

УДК 631.8:681.3.06

DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-26-38

В. А. Монастырский, А. Н. Бабичев, В. Иг. Ольгаренко

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ДОЗ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В ПРЕЦИЗИОННОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Целью работы являлось составление алгоритмов планирования агрокомплекса, на основе которых возможна разработка программного обеспечения, используемого в прецизионном земледелии для оптимизации минерального питания, и разработка программного обеспечения для расчета норм жидких органических удобрений при их дифференцированном внесении наряду с минеральными удобрениями. В ходе работы были выбраны основные сельскохозяйственные культуры, которые выращиваются при орошении в Ростовской области. Для этих культур разработаны алгоритмы планирования комплекса мер, позволяющих автоматизировать выбор элементов технологии возделывания. На их основе появилась возможность создания алгоритмов агрокомплекса для других сельскохозяйственных культур и автоматизации принятия правильного решения по их возделыванию. Приняв за основу составленные алгоритмы, разработали программу для расчета доз удобрений на программируемую урожайность. При разработке алгоритмов планирования и создании программы для расчета доз удобрений был использован метод, основанный на показателях почвенной диагностики, предполагающий доведение содержания подвижных форм элементов питания в почве до оптимального уровня. В настоящее время разработанная программа является самостоятельным и обособленным фрагментом комплекса разрабатываемых мероприятий для мониторинга агробиоценозов и оперативного реагирования на негативные изменения либо потребность в элементах жизнеобеспечения сельскохозяйственных культур. Дальнейшая разработка темы позволит в режиме реального времени производить мониторинг агробиоценозов на предмет содержания в почве питательных веществ и с использованием разработанного программного обеспечения при необходимости в короткие сроки вносить дифференцированные дозы минеральных удобрений на каждый микроучасток с учетом реальной потребности выращиваемой сельскохозяйственной культуры.

Ключевые слова: программа для расчета, минеральные и органические удобрения, точное земледелие, дозы и нормы удобрений.

V. A. Monastyrskiy, A. N. Babichev, V. Ig. Olgarenko

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

THE CALCULATION ALGORITHM FOR RATE OF FERTILIZER APPLICATION IN PRECISION FARMING

The aim of the work was to develop agro-complex planning algorithms on the basis of which it is possible to develop software used in precision farming to optimize mineral nutrition, and develop software for calculating the norms of liquid organic fertilizers with their differentiated application along with mineral fertilizers. In the course of the work the main agricultural crops grown under irrigation in Rostov region were selected. The algorithms for

planning a set of measures for these crops that allow automation of the selection of their cultivation technology elements have been developed. On their basis, the opportunity to create agro-complex algorithms for other crops and to automate the correct decision-making for their cultivation has grown. Taking these algorithms as a basis, the program for calculating fertilizer doses for programmable yield was developed. When developing planning algorithms and creating a program for calculating fertilizer doses, a method based on indicators of soil diagnostics was used, which implies bringing the content of mobile nutrients in soil to the optimum level. At present, the developed program is an independent and isolated fragment of a complex of developing measures for monitoring agrobiocenoses and prompt response to negative changes or the need for vital elements of agricultural crops. The further development of the theme will allow real-time monitoring of agrobiocenoses for nutrients in soil and to apply differentiated doses of mineral fertilizers on each micro-site using the developed software, if necessary, in a short period of time, taking into account the real needs of the cultivated crop.

Keywords: calculation program, mineral and organic fertilizers, precision agriculture, rates and amounts of fertilizers.

Введение. Усовершенствование ресурсосберегающих технологий в аграрной промышленности даст возможность производителям перейти на более совершенный этап производства, позволяющий им конкурировать с иностранными предприятиями [1–5]. Одним из основных элементов технологий ресурсосбережения в аграрном секторе является точное земледелие (ТЗ) [5–7].

Анализ работ зарубежных авторов демонстрирует результат, позволяющий сделать вывод, что применение ТЗ может обеспечить большую рентабельность, позволяет поддерживать плодородие почвы и экологический уровень получаемой сельскохозяйственной продукции [2–12]. Основа ТЗ заключается в том, что работа над получением урожая производится в зависимости от реальных потребностей выращиваемых на определенной площади культур [3–5, 9]. Необходимость ухода за растениями определяется с помощью современной техники и информационных технологий, включающих не только космическую съемку, но и использование спектральных камер, различных датчиков и N-тестеров. Одной из основных решаемых задач в современных условиях прецизионного земледелия является расчет и внесение оптимальных доз удобрений, а также определение доз их внесения, исключаящих негативное воздействие на почву и растения [10].

