

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Обзорная статья

УДК 631.67

doi: 10.31774/2712-9357-2026-16-3-220-241

Особенности условий и перспективы применения прецизионных методов земледелия на орошаемых землях Саратовского Заволжья

Николай Викторович Медведев¹, Виктор Владиславович Корсак²,
Нина Анатольевна Пронько³, Татьяна Анатольевна Панкова⁴

^{1, 2, 3, 4}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Российская Федерация

¹kalek15864@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4852-2452>

²vvcorsac@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6285-7649>

³n_pronko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2814-2011>

⁴vtanja@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4619-765X>

Аннотация. Цель: систематизировать особенности природных условий Саратовского Заволжья, обосновать необходимость применения методов прецизионного земледелия на орошаемых землях, описать их роль в развитии агропромышленного комплекса. **Обсуждение.** В статье рассмотрены природно-климатические и почвенно-мелиоративные условия произрастания поливных культур Саратовского Заволжья, определяющие необходимость перехода к прецизионным методам земледелия на орошаемых землях, что является наиболее рациональным подходом к управлению агроландшафтами. Проведен анализ основных факторов (типы почв, водно-физические характеристики, содержание гумуса), определяющих плодородие орошаемых почв. Проанализированы причины формирования современного мелиоративного состояния, включая подъем уровня грунтовых вод, вторичное засоление и дегумификацию. Детально исследована пестрота почвенного плодородия: дифференциация содержания гумуса (потенциальное плодородие) и основных элементов питания (эффективное плодородие) на орошаемых массивах, рассмотрены факторы ее формирования. **Выводы.** Обоснованы перспективы применения прецизионных методов земледелия, включающих: ГИС-технологии, информационно-советующие системы, математическое моделирование процессов в мелиорации, дифференцированное внесение ресурсов. Создание цифровых двойников орошаемых полей является наиболее современным и комплексным решением для достижения целей эффективного управления мелиорируемыми землями. Преимущества технологий точного земледелия для условий Саратовского Заволжья связаны с экономией ресурсов, предотвращением деградации и повышением эффективности эксплуатации орошаемых земель. Дальнейшее развитие орошаемого земледелия в регионе должно основываться на принципах цифровизации и дифференцированного управления агроресурсами, что обеспечит экологическую безопасность, высокую урожайность и повысит рентабельность аграрного производства в условиях меняющегося климата.

Ключевые слова: орошаемое земледелие, прецизионное земледелие, типы почв, гранулометрический состав, мелиоративное состояние, пестрота почвенного плодородия, гумус, элементы питания, вторичное засоление, ГИС-технологии, математическое моделирование, информационно-советующие системы, цифровые двойники

Источник финансирования: за счет собственных средств.

Для цитирования: Особенности условий и перспективы применения прецизионных методов земледелия на орошаемых землях Саратовского Заволжья / Н. В. Мед-

ведев, В. В. Корсак, Н. А. Пронько, Т. А. Панкова // Мелиорация и гидротехника. 2026. Т. 16, № 3. С. 220–241. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-3-220-241>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Review article

Features of conditions and the prospects for the precision farming methods application on irrigated lands of the Saratov Trans-Volga region

**Nicolay V. Medvedev¹, Viktor V. Korsak², Nina A. Pronko³,
Tatyana A. Pankova⁴**

^{1, 2, 3, 4}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering
named after N. I. Vavilov, Saratov, Russian Federation

