.

При капельном поливе (Ясониди, 2011) также показана вертикальная неоднородность увлажнения почвы под капельницей (Штанько и др., 2017; Рыжаков и др., 2017), причем по данным авторов непосредственно под капельницей влажность высокая, достигающая значений наименьшей влагоёмкости (НВ), и контур НВ выходит на поверхность, что указывает на вероятность повышенного расхода воды на испарение. Констатируется, что отсутствует согласованная методика синтеза двухмерного образа распределения влаги в почве при капельном поливе. С учётом неравномерности расходных параметров индивидуальных капельниц, возрастающей в период эксплуатации за счёт механических повреждений, забивания и седиментации, подтверждается мнение о вероятном латеральном и профильном перераспределении воды при капельном поливе, избыточном расходе воды на эвапотранспирацию, просачивании воды в виде преференсных потоков из почвы в зону аэрации (Шейн и др., 2009; Затицацкий и др., 2007). Всё это является обоснованием причин повышенного расхода воды на проведение капельного полива (Воеводина, 2011; Воеводина, 2016).

На период 2041–2070 гг. предлагают применять субирригацию для экономии воды (Baule et al., 2017), но не указывают, что происходит с почвой и растением, как идут преференсные потоки влаги, а они непременно имеют место при локальной избыточной влажности почвы, характерной для современной парадигмы ирригации, включая субирригацию. Влажность почвы при сосредоточенном поступлении воды из подпочвенных оросителей высокая. Иначе не может быть, поскольку в оросителе имеет место поток воды,

гидравлическое сопротивление оросителя меньше, чем прилегающей к нему почвы, следовательно, в контакте почвы с перфорационными отверстиями оросителя и почва полностью насыщена водой.

За счет уменьшения предельного значения потенциала воды в почве перед поливом снижают потребность в воде на 50 % (Casanova et al., 2017). Но при этом не меняют парадигмы ирригации – не учитывают режим распределения воды в почве. Потенциал воды перед поливом принят авторами в пределах -1.2 МПа и ниже. Но что происходит с водой в почве после полива? Авторы об этом не пишут. Коль скоро применена традиционная парадигма ирригации, то непосредственно после полива потенциал в увлажненном слое почвы будет равен нулю. Потому будет иметь место разрушение структуры почвы, как и избыточное расходование воды на эвапотранспирацию. В результате экономия воды составляет у авторов всего лишь 50 %, причем в ущерб органогенезу и продуктивности растений, так как не все факторы экономии воды учтены авторами при постановке задачи поиска решения.

На основании статистических расчётов указано, что коэффициент водопотребления варьирует обратно размеру урожайности, при этом водопотребление ирригационного агроценоза остается примерно одним и тем же, и вода расходуется примерно в одном и том же количестве в разных вариантах эксперимента соответственно свойствам почвы, величине оттока в зону насыщения, инсоляции (Paredes et al., 2017). Очевидно, являются неработоспособными и изученный авторами ирригационный режим, и использованная для его описания модель. Следовательно, с одной стороны, подача воды на экспериментальные участки избыточна, с другой стороны, стандартная ирригационная агротехника и режим распределения воды внутри почвы не в состоянии обеспечить надлежащий режим потребления воды растениями.

Изучена подача оросительной воды в размере 100, 75, и 50 % относительно расчетной эвапотранспирации (Elsayed et al., 2017). Но тогда какова надежность самого расчета, если его данные можно затем изменить в два раза? Рекомендуют для увеличения степени надежности прогноза применять физиологическое обоснование отклика растений на ирригацию. Но при этом важном указании авторы упускают обстоятельство содержания воды и движущих сил переноса воды к корням растений, которые определяют возможность протекания и эффективность, с точки зрения создания биомассы, физиологических процессов в растении, находящегося в условиях искусственного увлажнения и на разных почвах. При таком, детализированном подходе (с позиции физиологии растений и водоудерживания в почве), режим орошения можно будет регламентировать в более узком диапазоне подачи воды, повысить надежность прогноза результатов применения того или иного режима орошения.

Заявлена необходимость экономии воды в силу ограничений, которые накладывает воздействие ирригации на окружающую среду. Эвапотранспирацию изучали стандартным полуэмпирическим методом, а также согласно водно-балансовой модели FAO-56. Исследователи констатируют избыточный полив, но ответственность за это возложена исключительно на фермеров (Battude et al., 2017). Тем не менее, отметим, что ирригационная активность фермеров целиком лежит в пределах ограничений, которые накладывают техника и технология полива в рамках стандартной парадигмы ирригации. И именно эти технологии надо менять, предлагая фермерам новые современные возможности.

Рассматривали пространственную вариабельность влажности почв (Wang et al., 2017), установили, что влияние свойств почвы (глинистая, песчаная и пр.) на региональную пространственную вариабельность влажности почв сильнее, чем влияние метеорологических факторов, при этом роль растительности и топографии оказалось незначительной. Следовательно, используя выводы авторов, управляя свойствами почвы, конструируя почвы с заданными параметрами можно обеспечивать меньшую, предсказуемую пространственную вариабельность влажности почв, преодолевать неопределенность водного режима ландшафта, увеличивать его биологическую продуктивность и устойчивость, компенсировать флуктуации климата.

В настоящее время ввиду развития методов визуализации моделей преференсных потоков влаги в почве и зоне аэрации получили широкое распространение компьютерные графические модели переноса. Однако не все вопросы относительно самой сути процесса

переноса воды и его драйверов в настоящее время сняты, поэтому моделирование следует продолжать, дополнять физическим экспериментом. Возможности прямого эксперимента достаточно проблематичны, поскольку даже для одного и того же объекта, ввиду стохастического характера водно-физических свойств почвы или грунта, параметры переноса различаются. Причём изменение параметров переноса обусловлено действием потока воды. В результате оказывается неопределенной основная гидрофизическая характеристика объекта (Jarvis et al., 2017). Это неприемлемый результат в фокусе корректного и надёжного управления водным режимом почвы. Поэтому устойчивое воспроизведение связи ненасыщенной влагопроводности и потенциала воды в почве удастся получить только для песка (Zhuang et al., 2017).

Состояние дел с изучением переноса воды в почве, особенно в части практических приложений этого важнейшего явления, требует нового импульса развития. Пока лишь констатируют, что расчетный диапазон доступной растениям влаги в почве – величина, которую следует применять с осторожностью, поскольку в зависимости от объекта, а также от способа подготовки образца имеет место расхождение с данными, полученными с использованием натурной и расчетной кривых водоудерживания (Silva et al., 2014). Никаких сомнений, ведь модельная система, в виду во многом необратимого воздействия воды на состояние почвы и её водно-трансферные функции, существенно меняется при каждом определении даже для одного и того же образца. Для достижения более-менее приемлемого результата экспериментов и расчетов водоудерживания в почве применяют её специальную подготовку, регламентируют режим определения. Но такая система лишь в малой степени соответствует реальной почве, находящейся под воздействием воды. Потому следует констатировать, что только изменение режима подачи воды в почву, особенно – кардинальное изменение режима распределения воды из состояния потока в режим почвенной влаги, позволит получить приемлемые в отношении стабильности результаты наблюдений и, особенно, результаты управления влажностью почвы.

В стандартной парадигме ирригации нет кардинального ответа на вопрос, как избежать разрушительного воздействия высокого содержания воды на почву.

Отметим, что дифференциация растительности и почв по локальным экотопам является свойством биосферы (Лисецкий и др. 2016; Калиниченко и др., 1997), и это следует учитывать при планировании хозяйственной деятельности. Для контроля влажности почвы в корнеобитаемом слое предлагают дистанционные методы (Hassan-Esfahani, 2017), что будет полезно для получения пространственной картины увлажнения элементов природно-территориального комплекса. Особенно ввиду того, что ранее показана необходимость регулирования гидрологического режима пространственно неоднородной структуры почвенного покрова (Минкин, Калиниченко, 1981; Калиниченко, 1990).

Стратегия развития ирригации, водная стратегия в целом, должна учитывать взаимосвязи в системе «вода – энергия – продовольствие». Только такой подход позволит обеспечить приемлемые условия жизни и сохранить окружающую среду (El Gafy et al., 2017). Следовательно, имея катастрофические последствия стандартной ирригации в виде избыточно расхода воды, деградации почв, неопределенной перспективы получения продовольствия на деградированных землях, необходимо применять новую парадигму ирригации (Калиниченко и др., 2012; Калиниченко и др., 2013б; Glazko, Sister, 2016; Kalinichenko et al., 2015a; Kalinichenko et al, 2015b; Калиниченко, 2016; Kalinichenko, 2016a; Kalinichenko et al., 2016; Batukaev et al., 2016; Endovitsky et al., 2016; Kalinitchenko, 2016b).

Ввиду того, что пресная вода является глобальным дефицитом, для кардинального преодоления проблем современной ирригации в рамках биогеосистемотехники предложена новая водная стратегия (Kalinitchenko et al., 2014). Для её реализации разработан импульсный внутрпочвенный континуально-дискретный способ увлажнения почвы (Калиниченко, 2010а; Калиниченко, 2010б), учитывающий принципы термодинамики воды в почве (Shein et al., 2013). Способ предусматривает подачу воду дозированно дискретно, что обеспечивает доставку воды непосредственно в подлежащий увлажнению индивидуальный микрообъем, представляющий собой дискретный микро-цилиндр первичного увлажнения диаметром 2–3 см, расположенный на глубине 8–35 см, минуя стадию переноса воды сквозь почву. Затем в течение 5–10 минут заданный микрообъем почвы, под действием разности потенциалов воды и почвы, распределяется капиллярно в дискретном микро-цилиндре

результатирующего увлажнения диаметром 4–5 см на глубине 5–45 см до потенциала $-0,1-0,2$ МПа, оптимального для органогенеза растений (Зайцева и др., 2013). После, по достижении почвой влажности разрыва капиллярной связи, перенос и расход воды из дискретного микро-цилиндра результирующего увлажнения идёт в виде перегонки пара.

Поиски методологии расчета статистической неопределенности порового пространства дисперсной системы (Meng, Li, 2017) следует учитывать с позиции того, что эта неопределенность является исконным свойством почвы, причём неопределенность возрастает в процессе стандартного ее увлажнения, и, в свою очередь, усиливает неопределенность результата увлажнения, что требует принятия мер преодоления неопределенности. Неопределенность гидрологических параметров – предмет параметризации новых источников структурной неопределённости, которыми ранее полагали возможным пренебречь (Sikorska, Renard, 2017). В качестве такого гидрологического параметра следует применять новую парадигму ирригации, использование этого параметра даст принципиально новую, более определенную, гидрологическую картину ирригационного объекта, и водосбора в целом.

