УДК 626.82.004

DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-23-38

М. В. Власов

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

М. С. Васильев

Институт компьютерных технологий и информационной безопасности
Инженерно-технологической академии Южного федерального университета,
Таганрог, Российская Федерация

С. М. Григоров

Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград,
Российская Федерация

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Цель исследования – разработка и обоснование предложений по совершенствованию эксплуатации оросительных систем на основе определения эффективности орошения непосредственно через повышение плодородия земель, с учетом эксплуатационных затрат. Для достижения поставленной цели была получена зависимость продуктивности почв от их увлажнения. Предложено мерой эффективности мелиорации считать повышение продуктивности земель от исходного состояния – без орошения, осушения и осуществления других мелиораций – до улучшенного по степени увлажненности, по плодородию почв в результате нового стимулирования сельхозтоваропроизводителями почвообразовательного процесса. На основании статистических данных о продуктивности земель по стране, усредненных за 2015–2017 гг., и о бонитете земель по существующей балльной системе было получено уравнение, которое с 99%-й точностью аппроксимирует зависимость урожайности зерновых культур от бонитета почвенного покрова. Разработана модель расчета эффективности орошения, зависящей от продуктивности мелиорированных земель, как потенциальной, так и существующей, коэффициентов работоспособности оросительной системы и земельного использования, а также учитывающей эксплуатационные затраты и коэффициент полезного действия оросительной системы. Предложено выражение, описывающее эксплуатационную работоспособность системы в зависимости от обеспеченности кадрами, механизмами, транспортом, вспомогательными сооружениями, материалами и приборами. В результате проведенных исследований определен ряд показателей технического уровня оросительных систем и сформулированы предложения по обеспечению необходимой эксплуатационной работоспособности оросительных систем.

Ключевые слова: оросительные системы, эксплуатация оросительных систем, работоспособность оросительных систем, надежность оросительных систем, продуктивность мелиорируемых земель, бонитет почвенного покрова.

M. V. Vlasov

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

M. S. Vasilyev

Institute of Computer Technology and Information Security, Engineering and Technological
Academy, Southern Federal University, Taganrog, Russian Federation

S. M. Grigorov

Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation

THE THEORETICAL JUSTIFICATION OF IRRIGATION SYSTEMS OPERATION IMPROVEMENT

The purpose of the research is the development and justification of proposals on improvement of irrigation systems operation on the basis of determining the irrigation efficiency directly through increasing the fertility of land taking into account the operation costs. To achieve this goal the dependence of soil productivity on their moistening was obtained. The measure of land reclamation effectiveness is considered to be the increase in land productivity from the initial condition – without irrigation, drainage and other reclamations – to the improved one by the humidification degree and by soil fertility as a result of new stimulation of the soil-forming process by agricultural producers. The equation that approximates the dependence of the grain crops yield on the soil cover bonitet with 99% accuracy was obtained based on the statistical data on land productivity in the country averaged over 2015–2017 and on the soil cover bonitet according to the existing points system. The model for calculating the irrigation efficiency depending on irrigated lands productivity, both potential and existing, the efficiency coefficients of the irrigation system and land use and also taking into account the operation costs and the performance efficiency of the irrigation system was developed. The formula describing the operational efficiency of the system depending on the availability of personnel, mechanisms, transport, auxiliary facilities, materials and instruments is proposed. As a result of the conducted research a number of indicators of the irrigation systems engineering level were determined and the proposals to ensure the necessary operational efficiency of irrigation systems were formulated.

Key words: irrigation systems, irrigation systems operation, irrigation system operational efficiency, irrigation systems reliability, irrigated lands productivity, soil cover bonitet.

Введение. Мелиорация земель в целом до настоящего времени не имеет своего критерия оценки, которая осуществляется косвенно через результаты деятельности сельхозтоваропроизводителей. Между тем мелиорация, а значит, и система эксплуатационных мероприятий по поддержанию определенных оптимальных условий для развития растений, т. е. по повышению плодородия земель от естественного состояния до вновь созданного оросительными и осушительными сооружениями, должна быть оценена именно по изменению этого плодородия в стоимостном выражении.