¹kalek15864@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4852-2452>

²vvcorsac@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6285-7649>

³n_pronko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2814-2011>

⁴vtanja@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4619-765X>

Abstract. Purpose: to systematize the specific features of the natural conditions of the Saratov Trans-Volga region, to substantiate the necessity of applying precision farming methods on irrigated lands, and to describe their role in the development of the agro-industrial complex. **Discussion.** The natural, climatic, and soil-reclamation conditions for growing irrigated crops in the Saratov Trans-Volga region are described, which determine the need for a transition to precision farming methods on irrigated lands, which is the most rational approach to managing agricultural landscapes. The analysis of the main factors (soil types, water-physical features, humus content) determining the fertility of irrigated soils is conducted. The causes of the current reclamation state, including a rise in the groundwater level, secondary salinization, and dehumification are analyzed. The variability of soil fertility including the humus content differentiation (potential fertility) and essential nutrients (effective fertility) in irrigated areas is thoroughly studied, and the factors that shape it are examined. **Conclusions.** The prospects for applying precision farming methods, including GIS technologies, information and advisory systems, mathematical modeling of land reclamation processes, and differentiated resource application, are substantiated. The creation of digital twins of irrigated fields is the most modern and comprehensive solution for achieving the goals of effective management of reclaimed lands. The advantages of precision farming technologies for the Saratov Trans-Volga region include resource conservation, degradation prevention, and increased efficiency of irrigated land use. The further development of irrigated agriculture in the region should be based on the principles of digitalization and differentiated agricultural resource management, which will ensure environmental safety, high yields, and increase the profitability of agricultural production in a changing climate.

Keywords: irrigated agriculture, precision farming, soil types, particle size distribution, reclamation status, soil fertility variability, humus, nutrients, secondary salinization, GIS technologies, mathematical modeling, information advisory systems, digital twins

Funding source: at their own expenses.

For citation: Medvedev N. V., Korsak V. V., Pronko N. A., Pankova T. A. Features of conditions and the prospects for the precision farming methods application on irrigated lands of the Saratov Trans-Volga region. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2026; 16(3):220–241. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-3-220-241>.

Введение. В настоящее время развитие сельского хозяйства и мелиорации в России происходит в сложных экономических, экологических и социальных условиях. Однако обеспечение продовольственной безопасности страны невозможно без мелиорации почв и развития орошаемого земледелия, так как наибольшая часть сельскохозяйственных угодий находится в засушливых районах, относящихся к зонам неустойчивого земледелия [1].

Развитие точного земледелия и цифровизация агропромышленного комплекса (АПК) – одни из ключевых направлений государственной политики России. По данным Минсельхоза России, цифровая трансформация сельского хозяйства посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений для обеспечения технологического прорыва в АПК приведет к росту производительности в 2 раза, снижению себестоимости сельскохозяйственной продукции на 20 %, что позволит обеспечить продовольственную безопасность страны.

Саратовская область является одним из ключевых регионов орошаемого земледелия Российской Федерации. Для достижения эффективного орошения и рационального использования ресурсов необходимо учитывать особенности природно-климатических условий. Саратовское Заволжье входит в зону аридного климата, где орошение является оптимальным приемом для получения высоких урожаев при дефиците осадков и высоком уровне испаряемости [2].

Одним из главных направлений развития растениеводства, в т. ч. на мелиорированных землях, в последние годы является внедрение методов прецизионного земледелия, которое позволяет учитывать почвенную пространственную неоднородность условий произрастания поливных культур. Такие методы регулирования как водного, так и пищевого режимов зональных почв орошаемых массивов очень актуальны для мелиорируемых территорий Саратовского Заволжья, которые отличаются высокой пестротой почвенного плодородия, химических и водно-физических свойств

почв. Основой прецизионного земледелия является постоянный мониторинг питательных и водно-физических свойств почвы на каждом микро-сегменте поля. Непосредственно контролируются плотность и влажность почвы, ее твердость и агрегатный состав, содержание в ней микроэлементов и микроорганизмов и их распределение по площади поля [3].

Традиционные методы расчета средних норм по полю приводят к нерациональному расходу водных ресурсов и риску вторичного засоления. Современный подход к развитию мелиорации требует перехода к применению прецизионных методов земледелия, которые учитывают пространственную неоднородность агроландшафта.

Технологии дифференцированного внесения воды и удобрений являются ключевыми инновациями в развитии сельского хозяйства, решая задачи повышения урожайности и качества культур при одновременной оптимизации использования ресурсов и минимизации воздействия на окружающую среду [4, 5].