Реальная иерархия элементарных почвенных частиц значима для верного понимания явления переноса в почвах (Морозов, Безуглова, 2011; Шеин и др., 2016). Существующие модели порового пространства почвы построены на упрощенном представлении формы структурных элементов, что ухудшает их репрезентативность и работоспособность. На основе 3D X-ray микротомографии реальных элементов агрегатного устройства почвы предложена нейромодель гидравлической проводимости почвы с учётом множественной иерархии формы и размера агрегатов, формирующих структуру порового пространства почвы (Miao et al., 2017). Это является дополнительным основанием применения нового способа увлажнения почвы, который позволяет преодолеть опасность нарушения не вполне ещё изученной даже на механическом уровне картины устройства почвенного континуума структуры почвы, обеспечить высокую степень определенности свойств почвы в процессе, и после увлажнения, на долгосрочной шкале.

Существует концепция логнормального распределения эффективного радиуса пор для расчёта гидравлической проводимости и построения основной гидрофизической характеристики объекта (почвы, грунта) (Terleev et al., 2017). Следует заметить, что в случае почвы её увлажнение изменяет распределение пор по размерам. Следовательно, предложенная авторами модель работоспособна только для почв с устойчивой структурой. В то же время, большинство почв имеют динамичную в связи с переносом воды структурную организацию, и это обуславливает проявление гистерезиса водоудерживания, ухудшает условия потребления растениями воды.

Рассмотренные неблагоприятные обстоятельства переноса воды в почве преодолеваются с использованием импульсного внутрипочвенного континуально-дискретного способа увлажнения почвы.

Для эмпирического обоснования этого способа выполнен модельный эксперимент.

2. Объект и методы

Модельный эксперимент имел целью эмпирическое представление теоретически обоснованного режима увлажнения почвы при ее импульсном внутрипочвенном континуально-дискретном увлажнении на начальном этапе органогенеза ячменя. Эксперимент выполнен в четырёх повторениях.

Техника эксперимента. Для создания модельной системы использовали пластмассовые прозрачные цилиндры высотой 20 см диаметром 5 см. Почва – чернозем обыкновенный, насыпной образец перетертой почвы из слоя 0–30 см. Для имитации дискретного полива использовали шприц медицинский 20 мл, иглу медицинскую спинальную длиной 12 см. Способ создания модельной системы – насыпка почвы с уплотнением до состояния, близкого к естественному сложению и плотности.

Способ создания модельного агрофитоценоза – предварительное проращивание семян злака на влажном пористом субстрате с целью обеспечения 100 % прорастания и нивелирования стартовых условий развития отдельных растений, отбраковка семян с низкой всхожестью. Проросшие семена помещали в почву модельной емкости вручную на

глубину 2 см. В процессе закладки эксперимента обеспечивали нивелирование последующего развития растений. Культура – ячмень.

Способ подачи воды – периодический или постоянный – имитация выбранных вариантов способа полива.

Имитировали стандартные способы полива: поверхностный (или дождевание), капельный, моделировали внутрипочвенный импульсный континуально-дискретный полив (Рис. 1).



Рис. 1. Способы полива

При применении на черноземах поверхностный, капельный способы полива, дождевание функционально тождественны, поскольку все перечисленные способы полива обеспечивают доставку воды на поверхность почвы, после чего вода просачивается вглубь. Причем, например, при расчетной глубине промачивания 60 см сквозь первый сантиметр почвы проходит в 60 раз больше воды, чем необходимо для увлажнения этого слоя. По этой причине идет интенсивное разрушение почвы. Подпочвенный способ полива не рассматривали ввиду того, что его отрицательное экологическое влияние заложено уже в названии: Для его выполнения надо создать искусственный уровень грунтовых вод. Это неприемлемо с точки зрения экономии воды как глобального ограниченного ресурса.

При имитации поверхностного полива (дождевания) применили два варианта поливной нормы: стандартная поливная норма, сокращенная поливная норма.

При имитации капельного полива применили два варианта интенсивности подачи воды по критерию равенства объема подачи, соответственно: стандартная поливная норма, сокращенная поливная норма.

Имитировали внутрипочвенный импульсный дискретный способ полива. Применили два варианта: доза полива в объеме сокращенной поливной нормы имитации поверхностного полива, минимальная доза полива. Способ подачи воды – периодический рассредоточенный впрыск воды, включая стартовый объем вглубь почвы, затем – равномерная подача в процессе извлечения иглы. В среднем каждый день полив (вечером) 10 мл один полив: 5 недель 35 дней 350 мл, всего слой 17,5 см. Детально подача воды рассмотрена ниже по вариантам эксперимента.

Варианты эксперимента:

1. Без полива (стандарт).
2. Имитация традиционного способа полива. Поливная норма 200 м³/га 20 мм, 2 см (объем 39,2 мл/емкость). Всего за эксперимент (интенсивность в среднем в день): 1 неделя – 15 мл/день, 105/20=5 см; 2–4 неделя 20 мл/день, 420/20=21 см; с 5 недели 25 мл/день, 175/20=8,5 см, всего слой воды 34,5 см.
3. Имитация традиционного сокращенного способа полива. Поливная норма 133 м³/га 13,3 мм, 1,33 см. (объем 19,6 мл/емкость). Всего за эксперимент (интенсивность в среднем в день): 1 неделя – 10 мл/день, 70/20=3,5 см; 2–4 неделя 15 мл/день, 315/20=15,8 см; с 5 недели 20 мл/день, 140/20=7 см, всего слой воды 26,3 см.
4. Имитация капельного полива. Интенсивность подачи воды 10 мл в день, с 5-й недели 20 мл в день. Всего за эксперимент 420 мл, всего слой воды 21 см. Интенсивность 12–15 кап/мин, продолжительность подачи воды согласно дневной дозе. Диаметр контура увлажнения на поверхности не более 1,5 см.
5. Имитация сокращенного капельного полива. Интенсивность подачи воды 5 мл в день, с 5-й недели 10 мл в день. Всего за эксперимент 210 мл, всего слой воды 10,5 см. Интенсивность 12–15 кап/мин, продолжительность подачи воды согласно дневной дозе. Диаметр контура увлажнения на поверхности не более 1,5 см.
6. Внутрипочвенный дискретный полив. Глубина увлажнения шприцем 4–20 см равномерно по высоте емкости. Разовый объем 5 мл/емкость, начиная с 4 недели 10 мл. Всего за эксперимент слой воды 16,2 см.
7. Внутрипочвенный минимальный дискретный полив. Глубина увлажнения шприцем 4–20 см равномерно по высоте емкости. Разовый объем 3 мл/емкость, с 4 недели 5 мл. Всего за эксперимент слой воды 6,7 см.

Варианты эксперимента представлены ниже в [Табл. 1](#).

Имитация традиционного способа полива выполнялась по стандарту – начало полива при состоянии влажности почвы 0,7 НВ.

Имитация традиционного сокращенного способа полива выполнялась в те же сроки, что и имитация традиционного способа полива.

Капельный полив – регулирование интенсивности подачи воды по объему подачи традиционного способа полива или, соответственно, традиционного сокращенного способа полива

Внутрипочвенный дискретный полив проводили ежедневно.

Микроклимат – естественный для начальной стадии органогенеза ячменя ярового.

Инсоляция – естественная.

Состояние почвы определяли визуально и органолептически.

Эксперимент выполнен в 4 повторениях.

Статистическая обработка данных – Excel Microsoft-Office 2007.

3. Результаты и обсуждение

Количественные показатели увлажнения почвы и состояние растений в эксперименте по вариантам приведены в [Табл. 1](#).

Таблица 1. Результаты модельного эксперимента

Вариант	Способ полива	Срок выполнения первая неделя. Дозы орошения	Срок выполнения 2–4 недели. Дозы орошения	Начиная с 5 недели	Комментарий о состоянии растений и почвы в процессе и по завершении эксперимента
1	Контроль	10 мл имитация средне сухого года	Орошение отсутствует	Орошение отсутствует	Растение гибнет
2	Традиционный	15 мл	20 мл	25 мл	Вода задерживается на поверхности почвы. Сильное уплотнение почвы при поливе. Вследствие полива появление трещин на почве

3	Традиционный сокращенный	10 мл	15 мл	20 мл	Уплотнение почвы, наблюдаются мелкие трещины на поверхности почвы
4	Капельный	10 мл	10 мл	20 мл	Более сильное уплотнение почвы, чем в варианте «Капельный сокращенный»
5	Капельный сокращенный	5 мл	5 мл	10 мл	В почве наблюдается центр уплотнения
6	Внутрипочвенный дискретный полив	5 мл	10 мл	10 мл	Растения визуально выглядят хорошо, но уступают варианту «Традиционный» по высоте в среднем на 2,3 см
7	Внутрипочвенный минимальный дискретный полив	3 мл	5 мл	5 мл	На первой стадии эксперимента растения развивались лучше остальных. В конце эксперимента наблюдалось замедление в развитии

По мере продолжения эксперимента началась дифференциация растений по его вариантам. Состояние растения в контрольном варианте было плохим (Рис. 2).



Рис. 2. Состояние растения в контрольном варианте.

Согласно Рис. 3, после стандартного полива на поверхности почвы формируется кратковременный слой воды.

После полива в течение 5 мин наблюдали просачивание воды сквозь почву в количестве 30–50 % объема подачи как результат формирования преференсных потоков на этапе эксперимента, отраженном на рис. 3, дренажный сток составил 10 мл, в следующие 5 мин из почвы стекло еще 6 мл, что указывает на наличие преференсных потоков даже в достаточно рыхлой и однородной по структуре почве, специально подготовленной для эксперимента. В реальных условиях современной ирригации вклад преференсных потоков воды существенно больше (Ильинская, Шкодина, 2009).



Рис. 3. Стандартный полив нормой 60 мл за полив

При имитации традиционного способа полива растения получали достаточное количество влаги, но при этом страдали агрофизические свойства почвы. На поверхности почвы образовывалась ирригационная корка. Внутри почвы распространялись трещины. Имело место общее оседание почвы в экспериментальной емкости (рис. 4).