Поэтому мерой эффективности мелиорации может быть повышение продуктивности земель от исходного состояния – без орошения, осушения и осуществления других мелиораций – до улучшенного по степени увлажненности, по плодородию почв в результате нового стимулирования сельхозтоваропроизводителями почвообразовательного процесса. Создается

возможность оценки эффективности мелиораций не только водных (повышающих водообеспеченность в засушливой зоне или снижающих переувлажнение в гумидной зоне), но и химических, опреснительных и др.

Цель данного исследования заключалась в разработке и обосновании предложений по совершенствованию эксплуатации оросительных систем на основе определения эффективности орошения непосредственно через повышение плодородия земель, с учетом эксплуатационных затрат.

Материалы и методы. Для определения влияния увлажнения на продуктивность модифицируем зависимости, предложенные В. Д. Скалабаном [1, 2], с учетом оценок В. А. Кулыгина, Л. М. Докучаевой, Д. А. Осипенко [3] и анализа, проведенного В. Э. Юшковой [4]:

$$P(W) = P_0 \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{W - W_{вз}}{W_{ппв} - W_{вз}} \right)^3 \right],$$

где $P(W)$ – продуктивность почв в зависимости от влажности, кДж/(км²·год);

P_0 – продуктивность, соответствующая нормальной влажности, кДж/(км²·год);

W – текущая влажность, %;

$W_{вз}$ – влажность завядания, %;

$W_{ппв}$ – предельная полевая влагоемкость, %.

Результаты и обсуждение. При анализе данных о продуктивности земель без орошения и орошаемых земель по стране, усредненных за 2015–2017 гг. [5–7], и о бонитете земель по балльной системе [8, 9] установлена связь (рисунок 1), которая характеризуется коэффициентом достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9908$:

$$P = 0,0002b^3 - 0,0265b^2 + 1,626b - 14,672,$$

где b – бонитет почвенного покрова по указанной классификации [8, 9].

По мере изменения технической оснащенности сельскохозяйственного производства продуктивность будет, очевидно, наращиваться, при-

ближаясь к потенциальной, и этот рост может быть соответствующим образом спрогнозирован по полученному тренду.

Рисунок 1 – Продуктивность земель в 2015–2017 гг. в зависимости от бонитета почвенного покрова

Следует иметь в виду, что соотношение между потенциальной продуктивностью и максимальной, реальной для нынешнего уровня сельскохозяйственного производства определяется именно прогрессом в этой области, а достижение его – соблюдением технологического цикла растениеводства и работоспособностью мелиоративной системы. Если отбросить влияние аграрной технологии, то переход от максимальной продуктивности и влагообеспеченности земель, достигаемой при мелиорации, к реальной осуществляется путем введения коэффициента работоспособности оросительной системы Δ , характеризующего долговечность и надежность поддержания оптимальных условий в поле функционированием и эксплуатацией оросительной системы [10].

В этом случае эффективность орошения будет определяться как

$$E = (P_{\text{пот}} \cdot \Delta - P_{\text{н}}) \cdot \text{КЗИ} - I_{\text{сх}} \cdot \Delta - F - Z_{\text{э}} - \frac{M}{\eta_{\text{с}}} \cdot C_{\text{в}},$$

где E – эффективность орошения, руб./га;

$P_{\text{пот}}$ – потенциальная продуктивность мелиорированных земель, руб./га;

Δ – коэффициент работоспособности оросительной системы;

$P_{\text{н}}$ – продуктивность немелиорированных земель, руб./га;

КЗИ – коэффициент земельного использования;

$I_{\text{сх}}$ – увеличение издержек сельскохозяйственного производства, руб./га;

F – приведенные основные водохозяйственные фонды, руб./га;

$Z_{\text{э}}$ – эксплуатационные затраты, руб./га;

M – оросительная норма нетто, м³/га;

$\eta_{\text{с}}$ – КПД системы;

$C_{\text{в}}$ – стоимость подачи воды с учетом формирования водного ресурса, руб./м³.