Улучшение питательной среды растений с помощью удобрений иг-

рает основную роль в повышении рентабельности выращивания сельскохозяйственных культур [12, 13]. Применение удобрений без учета потребности растений в них не может дать ожидаемой прибавки урожая и улучшить его качество [14–16].

Материалы и методы. Целью нашей работы являлось составление алгоритмов планирования агрокомплекса, на основе которых возможна разработка программного обеспечения, используемого в прецизионном земледелии для оптимизации минерального питания, а также разработка программного обеспечения для расчета норм жидких органических удобрений (ЖОУ) и их дифференцированного внесения наряду с минеральными удобрениями.

В настоящее время используется несколько методов расчета доз удобрений на программируемую урожайность. При разработке алгоритмов планирования и создании программы для расчета доз удобрений был использован метод, основанный на показателях почвенной диагностики и предполагающий доведение содержания элементов питания в почве до оптимального уровня. Чтобы рассчитать дозы по этому методу, необходимо получить исходные данные о наличии подвижных элементов питания в почве, знать оптимальную величину их содержания для определенного уровня урожайности и иметь информацию об изменении содержания этих форм в почве при внесении удобрений [16–18].

В ходе работы были выбраны основные культуры, которые выращиваются на орошаемых черноземах Ростовской области. Для этих культур разработаны алгоритмы планирования комплекса мер, позволяющих автоматизировать выбор элементов технологии возделывания. На основе сформированных алгоритмов разработан программный комплекс для расчета норм минеральных удобрений при возделывании различных сельскохозяйственных культур и автоматизации принятия оптимального решения по их возделыванию с учетом агрохимических свойств почвы.

Результаты и обсуждение. С целью разработки программы для расчета норм удобрений нами был составлен алгоритм действий [19, 20], включающий методику расчетов наличия в почве подвижных макроэлементов. Алгоритм расчета подвижных форм питательных веществ в почве представлен на рисунке 1.

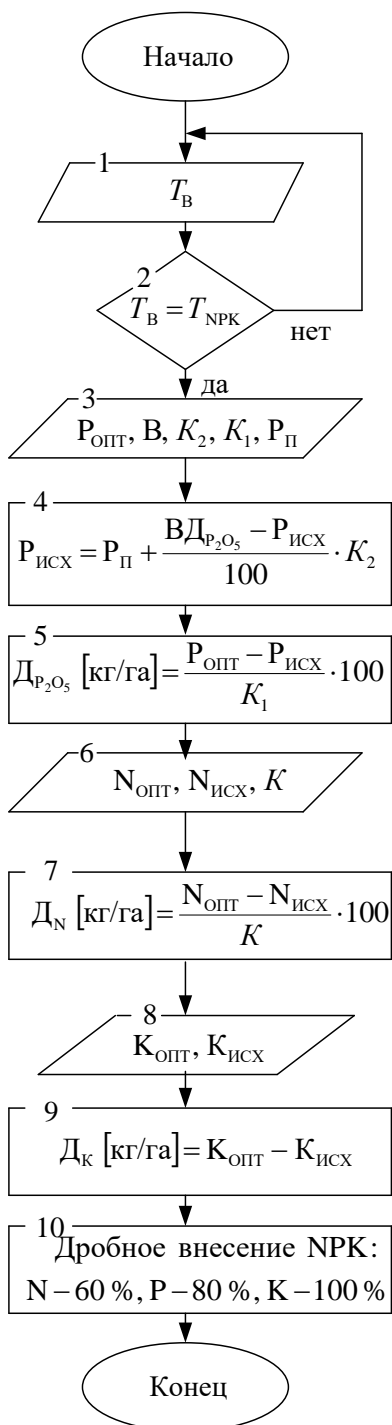


Рисунок 1 – Алгоритм планирования для расчета доз и сроков внесения удобрений [21]

Первый блок алгоритма обозначается аббревиатурой T_B и подразумевает под собой срок вспашки.

