

Р. Е. Юркова (ФГБНУ «РосНИИПМ»)

ПРИЕМЫ ИНАКТИВАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

Целью работы являлось выявление оптимальных компонентов для приготовления мелиорантов и удобрительно-мелиорирующих компостов (УМК), определение их поглотительной способности по отношению к тяжелым металлам и их влияния на свойства чернозема обыкновенного террасового орошаемого в лабораторном и полевом опытах.

В статье представлены результаты лабораторных исследований по созданию удобрительно-мелиорирующих компостов на основе глауконита, фосфогипса и птичьего помета. Выбраны оптимальные соотношения компостов, обладающие наилучшими удобрительными и мелиорирующими свойствами: птичий помет с фосфогипсом, птичий помет с глауконитом и птичий помет с фосфогипсом и глауконитом в равных пропорциях. Для доказательства роли компостов в инактивации тяжелых металлов приведены результаты лабораторных опытов с загрязнением почвы до I, II, III ПДК цинка, меди, никеля, свинца и кадмия.

Проведенные исследования в лабораторных и полевых опытах показали, что предложенные УМК способствовали не только улучшению мелиоративного состояния орошаемых черноземов, восстановлению их плодородия, но и снижали негативное воздействие на них загрязняющих веществ.

Ключевые слова: фосфогипс, глауконит, птичий помет, удобрительно-мелиорирующие компосты, щелочность, солонцеватость, тяжелые металлы, подвижные формы, инактивация.

R. E. Yurkova (FSBSE “RSRILIP”)

METHODS FOR INACTIVATION OF HEAVY METALS AND SOIL FERTILITY RESTORATION OF IRRIGATED LANDS

The objective of the study was the detection of optimal amendments composition for preparing fertilizing ameliorative composts, their absorptive capacity estimation regarding to heavy metals and their impact on soil properties of ordinary terraced irrigated chernozems in laboratory and field experiments.

The paper presents the results of laboratory researches in creation of fertilizing ameliorative composts on the base of glauconite, phosphogypsum and bird droppings. The optimal ratios of amendments were chosen. The best fertilizing and ameliorative properties have composts containing bird droppings and phosphogypsum; bird droppings and glauconite; bird droppings, glauconite and phosphogypsum in equal proportion. For the proof of the composts role in soil inactivation from heavy metals the results of laboratory experiments are presented. During these experiments soil was contaminated with single, double and triple maximum allowable concentration of zinc, copper, nickel lead and cadmium.

The conducted laboratory and field researches showed that proposed fertilizing ameliorative composts enable to improve the ameliorative state of irrigated chernozems, restore their fertility and decrease the negative impact of pollutants as well.

Keywords: phosphogypsum, glauconite, bird droppings, fertilizing-ameliorative composts, alkalinity, heavy metals, mobile forms, inactivation.

За длительный период в сельском хозяйстве накоплен большой опыт по улучшению плодородия орошаемых земель, имеющих те или иные неблагоприятные свойства, и выявлены эффективные способы восстановления их плодородия [1, 2, 3]. Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ) также оказывает негативное влияние на свойства почв, количественные и качественные показатели сельскохозяйственной продукции.

Особенно актуальна эта проблема для орошаемых земель, так как без проведения профилактических мероприятий, направленных на снижение выщелачивания кальция и обогащение почв органикой, плодородие снижается, загрязненность прогрессирует [4, 5]. Учитывая современное неблагоприятное состояние сельскохозяйственных угодий необходимо разрабатывать приемлемые комплексы мероприятий по поддержанию плодородия орошаемых земель, которые могут с наибольшим эффектом улучшить такие почвы и в то же время быть доступными для сельхозпроизводителей.

В последние годы для мелиорации солонцовых почв и профилактики процессов осолонцевания и ощелачивания предпочтение отдается органоминеральным компостам, которые не только снижают содержание обменного натрия в почвенном поглощающем комплексе при одновременном увеличении кальция, разрыхляют почву, но и создают условия для развития микробиологической деятельности, гумификации, оптимизации питательного режима. Их использование целесообразно и для осуществления приемов по инаktivации загрязнителей, в том числе тяжелых металлов.

Методы исследований. Объект исследований – чернозем обыкновенный террасовый II-ой надпойменной террасы р. Дон.