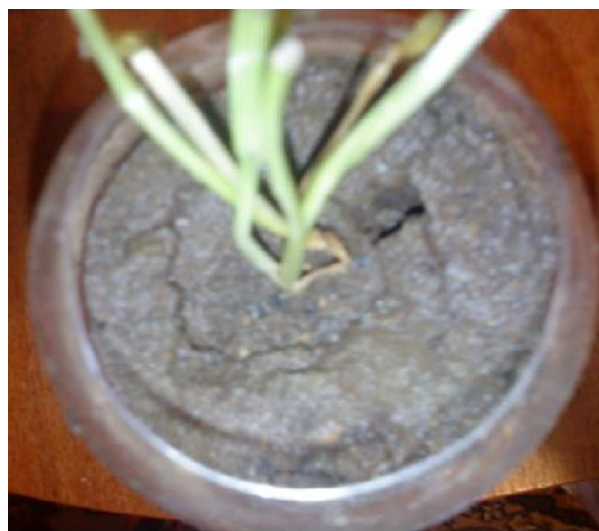


Рис. 4. Поверхность почвы после стандартного полива

В результате имитации традиционного сокращенного способа полива растения получали мало воды. Это очевидно по нижней границе промачивания, которая располагается после полива на глубине 4–6 см. Результат следует из почвенно-гидрологических закономерностей. В процессе подачи вода увлажняет почву до состояния полной влагоемкости. Затем идет перераспределение воды вглубь почвы под действием капиллярных сил, влажность в верхнем слое почвы устанавливается на уровне НВ. Сброс воды между блоками почвы первого порядка в виде преференсных потоков воды идет только до нижней границы промачивания и, в силу малого количества воды, не достигает

дна экспериментальной емкости. Действительно, рассматриваемый вариант подтверждает, что применение сокращенных поливных норм способствует уменьшению потери воды в глубокие горизонты. Однако вариант подтверждает также и то обстоятельство, что в таком случае промачивается очень малый слой почвы, нарушение агрофизических свойств поверхности почвы идет столь же интенсивно, как при подаче полной поливной нормы. В результате имеет место высокая интенсивность непроизводительного расходования воды, которая, как известно, интенсивно испаряется из верхнего 0–5 см слоя почвы, особенно при наличии корки на поверхности почвы (Рис. 5).



Рис. 5. Поверхность почвы при имитации традиционного сокращенного способа полива

Картина эксперимента в обоих вариантах капельного полива практически стереотипна двум рассмотренным вариантам. Единственное существенное отличие состоит в том, что воздействие воды в процессе ее поступления в почву имеет место только на часть поверхности, поэтому образование корки выражено при капельном поливе в меньшей степени.

При внутрипочвенном импульсном дискретном способе полива поверхность почвы сохраняется в том же виде, что и после засыпки экспериментальной емкости почвой. Не образуется корка (Рис. 6).



Рис. 6. Растения при внутрипочвенном дискретном поливе. Слева – стандартный, справа – минимальный.

При сокращенной норме увлажнения в том же объеме, что и при имитации традиционного сокращенного способа полива, растения на внутрипочвенном импульсном дискретном способе полива развиваются значительно лучше, чем при имитации традиционного сокращенного способа полива.

При внутрипочвенном импульсном дискретном способе полива и минимальном внутрипочвенном импульсном дискретном способе полива вода располагается внутри почвы, ее распределение идет без вертикального транзита, сохраняется не увлажненный каркас почвы, который поддерживает цилиндр первичного увлажнения, вода из цилиндра первичного увлажнения распространяется в прилегающий объем почвы с большой скоростью. Это помогает решить задачу управления структурой почвы. «Память» почвы на таком отрезке почвы достаточна для сохранения механического каркаса, так как гидродинамически в процессе впрыска воды разрушается небольшая часть элементов её структуры, а остальные получают воду капиллярным и пленочным путем. Их структура только частично подвергается действию воды, т.е. сохраняется. Проседания почвы после отдельно полива, как и после цикла поливов, не зарегистрированы.

Характерным отличием импульсного внутрипочвенного континуально-дискретного способа увлажнения почвы является особенность влагопереноса воды внутри почвы в парообразном состоянии. Наблюдали различие переноса воды в экспериментальных емкостях по вариантам. Такая возможность имеется, поскольку в каждой повторности эксперимента емкости прозрачные, имеют ограниченный размер, их боковая и нижняя поверхности непроницаемы для воды, что дает возможность наблюдать на них конденсацию водяных паров.

После стандартного полива конденсат на стенках емкости с внутренней стороны был обильным. Размер капель 1–3 мм, расположение часто почти слитное. Это свидетельствует, что относительное количество воды избыточно с точки зрения оптимального для растений соотношения «почвенная вода – почвенный воздух». Вода перемещается вглубь профиля почвы в виде потока, потому в почве идет интенсивный перенос воды к поверхности испарения. Если на внутренних стенках емкости вода конденсируется обильно, то понятно, что и сквозь поверхность почвы она столь же легко уходит в атмосферу. Следовательно, имеет место непроизводительное расходование воды на испарение. Также имеются предпосылки утраты структуры почвы ввиду вероятности супердисперсного состояния твердой фазы на границе раздела «почвы – вода в виде потока».

После дискретного полива конденсата на стенках емкости с внутренней стороны образовывался в значительно меньшем количестве, чем после стандартного полива. Размер капель был 0,2–0,5 мм, расположение капель выраженное раздельное. Это подтверждает, что в почве рассматриваемого варианта не идет интенсивный перенос воды в виде потока, потому перенос воды в виде пара менее интенсивен, но достаточен для формирования доступного растениям достаточно концентрированного почвенного раствора, поскольку расстояние парообразного переноса не более 1–2 см. Соответственно, сквозь поверхность почвы в атмосферу теряется меньше воды. Проблема актуальна для любых жизненных форм растений (Аджиев и др., 2013; Зармаев, 2001; Зармаев, 2007; Калиниченко, 2015; Калиниченко и др., 2013а).

Очевидно, что ярко выраженное отличие внутрипочвенного импульсного континуально-дискретного способа увлажнения почвы, суть которого в доставке воды в индивидуальные объемы почвы без вертикального переноса сквозь почвенное тело, а также в не совмещении фаз доставки воды в почву и её диссипации в увлажняемой дисперсной системе, даёт принципиально новые возможности сохранения структуры и сложения почвы. Обеспечивается устойчивость и определенность влагопроводности и основной гидрофизической характеристики почвы, что позволяет сформулировать новый класс задач теории дискретно-континуального переноса в дисперсной системе.

Новые задачи можно сформулировать, в частности, из следующих соображений.

Скорость перемещения воды и стохастический характер потока в дисперсной системе зависят от уровня и иерархии организации поровой системы (de Vries et al., 2017). Внутрипочвенный импульсный континуально-дискретный способ увлажнения почвы позволяет преодолеть неблагоприятную динамику соотношения агрегатов

водопроницаемости в процессе увлажнения почвы, поскольку исключена фаза транзита и избыточного смачивания агрегатов почвы в зоне увлажнения.

Кроме того, показано, что испарение воды и осаждение солей пропорциональны модулю потенциала воды в почве (Salomé et al., 2017). При внутрипочвенном импульсном континуально-дискретном способе увлажнения почвы потенциал воды в ней ниже, следовательно, ниже и физическое испарение, и транспирация ввиду большей, чем обычно, концентрации почвенного раствора и, соответственно, большего потока питательных веществ. Ниже степень слитизации почвенной массы и больше внутренняя поверхность почвы для осаждения легкорастворимых солей. К тому же, количество доставляемых в почву с водой легкорастворимых солей в несколько раз меньше по причине меньшей потребности в воде.

3.1. Применение результатов эксперимента к решению задач сохранения и расширенного воспроизводства биогеохимического цикла экосферы

Способ увлажнения почвы, результаты моделирования которого описаны в настоящем сообщении, также имеет приложения в сохранении и расширенном воспроизводстве биогеохимического круговорота экосферы, включая рециклинг отходов.

Проблему загрязнения экосферы решают путем очистки сточных вод (Mujtaba and Lee, 2017). В связи с этим имеются опасения по поводу долгосрочной работоспособности систем рециркуляции воды для питьевого водоснабжения (West et al., 2017). Указывают на ошибки и несоответствия в понимании и практическом выполнении адсорбции загрязнений из водных растворов (Tran et al., 2017). При этом оставляют без внимания возможность получения мультипликативного эффекта – очистки воды, улучшения агрофизических, химических, физико-химических свойств, улучшения здоровья почвы, повышения уровня питания растений. Попытки использовать такого рода возможности в сфере ирригации предпринимаются. Однако если подавать неочищенную воду в почву посредством поверхностного полива или дождевания, то инфекции и опасные вещества, содержащиеся в стоках, распространяются эоловым, латеральным, гравитационным путями.

Если стоки подавать в закрытую сеть внутрипочвенного полива, то в почве и зоне аэрации проявляются эффекты преференсных потоков воды, и связанная с ними опасность загрязнения грунтовых вод. Есть опасность потери пропускной способности труб по причине седиментации и забивания их ввиду слабой транспортирующей способности в отношении взвешенных веществ, присутствующих в потоке воды, проходящем в капельном увлажнителе.

Подавать стоки в поверхностную или закрытую сеть капельного полива невозможно, поскольку капельницы выйдут из строя. Поэтому регламент капельного полива не просто не предусматривает подачу какого-либо не полностью растворенного вещества в поливные ленты, но, более того, предусматривает предварительную фильтрацию подаваемой для полива растений воды.

Следовательно, попытки очистить воду в почве, используя для этого возможности стандартной парадигмы ирригации, весьма сомнительны.

Наоборот, в новой парадигме ирригации трофические и геохимические цепи неконтролируемого распространения содержащихся в воде веществ за пределы почвы исключены, обеспечены надежные геохимические барьеры (Endovitsky et al., 2015), и любые вещества, даже белый фосфор (Миндубаев и др., 2015), перерабатываются сапрофитами в элементы питания растений в специально сконструированной дисперсной системе почвы.

Если отходы в определенных пределах надежно и безопасно для окружающей среды вносить внутрь почвы, в частности, путем внутрипочвенной фертигации (Kalinichenko, 2016b), то они уже не смогут стать всё новыми источниками эмиссии парниковых газов, как это имеет место в настоящее время (Willis et al., 2017).

Предложено новое обоснование возможности вносить в почву золу, терриконовую породу (Головина и др., 2017). При этом развитие корневой системы растений следует стимулировать, направленно синтезируя свойства почвы (Чайка, Гурина, 2017), и обеспечивая её устойчивость и минимально необходимое достаточное для максимальной интенсивности развития растений и геобионтов увлажнение.

Новая парадигма ирригации позволяет выполнить продуктивное развитие фертигации. Будут исключены трофические цепи распространения инфекций, условия распространения токсических веществ. В то же время, создаются приоритетные условия для деятельности сапрофитов и переработки вносимого в почву вещества в элементы питания растений (Калиниченко, 2017).

Несколько отдалённой темой от поставленной на обсуждение, на первый взгляд, являются польдерные системы (Gao et al., 2017). Однако смысл обсуждения и этой проблемы в заданном в настоящем сообщении контексте имеется, так как, если применять внутрипочвенную фертигацию, то будет ослаблена проблема неблагоприятных эффектов польдерных систем городских агломераций. Значительная часть сбросных вод будет размещаться внутри почвы, а не поступать в водоприемники. Это уменьшит межвенный расход водоприемника, увеличит градиент открытой водной поверхности, и повысит надёжность сброса паводка.

Представленные материалы следует рассматривать в фокусе синтеза перспективной ниши цивилизации (Москаленко и др., 2013; Bohle, 2017; Cuomo, 2017), роботизации технологического процесса увлажнения почвы.