Во втором блоке алгоритма выполняется условие совпадения сроков внесения удобрений со сроком вспашки $T_B = T_{\text{НРК}}$.

Третий блок является блоком ввода данных (обозначения: $P_{\text{ОПТ}}$ – оптимальное содержание подвижного фосфора в почве, мг/кг; B – вынос P_2O_5 с уборкой первой культуры, кг/га; K_2 – увеличение содержания P_2O_5 , мг/кг; K_1 – повышение содержания P_2O_5 в почве осенью, к весне следующего года, мг/кг; $P_{\text{П}}$ – содержание подвижного фосфора в почве (до внесения P_2O_5 под первую культуру), мг/кг).

В четвертом блоке заложен расчет исходного (фактического) содержания подвижного фосфора в почве $P_{\text{ИСХ}}$, мг/кг, с учетом дозы P_2O_5 , внесенной под первую культуру, кг/га ($B D_{P_2O_5}$).

В пятом блоке алгоритма производится расчет необходимой дозы питательного вещества ($D_{P_2O_5}$) под запланированную урожайность.

Шестой блок отвечает за корректность ввода данных для расчета дозы азотных удобрений. Здесь $N_{\text{ОПТ}}$ – оптимальное содержание нитратного азота в слое 0–30 см весной, кг/га; $N_{\text{ИСХ}}$ – содержание нитратного азота осенью, после уборки предшественника, кг/га; K – увеличение запасов нитратного азота в слое 0–30 см от 100 кг/га азота удобрений, вносимых дробно, равными долями, кг/га.

В седьмом блоке алгоритма производится расчет необходимой дозы азотных удобрений D_N под запланированную урожайность, кг/га.

Функционал восьмого блока сопоставим с шестым и третьим и отвечает за корректность ввода данных для расчета доз калийных удобрений.

Расчет их производится в девятом блоке, где D_K – доза калия, кг/га; $K_{\text{ИСХ}}$ – исходное содержание калия в почве, кг/га; $K_{\text{ОПТ}}$ – оптимальное со-

держание калия в почве, кг/га. Также в алгоритме заложен расчет внесения основной (допосевной) дозы удобрений. Для основных сельскохозяйственных культур, выращиваемых на орошаемых землях Ростовской области, этот показатель составляет: N – 60 %, P – 80 %, K – 100 %.

Расчет доз удобрений в разработанной программе осуществляется в несколько этапов (рисунок 2).

| Содержание в почве, в слое 0-30 см, мг/кг почвы | | | планируемая урожайность т/га |
|---|----------------------|----------------------|------------------------------|
| N | P | K | |
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

| Необходимо внести в почву кг д.в./га | | |
|--------------------------------------|----------------------|----------------------|
| N | P | K |
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

Расчет

- картофель
- кукуруза на зерно
- кукуруза на силос
- кормовая свекла

Рисунок 2 – Ввод данных

Первым шагом является ввод исходных данных в активные ячейки с надстрочной надписью «Содержание в почве, в слое 0–30 см, мг/100 г почвы». Исходными данными являются результаты анализа почвенных образцов, полученных в результате изысканий. Данные о содержании N (азота), P (фосфора), K (калия) являются результатом химического анализа почвенных проб, отобранных в ООО «Агропредприятие «Бессергеновское» в 2016 г. на имеющихся опытных участках.

В процессе разработки программы были выбраны основные сельскохозяйственные культуры, выращиваемые в условиях Ростовской области. Среди них основные однолетние и многолетние травы на сено и зеленый корм, зерновые и зернобобовые, овощи, технические культуры. В нашем случае выбрана кукуруза на зерно.

Следующее действие – в окно ввода «планируемая урожайность» вносят показатель урожайности, для достижения которой требуется произ-

вести расчет доз удобрений. Средняя урожайность кукурузы на зерно в условиях орошения в Ростовской области составляет 11 т/га. При активации кнопки «Расчет» выполняется процесс расчета доз внесения удобрений под запланированную урожайность 11 т/га (рисунок 3).

| Содержание в почве, в слое 0-30 см, мг/кг почвы | | | планируемая урожайность т/га |
|---|--------|-------|------------------------------|
| N | P | K | |
| 20 | 60 | 310 | 11 |
| Необходимо внести в почву кг д.в./га | | | |
| N | P | K | |
| 223.00 | 192.00 | 59.00 | |