Поставлены лабораторные эксперименты по созданию компостов, в состав которых входили компоненты, способствующие снижению содержания тяжелых металлов в почве или переводу их в состояние, менее доступное растениям, и их влияние на свойства чернозема. Проведены по-

левые исследования по определению поглотительной способности по отношению к ТМ созданных удобрительно-мелиорирующих компостов и их влияние на физико-химические и агрохимические свойства чернозема обыкновенного орошаемого.

Схема полевого опыта:

- 1) контроль;
- 2) птичий помет (Пп) – 16 т/га;
- 3) фосфогипс (Ф) – 10 т/га;
- 4) глауконит (Гл.) – 13 т/га;
- 5) компост (Пп + Ф 1:1);
- 6) компост (Пп + Гл. 1:1);
- 7) компост (Пп + Ф + Гл. 1:1:1).

Исследования выполнялись по общепринятым методикам.

При выборе компонентов удобрительно-мелиорирующих компостов были соблюдены необходимые требования [6]. Согласно этим требованиям, для приготовления компостов были выбраны фосфогипс, глауконит и птичий помет. Фосфогипс и глауконит являются кальцийсодержащими веществами, кроме этого, глауконит обладает адсорбирующими свойствами, птичий помет интересен как наиболее доступное на данный период органическое удобрение.

Результаты исследований. Проведена оценка компостов для определения оптимальных соотношений мелиорантов и органических удобрений – птичьего помета, фосфогипса, глауконита по мелиорирующей основе, определяемой в пересчете на чистый гипс, и питательной основе (согласно требованиям органического вещества должно быть не менее 40 %). Обязательным условием компостов является экологическая чистота, то есть содержание в них тяжелых металлов не должно превышать предельно-допустимой концентрации (ПДК). Установлено, что такое превышение не имело место ни в одном из испытываемых компостов [7].

Проанализировав удобрительные и мелиорирующие свойства различных сочетаний компостов для закладки лабораторных опытов, выбраны варианты с оптимальными соотношениями: Пп + Ф в соотношении 1:1; Пп + Ф – 1:2; Пп + Гл. – 1:1; Пп + Гл. – 1:2; Пп + Ф + Гл. – 1:1:1; Пп + Ф + Гл. – 2:0,5:1.

Для доказательства роли компостов в инактивации тяжелых металлов проведены лабораторные опыты с загрязнением почвы до I, II, III ПДК ТМ цинком, медью, никелем, свинцом и кадмием при их совместном внесении. За систему отсчета количества ТМ в почве была принята ПДК валовых форм для Cu 55 мг/кг, Zn – 100, Pb – 30, Ni – 85, Cd – 3 мг/кг.

Выявлено снижение содержания ТМ на всех вариантах, но наибольший результат получен при внесении Пп + Ф + Гл, Пп + Ф и Пп + Гл. в соотношениях 1:1:1 и 1:1. Моделирование техногенного загрязнения почвы показало высокую эффективность применения выбранных компостов, способствующих очистке и детоксикации почв от тяжелых металлов.

Чем выше плодородие почвы, тем она устойчивее к воздействию химических загрязняющих веществ. Исходя из этих позиций, при компостировании возможна оптимизация свойств чернозема. В лабораторных условиях изучено влияние компостов на свойства черноземов. В почвах после их промывки, необходимой для удаления продуктов химических реакций при мелиорации, определены щелочность и солонцеватость. Эти свойства, особенно в условиях орошения, способствуют потере почвенного плодородия – потере из почвы кальция, ухудшению структурного состояния, увеличению плотности почв, снижению содержания и качества гумуса (переходу его в более подвижные формы).

В почвах после промывки на контроле рН суспензии составила 8,2, щелочность – 1,9 мг-экв./100 г, что характеризует почву как сильнощелочную.

Предложенные нами компосты для детоксикации тяжелых металлов снижали щелочность, которая оценивалась по pH суспензии и по содержанию гидрокарбонатных ионов, связанных с натрием и магнием в водной вытяжке [2].

В компостах по этому показателю проявилась закономерность – фосфогипсодержащие компосты нейтрализовали щелочность почв в большей степени, чем глауконитодержащие. Промелиорированные фосфогипсодержащими компостами почвы стали слабощелочными, глауконитодержащими – среднещелочными. На всех вариантах опыта, кроме контроля и варианта с внесением птичьего помета, содержание поглощенного натрия снизилось в 1,5-3 раза.