Такой подход позволяет:

- установить эффективность мелиорации непосредственно, а не через сельское хозяйство;

- выявить для каждой зоны предел сельскохозяйственного использования земель (в виде потенциальной продуктивности), к которому должны стремиться сельхозтоваропроизводители как к мере ответственности за использование мелиорируемых земель;

- соизмерить допустимый размер капиталовложений и эксплуатационных затрат на мелиорацию в зависимости от «ножниц» потенциальной и фактической продуктивности земель ($P_{\text{ф}}$) в настоящее время ($t_{\text{наст.}}$), приведенных на рисунке 2 для различных зон и природных условий.

Исходя из предлагаемой концепции, цели эксплуатации оросительной системы будут состоять в обеспечении высокой и постоянной работоспособности системы ($\Delta \rightarrow 1$) при минимальных удельных затратах воды

$\left(\frac{M}{\eta_c} \rightarrow \min\right)$ и минимальных эксплуатационных стоимостных затратах $(Z_{\text{э}} \rightarrow \min)$.

1 – потенциальная продуктивность земель;
2 – технологически возможная продуктивность земель

Рисунок 2 – Нарастание продуктивности земель при мелиорации

С целью осуществления единой бонитировки мелиорированных и мелиорируемых земель необходимо:

- разработать, согласовать с Минсельхозом и Росреестром «Указания по единой мелиоративной бонитировке земель»;
- провести инвентаризацию и составить кадастр всех оросительных систем страны с целью выявления показателей их работоспособности, расходов воды и возможности использования потенциальной продуктивности орошаемых земель;
- наметить различные мероприятия по повышению продуктивности орошаемых земель до оптимально приближенной по экономическим критериям к потенциальной;
- установить региональные и зональные лимиты инвестиций, эксплуатационных затрат при соответствующих показателях работоспособности и расходов воды, исходя из «ножниц»: потенциальная продуктивность

орошаемых земель – исходная продуктивность неорошаемых земель.

Исходя из приведенных выше соображений, управление работоспособностью и требования к ее поддержанию должны быть различными в зависимости от степени повышения продуктивности земель при мелиорации, от дефицита водных ресурсов и от необходимых при этом затрат.

Ясно, что в недефицитных по воде бассейнах и достаточно водообеспеченных оросительных системах с низкой стоимостью формирования водных ресурсов при достаточно высокой продуктивности орошения можно сознательно идти на повышение работоспособности системы за счет увеличения удельных расходов воды. В водообеспеченных районах, но при малом увеличении продуктивности (ΔP) можно, опираясь на модель оптимизации, согласиться с некоторым снижением урожайности за счет снижения работоспособности оросительной системы. Наконец, в маловодообеспеченных районах с высоким приростом продуктивности при орошении обязательно повышение работоспособности оросительных систем посредством совершенствования увязки конструктивных элементов и повышенных требований к эксплуатационной работоспособности систем.

Указанный подход позволит установить следующие показатели технического уровня оросительных систем.

Удельные расчетные затраты воды на орошение:

$$\frac{M(1+\beta)}{\eta_c},$$

где β – промывная доля, %.

Степень работоспособности системы (Δ).

Суммарные расчетные затраты воды на орошение:

$$\frac{M(1+\beta)}{\eta_c \cdot \Delta}.$$

Фактические затраты воды на орошение:

$$\frac{V}{S} = \frac{V_{\text{пв}} + V_{\text{д}} + \Delta V_{\text{вх}} + V_{\text{кд}}}{S},$$

где V – общие затраты воды, м³/га;

S – площадь орошения, га;

$V_{\text{пв}}$ – водозабор поверхностных вод, м³;

$V_{\text{д}}$ – водозабор из дополнительных источников, м³;

$\Delta V_{\text{вх}}$ – водозабор из внутрисистемных водохранилищ, м³;

$V_{\text{кд}}$ – водозабор из коллекторно-дренажной сети, м³.