Расчет

кукуруза на зерно

- картофель
- кукуруза на зерно
- кукуруза на силос
- кормовая свекла

Рисунок 3 – Результат расчета

В нашем случае при номинальном содержании в почве нитратного азота 20 кг д. в./га, подвижного фосфора 60 кг д. в./га и обменного калия 310 кг д. в./га и планируемой урожайности 11 т/га расчет предполагает внесение минеральных удобрений в количестве: N – 223, P – 192, K – 59 кг д. в./га. Полученные расчетные значения могут являться исходными данными для разработанной нами программы (свидетельство о госрегистрации № 2018661847) для расчета норм ЖОУ при возделывании различных сельскохозяйственных культур (рисунок 4).

Данная программа основывается на возможности внесения ЖОУ в экологических рамках для производства продовольственной продукции. Разницу между необходимой нормой внесения удобрений и питательными веществами, внесенными с ЖОУ, предлагается восполнить минеральными удобрениями. Расчет их нормы производится наряду с определением таких показателей, как содержание элементов питания в ЖОУ, норма ЖОУ, количество питательных веществ, внесенных с ЖОУ. Данные показатели рассчитываются для групп сельскохозяйственных культур. Градация ве-

дется по зерновым, техническим, овощным культурам, для лугов, пастбищ, однолетних и многолетних трав. Пример работы с программой представлен на рисунке 5.

The screenshot shows a software window with a logo on the left and the text: "Федеральное государственное бюджетное научное учреждение 'Российский НИИ проблем мелиорации' (ФГБНУ 'РосНИИПМ')". On the right, there is a field for "Плотность, т/м3" with a dropdown menu showing "N", "P", and "K". Below this are five rows of input fields for fertilizer requirements, each with three columns for N, P, and K. At the bottom left, there are two rows: "По вегетации" with value 0 and "Влагозарядка" with value 0. In the center, there is a field for "Оросительная норма, м3/га" with value 0. On the right, there is a dropdown menu with "Зерновые" selected and a "Расчёт" button.

Рисунок 4 – Результат расчета

The screenshot shows the same software window as in Figure 4, but with numerical values filled in the input fields. The "Плотность, т/м3" dropdown is set to "1.2". The fertilizer requirements table is as follows:

| | N | P | K |
|---|-------|-------|------|
| Необходимое количество удобрений, кг/га..... | 223 | 192 | 59 |
| Содержание элементов питания в жидких органических удобрениях, %..... | 10 | 10 | 10 |
| Нормы жидких органических удобрений, м3/га..... | 3.7 | 5.3 | 0.6 |
| Внесено с жидкими органическими удобрениями, кг/га..... | 36.0 | 21.6 | 57.6 |
| Необходимо внести с минеральными удобрениями, кг/га..... | 187.0 | 170.4 | 1.4 |

The "Оросительная норма, м3/га" field now shows the value 10. The "Расчёт" button is still present.

Рисунок 5 – Пример работы с программой

В процессе работы с программой для расчета норм ЖОУ требуется заполнить ячейки, которые обозначают количество питательных веществ, необходимых для внесения под выбранную культуру, плотность и содержание элементов питания в ЖОУ, выраженное в процентах.

Результатом работы программы является расчет допустимой нормы внесения ЖОУ, количества питательных веществ, внесенных с ними,

а также дозы минеральных удобрений, внесение которой позволит удовлетворить потребность во внесении питательных веществ в почву.

Выводы. В настоящее время разработанные программы являются самостоятельными и обособленными фрагментами комплекса разрабатываемых мероприятий для мониторинга агробиоценозов и оперативного реагирования на негативные изменения либо потребность в элементах жизнеобеспечения сельскохозяйственных культур.

Дальнейшая разработка темы позволит в режиме реального времени производить мониторинг агробиоценозов на предмет содержания в почве питательных веществ и с использованием разработанного программного обеспечения при необходимости в короткие сроки вносить дифференцированные дозы минеральных удобрений на каждый микроучасток с учетом реальной потребности выращиваемой сельскохозяйственной культуры.

Список использованных источников

1 Ольгаренко, В. Иг. Научная концепция и алгоритм реализации элементов прецизионного земледелия в условиях оросительной сельскохозяйственной мелиорации / В. Иг. Ольгаренко, А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 1(29). – С. 160–169. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec536-field6.pdf.