После проведения лабораторного эксперимента непосредственно с почвой и анализа его результатов, учитывая, что глауконит – местная минеральная залежь и отличается дешевизной доставки, для закладки полевого опыта предпочли компосты: Пп + Ф; Пп + Гл. и Пп + Ф + Гл. с соотношениями 1:1 и 1:1:1 как наиболее эффективные по своим свойствам.

Полевой опыт проведен на орошаемых участках чернозема обыкновенного. Чернозем обыкновенный характеризовался солонцеватостью, щелочностью, низким содержанием кальция в почвенно-поглощающем комплексе (ППК) и водной вытяжке, низким содержанием гумуса.

Опытные участки исследованы на содержание тяжелых металлов в почве. При характеристике загрязнения сопоставлены уровни загрязнения ТМ (валовые формы) с фоновым уровнем (содержанием элементов в почвах, близких к нормальным условиям). Для цинка фоновый уровень – 50 мг/кг, никеля – 40, меди – 20, свинца – 10 мг/кг [8]. Содержание этих металлов в почве экспериментального участка в среднем выше фонового уровня, но ниже ПДК.

Согласно оценке почв по степени загрязнения химическими веществами в данном случае возможно использование их под любые культуры,

но необходимо проведение мероприятий по снижению уровня воздействия источников загрязнения и доступности токсикантов для растений.

Одной из поставленных задач было изучение изменения физико-химических свойств почвы под влиянием мелиорантов (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние удобрительно-мелиорирующих компостов на свойства в слое 0-40 см чернозема обыкновенного длительно орошаемого (ГП «Батайское»)

Варианты опыта	рН водный (1:25)	Сумма ионов, %	Токсичные соли, %	Щелочность	Сумма ППК	% от Σ ППК		
				мг-экв./100 г		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
До мелиорации								
Контроль	8,1	0,131	0,060	1,2	29,4	66	27	7
3-й год последствий								
Контроль	8,3	0,139	0,068	1,4	28,9	65	27	8
Птичий помет	8,1	0,132	0,067	1,4	30,0	67	26	7
Фосфогипс	7,2	0,091	0,044	0,5	32,1	80	18	2
Глауконит	7,5	0,114	0,056	0,7	30,8	70	27	3
Пп + Ф	7,4	0,094	0,045	0,4	31,7	82	17	1
Пп + Гл.	7,6	0,126	0,059	0,7	31,2	78	19	3
Пп + Ф + Гл.	7,3	0,086	0,044	0,6	32,1	84	15	1

Содержание водорастворимых солей в слое 0-40 см чернозема в течение трех лет проведения опыта на контроле практически не изменилось и оставалось на уровне предельно-допустимых параметров. Фосфогипс и фосфогипсодержащие компосты содействовали снижению содержания водорастворимых солей уже с первого года их последствий.

На контроле и вариантах с Пп и Гл. щелочность в течение трех лет была выше предельно-допустимых параметров (ПДП). К третьему году последствий наилучшими вариантами по снижению щелочности являлись Пп + Ф, Ф и Пп + Ф + Гл.

Аналогичная картина наблюдалась и с показателями рН водной суспензии: на контроле и на вариантах с Пп реакция почвенной среды в течение трех лет оставалась выше 8 единиц. Улучшение состава ППК более всего происходило при внесении Пп + Ф, Пп + Ф + Гл. и Ф. На этих вариантах содержание поглощенного натрия к третьему году последствий

было оптимальным. С уменьшением обменного Na^+ и Mg^{2+} ППК обогащался кальцием и на лучших вариантах к третьему году последствия соответствовал оптимальным параметрам. Птичий помет не содействовал улучшению физико-химических свойств деградированного чернозема.

К третьему году последствия наибольший мелиорирующий и удобрительный эффект был получен на вариантах с компостами Пп + Ф, Пп + Гл., Пп + Ф + Гл.: в слое почвы 0-20 см в сравнении с контролем нормализовалась реакция среды, снизилась солонцеватость до уровня оптимальных параметров ($< 3 \%$ от ППК). Фосфогипсодержащие компосты оптимизировали физико-химические свойства деградированного чернозема уже с первого года последствия, глауконитосодержащие, как более медленнодействующие, снизили щелочность и солонцеватость только к третьему году.