4. Заключение

Современные способы полива чаще всего обуславливают неблагоприятные изменения в почвах и ландшафтах, что является органичным следствием дифференциации подачи воды в почву из гидротехнической проводящей системы. Причина такого положения – отсутствие в действующей имитационной фронтальной континуально-изотропной парадигме ирригации контроля распределения воды внутри почвы.

Выполненный модельный эксперимент внутрипочвенной импульсной континуально-дискретной парадигмы ирригации показал, что такое увлажнение почвы практически исключает фазу просачивания воды в глубокие горизонты, обеспечивает разнесение во времени фазы подачи воды в почву и фазы диссипации воды в почве. В свою очередь это обеспечивает устойчивое управление поведением воды от момента ее состояния как потока или объема, и до момента завершения диссипации воды в капиллярном и парообразном состоянии в дисперсной системе почвы, а также экономию воды, лучшие условия развития растений, и сохранение почвы.

Результаты модельного эксперимента позволяют констатировать, что перспективной альтернативой действующей имитационной фронтальной гравитационной континуально-изотропной парадигме ирригации и дренажа является внутрипочвенная импульсная континуально-дискретная парадигма ирригации, которая разработана в рамках научно-технического направления «биогеосистемотехника».

Результаты модельного эксперимента могут быть использованы для разработки роботизированного технологического процесса увлажнения почвы.

5. Благодарности

Авторы выражают глубокую признательность Валерию Петровичу Калиниченко за разработку теории внутрипочвенной импульсной континуально-дискретной парадигмы ирригации, лежащей в основе методики модельного эксперимента, содействие реализации эксперимента, участие в подготовке рукописи.

Литература

Аджиев и др., 2013 – Аджиев А.М., Егоров Е.А., Зармаев А.А., Дружинин Е.А. (2013). Научно-прикладные аспекты инновационного развития и модернизации виноградо-винодельческой отрасли России, Махачкала.

Балакай и др., 2017 – Балакай Г.Т., Васильев С.М., Бабичев А.Н. (2017). Концепция дождевальной машины нового поколения для технологии прецизионного орошения // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*, № 2(26), с. 1–18. http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec477-field6.pdf

Безуглова, 2001 – Безуглова О.С. (2001). Гумусное состояние почв юга России, Ростов-на-Дону: Изд. СКНЦ ВШ, 228 с.

Белицина и др., 1988 – Белицина Г.Д., Васильевская В.Д., Гришина Л.А., Евдокимова Т.И. (1988). Почвоведение, Том 1, М.: Высшая школа, 400 с.

Бронфман, Хлебников, 1985 – Бронфман А.М., Хлебников Е.П. (1985). Азовское море. Основы реконструкции / под ред. проф. А.И. Симонова. Л.: Гидрометеиздат, 272 с.

Воеводина, 2011 – Воеводина Л.А. (2011). Влияние переполивов при капельном орошении на мелиоративное состояние земель // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. ст. ФГНУ «РосНИИПМ» / Под ред. В. Н. Щедрина, Новочеркасск: Геликон, вып. 45, С. 49–56.

Воеводина, 2016 – Воеводина Л.А. (2016). Структура почвы и факторы, изменяющие ее при орошении // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 1 (21), С. 134–154, http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec398-field6.pdf

Головина и др., 2017 – Головина Н.А., Домашенко Ю.Е., Васильев С.М. (2017). Разработка экологически безопасного фильтрующего элемента для капельного орошения // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 2(26), с. 144–155

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

Зармаев, 2001 – Зармаев А.А. (2001). Виноградарство на основе адаптивной интенсификации // Виноделие и виноградарство. № 3. С. 28–30.

Зармаев, 2007 – Зармаев А.А. (2007). Адаптивный потенциал сортов винограда в Чеченской Республике // Вестник российской сельскохозяйственной науки. № 5. С. 35–36.

Затинацкий и др., 2007 – Затинацкий Н.В., Зейлигер А.М., Губер А.К., Хитров Н.Б. (2007). Исследование предпочтительных потоков влаги в лугово-черноземной почве Саратовского Заволжья // Почвоведение, № 5, С. 585–599.

Ильинская, Шкодина, 2009 – Ильинская И.Н., Шкодина О.П. (2009). Нормирование водоотведения – фактор рационального водопользования / Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. Новочеркасск: РосНИИПМ, вып. 41, с. 74–84.

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

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

Калиниченко, 2010а – Калиниченко В.П. (2010). Патент на изобретение RU №2386243 С1. Способ внутрипочвенного 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. 9 с.: 4 ил.

Калиниченко, 2010б – Калиниченко В.П. (2010). Патент на изобретение RU №2411718 С2. Устройство для выполнения способа внутрипочвенного импульсного дискретного полива растений. Патентообладатель Калиниченко В.П. Заявка № 2009110757/20(016023) от 30.03.09. Опубликовано 20.02.2010. Бюл. № 5. 10 с.: 2 ил.

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

Калиниченко, 2015 – Калиниченко В.П. (2015). Создание почв, систем питания и полива ботанических садов методами биогеосистемотехники // Роль ботанических садов в сохранении и мониторинге биоразнообразия. Сборник материалов Международной научной конференции, посвященной 100-летию Южного федерального университета. 27 – 30 мая 2015 г. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, С. 50–54.

Калиниченко, 2016 – Калиниченко В.П. (2016). Биогеосистемотехника – инновационный метод управления продуктивностью и здоровьем почвы // Международная

научно-практическая конференция СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕРБОЛОГИИ И ОЗДОРОВЛЕНИЯ ПОЧВ (21–23 июня 2016 г.). Большие Вяземы, С. 246–263.

Калиниченко, 2017 – Калиниченко В.П. (2017). Эффективное использование фосфогипса в земледелии // *Вестник питания растений*, № 1, С. 2.33.

Калиниченко и др., 2012 – Калиниченко В.П., Зармаев А.А., Безуглова О.С., Сквонень А.Н., Черненко В.В., Ильина Л.П., Болдырев А.А. (2012). Возможности и перспективы внутрипочвенной импульсной континуально-дискретной концепции ирригации как составляющей новой водной стратегии РФ // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*, № 3, С. 80-84.

Калиниченко и др., 2013а – Калиниченко В.П., Батукаев А.А., Зармаев А.А., Чулков В.В., Мамилев Б.Б., Черненко В.В., Лохманова О.И. (2013). Патент на изобретение RU №2498550 С2. Способ создания многолетних насаждений. МПК А01В 79/02 А01G 17/00. Заявка № 2012102879(004261) от 27.01.2012. Опубликовано 20.11.2013. Бюл. №32. 4 с. : ил.

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

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

Миндубаев и др., 2015 – Миндубаев А.З., Волощина А.Д., Горбачук Е.В., Кулик Н.В., Алимова Ф.К., Минзанова С.Т., Миронова Л. Г., Сапармырадов К. А., Хаяров Х. Р., Яхваров Д.Г. (2015). Включение белого фосфора в природный круговорот веществ. Культивирование устойчивой микрофлоры // *Бутлеровские сообщения*, 41, 54–81, DOI: jbc-01/15-41-3-54

Минкин и др., 1980 – Минкин М.Б., Бабушкин В.М., Садименко П.А. (1980). Солонцы юго-востока Ростовской области, Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 272 с.

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

Минкин и др., 1982 – Минкин М.Б., Горбунов Н.И., Садименко П.А. (1982). Актуальные вопросы физической и коллоидной химии почв, Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 280 с.

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

Москаленко и др., 2013 – Москаленко А.П., Калиниченко В.П., Овчинников В.Н., Москаленко С.А., Губачев В.А. (2013). Биogeосистемотехника – основа практики экологической политики и экологической экономики // *Экономика и предпринимательство*, № 12-3 (41-3), С. 160–165.

Назарова, Курвантаев, 2016 – Назарова С., Курвантаев Р. (2016). Эволюция и прогноз развития орошаемых почв нижней части долины Зерафшана // *Живые и биокосные системы*, № 17, URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-17/article-7>

Приходько, 2003 – Приходько В.Е. (2003). Развитие почв Поволжья под влиянием орошения / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Пушино, <http://www.dissercat.com/content/razvitie-pochv-povolzhya-pod-vliyaniem-orosheniya>

Ростов-на-Дону, 2017 – Ростов-на-Дону (2017), 02 Июнь, 18:20 1695, РБК: <http://rostov.rbc.ru/rostov/02/06/2017/593161e89a79476e75b4af1a?from=main>

Рыжаков и др., 2017 – Рыжаков А.Н., Шкура В.Н., Штанько А.С. (2017). Очертания контуров увлажнения, формируемых при капельном орошении // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*, № 2(26), с. 98–114. http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec483-field6.pdf

Топунова и др., 2010 – Топунова И.В., Приходько В.Е., Соколова Т.А. (2010). Влияние орошения на содержание и минералогический состав илистой фракции черноземов

Ростовской области (Багаевско-Садковская оросительная система) // Вестник Московского университета, Серия 17: Почвоведение, № 1, С. 3–10.

Чайка, Гурина, 2017 – *Чайка Н.И., Гурина И.В.* (2017). Эколого-мелиоративная и биологическая характеристика корневых систем растений на породных отвалах угольных шахт Донбасса // // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 2(26), С. 50–68. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec480-field6.pdf

Чижикова, 1995 – *Чижикова Н.П.* (1995). Влияние орошения на изменение минералогического состава черноземов и каштановых почв // Почвоведение, № 1, С. 128–144.

Шейн и др., 2009 – *Шейн Е.В., Щеглов Д.И., Умарова А.Б., Соколова И.В., Милановский Е.Ю.* (2009). Структурное состояние техноземов и формирование в них преимущественных потоков влаги // Почвоведение, № 66 С. 687–695.

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

Штанько и др., 2017 – *Штанько А. С., Ю. Ю. Глуценко, О. В. Воронов* (2017). Оценка точности аппроксимации положения изоплет локальных контуров увлажнения при капельном поливе // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 2(26), с. 69–86. http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec481-field6.pdf

Ясониди, 2011 – *Ясониди, О.Е.* (2011). Капельное орошение. Новочеркасск: Изд-во НГМА, 322 с.