Территории Поволжья характеризуются дефицитом водных ресурсов, резкими климатическими изменениями и высокой изменчивостью атмосферных осадков. Традиционные системы орошения, ориентированные на усредненные показатели, не позволяют эффективно расходовать водные ресурсы, что приводит к уменьшению урожайности и развитию деградиционных процессов. В этих условиях применение технологий точного орошения является объективной необходимостью для обеспечения продовольственной безопасности страны и развития агропромышленного комплекса.

Цель исследования – систематизировать особенности природных условий Саратовского Заволжья, обосновать необходимость применения методов прецизионного земледелия на орошаемых землях и описать их роль в развитии агропромышленного комплекса.

Обсуждение. *Почвенные условия.* Саратовское Заволжье характеризуется сложным геологическим и геоморфологическим строением, что

предопределяет высокую вариабельность почвенного покрова [6]. Территории Саратовского Заволжья характеризуются преобладанием почв сухостепной зоны. Общая площадь орошаемых земель в области составляет 257,3 тыс. га, при этом большая их часть (более 70 %) сосредоточена именно в Заволжье [7].

Почвенный покров орошаемых земель Саратовского Заволжья представлен преимущественно каштановыми почвами различных подтипов, а также лугово-каштановыми почвами и комплексами с солонцами, так, в рамках даже одного хозяйства вариабельность почвенных разностей очень высока (рисунок 1).

Ниже представлены обобщенные данные об основных почвенных разностях региона (таблица 1). Для орошаемых массивов Саратовского Заволжья характерна высокая вариабельность гидрофизических характеристик даже в пределах одного поля (таблица 2).

Основная часть орошаемых земель Саратовского Заволжья сосредоточена в зоне темно-каштановых почв, эти почвы являются преобладающими на орошаемых массивах [8].

Длительное орошение без применения комплекса мелиоративных мероприятий на темно-каштановых почвах ведет к изменению физических свойств этих почв, приводя к их агрофизической деградации: ухудшению макроагрегатного состава (доля глыбистых частиц в пахотном горизонте возрастает на 39,2 %), увеличению плотности сложения (от 1,03–1,07 до 1,17–1,39 г/см³), снижению общей пористости (от 60 до 48–56 %) и крайне неблагоприятному изменению дифференциальной пористости (рост доли микропор и снижение пор аэрации до 1,1–2,8 %) [9].

Гранулометрический состав является одной из важнейших характеристик почв, определяющих их водно-физические свойства, фильтрационную способность, устойчивость к деградационным процессам и пригодность к орошению. Гидрологические свойства темно-каштановых почв

существенно варьируют в зависимости от их положения в рельефе и granulometric composition [10].