В исходном состоянии (до мелиорации) черноземы были уплотнены, плотность почвы составляла $1,26 \text{ т/м}^3$. Порозность в слое почвы 0-20 см относилась к категории удовлетворительной, глубже – к неудовлетворительной. Птичий помет на третий год последствия способствовал некоторому разуплотнению почв. Видимо, птичий помет, имея реакцию ближе к щелочной, не способствовал агрегации почвенной массы и образованию агрегатов, а незначительное разуплотнение объясняется разбавлением почвы органикой. Внесение фосфогипса обеспечивало подкисление почвенного раствора, в результате чего происходила коагуляция мелких частиц в более крупные и образование структуры. К третьему году плотность уменьшилась на 11% , коэффициент дисперсности – в $1,5$ раза.

Глаукониты с нейтральной реакцией обладали более слабой активностью и их действие нарастало с каждым годом. На третий год последствия глауконита и птичьего помета с глауконитом физические показатели имели только тенденцию к оптимизации.

При возделывании культур (картофеля, озимой пшеницы, люцерны на сено) в условиях орошения после трех лет последействия органо-минеральных компостов выявлено, что на вариантах с птичьим пометом и с компостами, приготовленными на его основе, наблюдались наименьшие потери гумуса, самые высокие и значительные – на варианте с внесением фосфогипса. На контроле гумус составлял 3,78 %, после внесения компоста – 3,68 %.

Следует отметить, что внесение мелиорантов и питательных элементов в виде компостов, выращивание культур, способствующих повышению плодородия земель, сохраняли и даже увеличивали содержание элементов питания орошаемых черноземов обыкновенных без внесения минеральных удобрений, исключая дополнительное загрязнение ТМ.

При проведении полевых опытов было определено содержание подвижных форм свинца, цинка, кадмия, меди и никеля, а также рассчитана сумма ТМ в этой форме до мелиорации и после трех лет последействия компостов (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние удобрительно-мелиорирующих компостов на содержание подвижных форм тяжелых металлов в слое 0-40 см мелиорируемого чернозема обыкновенного

Вариант опыта	Cu	Ni	Pb	Cd	Zn	Σ ТМ
До мелиорации, мг/кг						
Контроль	0,56	0,61	1,86	0,16	4,48	7,67
3-й год последействия, мг/кг						
Контроль	0,38	0,47	1,54	0,14	4,80	7,33
Пп	0,23	0,29	1,08	0,10	2,80	4,50
Ф	0,18	0,23	0,93	0,09	0,71	2,14
Гл.	0,17	0,19	0,90	0,09	1,71	3,06
Пп + Ф	0,21	0,25	0,94	0,10	1,26	2,42
Пп + Гл.	0,12	0,13	0,51	0,05	1,12	1,93
Пп + Ф + Гл.	0,15	0,15	0,54	0,06	0,88	1,80

Результаты свидетельствуют об уменьшении содержания подвижных форм ТМ по всем мелиорируемым вариантам по сравнению с контролем.

Наибольшему закреплению ТМ поддавались на вариантах с удобрительно-мелиорирующими компостами и фосфогипсом. Эффективное действие приемы оказали на цинк и никель, возможно, из-за большей их растворимости по сравнению с медью и свинцом.

Предпосылкой для внесения детоксикантов в почвы являлось представление, что этот прием переводит ТМ в менее доступные формы и этим снижает их накопление сельскохозяйственной продукцией. Полученные результаты позволяют судить о степени воздействия птичьего помета, фосфогипса, глауконита и компостов, приготовленных из них, на состояние Zn, Pb, Ni, Cd, Cu в исследуемой почве. Органическая составляющая компоста – птичий помет – наибольшее воздействие оказала на металлы на третий год. Недостаточное действие его в первые два года, возможно, обусловлено тем, что при внесении органического вещества в почву ТМ могут образовывать металлоорганические комплексы с подвижными низкомолекулярными органическими соединениями.