Коэффициент использования воды:

$$\text{КИВ} = \frac{V}{S} \cdot \left(\frac{M(1+\beta)}{\eta_c} \right)^{-1}.$$

Если $\text{КИВ} \geq \Delta$, использование воды рациональное для данных условий и уровня систем; если же $\text{КИВ} < \Delta$, имеет место явно нерациональное использование воды.

Степень использования потенциальной продуктивности земли:

$$\frac{P_{\text{ф}}}{P_{\text{пот}}}.$$

Если $\frac{P_{\text{ф}}}{P_{\text{пот}}} \approx \Delta$, то орошаемые земли используются эффективно.

Показатель мелиоративного режима:

$$\frac{h_{\text{г}} - \delta}{h_{\text{к}}},$$

где $h_{\text{г}}$ – глубина грунтовых вод, м;

δ – высота капиллярного поднятия, м;

$h_{\text{к}}$ – глубина корневой системы, м.

Эксплуатационные затраты по оросительной системе на 1 га (руб./га).

Затраты труда на эксплуатацию оросительной системы (чел.-дн./га).

При составлении кадастра оросительных систем и их инвентаризации необходимо производить оценку по всем этим показателям, что позволит не только установить существующие характеристики оросительных систем, но и оценить перспективы, необходимость и возможность их совершенствования на данном техническом и экономическом уровне на основе модели оптимизации оросительных систем.

Работоспособность системы предусматривается уже при проектировании и строительстве и поддерживается в процессе эксплуатации. Эксплуатационная работоспособность определяется обеспеченностью кадрами ($R_{л}$), механизмами ($R_{мех}$), транспортом ($R_{тр}$), вспомогательными сооружениями ($R_{вс}$), материалами ($R_{мат}$) и приборами ($R_{пр}$).

Если количество обеспечивающего элемента не является оптимальным, то снижается работоспособность каждого конструктивного элемента, а следовательно и суммарная средняя эксплуатационная работоспособность оросительной системы.

Эта зависимость может быть выражена как

$$\Delta = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (a_i R_{ли} + b_i R_{мехi} + c_i R_{три} + d_i R_{вси} + e_i R_{мати} + f_i R_{при}),$$

где n – суммарное количество конструктивных элементов;

$a_i, b_i, c_i, d_i, e_i, f_i$ – матричные коэффициенты для соответствующих конструктивных элементов.

Величина матричного коэффициента для каждого конструктивного элемента может определяться экспериментально или по какому-либо известному закону.

Другим фактором, определяющим эксплуатационную работоспособность, является старение конструктивных элементов систем, снижение их эксплуатационных свойств вследствие износа, ухудшения свойств материалов, осадков, взаимодействия с потоком, заиления, зарастания и многих других причин. Поддержание работоспособности при этом

на стабильном уровне, недопущение ее снижения требует специально организованной системы технического обслуживания, профилактических и аварийных ремонтов.

С целью обеспечения необходимой эксплуатационной работоспособности оросительных систем необходимо:

- установить для различных составляющих оросительных систем в зависимости от природных условий и типа систем нормативы потребности в кадрах, механизмах, транспорте, вспомогательных сооружениях, материалах и приборах;

- на специально выделенных экспериментальных оросительных системах установить зависимость матричных коэффициентов от элементов обеспечивающих подсистем и разработать методику составления нормативов, основанных на оптимальной потребности, одновременно устанавливая их влияние на эксплуатационную работоспособность;

- на основе инвентаризации оросительных систем по указанным показателям обеспечивающих подсистем установить необходимые пределы докомплектации оросительных систем элементами обеспечивающих подсистем.