Ahmad and Khan, 2017 – *Ahmad A., and Khan S.* (2017). Water and Energy Scarcity for Agriculture: Is Irrigation Modernization the Answer? // *Irrig. and Drain.*, 66: 34–44. doi: 10.1002/ird.2021

Anvari et al., 2017 – *Anvari S., Mousavi S. J. and Morid, S.* (2017). Stochastic Dynamic Programming-Based Approach for Optimal Irrigation Scheduling under Restricted Water Availability Conditions // *Irrig. and Drain.*, Vol. 66, Is. 2, pp. 163–172, doi: 10.1002/ird.2130

Banihabib, 2017 – *Banihabib M.E., Zahraei A., and Eslamian, S.* (2017). Dynamic Programming Model for the System of a Non-Uniform Deficit Irrigation and a Reservoir // *Irrig. and Drain.*, 66: 71–81. doi: 10.1002/ird.2055

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

Baule et al., 2017 – *Baule William, Barry Allred, Jane Frankenberger, Debra Gamble, Jeff Andresen, Kpoti M. Gunn, Larry Brown* (2017). Northwest Ohio crop yield benefits of water capture and subirrigation based on future climate change projections // *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.019>

Batukaev et al., 2016a – *Batukaev Abdul-Malik A., Anatoly P. Endovitsky, Andrey G. Andreev, Valery P. Kalinichenko, Tatiana M. Minkina, Zaurbek S. Dikaev, Saglara S. Mandzhieva, and Svetlana N. Sushkova* (2016). Ion association in water solution of soil and vadose zone of chestnut saline solonetz as a driver of terrestrial carbon sink // *Solid Earth*, 7, Iss. 2, 415–423, doi:10.5194/se-7-415-2016

Batukaev et al., 2016b – *Batukaev Abdulmalik, Valery Kalinitchenko, Ali Zarmaev, Andrey Skoupen, Zaurbek Dikaev, Vaha Jusupov, Artem Rykhlik, Bauer Tatiana* (2016). Biogeosystem technique as a base of Sustainable Irrigated Agriculture // EGU General Assembly. Vienna, 2016. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 18, EGU2016-3416

Battude et al., 2017 – *Battude Marjorie, Ahmad Al Bitar, Aurore Brut, Tiphaine Tallec, Mireille Huc, Jérôme Cros, Jean-Jacques Weber, Ludovic Lhuissier, Vincent Simonneaux, Valérie Demarez* (2017). Modeling water needs and total irrigation depths of maize crop in the south west of France using high spatial and temporal resolution satellite imagery // *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 123–136. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.018>

Bohle, 2017 – *Bohle Martin* (2017). Ideal-Type Narratives for Engineering a Human Niche // *Geosciences*, 7(1), 18; Published: 22 March 2017, doi:10.3390/geosciences7010018

Casanova et al., 2017 – *Casanova L., M. Corell, M.P. Suárez, P. Rallo, M.J. Martín-Palomo, M.R. Jiménez* (2017). Bruising susceptibility of Manzanilla de Sevilla table olive cultivar under

Regulated Deficit Irrigation // *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.012>

[Cuomo, 2017](#) – Cuomo, C. (2017). 'Anthropocene': An Ethical Crisis, Not a Geological Epoch, *Geophysical Research Abstracts* Vol. 19, EGU2017-17142.

[de Vries et al., 2017](#) – de Vries Enno T., Amir Raoof, Martinus Th. van Genuchten (2017). Multiscale modelling of dual-porosity porous media; a computational pore-scale study for flow and solute transport // *Advances in Water Resources*, Vol. 105, July 2017, pp. 82–95. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.04.013>

[Du et al., 2017](#) – Du, E., X. Cai, N. Brozović, and B. Minsker (2017), Evaluating the impacts of farmers' behaviors on a hypothetical agricultural water market based on double auction // *Water Resour. Res.*, 53, doi: 10.1002/2016WRO20287

[El Gafy et al., 2017](#) – El Gafy, I., Grigg, N., and Reagan, W. (2017). Dynamic Behaviour of the Water–Food–Energy Nexus: Focus on Crop Production and Consumption // *Irrig. and Drain.*, 66: 19–33. doi: 10.1002/ird.2060

[Elsayed et al., 2017](#) – Elsayed Salah, Mohamed Elhoweity, Hazem H. Ibrahim, Yaser Hassan Dewir, Hussein M. Migdadi, Urs Schmidhalter (2017). Thermal imaging and passive reflectance sensing to estimate the water status and grain yield of wheat under different irrigation regimes // *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 98–110. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.05.001>

[Endovitsky et al., 2015](#) – Endovitsky A.P., Batukaev A.A., Dikaev Z.S., Minkina T.M., Kalinichenko V.P., Sushkova S.N. (2015). Ion's association in soil solution as a factor of geochemical barrier's stability. The role of botanic gardens in the conservation and monitoring of biodiversity. The collection of materials of the International scientific conference devoted to the 100th anniversary of the Southern Federal University. 27 – 30 May 2015 Rostov-on-Don: Southern Federal University Publishing House, pp. 644–646.

[Endovitsky et al., 2016](#) – Endovitsky Anatoly P., Abdulmalik A. Batukaev, Tatiana M. Minkina, Valery P. Kalinichenko, Saglara S. Mandzhieva, Svetlana N. Sushkova, Nikolai A. Mischenko, Sirojdin Y. Bakoyev, Ali A. Zarmaev, Vaha U. Jusupov (2016). Ions association in soil solution as the cause of lead mobility and availability after application of phosphogypsum to chernozem // *Journal of Geochemical Exploration*, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.018>

[Gao et al., 2017](#) – Gao Yuqin, Yu Yuan, Huaizhi Wang, Arthur R. Schmidt, Kexuan Wang, Liu Ye (2017). Examining the effects of urban agglomeration polders on flood events in Qinhuai River basin, China with HEC-HMS model // *Water Science and Technology*, May, 75 (9) 2130–2138; doi: 10.2166/wst.2017.023

[Glazko, Sister, 2016](#) – Glazko VI, Sister VG (2016). Biogeosystem technique as a method to attenuate the conflict between bio-, agri- and techno- spheres // *Theoretical & Applied Science*, No 04(36): 46–68. SOI:<http://s-o-i.org/1.1/TAS-04-36-9>, doi:<http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2016.04.36.9>

[Jangra et al., 2017](#) – Jangra, P., Jhorar, R.K., Kumar, S., and Kamra, S.K. (2017). Performance Evaluation of a Traveller Irrigation System // *Irrig. and Drain.*, 66: 173–181. doi: 10.1002/ird.2097

[Jarvis et al., 2016](#) – Nicholas Jarvis, John Koestel, Mats Larsbo (2016). Understanding Preferential Flow in the Vadose Zone: Recent Advances and Future Prospects // *Vadose Zone Journal*, doi: 10.2136/vzj2016.09.0075

[Hassan-Esfahani, 2017](#) – Hassan-Esfahani, L., Torres-Rua, A., Jensen, A., and Mckee, M. (2017). Spatial Root Zone Soil Water Content Estimation in Agricultural Lands Using Bayesian-Based Artificial Neural Networks and High- Resolution Visual, NIR, and Thermal Imagery // *Irrig. and Drain.*, 66: 273–288. doi: 10.1002/ird.2098

[Kalinitchenko et al., 2016](#) – Kalinitchenko Valery, Abdulmalik Batukaev, Ali Zarmaev, Viktor Startsev, Vladimir Chernenko, Zaurbek Dikaev, Svetlana Sushkova (2016). Biogeosystem technique as the way to certainty of soil, hydrosphere, environment and climate // *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 18, EGU General Assembly. Vienna, EGU2016-3419

[Kalinichenko, 2016a](#) – Kalinitchenko Valery P. (2016). Optimizing the Matter Flow in Biosphere and the Climate of the Earth at the Stage of Technogenesis by Methods of Biogeosystem

Technique (Problem-Analytical Review) // *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (4), Is. 2, pp. 99–130. doi: 10.13187/ijep.2016.4.99

[Kalinitchenko, 2016b](#) – Kalinitchenko Valery P. (2016). Technologies and Technical Means for Matter Recycling into the Soil (Review) // *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (3), Is. 1, pp. 58–85. doi: 10.13187/ijep.2016.3.58

[Kalinitchenko et al., 2014](#) – Kalinitchenko V.P., A.A. Batukaev, A.A. Zarmaev, T.M. Minkina, V.F. Starcev, Z.S. Dikaev, A.S. Magomadov, V.U. Jusupov (2014). Biogeosystem technique as a contribution to global food sustainability // 248th ACS National Meeting & Exposition. 13TH Iupac international congress of pesticide chemistry. Crop, Environment, and Public Health Protection. Technologies for a Changing World. Co-sponsored by IUPAC and ACS-AGRO. August 10–14, 2014. San Francisco, California, USA. Abstracts. AGRO 143. p. 37.

[Kalinichenko et al., 2015a](#) – Kalinitchenko V.P., Zarmaev A.A., Minkina T.M., Startsev V.F., Usupov V.U. (2015). Implementation of the Principals of Geoethics to Technologies of Biosphere by Biogeosystem Technique // Role of botanic gardens in the conservation and monitoring of biodiversity. The collection of materials of the International scientific conference devoted to the 100th anniversary of the Southern Federal University. 27 – 30 May 2015 Rostov-on-Don: Southern Federal University Publishing House, pp. 452-456.

[Kalinichenko et al., 2015b](#) – Kalinichenko VP, Lyakhov VP, Yusupov VU, Khalilov RR. (2015). Biogeosystem technique as a new basis for the synthesis of ideas and attributes of national security in the 21st century // *State and Municipal government. Scientific notes SKAGS*, № 3, pp. 144–149.

[Kalinichenko et al., 2017](#) – Kalinitchenko Valery, Abdulmalik Batukaev, Magomed Batukaev, and Tatiana Minkina (2017). Biogeosystem Technique as a method to correct the climate // *Geophysical Research Abstracts* Vol. 19, EGU2017-2540, EGU General Assembly, Vienna.