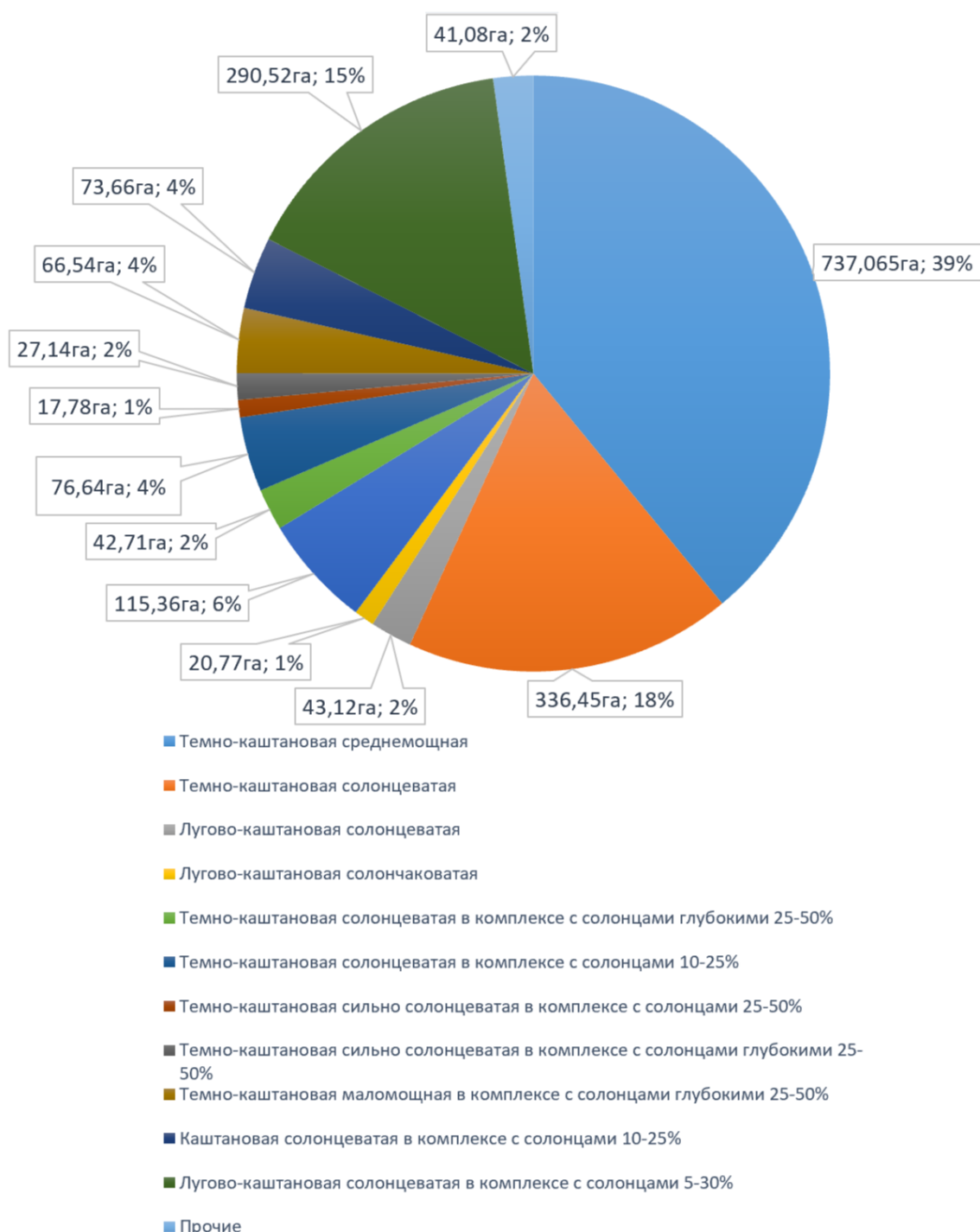


Рисунок 1 – Распределение орошаемых земель ЗАО «Агрофирма «Волга» Марковского района Саратовской области по основным почвенным разностям

Figure 1 – Distribution of irrigated lands of a closed joint-stock company Agrofirma Volga in the Markovskiy district of the Saratov region by main soil types

Таблица 1 – Характеристика основных типов почв Саратовского Заволжья

Table 1 – Specific features of the main soil types in the Saratov Trans-Volga region

Показатель	Чернозем южный	Темно-каштановая	Светло-каштановая
Мощность гумусового горизонта (A + B), см	50–70	40–50	30–40
Содержание гумуса в слое 0–30 см, %	4,5–6,0	3,0–4,5	2,0–2,5
Гранулометрический состав	Тяжелосуглинистый	Тяжелосуглинистый, глинистый	Среднесуглинистый
Содержание физической глины (< 0,01 мм), %	45–55	50–60	40–50
Плотность сложения, г/см ³	1,15–1,25	1,20–1,30	1,25–1,35
Наименьшая влагоемкость (НВ), % от массы	28–32	25–28	20–24
Коэффициент фильтрации, м/сут	0,4–0,8	0,2–0,5	0,3–0,6

Таблица 2 – Вариабельность гидрофизических свойств почв в пределах одного орошаемого массива