Необходимо разработать комплекс управляющих задач по совершенствованию технического обслуживания оросительных систем, позволяющих каждому ФГБУ по мелиорации земель и сельскохозяйственному водоснабжению или другой профильной организации на основе методов оптимизации составить экономичный аппарат управления, включающий:

- определение оптимального состава и сроков проведения профилактических ремонтов и технического обслуживания;

- планирование объемов ремонтно-эксплуатационных работ;

- определение оптимальной структуры и организации ремонтно-строительных работ, выполняемых подрядными организациями;

- планирование расстановки механизмов, бригад и графика их рабо-

ты по объектам, исходя из минимума потерь в сельскохозяйственном производстве при проведении ремонтных и восстановительных работ;

- ряд дополнительных задач по определению потребности в транспорте, материалах.

Согласование, утверждение предлагаемой методики и тиражирование типовых программ позволят провести их привязку к условиям конкретных областей, обеспечат составление оптимальных планов технического обслуживания и контроль их осуществления.

Существующая практика водопользования и водораспределения чревата многими серьезными погрешностями, которые приводят при обеспечении повсеместного необходимого режима увлажнения к значительным излишним затратам воды или к недополиву и потере урожая. Основой для составления годовых и вегетационных планов водопотребления является потребность в воде, определяемая по условиям расчетного обычного года 95%-й обеспеченности. Водохозяйственные органы подготавливают системы для водоподачи именно в соответствии с этими планами, открывают каналы, наполняют бьефы и т. д. Между тем непосредственная подача воды водопотребителям производится на основе заявок, исходящих из их текущих потребностей, зачастую в авральном порядке, в не соответствующих этим планам объемах. Поэтому обычно в начале и в конце вегетации, когда нет напряженности в режиме водопотребления растений, наблюдается постоянное рассогласование в водоподаче по межхозяйственной сети и заборах во внутрихозяйственные сети, что приводит к значительным сбросам как из межхозяйственной, так и из внутрихозяйственной сети.

Особенности каждого года по метеогидрологической обстановке совершенно не учитываются. Неконтролируемая в таких условиях система заявок в значительной степени искажается с целью создания определенного запаса так же, как искажаются с этой целью фактические КПД каналов. Нормы, положенные в основу планирования водопользования, не только

не являются достаточно гибкими в зависимости от текущей метеогидрологической обстановки, но и рассчитаны не на оптимальный (на единицу воды) урожай, а на максимальный, зачастую требующий излишних затрат воды на единицу урожая, что в условиях дефицита недопустимо.

В целях коренного улучшения водопользования и водораспределения на оросительных системах необходимо организовать подконтрольную эксплуатацию на опорно-показательных системах для сбора и анализа достоверных фактических данных, отражающих особенности эксплуатации по зонам Российской Федерации. Эти данные должны служить эталоном достоверности для разработки предложений и нормативов.

Основой текущей работы и оперативного управления всеми звеньями оросительных систем должна стать мелиоративная служба, в состав которой, кроме подлежащей развитию и усилению организации по постоянной мелиоративной оценке земель (уровни и минерализация грунтовых вод, объем и минерализация дренажного стока, степень засоления земель, состояние коллекторно-дренажной сети), должна быть включена сеть эталонных водобалансовых станций (ВБС). Последние на основе постоянной регистрации изменения состояния почв, метеоусловий, гидрогеологической и гидрологической обстановки дают прогноз на сезон, месяц и декаду суммарно и по источникам водопотребления всех культур в обслуживаемой зоне, на основе чего составляется режим управления оросительной системой в пределах ее возможностей, определяемых планом водопользования или специально установленными (в случае маловодья) лимитами. Одновременно ВБС, развиваемые для каждой типовой таксономической единицы в регионе (в среднем одна на 50 тыс. га), должны срочно приступить и в ближайшее время разработать по единой методике оптимальные нормы водопотребления для обслуживаемой зоны с учетом динамики мелиоративных режимов, техники полива и минерализации оросительной воды.