[Meng, Li, 2017](#) – Meng Jin, Heng Li (2017). An efficient stochastic approach for flow in porous media via sparse polynomial chaos expansion constructed by feature selection // *Advances in Water Resources*, Vol. 105, July 2017, pp. 13–28. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.04.019>

[Miao et al., 2017](#) – Miao Xiuxiu, Kirill M. Gerke, Timofey O. Sizonenko (2017), A new way to parameterize hydraulic conductances of pore elements: A step towards creating pore-networks without pore shape simplifications // *Advances in Water Resources*, Vol. 105, July 2017, pp. 162–172. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.04.021>

[Mujtaba and Lee, 2017](#) – Mujtaba Ghulam, Kisay Lee (2017). Treatment of real wastewater using co-culture of immobilized *Chlorella vulgaris* and suspended activated sludge // *Water Research*, Vol. 120, 1 September 2017, pp. 174–184. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.04.078>

[Ochoa et al., 2014](#) – Ochoa Carlos, Steve Guldán, Alexander Fernald, Vince Tidwell, Emile Elias, Karina Gutierrez, and Mike Borman (2014). Surface water and shallow groundwater interactions in semiarid agro-ecosystems of the western USA // *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 16, EGU2014-3161

[Paredes et al., 2017](#) – Paredes Paula, Luis S. Pereira, Gonçalo C. Rodrigues, Nuno Botelho, Maria Odete Torres (2017). Using the FAO dual crop coefficient approach to model water use and productivity of processing pea (*Pisum sativum* L.) as influenced by irrigation strategies // *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 5–18. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.010>

[Rasmussen et al., 1972](#) – Rasmussen W.W., D.P. Moore and L.A. Alban (1972). Improvement of a Solonchic (Slick Spot) Soil by Deep Plowing, Subsoiling, and Amendments, *Soil Science Society of America Journal* 36:137-142 doi:10.2136/sssaj1972.03615995003600010032x

[Role of International..., 2017](#) – (2017). Role of International Research Program for Irrigation and Drainage (IRPID) // *Irrig. and Drain.*, 66: 141. doi:10.1002/ird.2120

[Salomé et al., 2017](#) – Salomé M.S. Shokri-Kuehni, Mansoureh Norouzi Rad, Colin Webb, Nima Shokri (2017). Impact of type of salt and ambient conditions on saline water evaporation from porous media // *Advances in Water Resources*, Vol. 105, July 2017, pp. 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.05.004>

[Shadman et al., 2017](#) – Shadman Veysi, Abd Ali Naseri, Saeid Hamzeh, Harm Bartholomeus (2017). A satellite based crop water stress index for irrigation scheduling in sugarcane fields //

Agricultural Water Management, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 70–86. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.016>

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

[Sikorska and Renard, 2017](#) – Sikorska Anna E. , Benjamin Renard (2017). Calibrating a hydrological model in stage space to account for rating curve uncertainties: general framework and key challenges // *Advances in Water Resources*, Vol. 105, July 2017, pp. 51–66. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.04.011>

Silva et al., 2014 – Silva Bruno Montoani, Érika Andressa da Silva, Geraldo César de Oliveira, Mozart Martins Ferreira, Milson Evaldo Serafim (2014). Plant-available soil water capacity: estimation methods and implications // *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Vol. 38, No. 2, Viçosa Mar./Apr. 2014 <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000200011>

[Terleev et al., 2016](#) – Terleev Vitaly , Aleksandr Nikonorov, Vladimir Badenko, Inna Guseva, Yulia Volkova, Olga Skvortsova, Sergey Pavlov, and Wilfried Mirschel (2016). Modeling of Hydrophysical Properties of the Soil as Capillary-Porous Media and Improvement of Mualem-Van Genuchten Method as a Part of Foundation Arrangement Research // *Advances in Civil Engineering*, Vol. 2016, Article ID 8176728, 7 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2016/8176728>

[Tran et al., 2017](#) – Tran Hai Nguyen, Sheng-Jie You, Ahmad Hosseini-Bandegharai, Huan-Ping Chao (2017). Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions: A critical review // *Water Research*, Vol. 120, 1 September 2017, pp. 88–116. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.04.014>

[Tyagi, 2017](#) – Tyagi, A.C. (2017). Role of Irrigation for Sustainable Food Production: outcomes of Second World Irrigation Forum // *Irrig. and Drain.*, 66: 289–290. doi: 10.1002/ird.2134

[Wahba, 2017](#) – Wahba, M.A.S. (2017). Assessment of Options for the Sustainable Use of Agricultural Drainage Water For Irrigation in Egypt by Simulation Modelling // *Irrig. and Drain.*, 66: 118–128. doi: 10.1002/ird.2029

[Wang et al., 2017](#) – Wang, T., T. E. Franz, R. Li, J. You, M. D. Shulski, and C. Ray (2017). Evaluating climate and soil effects on regional soil moisture spatial variability using EOFs // *Water Resour. Res.*, 53, doi:10.1002/2017WR020642

[West et al., 2017](#) – West Camilla, Steven Kenway, Maureen Hassall, Zhiguo Yuan (2017). Expert opinion on risks to the long-term viability of residential recycled water schemes: An Australian study // *Water Research*, Vol. 120, 1 September 2017, pp. 133–145. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.04.077>

[Willis et al., 2017](#) – Willis John L., Ahmed Al-Omari, Robert Bastian, Bill Brower, Christine DeBarbadillo, Sudhir Murthy, Christopher Peo, Zhiguo Yuan (2017). A greenhouse gas source of surprising significance: anthropogenic CO₂ emissions from use of methanol in sewage treatment // *Water Science and Technology*, May, 75 (9) 1997-2012; doi: 10.2166/wst.2017.033

[Zhu et al., 2016](#) – Zhu, X., Peters, T., and Neibling, H. (2016). Hydraulic Performance Assessment of Lesa at low Pressure // *Irrig. and Drain.*, 65: 530–536. doi: 10.1002/ird.1982

[Zhuang et al., 2017](#) – Zhuang L., C.R. Bezerra Coelho, S.M. Hassanizadeh, M.Th. van Genuchten (2017). Analysis of the Hysteretic Hydraulic Properties of Unsaturated Soil // *Vadose Zone Journal*, doi: 10.2136/vzj2016.11.0115

References

[Adzhiev et al., 2013](#) – Adzhiev A.M., Egorov E.A., Zarmaev A.A., Druzhinin E.A. (2013). Scientific and Applied Aspects of Innovative Development and Modernization of the Grapes and Wine Industry of Russia, Makhachkala.

[Balakay et al., 2017](#) – Balakay G.T., Vasiliev S.M., Babichev A.N. (2017). The concept of new generation irrigation machines for precision irrigation technology, *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*, No. 2(26), pp. 1–18. http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec477-field6.pdf

[Bezuglova, 2001](#) – Bezuglova OS (2001). Humus condition of soils of the South Russia, Rostov-on-Don: Publisher SKNC VSh, 228 p.

[Belitsyna et al., 1988](#) – Belitsyna GD, Vasilyevskaya VD, Grishina LA, Evdokimova TI (1988). Soil Science, Vol. 1, M.: Higher School, 400 c.

[Bronfman, Khlebnikov, 1985](#) – Bronfman A.M., Khlebnikov E.P. (1985). Azov sea. Bases for reconstruction / Ed. Prof. A.I. Simonov. L.: Gidrometeoizdat, 272 p.

[Voyevodina, 2011](#) – Voyevodina L.A. (2011). Influence of overwatering during the drip irrigation on land reclamation state, Ways to increase the efficiency of irrigated agriculture: coll. Art. FGNU "RosNIIPM" / Ed. VN Shchedrin, Novochoerkassk: Helikon, vol. 45, pp. 49–56.

[Voyevodina, 2016](#) – Voyevodina LA (2016). The structure of the soil and the factors that modify it under irrigation, *Russian Scientific Research Institute of Land Reclamation Journal*, No. 1 (21), pp. 134–154. http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec398-field6.pdf

[Golovina et al., 2017](#) – Golovina N.A., Yu.Ye. Domashenko, S.M. Vasiliev (2017). Development of environmentally safe filter element for drip irrigation, *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*, No. 2(26), pp. 144–155

[Zaitseva et al., 2013](#) – Zaitseva RI, Komarov, NM, Grishina RV, Kirichenko AV, Egorov, YV, Muromtsev NA (2013). Resistant varieties of spring barley in the phase of germination – the shoots to soil salinity and moisture deficit during the germination of seeds in solutions. The current state of chernozems. Mat. Int. Conf., September 24–26, 2013 Rostov-on-Don, pp. 113–116.

[Zarmaev, 2001](#) – Zarmaev AA (2001). Viticulture on the basis of adaptive intensification, *Wine-making and viticulture*, No. 3, pp. 28-30.

[Zarmaev, 2007](#) – Zarmaev AA (2007). Adaptive potential of grape varieties in the Chechen Republic, *Vestnik of Russian Agricultural Science*, No. 5, pp. 35-36.

[Zatinatsky et al., 2007](#) – Zatinatsky NV, Zeyliger AM. Guber AK, Khitrov NB (2007). Investigation of preferred moisture fluxes in meadow-chernozem soil of the Saratov Zavolzhye, *Pochvovedenie*, No. 5, pp. 585-599.

[Iljinskaya, Shkodina, 2009](#) – Iljinskaya IN, Shkodina OP (2009). Rationing of water drainage – a factor of water management / Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture. RosNIIPM: Novochoerkassk, 2009. Vol. 41. P. 74–84.

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

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

[Kalinichenko, 2010a](#) – Kalinichenko V.P. (2010). Patent for invention RU № 2386243 C1. Method of intra-soil pulse discrete plant watering. IPC A01G 25/06 (2006.01) A01C 23/02 (2006.01). Patent owner Kalinichenko V.P. Application No. 2009102490/12 16.01.09. Published 04/20/2010. Bul. №11. 9 p.: 4 fig.

[Kalinichenko, 2010b](#) – Kalinichenko V.P. (2010). Patent for invention RU No. 2411718 C2. The device for performing method of intra-soil pulse discrete plant watering. Patent owner Kalinichenko V.P. Application No. 2009110757/20 (016023) 30.03.09. Published 02/20/2010. Bul. №5. 10 p. : 2 fig.

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

[Kalinichenko, 2015](#) – Kalinichenko V. (2015). Creating soil supply systems and irrigation methods for botanical gardens on the method of Biogeosystem Technique // The role of botanic gardens in the conservation and monitoring of biodiversity. The collection of materials of the International scientific conference devoted to the 100th anniversary of the Southern Federal University. 27 – 30 May 2015 Rostov-on-Don: Southern Federal University Publishing House, pp. 50-54.

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

[Kalinichenko, 2017](#) – Kalinichenko VP (2017). Effective use of phosphogypsum in agriculture, *Bulletin of Plant Nutrition*, No. 1, p. 2.33.

[Kalinitchenko et al., 2012](#) – Kalinichenko VP, Zarmaev AA, Solntseva NG, Skovpen AN, AP Endovitsky, Boldyrev AA, AE Rychlik (2012). Rationale of Intrasoil discrete pulse concept of irrigation and its implementation, Proceedings of higher educational institutions. North Caucasus region. Series: Natural Sciences, No. 2, pp. 81-85.

[Kalinichenko et al., 2013a](#) – Kalinichenko V.P., Batukaev A.A., Zarmaev A.A., Chulkov V.V., Mamilov B.B., Chernenko V.V., Lohmanova O.I. (2013). Patent RU № 2498550 C2. Method of planting trees. IPC A01B 79/ 02. Application number 2012102879 (004261) from 27.01.2012. Published on 20.11.2013. Bull. No. 32. 4 p :fig.

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

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

[Mindubaev et al., 2015](#) – Mindubaev AZ, Voloshin AD, Gorbacuk EV, Kulik, NV, Alimov, FC, ST Minzanova, Mironova LG, Saparmuradov KA, Hayarov HR, Yahvarov DG (2015). Entering white phosphorus into the natural cycle of substances. Cultivation of resistant microorganisms, *Butlerov Communications*. 41, 54–81, roi: jbc-01/15-41-3-54

[Minkin et al., 1980](#) – Minkin MB, Babushkin VM, Sadimenko P.A. (1980). Solonetz of Southeast of Rostov region, Rostov-on-Don: The Publishing House of Rostov University, 272 p.