Table 2 – Variability of hydrophysical properties of soils within one irrigated area

Показатель	Среднее значение	Диапазон варьирования	Коэффициент вариации, %
Содержание физической глины	52	38–65	18
Плотность сложения, г/см ³	1,28	1,18–1,42	8–12
Наименьшая влагоемкость (НВ), %	24,5	18–30	15–20
Влажность завядания (ВЗ), %	11,2	8–15	18–22
Коэффициент фильтрации, м/сут	0,35	0,1–0,9	35–45

На основе этих данных делаем вывод, что первая и фундаментальная особенность региона – объективно существующая природная неоднородность почвенного покрова, связанная с геоморфологией, литологией и историей формирования ландшафтов, которая усугубляется высокой вариабельностью гранулометрического состава и гидрофизических свойств.

Пестрота почвенного плодородия. Учет пестроты почвенного плодородия почв является неотъемлемой частью планирования агротехнических мероприятий на орошаемых землях для рационального использования ресурсов при проведении поливов и внесении удобрений. Плодородие принято рассматривать не как статичный показатель, а как динамическую

систему, разделенную на два ключевых блока: потенциальное и эффективное плодородие.

Потенциальное плодородие обусловлено природными свойствами почвы (гранулометрический состав, содержание органического вещества, тип почвы, запас макро- и микроэлементов).

Эффективное плодородие – текущее состояние почвы, которое напрямую влияет на урожайность (доступные формы элементов питания, влажность, pH, засоленность), динамично меняется под воздействием агротехнических мероприятий и погодных условий.

Анализ потенциального плодородия почв орошаемых земель Саратовского Заволжья показывает большую вариативность содержания гумуса в пахотном горизонте, многие мелиорируемые земли имеют показатели содержания гумуса ниже минимальных значений зональных почв. Такой вывод можно сделать на основе результатов агрохимического обследования орошаемых полей УНПО «Поволжье» Вавиловского университета [11].

Потенциальное плодородие почв определяется прежде всего содержанием и запасами органического вещества. Длительное орошение темно-каштановых почв приводит к существенной трансформации гумусового состояния (таблица 3) [8].

**Таблица 3 – Динамика содержания гумуса в орошаемых
темно-каштановых почвах Саратовского Заволжья**
**Table 3 – Dynamics of humus content in irrigated dark chestnut soils
of the Saratov Trans-Volga region**

Период наблюдений	Содержание гумуса, %	Диапазон варьирования, %	Коэффициент вариации, %
До начала орошения (1960–1970 гг.)	3,8–4,2	3,5–4,8	12–15
25–30 лет орошения (1990-е гг.)	3,0–3,4	2,4–3,9	22–26
40–50 лет орошения (2000–2010-е гг.)	2,7–3,2	2,0–3,5	25–30
Текущий период (2010–2026 гг.)	1,8–2,7	1,3–3,2	30–35

Эффективное плодородие определяется содержанием доступных для растений основных элементов питания (азот, доступный фосфор, обменный калий). Можно сделать вывод о высокой пространственной вариабельности этих показателей (таблица 4) [12].

Таблица 4 – Пространственная неоднородность содержания элементов питания в пахотном слое орошаемых почв

Table 4 – Spatial heterogeneity of the nutrient content in the arable layer of irrigated soils

Элемент питания	Среднее содержание, мг/кг	Диапазон варьирования, мг/кг	Коэффициент вариации, %	Основная причина пестроты
Нитратный азот (N-NO ₃)	10–15	3–35	35–45	Неравномерность промывного режима, пятнистость денитрификации
Аммонийный азот (N-NH ₄)	8–12	4–18	20–25	Сорбционные свойства почвы
Подвижный фосфор (P ₂ O ₅)	20–25	8–50	30–40	Неравномерное внесение удобрений, сорбция
Обменный калий (K ₂ O)	250–300	150–400	15–20	Гранулометрический состав, вынос урожаем

Вариабельность содержания нитратного азота может быть связана с микрорельефом: в микропонижениях, где создаются анаэробные условия, потери азота за счет денитрификации выше, а содержание нитратов – ниже [13].