2 Netto, M. N. Inside The Life Of a Precision Agriculture Consultant In Brazil [Electronic resource] / M. N. Netto. – Mode of access: <http://precisionag.com/ag-tech-global/inside-the-life-of-a-precision-ag-consultant-in-brazil/>, 2018.

3 Prins, R. Making Precision Agriculture Work In Australia [Electronic resource] / R. Prins. – Mode of access: <http://precisionag.com/ag-tech-global/making-precision-agriculture-work-in-australia>, 2018.

4 Celms, A. Global navigation satellite system as technical solution element of farmland processing in Latvia [Electronic resource] / A. Celms, A. Ratkevics, V. Baumane. – Mode of access: http://tf.llu.lv/conference/proceedings2014/Papers/07_Celms_A.pdf, 2018.

5 Zarco-Tejada, P. J. Precision agriculture: An opportunity for EU farmers – Potential support with the CAP 2014–2020: Study [Electronic resource] / P. J. Zarco-Tejada, N. Hubbard, P. Loudjani; Joint Research Centre of the European Commission; Monitoring Agriculture ResourceS Unit. – Mode of access: [http://europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-AGRI_NT\(2014\)529049_EN.pdf](http://europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-AGRI_NT(2014)529049_EN.pdf), 2018.

6 Mondal, P. Adoption of precision agriculture technologies in India and in some developing countries: Scope, present status and strategies [Electronic resource] / P. Mondal, M. Basu. – Mode of access: <http://sciencedirect.com/science/article/pii/S1002007109000173>, 2018.

7 Sabarina, K. Lowering Data Dimensionality in Big Data for the Benefit of Precision Agriculture [Electronic resource] / K. Sabarina, N. Priya. – Mode of access: <http://sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915006432>, 2018.

8 Щедрин, В. Н. Влияние различных доз удобрений на урожайность овощных культур / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, В. А. Кулыгин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2009. – № 6. – С. 30–32.

9 Estimating chlorophyll with thermal and broadband multispectral high resolution imagery from an unmanned aerial system using relevance vector machines for precision agriculture [Electronic resource] / M. Elarab, A. M. Ticlavilca, A. F. Torres-Rua, I. Maslova, M. McKee. – Mode of access: <http://sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243415000719>, 2018.

10 Tohidyan Far, S. Determinants of Iranian agricultural consultants' intentions toward precision agriculture: Integrating innovativeness to the technology acceptance model [Electronic resource] / S. Tohidyan Far, K. Rezaei-Moghaddam. – Mode of access: <http://sciencedirect.com/science/article/pii/S1658077X15000430>, 2018.

11 Allahyari, M. S. Agricultural experts' attitude towards precision agriculture: Evidence from Guilan Agricultural Organization, Northern Iran [Electronic resource] / M. S. Allahyari, M. Mohammadzadeh, S. A. Nastis. – Mode of access: <http://sciencedirect.com/science/article/pii/S2214317316300397>, 2018.

12 Докучаева, Л. М. К выбору приемов регулирования почвенного плодородия орошаемых земель / Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, Г. И. Табала // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 4(60). – С. 148–153.

13 Воеводин, О. В. Содержание основных питательных элементов в почве обрабатываемых и необрабатываемых участков на черноземах южных / О. В. Воеводин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 3(63). – С. 182–186.

14 Селицкий, С. А. Влияние минеральных удобрений и стимуляторов роста на урожайность сои / С. А. Селицкий // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 1(65). – С. 60–65.

15 Ресурсовлагосберегающие приемы возделывания полевых культур в орошаемых севооборотах: рекомендации / П. Д. Шевченко [и др.]; под ред. П. Д. Шевченко, Г. Т. Балакай. – Новочеркасск: Лик, 2014. – 92 с.

16 Доспехов, Б. А. Практикум по земледелию / Б. А. Доспехов, И. П. Васильев, А. М. Туликов. – М.: Колос, 1977. – 368 с.

17 Каюмов, М. К. Программирование продуктивности полевых культур / М. К. Каюмов. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 368 с.

18 Основы научных исследований в агрономии / В. Ф. Моисейченко [и др.]. – М.: Колос, 1996. – 336 с.