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

[Minkin et al., 1982](#) – Minkin MB, Gorbunov NI, Sadimenko PA (1982). Actual questions of physical and colloidal chemistry of soils, Rostov-on-Don: The Publishing House of Rostov University, 280 p.

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

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

[Nazarova, Kurvantaev, 2016](#) – Nazarova S., Kurvantaev R. (2016). Evolution and prognosis of the development of irrigated soils in the lower part of the Zerafshan valley, *Live and biocose systems*, № 17, URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-17/article-7>

[Prikhodko, 2003](#) – Prikhodko V.E. (2003). Development of soil in the Volga region under the influence of irrigation / Dissertation author's abstract on the degree of Doctor of Biological Sciences / Pushchino

[Rostov-on-Don, 2017](#) – Rostov-on-Don (2017), 02 June, 18:20 1 695, RBC: <http://rostov.rbc.ru/rostov/02/06/2017/593161e89a79476e75b4af1a?from=main>

[Ryzhakov et al., 2017](#) – Ryzhakov A.N., Shkura V.N., Shtanko A.S. (2017). Moisture contours profile formed by drop irrigation, *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*, No. 2(26), pp. 98–114. http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec483-field6.pdf

[Topunova et al., 2010](#) – Topunova IV, Prikhodko VE, Sokolova TA (2010). Influence of irrigation on the content and mineralogical composition of the clay fraction of chernozems in the Rostov Region (Bagaevsko-Sadkovskaya irrigation system), *Bulletin of Moscow University. Series 17: Soil Science*, № 1, pp. 3–10.

[Chaika and Gurina, 2017](#) – Chaika N.I., Gurina I.V. (2017). Ecological-meliorative and biological characteristics of plants root systems on Donbass coal mines waste dumps, *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*, No. 2(26), pp. 50–68. http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec480-field6.pdf

[Chizhikova, 1995](#) – Chizhikova N.P. (1995). Influence of irrigation on the change in the mineralogical composition of chernozems and chestnut soils, *Pochvovedenie*, No. 1, pp. 128-144.

[Shein et al., 2009](#) – Shein E.V., Umarova A.B., Sokolova I.V., Milanovskii E.Yu., Shcheglov D.I. (2009). Structural status of technogenic soils and the development of preferential water flows, *Eurasian Soil Science*, Vol. 42, No. 6, pp. 636-644.

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

Shtanko et al., 2017 – Shtanko A. S., Yu. Yu. Glushchenko, O. V. Voronov (2017). Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation Accuracy evaluation of approximation of isopleths position of local moisture countours under drip irrigation, *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*, No. 2(26), pp. 69–86. http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec481-field6.pdf

Yasonidi, 2011 – Yasonidi, O.E. (2011). Drip irrigation. Novocherkassk: Izd-vo NGMA, 322 p.

Ahmad and Khan, 2017 – Ahmad A., and Khan S. (2017). Water and Energy Scarcity for Agriculture: Is Irrigation Modernization the Answer?, *Irrig. and Drain.*, 66: 34–44. doi: 10.1002/ird.2021

Anvari et al., 2017 – Anvari S., Mousavi S. J. and Morid, S. (2017). Stochastic Dynamic Programming-Based Approach for Optimal Irrigation Scheduling under Restricted Water Availability Conditions, *Irrig. and Drain.*, Vol. 66, Is. 2, pp. 163–172, doi:10.1002/ird.2130

Banihabib, 2017 – Banihabib M.E., Zahraei A., and Eslamian, S. (2017). Dynamic Programming Model for the System of a Non-Uniform Deficit Irrigation and a Reservoir, *Irrig. and Drain.*, 66: 71–81. doi: 10.1002/ird.2055

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

Baule et al., 2017 – Baule William, Barry Allred, Jane Frankenberger, Debra Gamble, Jeff Andresen, Kpoti M. Gunn, Larry Brown (2017). Northwest Ohio crop yield benefits of water capture and subirrigation based on future climate change projections, *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.019>

Batukaev et al., 2016a – Batukaev Abdul-Malik A., Anatoly P. Endovitsky, Andrey G. Andreev, Valery P. Kalinichenko, Tatiana M. Minkina, Zaurbek S. Dikaev, Saglara S. Mandzhieva, and Svetlana N. Sushkova (2016). Ion association in water solution of soil and vadose zone of chestnut saline solonetz as a driver of terrestrial carbon sink, *Solid Earth*, 7, Iss. 2, 415-423, doi:10.5194/se-7-415-2016

Batukaev et al., 2016b – Batukaev Abdulmalik, Valery Kalinitchenko, Ali Zarmaev, Andrey Skoupen, Zaurbek Dikaev, Vaha Jusupov, Artem Rykhlik, Bauer Tatiana (2016). Biogeosystem technique as a base of Sustainable Irrigated Agriculture, EGU General Assembly. Vienna, 2016. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 18, EGU2016-3416

Battude et al., 2017 – Battude Marjorie, Ahmad Al Bitar, Aurore Brut, Tiphaine Tallec, Mireille Huc, Jérôme Cros, Jean-Jacques Weber, Ludovic Lhuissier, Vincent Simonneaux, Valérie Demarez (2017). Modeling water needs and total irrigation depths of maize crop in the south west of France using high spatial and temporal resolution satellite imagery, *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 123–136. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.018>

Bohle, 2017 – Bohle Martin (2017). Ideal-Type Narratives for Engineering a Human Niche, *Geosciences*, 7(1), 18; Published: 22 March 2017, doi:10.3390/geosciences7010018

Casanova et al., 2017 – Casanova L., M. Corell, M.P. Suárez, P. Rallo, M.J. Martín-Palomo, M.R. Jiménez (2017). Bruising susceptibility of Manzanilla de Sevilla table olive cultivar under Regulated Deficit Irrigation, *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.012>

Cuomo, 2017 – Cuomo, C. (2017). 'Anthropocene': An Ethical Crisis, Not a Geological Epoch, *Geophysical Research Abstracts* Vol. 19, EGU2017-17142.

de Vries et al., 2017 – de Vries Enno T., Amir Raoof, Martinus Th. van Genuchten (2017). Multiscale modelling of dual-porosity porous media; a computational pore-scale study for flow and solute transport, *Advances in Water Resources*, Vol. 105, July 2017, pp. 82–95. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.04.013>

Du et al., 2017 – Du, E., X. Cai, N. Brozović, and B. Minsker (2017), Evaluating the impacts of farmers' behaviors on a hypothetical agricultural water market based on double auction, *Water Resour. Res.*, 53, doi: 10.1002/2016WR020287

[El Gafy et al., 2017](#) – *El Gafy, I., Grigg, N., and Reagan, W.* (2017). Dynamic Behaviour of the Water–Food–Energy Nexus: Focus on Crop Production and Consumption, *Irrig. and Drain.*, 66: 19–33. doi: 10.1002/ird.2060

[Elsayed et al., 2017](#) – *Elsayed Salah, Mohamed Elhoweity, Hazem H. Ibrahim, Yaser Hassan Dewir, Hussein M. Migdadi, Urs Schmidhalter* (2017). Thermal imaging and passive reflectance sensing to estimate the water status and grain yield of wheat under different irrigation regimes, *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 98–110. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.05.001>

[Endovitsky et al., 2015](#) – *Endovitsky A.P., Batukaev A.A., Dikaev Z.S., Minkina T.M., Kalinichenko V.P., Sushkova S.N.* (2015). Ion's association in soil solution as a factor of geochemical barrier's stability. The role of botanic gardens in the conservation and monitoring of biodiversity. The collection of materials of the International scientific conference devoted to the 100th anniversary of the Southern Federal University. 27 – 30 May 2015 Rostov-on-Don: Southern Federal University Publishing House, pp. 644–646.

[Endovitsky et al., 2016](#) – *Endovitsky Anatoly P., Abdulmalik A. Batukaev, Tatiana M. Minkina, Valery P. Kalinichenko, Saglara S. Mandzhieva, Svetlana N. Sushkova, Nikolai A. Mischenko, Sirojdin Y. Bakoyev, Ali A. Zarmaev, Vaha U. Jusupov* (2016). Ions association in soil solution as the cause of lead mobility and availability after application of phosphogypsum to chernozem, *Journal of Geochemical Exploration*, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.018>

[Gao et al., 2017](#) – *Gao Yuqin, Yu Yuan, Huaizhi Wang, Arthur R. Schmidt, Kexuan Wang, Liu Ye* (2017). Examining the effects of urban agglomeration polders on flood events in Qinhuai River basin, China with HEC-HMS model, *Water Science and Technology*, May, 75 (9) 2130-2138; doi: 10.2166/wst.2017.023

[Glazko, Sister, 2016](#) – *Glazko VI, Sister VG* (2016). Biogeosystem technique as a method to attenuate the conflict between bio-, agri- and techno- spheres, *Theoretical & Applied Science*, No 04(36): 46-68. SOI:<http://s-o-i.org/1.1/TAS-04-36-9>, doi:<http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2016.04.36.9>

[Jangra et al., 2017](#) – *Jangra, P., Jhorar, R.K., Kumar, S., and Kamra, S.K.* (2017). Performance Evaluation of a Traveller Irrigation System, *Irrig. and Drain.*, 66: 173–181. doi: 10.1002/ird.2097

[Jarvis et al., 2016](#) – *Nicholas Jarvis, John Koestel, Mats Larsbo* (2016). Understanding Preferential Flow in the Vadose Zone: Recent Advances and Future Prospects, *Vadose Zone Journal*, doi: 10.2136/vzj2016.09.0075

[Hassan-Esfahani, 2017](#) – *Hassan-Esfahani, L., Torres-Rua, A., Jensen, A., and Mckee, M.* (2017). Spatial Root Zone Soil Water Content Estimation in Agricultural Lands Using Bayesian-Based Artificial Neural Networks and High- Resolution Visual, NIR, and Thermal Imagery, *Irrig. and Drain.*, 66: 273–288. doi: 10.1002/ird.2098

[Kalinichenko et al., 2016](#) – *Kalinichenko Valery, Abdulmalik Batukaev, Ali Zarmaev, Viktor Startsev, Vladimir Chernenko, Zaurbek Dikaev, Svetlana Sushkova* (2016). Biogeosystem technique as the way to certainty of soil, hydrosphere, environment and climate, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 18, EGU General Assembly. Vienna, EGU2016-3419

[Kalinichenko, 2016a](#) – *Kalinichenko Valery P.* (2016). Optimizing the Matter Flow in Biosphere and the Climate of the Earth at the Stage of Technogenesis by Methods of Biogeosystem Technique (Problem-Analytical Review), *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (4), Is. 2, pp. 99–130. doi: 10.13187/ijep.2016.4.99

[Kalinichenko, 2016b](#) – *Kalinichenko Valery P.* (2016). Technologies and Technical Means for Matter Recycling into the Soil (Review) // *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (3), Is. 1, pp. 58–85. doi: 10.13187/ijep.2016.3.58

[Kalinichenko et al., 2014](#) – *Kalinichenko V.P., A.A. Batukaev, A.A. Zarmaev, T.M. Minkina, V.F. Starcev, Z.S. Dikaev, A.S. Magomadov, V.U. Jusupov* (2014). Biogeosystem technique as a contribution to global food sustainability // 248th ACS National Meeting & Exposition. 13TH IUPAC INTERNATIONAL CONGRESS OF PESTICIDE CHEMISTRY. Crop, Environment, and Public Health Protection. Technologies for a Changing World. Co-sponsored by IUPAC and ACS-AGRO. August 10–14, 2014. San Francisco, California, USA. Abstracts. AGRO 143. p. 37.).