Проведенный анализ позволяет утверждать, что для орошаемых земель Саратовского Заволжья характерна многофакторная пространственная пестрота, которая является главным препятствием для эффективного применения традиционных методов и ключевым аргументом в пользу внедрения прецизионного земледелия.

Таким образом, пестрота почвенного плодородия в регионе имеет сложную, многофакторную структуру (рисунок 2).

Мелиоративное состояние. Исследования мелиоративного состояния земель Саратовского Заволжья позволили выделить два этапа резких изменений водного баланса территории, которые определили современное состояние орошаемых земель (таблица 5). Основные проблемы, связанные

с изменением водного баланса, которые приводят к деградации орошаемых земель Саратовского Заволжья, – это подъем уровня грунтовых вод (УГВ), риск вторичного засоления и осолонцевания почв [14].



Рисунок 2 – Факторы формирования пестроты почвенного плодородия на орошаемых землях Саратовского Заволжья

Figure 2 – Factors influencing soil fertility variability of irrigated lands of the Saratov Trans-Volga region

Таблица 5 – Этапы изменения мелиоративного состояния орошаемых земель Саратовского Заволжья

Table 5 – Stages of change in the reclamation state of irrigated lands of the Saratov Trans-Volga region

Этап	Год	Описание
1-й этап	Середина 1960-х – 1980-е гг.	Широкомасштабное орошение привело к увеличению приходной части водного баланса на 30–60 % от поступлений естественной влаги. Следствием стали повсеместный подъем уровня грунтовых вод, формирование техногенного водоносного горизонта и активизация процессов вторичного засоления
2-й этап	1990-е гг. – настоящее время	Значительное сокращение площадей регулярного орошения и уменьшение водоподачи (в 2–3 раза) привели к перестройке водно-солевого режима. Это вызвало перераспределение солей в почвенном профиле и формирование новых очагов засоления

Развитие широкомасштабной ирригации на мелиорируемых землях Саратовского Заволжья привело к таким проблемам, как подъем уровня грунтовых вод (УГВ) (рисунок 3), риск вторичного засоления и осолонцевания почв.