Применение фосфогипса в дозе 10 т/га уменьшало содержание в почве ТМ в первый год от 34 % до 59 %. При этом наибольший процент снижения содержания принадлежал Zn. По результатам второго года исследований концентрация Ni и Cu осталась на том же уровне, что и в первый год, Cd и Pb снизилась на 12-15 %, поглощение Zn составило уже 70 %.

Дальнейшее изучение внесения фосфогипса показало, что действие данного компонента стабилизировалось. По сравнению с первым годом активного поглощения элементов не наблюдалось, но тенденция сохранилась, показатель достиг уровня 45-77 %. Объяснением этого является быстрое действующая способность мелиоранта, который проявил себя лучше всего в первый год после внесения.

На варианте с применением глауконита в первый год проведения опыта отмечена меньшая степень поглощения металлов в подвижной фор-

ме по сравнению с фосфогипсом: содержание Cu уменьшилось на 28 %, Ni – 26 %, Pb – 21,5 %, Zn – 35 %. Концентрация Cd в почве не изменилась.

Достаточно высокие результаты получены на третий год исследований: содержание Zn уменьшилось на 72 %, Ni – 58 %, Pb – 51 %, Cd – 30 %, Cu – 55 %. Инактивация ТМ глауконитом наиболее эффективно проявилась на третий год последствия, что обусловлено низкой степенью растворимости компонента в первые годы и медленным действием на почвы.

Наиболее эффективным оказался вариант с внесением птичьего помета, фосфогипса и глауконита в соотношении 1:1:1. Степень воздействия данного компоста на подвижность тяжелых металлов в течение трех лет представлено на рисунке 1.

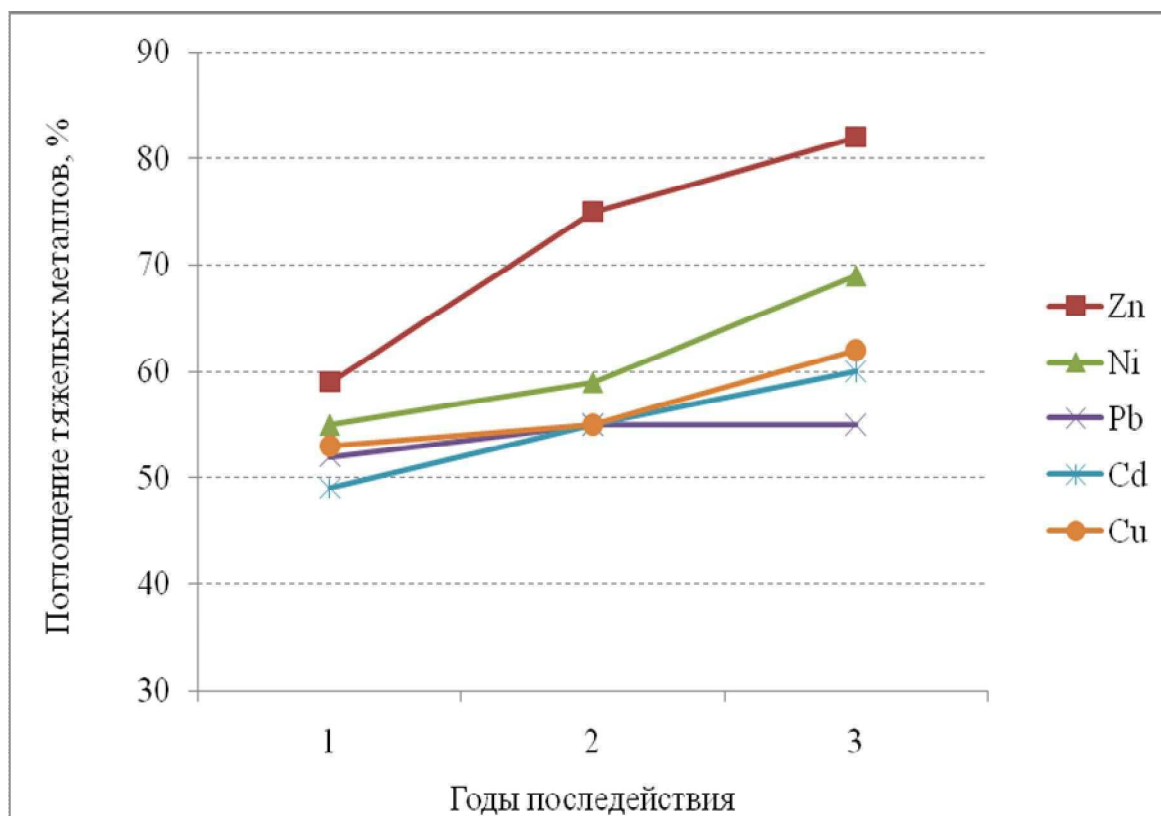


Рисунок 1 – Динамика воздействия компоста Пп + Ф + Гл. на поглощение тяжелых металлов в черноземе обыкновенном в слое 0-40 см