19 Щедрин, В. Н. Перспективы развития мелиорации и водного хозяйства в Российской Федерации / В. Н. Щедрин, Г. А. Сенчуков // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2012. – № 1(05). – С. 1–9. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive/?n=82&id=83>.

20 Васильев, С. М. Проведение агротехнических мероприятий при использовании циклического орошения / С. М. Васильев // Проблемы информационного и метрологического обеспечения эксплуатации оросительных систем, пути и методы их решения: сб. науч. тр. / ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2005. – С. 122–129.

21 Монастырский, В. А. Алгоритм планирования и программа расчета доз удобрений для точного земледелия / В. А. Монастырский, А. Н. Бабичев, В. Иг. Ольгаренко // Ресурсосбережение и адаптивность в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур и переработки продукции: материалы междунар. науч.-практ. конф., 7 февр. 2018 г. – Персиановский: Донской ГАУ, 2018. – С. 48–52.

References

1 Ol'garenko V.Ig., Babichev A.N., Monastyrskiy V.A., 2018. *Nauchnaya kontseptsiya i algoritm realizatsii elementov pretsizionnogo zemledeliya v usloviyakh orositel'noy*

sel'skokhozyaystvennoy melioratsii [Scientific concept and implementation algorithm of precision farming elements under irrigated agricultural land reclamation]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 1(29), pp. 160-169, available: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec536-field6.pdf. (In Russian).

2 Netto M.N., 2018. Inside the Life of a Precision Agriculture Consultant in Brazil, available: <http://precisionag.com/ag-tech-global/inside-the-life-of-a-precision-ag-consultant-in-brazil/>. (In English).

3 Prins R., 2018. Making Precision Agriculture Work in Australia, available: <http://precisionag.com/ag-tech-global/making-precision-agriculture-work-in-australia>. (In English).

4 Celms A., Ratkevics A., Bauman V., 2018. Global navigation satellite system as technical solution element of farmland processing in Latvia, available: http://tf.llu.lv/conference/proceedings2014/Papers/07_Celms_A.pdf. (In English).

5 Zarco-Tejada P.J., Hubbard N., Loudjani P., 2018. Precision agriculture: Potential support for the CAP 2014–2020: Study. Joint Research Center of the European Commission; Monitoring Agriculture Resources Unit, available: [http://europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-AGRI_NT\(2014\)529049_EN.pdf](http://europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-AGRI_NT(2014)529049_EN.pdf). (In English).

6 Mondal P., Basu M., 2018. Adoption of precision agriculture technologies in India and in some developing countries: Scope, present status and strategies, available: <http://sciedirect.com/science/article/pii/S1002007109000173>. (In English).

7 Sabarina K., Priya N., 2018. Lowering Data Dimensionality in Big Data for the Benefit of Precision Agriculture, available: <http://sciedirect.com/science/article/pii/S1877050915006432>. (In Russian).

8 Shchedrin V.N., Balakai G.T., Kulygin V.A., 2009. *Vliyanie razlichnykh doz udobreniy na urozhaynost' ovoshchnykh kul'tur* [Influence of various doses of fertilizers on the yield of vegetable crops]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 6, pp. 30-32. (In Russian).

9 Elarab M., Ticlavilca A.M., Torres-Rua A.F., Maslova I., McKee M., 2018. Estimating chlorophyll with thermal resolution and global resolution systems, available: <http://sciedirect.com/science/article/pii/S0303243415000719>. (In English).

10 Tohidyan Far S., Rezaei-Moghaddam K., 2018. Determinants of Iranian agricultural consultants' intentions toward precision agriculture: Integrating innovativeness to the technology acceptance model, available: <http://sciedirect.com/science/article/pii/S1658077X15000430>. (In English).

11 Allahyari M.S., Mohammadzadeh M., Nastis S.A., 2018. Agricultural experts' attitude towards precision agriculture: Evidence from Guilan Agricultural Organization, Northern Iran, available: <http://sciedirect.com/science/article/pii/S2214317316300397>. (In English).

12 Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E., Tabala G.I., 2015. *K vyboru priemov regulirovaniya pochvennogo plodorodiya oroshaemykh zemel'* [On the choice of methods for regulating the soil fertility of irrigated land]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 4(60), pp. 148-153. (In Russian).