В целях уменьшения организационных потерь на оросительных си-

стемах в обязательном порядке нужно предусматривать возможность резервирования воды либо в бьефах крупных каналов, либо за счет создания специальных внутрисистемных водохранилищ суточного регулирования.

Нужно установить единые показатели стабильности водообеспеченности в виде:

- показателя постоянства водоподачи за период и нарастающим итогом;

- показателя равномерности водообеспеченности за период и нарастающим итогом.

Выводы. Предложенные подходы к оценке эффективности мелиорации земель в общем и орошения в частности позволят установить эффективность мелиорационных мероприятий непосредственно через изменение почвенного плодородия в долгосрочной перспективе и от необходимых для этого затрат, а не через результат сельскохозяйственного производства, достигнутый, например, в текущем году. Разработанные показатели технического уровня оросительных систем позволят не только установить существующие характеристики оросительных систем, но и оценить перспективы, необходимость и возможность их совершенствования на данном техническом и экономическом уровне на основе модели оптимизации оросительных систем. Организационные мероприятия по созданию опорно-показательных систем для сбора и анализа достоверных фактических данных, отражающих особенности эксплуатации оросительных систем по зонам Российской Федерации, позволят улучшить водопользование и водораспределение на оросительных системах за счет разработки достоверных предложений и нормативов.

Список использованных источников

1 Скалабан, В. Д. Математическая модель государственной кадастровой оценки сельскохозяйственных угодий Российской Федерации и некоторые ее практические применения / В. Д. Скалабан, Д. В. Скалабан; Рос. акад. с.-х. наук, Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. – М., 2004. – 70 с.

2 Скалабан, В. Д. Совершенствование оценки сельскохозяйственных угодий в

государственном земельном кадастре / В. Д. Скалабан, Д. В. Скалабан // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2008. – Т. 3, № 19-1. – С. 18–21.

3 Кулыгин, В. А. Оценка эффективности использования мелиорированных земель / В. А. Кулыгин, Л. М. Докучаева, Д. А. Осипенко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: Геликон, 2006. – Вып. 35. – С. 40–43.

4 Юшкова, В. Э. Анализ эффективности использования сельскохозяйственных земель и резервы повышения их продуктивности / В. Э. Юшкова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2013. – № 4. – С. 263–271.

5 Российский статистический ежегодник. 2017: стат. сб. / Росстат. – М., 2017. – 686 с.

6 Российский статистический ежегодник. 2016: стат. сб. / Росстат. – М., 2016. – 725 с.

7 Российский статистический ежегодник. 2015: стат. сб. / Росстат. – М., 2015. – 728 с.

8 Природно-сельскохозяйственное районирование и использование земельного фонда СССР: практ. пособие / под ред. А. Н. Каштанова. – М.: Колос, 1983. – 336 с.

9 Добровольский, Г. В. Агроклиматическая характеристика природно-сельскохозяйственных провинций равнинной территории России / Г. В. Добровольский, И. С. Урусевская, И. О. Алябина // Национальный атлас почв Российской Федерации. – М.: АСТ-Астрель, 2011. – С. 284–285.

10 Щедрин, В. Н. Эксплуатационная надежность оросительных систем / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов. – М.: Росинформагротех, 2005. – 392 с.

References

1 Skalaban V.D., Skalaban D.V., 2004. *Matematicheskaya model' gosudarstvennoy kadaastrovoy otsenki sel'skokhozyaystvennykh ugodiy Rossiyskoy Federatsii i nekotorye ee prakticheskie primeneniya* [Mathematical model of the state cadastral evaluation of farm lands of the Russian Federation and some of its practical applications]. Russian Academy of Agricultural Sciences, V.V. Dokuchaev Soil Science Institute. Moscow, 70 p. (In Russian).