[Kalinichenko et al., 2015a](#) – Kalinitchenko V.P., Zarmaev A.A., Minkina T.M., Startsev V.F., Usupov V.U. (2015). Implementation of the Principals of Geoethics to Technologies of Biosphere by Biogeosystem Technique, Role of botanic gardens in the conservation and monitoring of biodiversity. The collection of materials of the International scientific conference devoted to the 100th anniversary of the Southern Federal University. 27 – 30 May 2015 Rostov-on-Don: Southern Federal University Publishing House, pp. 452-456.

[Kalinichenko et al., 2015b](#) – Kalinichenko VP, Lyakhov VP, Yusupov VU, Khalilov RR. (2015). Biogeosystem technique as a new basis for the synthesis of ideas and attributes of national security in the 21st century, *State and Municipal government. Scientific notes SKAGS*, № 3, pp. 144–149.

[Kalinichenko et al., 2017](#) – Kalinitchenko Valery, Abdulmalik Batukaev, Magomed Batukaev, and Tatiana Minkina (2017). Biogeosystem Technique as a method to correct the climate, *Geophysical Research Abstracts* Vol. 19, EGU2017-2540, EGU General Assembly, Vienna.

[Meng, Li, 2017](#) – Meng Jin, Heng Li (2017). An efficient stochastic approach for flow in porous media via sparse polynomial chaos expansion constructed by feature selection, *Advances in Water Resources*, Vol. 105, July 2017, pp. 13–28. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.04.019>

[Miao et al., 2017](#) – Miao Xiuxiu, Kirill M. Gerke, Timofey O. Sizonenko (2017), A new way to parameterize hydraulic conductances of pore elements: A step towards creating pore-networks without pore shape simplifications, *Advances in Water Resources*, Vol. 105, July 2017, pp. 162–172. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.04.021>

[Mujtaba and Lee, 2017](#) – Mujtaba Ghulam, Kisay Lee (2017). Treatment of real wastewater using co-culture of immobilized *Chlorella vulgaris* and suspended activated sludge, *Water Research*, Vol. 120, 1 September 2017, pp. 174–184. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.04.078>

[Ochoa et al., 2014](#) – Ochoa Carlos, Steve Guldán, Alexander Fernald, Vince Tidwell, Emile Elias, Karina Gutierrez, and Mike Borman (2014). Surface water and shallow groundwater interactions in semiarid agro-ecosystems of the western USA, *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 16, EGU2014-3161

[Paredes et al., 2017](#) – Paredes Paula, Luis S. Pereira, Gonçalo C. Rodrigues, Nuno Botelho, Maria Odete Torres (2017). Using the FAO dual crop coefficient approach to model water use and productivity of processing pea (*Pisum sativum* L.) as influenced by irrigation strategies, *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 5–18. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.010>

[Rasmussen et al., 1972](#) – Rasmussen W.W., D.P. Moore and L.A. Alban (1972). Improvemet of a Solonetzic (Slick Spot) Soil by Deep Plowing, Subsoiling, and Amendments, *Soil Science Society of America Journal* 36:137-142 doi:10.2136/sssaj1972.03615995003600010032x

[Role of International..., 2017](#) – (2017). Role of International Research Program for Irrigation and Drainage (IRPID), *Irrig. and Drain.*, 66: 141. doi:10.1002/ird.2120

[Salomé et al., 2017](#) – Salomé M.S. Shokri-Kuehni, Mansoureh Norouzi Rad, Colin Webb, Nima Shokri (2017). Impact of type of salt and ambient conditions on saline water evaporation from porous media, *Advances in Water Resources*, Vol. 105, July 2017, pp. 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.05.004>

[Shadman et al., 2017](#) – Shadman Veysi, Abd Ali Naseri, Saeid Hamzeh, Harm Bartholomeus (2017). A satellite based crop water stress index for irrigation scheduling in sugarcane fields, *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 70–86. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.016>

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

[Sikorska and Renard, 2017](#) – Sikorska Anna E , Benjamin Renard (2017). Calibrating a hydrological model in stage space to account for rating curve uncertainties: general framework and key challenges // *Advances in Water Resources*, Vol. 105, July 2017, pp. 51–66. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.04.011>

[Silva et al., 2014](#) – Silva Bruno Montoani, Érika Andressa da Silva, Geraldo César de Oliveira, Mozart Martins Ferreira, Milson Evaldo Serafim (2014). Plant-available soil water capacity: estimation methods and implications, *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Vol. 38, No. 2, Viçosa Mar./Apr. 2014 <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000200011>

Terleev et al., 2016 – Terleev Vitaly, Aleksandr Nikonorov, Vladimir Badenko, Inna Guseva, Yulia Volkova, Olga Skvortsova, Sergey Pavlov, and Wilfried Mirschel (2016). Modeling of Hydrophysical Properties of the Soil as Capillary-Porous Media and Improvement of Mualem-Van Genuchten Method as a Part of Foundation Arrangement Research, *Advances in Civil Engineering*, Vol. 2016, Article ID 8176728, 7 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2016/8176728>

Tran et al., 2017 – Tran Hai Nguyen, Sheng-Jie You, Ahmad Hosseini-Bandegharai, Huan-Ping Chao (2017). Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions: A critical review, *Water Research*, Vol. 120, 1 September 2017, pp. 88–116. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.04.014>

Tyagi, 2017 – Tyagi, A.C. (2017). Role of Irrigation for Sustainable Food Production: outcomes of Second World Irrigation Forum, *Irrig. and Drain.*, 66: 289–290. doi: 10.1002/ird.2134

Wahba, 2017 – Wahba, M.A.S. (2017). Assessment of Options for the Sustainable Use of Agricultural Drainage Water For Irrigation in Egypt by Simulation Modelling, *Irrig. and Drain.*, 66: 118–128. doi: 10.1002/ird.2029

Wang et al., 2017 – Wang, T., T. E. Franz, R. Li, J. You, M. D. Shulski, and C. Ray (2017). Evaluating climate and soil effects on regional soil moisture spatial variability using EOFs, *Water Resour. Res.*, 53, doi:10.1002/2017WR020642

West et al., 2017 – West Camilla, Steven Kenway, Maureen Hassall, Zhiguo Yuan (2017). Expert opinion on risks to the long-term viability of residential recycled water schemes: An Australian study, *Water Research*, Vol. 120, 1 September 2017, pp. 133–145. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.04.077>

Willis et al., 2017 – Willis John L., Ahmed Al-Omari, Robert Bastian, Bill Brower, Christine DeBarbadillo, Sudhir Murthy, Christopher Peo, Zhiguo Yuan (2017). A greenhouse gas source of surprising significance: anthropogenic CO₂ emissions from use of methanol in sewage treatment, *Water Science and Technology*, May, 75 (9) 1997-2012; doi: 10.2166/wst.2017.033

Zhu et al., 2016 – Zhu, X., Peters, T., and Neibling, H. (2016). Hydraulic Performance Assessment of Lesa at low Pressure, *Irrig. and Drain.*, 65: 530–536. doi: 10.1002/ird.1982

Zhuang et al., 2017 – Zhuang L., C.R. Bezerra Coelho, S.M. Hassanizadeh, M.Th. van Genuchten (2017). Analysis of the Hysteretic Hydraulic Properties of Unsaturated Soil, *Vadose Zone Journal*, doi: 10.2136/vzj2016.11.0115

УДК 631.67: 574.42

Способ внутрипочвенного импульсного непрерывно-дискретного увлажнения (модельный эксперимент)

Артём Эдуардович Рыхлик ^{a, *}, Ольга Степановна Безуглова ^b

^a Институт плодородия почв юга России, Российская Федерация

^b Южный федеральный университет, Российская Федерация

Аннотация. Общепринятая имитационная фронтальная гравитационная непрерывно-изотропная парадигма ирригации и дренажа приводит к отрицательным результатам в виде разрушения почв и природно-территориальных комплексов, утраты пресной воды. Для экспериментального обоснования новой внутрипочвенной импульсной непрерывно-дискретной парадигмы ирригации, которая предложена в рамках научно-технического направления «биogeосистемотехника», выполнен модельный эксперимент с целью изучения последствий процесса увлажнения почвы при разных способах полива. Элементы модельной системы – пластмассовые прозрачные цилиндры высотой 20 см, диаметром 5 см, в которые помещалась почва – чернозем обыкновенный, насыпной образец из слоя 0–30 см, перетертый, с уплотнением до состояния, близкого к естественному сложению и плотности. Импульсную непрерывно-дискретную подачу

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: tyoma-4444@yandex.ru (А.Э. Рыхлик)

воды внутрь почвы имитировали с помощью шприца медицинского 20 мл, иглы медицинской спинальной длиной 12 см. Эксперимент проводили с культурой ячменя ярового на начальном этапе органогенеза при естественной инсоляции. Выполняли поверхностный полив, дождевание, капельный полив, и новый внутрипочвенный импульсный континуально-дискретный способ увлажнения почвы. После поверхностного полива, дождевания, капельного полива наблюдали просачивание воды сквозь почву в количестве 30–50 % объема водоподачи, после полива наблюдали общее проседание поверхности, образование на ней корки. При капельном поливе проседание поверхности и образование корки шло локально непосредственно под капельницей. При внутрипочвенном импульсном континуально дискретном увлажнении почву увлажняли цилиндр 5-15 см глубиной, диаметром 5 см, поверхность почвы сохраняется в том же виде, что и после засыпки экспериментальной емкости почвой, корка не образуется. В модельной системе растения ячменя при новом способе увлажнения были развиты лучше, а расход воды был в 1,5–2,5 раза меньше, чем при стандартных способах полива растений. Модельный эксперимент выполнили в фокусе разработки роботизированной внутрипочвенной импульсной континуально-дискретной системы увлажнения почвы.

Ключевые слова: моделирование, поверхностный полив, дождевание, капельный полив, образование корки, биогеосистемотехника импульсный континуально-дискретный способ увлажнения почвы, ячмень, органогенез.