Из вышесказанного следует сделать выводы, что действие птичьего помета усилилось к третьему году, поглотительная способность фосфогипса активнее проявлялась в первый год последствия. Во второй и третий

годы наблюдений эффективность приемов инактивации глауконитом значительно больше, чем в первый. На варианте внесения птичьего помета и глауконита концентрация металлов снизилась, но менее чем на варианте с фосфогипсом и птичьим пометом в первый год опыта. Активность фосфогипса в начале и глауконита в конце стабилизировала последствие компостов на несколько лет. Совместное внесение трех компонентов показало наибольшее поглощение ТМ – от 49,0 % до 82,0 %, в том числе Ni и Zn – до 69,0 и 82,0 % соответственно.

Фосфогипсодержащие компосты в большей степени способствовали оптимизации физических свойств деградированного чернозема.

Глауконитосодержащие компосты, как более медленнодействующие мелиоранты, разуплотнили почву, улучшили аэрацию и структуру почв к третьему году последствия, но в меньшей степени, чем фосфогипсодержащие компосты.

Предложенные удобрительно-мелиорирующие компосты способствуют не только улучшению мелиоративного состояния орошаемых черноземов, восстановлению их плодородия, но и снижают негативное воздействие на них загрязняющих веществ.

Список использованных источников

1 Докучаева, Л. М. Негативные процессы в орошаемых почвах и пути их устранения / Л. М. Докучаева [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 1993. – № 5. – С. 14-16.

2 Зимовец, Б. А. Изменение щелочности почв при орошении в Нижнем Заволжье / Б. А. Зимовец // Бюллетень института им. В. В. Докучаева. – М., 1975. – Вып. IX. – С. 28-56.

3 Попов, А. А. Рекомендации по мелиорации почв солонцовых комплексов Ростовской области в условиях орошения / А. А. Попов, Н. С. Скуратов. – Новочеркасск, 1984. – 36 с.

4 Скуратов, Н. С. Использование и охрана орошаемых черноземов /

Н. С. Скуратов, Л. М. Докучаева, О. Ю. Шалашова. – М.: ЦНТИ «Мелио-
водинформ», 2001. – 246 с.

5 Деградация и охрана почв / под общей ред. акад. РАН Г. В. Добро-
вольского. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 561 с.

6 Воеводина, Л. А. Требования к промышленным отходам и местным
сырьевым ресурсам при приготовлении органо-минеральных компостов и
смесей / Л. А. Воеводина, О. Ю. Шалашова, С. Л. Гарин // Современные
проблемы мелиорации земель, пути и методы их решения: сб. науч. тр. /
ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2003. – Ч. 2. – С. 121-127.

7 Юркова, Р. Е. Загрязнение почв тяжелыми металлами и приемы их
инактивации в условиях орошения: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.02.03,
06.01.02 / Юркова Рита Евгеньевна. – Новочеркасск, 2006. – 151 с.

8 Методические рекомендации по обследованию и картографирова-
нию почвенного покрова по уровням загрязненности промышленными вы-
бросами. – М., 1987. – 26 с.

Юркова Рита Евгеньевна – кандидат сельскохозяйственных наук, Федеральное науч-
ное бюджетное государственное учреждение «Российский научный институт проблем
мелиорации», старший научный сотрудник.

Контактный телефон: 8(8635) 26-65-00. E-mail: rosniipm@yandex.ru.

Yurkova Rita Yevgenyevna – Candidate of Agricultural Sciences, Federal State Budget
Scientific-Research Establishment “Russian Scientific-Research Institute of Land Improve-
ment Problems”, Senior Researcher.

Contact telephone number: 8 (8635) 26-65-00. E-mail: rosniipm@yandex.ru.