13 Voevodin O.V., 2016. *Soderzhanie osnovnykh pitatel'nykh elementov v pochve obrabatyvaemykh i neobrabatyvaemykh uchastkov na chernozemakh yuzhnykh* [The content of the main nutrients in soil of cultivated and uncultivated plots on southern chernozems]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no 3(63), pp. 182-186. (In Russian).

14 Selitskiy S.A., 2017. *Vliyanie mineral'nykh udobreniy i stimulyatorov rosta na urozhaynost' soi* [Influence of mineral fertilizers and growth stimulants on soybean yield]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(65), pp. 60-65. (In Russian).

15 Shevchenko P.D. [and others], 2014. *Resurso-vlagosberegayushchie priemy vozde-lyvaniya polevykh kul'tur v oroshaemykh sevooborotakh: rekomendatsii* [Resource moisture saving methods of cultivation of field crops in irrigated crop rotation: recommendations]. Novochoerkassk, Lick Publ., 92 p. (In Russian).

16 Dospekhov B.A., Vasil'ev I.P., Tulikov A.M., 1977. *Praktikum po zemledeliyu* [Practical Course on Farming]. Moscow, Kolos Publ., 368 p. (In Russian).

17 Kayumov M.K., 1989. *Programmirovanie produktivnosti polevykh kul'tur* [Programming the Productivity of Field Crops]. Moscow, Rosagropromizdat Publ., 368 p. (In Russian).

18 Moiseichenko V.F. [et al.], 1996. *Osnovy nauchnykh issledovaniy v agronomii* [Fundamentals of Research in Agronomy]. Moscow, Kolos Publ., 336 p. (In Russian).

19 Shchedrin V.N., Senchukov G.A., 2012. *Perspektivy razvitiya melioratsii i vodnogo khozyaystva v Rossiyskoy Federatsii* [Development prospects of land reclamation and water management in the Russian Federation]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII Problem melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 1(05), pp. 1-9, available: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=82&id=83>. (In Russian).

20 Vasil'ev S.M., 2005. *Provedenie agrotekhnicheskikh meropriyatiy pri ispol'zovanii tsiklicheskogo orosheniya* [Carrying out agrotechnical measures in the use of cyclic irrigation]. *Problemy informacionnogo i metrologicheskogo obespecheniya ehkspluatacii orositel'nykh sistem, puti i metody ih resheniya: sb. nauch. tr. FGNU «RosNIIPM»* [Problems of information and metrological support of the operation of irrigation systems, ways and methods for their solution: Proceed. FGNU “RosNIIPM”]. Novochoerkassk, p. 122-129. (In Russian).

21 Monastyrskiy V.A., Babichev A.N., Ol'garenko V.Ig., 2018. *Algoritm planirovaniya i programma rascheta doz udobreniy dlya tochnogo zemledeliya* [The planning algorithm and the program for calculating fertilizers ratio for precision farming]. *Resursosberezhenie i adaptivnost' v tekhnologiyakh vozde-lyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur i pererabotki produktsii: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Resource Saving and Adaptability in the Technologies of Crops Cultivation and Products Processing: Proceed. of International Scientific-Practical Conference]. Persianovskiy, Donskoy State Agrarian University, pp. 48-52. (In Russian).

Монастырский Валерий Алексеевич

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Должность: старший научный сотрудник отдела управления продуктивностью орошаемых агробиоценозов

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Monastyrskiy Valeriy Alekseyevich

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Position: Senior Researcher of Department of Productivity Management of Irrigated Agrocoenosis

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novochoerkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Бабичев Александр Николаевич

Ученая степень: доктор сельскохозяйственных наук

Должность: ведущий научный сотрудник отдела управления продуктивностью орошаемых агробиоценозов

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: BabichevAN2006@yandex.ru

Babichev Alexander Nikolaevich

Degree: Doctor of Agricultural Sciences

Position: Leading Researcher of Department of Productivity Management of Irrigated Agrocoenosis

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: BabichevAN2006@yandex.ru

Ольгаренко Владимир Игоревич

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: старший научный сотрудник отдела управления продуктивностью орошаемых агробиоценозов

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: olgarenko_vi@mail.ru

Olgarenko Vladimir Igorevich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Senior Researcher of Department of Productivity Management of Irrigated Agrocoenosis

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: olgarenko_vi@mail.ru