2 Skalaban V.D., Skalaban D.V., 2008. *Sovershenstvovanie otsenki sel'skokhozyaystvennykh ugodiy v gosudarstvennom zemel'nom kadastre* [Improvement of farm lands evaluation technique in the state land cadastre]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of Orenburg State Agrarian University], vol. 3, no. 19-1, pp. 18-21. (In Russian).

3 Kulygin V.A., Dokuchaeva L.M., Osipenko D.A., 2006. *Otsenka effektivnosti ispol'zovaniya meliorirovannykh zemel* [Irrigated land use efficiency evaluation]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya: sbornik statey* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture: coll. sc. articles]. Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems. Novocherkassk, Gelikon Publ., iss. 35, pp. 40-43. (In Russian).

4 Yushkova V.E., 2013. *Analiz effektivnosti ispol'zovaniya sel'skokhozyaystvennykh zemel' i rezervy povysheniya ikh produktivnosti* [Efficiency analysis of agricultural land use and resources of its productivity increase]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Voronezh State Agrarian University], no. 4, pp. 263-271. (In Russian).

5 *Rossiyskiy statisticheskiy ezhegodnik* [Russian Statistical Yearbook]. Rosstat. Moscow, 2017, 686 p. (In Russian).

6 *Rossiyskiy statisticheskiy ezhegodnik* [Russian Statistical Yearbook]. Rosstat. Moscow, 2016, 725 p. (In Russian).

7 *Rossiyskiy statisticheskiy ezhegodnik* [Russian Statistical Yearbook]. Rosstat. Moscow, 2015, 728 p. (In Russian).

8 Kashtanova A.N., 1983. *Prirodno-sel'skokhozyaystvennoe rayonirovanie i ispol'zovanie zemel'nogo fonda SSSR: prakt. posobie* [The Natural and Agricultural Zoning and Use of the Land Fund of the USSR: workbook]. Moscow, Kolos Publ., 336 p. (In Russian).

9 Dobrovolskiy G.V., Urusevskaya I.S., Alyabina I.O., 2011. *Agroklimaticheskaya kharakteristika prirodno-sel'skokhozyaystvennykh provintsiy ravninnoy territorii Rossii* [Agroclimatic characteristics of the natural and agricultural provinces of Russia's even land]. National Soils Atlas of the Russian Federation. Moscow, AST-Astrel Publ., pp. 284-285. (In Russian).

10 Shchedrin V.N., Kosichenko Yu.M., Kolganov A.V., 2005. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost' orositel'nykh sistem* [Operational Reliability of Irrigation Systems]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 392 p. (In Russian).

Власов Михаил Вячеславович

Ученая степень: кандидат физико-математических наук

Должность: ведущий научный сотрудник

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: m_vlasov@bk.ru

Vlasov Mikhail Vyacheslavovich

Degree: Candidate of Physico-Mathematical Sciences

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

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

E-mail: m_vlasov@bk.ru

Васильев Михаил Сергеевич

Должность: студент

Место работы: Институт компьютерных технологий и информационной безопасности Инженерно-технологической академии федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет»

Адрес организации: ул. Чехова, 2, г. Таганрог, Ростовская область, Российская Федерация, 347922

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Vasilyev Mikhail Sergeevich

Position: Student

Affiliation: Institute of Computer Technology and Information Security, Engineering and Technological Academy, Southern Federal University

Affiliation address: str. Chekhov, 2, Taganrog, Rostov region, Russian Federation, 347922

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Григоров Сергей Михайлович

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: профессор

Должность: профессор

Место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет»

Адрес организации: пр-т Университетский, 26, г. Волгоград, Российская Федерация, 400002

E-mail: gsm.dtn@mail.ru

Grigorov Sergey Mikhailovich

Degree: Doctor of Technical Sciences

Title: Professor

Position: Professor

Affiliation: Volgograd State Agrarian University

Affiliation address: ave. Universitetsky, 26, Volgograd, Russian Federation, 400002

E-mail: gsm.dtn@mail.ru