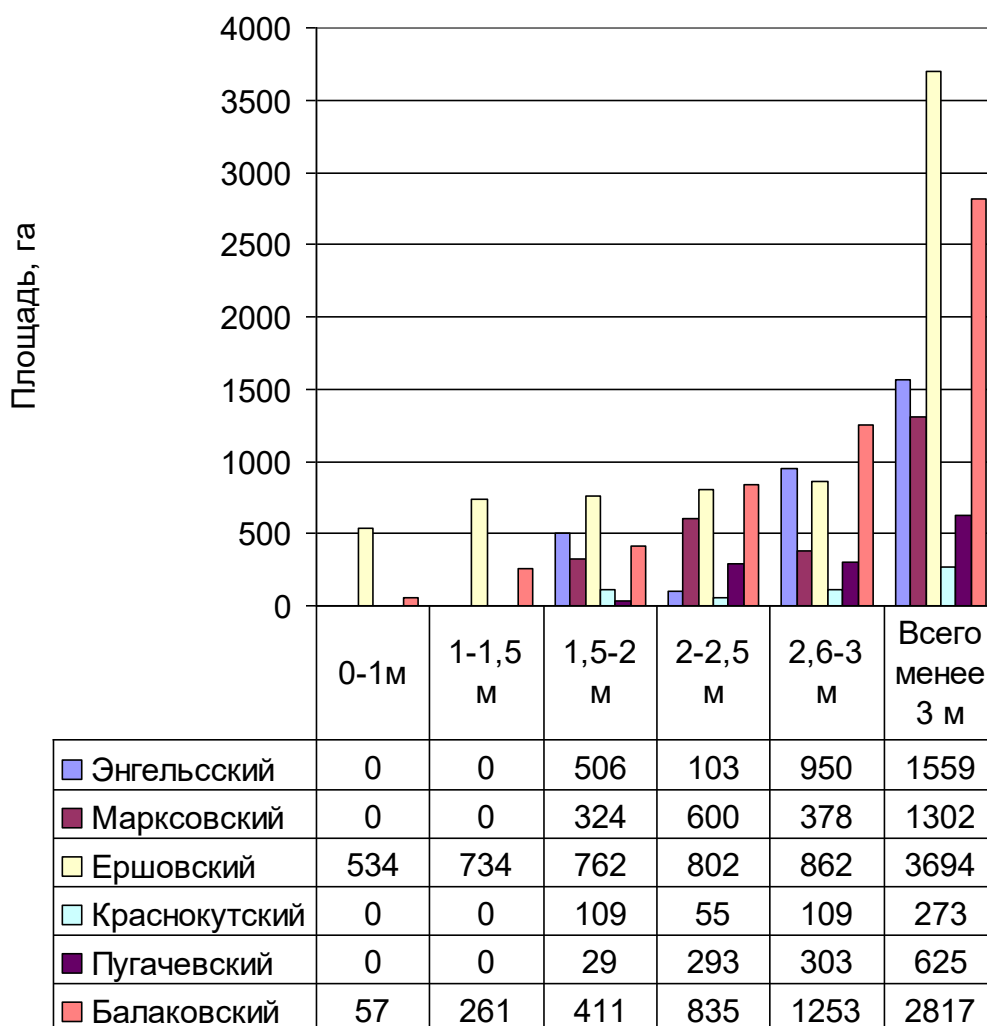


Рисунок 3 – Земли с высоким уровнем грунтовых вод в районах Саратовского Заволжья

Figure 3 – Lands with high groundwater levels in the Saratov Trans-Volga region

Подъем уровня грунтовых вод связан с особенностями гидрогеологических, мелиоративных условий территорий, в первую очередь плохой дренированностью почв. Развитие вторичного засоления почв связано со свойствами грунтовых вод, со степенью их минерализации (1–3 г/л и более) [15]. Это обусловлено тем, что Саратовское Заволжье входит в зону

аридного земледелия, где при засушливом климате и плохой дренированности почв подземный сток грунтовых вод не развивается, в расходной части баланса преобладает испарение, это ведет к засолению почв.

Доминирующим фактором, определяющим современное мелиоративное состояние орошаемых земель Саратовского Заволжья, является подъем уровня грунтовых вод (таблица 6).

**Таблица 6 – Мелиоративное состояние орошаемых земель
Саратовского Заволжья**

В %

**Table 6 – Reclamation state of irrigated lands in the Saratov
Trans-Volga region**

In %

Оценка мелиоративного состояния земель	Доля
В хорошем состоянии	70,2
В удовлетворительном состоянии	21,8
В неудовлетворительном состоянии	8,0
Из них в т. ч. по причинам:	
подъем уровня грунтовых вод	56
вторичное засоление	23
осолонцевание	9

Основываясь на изложенной информации, делаем вывод о том, что орошаемые земли Саратовского Заволжья находятся в удовлетворительном мелиоративном состоянии. Главной проблемой является подъем уровня грунтовых вод, вызванный нерациональным использованием орошаемых территорий.

Обоснование применения прецизионных методов земледелия. Высокая степень неоднородности агроландшафтов Саратовского Заволжья делает наиболее перспективным внедрение прецизионных методов земледелия. Цель прецизионного земледелия – управлять вариабельностью, адаптируя технологии к реальным условиям каждого элементарного участка поля (рисунок 4).

Переход к прецизионному земледелию необходим для достижения эффективной эксплуатации орошаемых земель, должен базироваться на

применении комплекса средств информационно-технологической поддержки, ГИС-технологий, данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), наземных датчиков и специализированного программного обеспечения для автоматизации управления поливом и мелиоративными режимами [16].

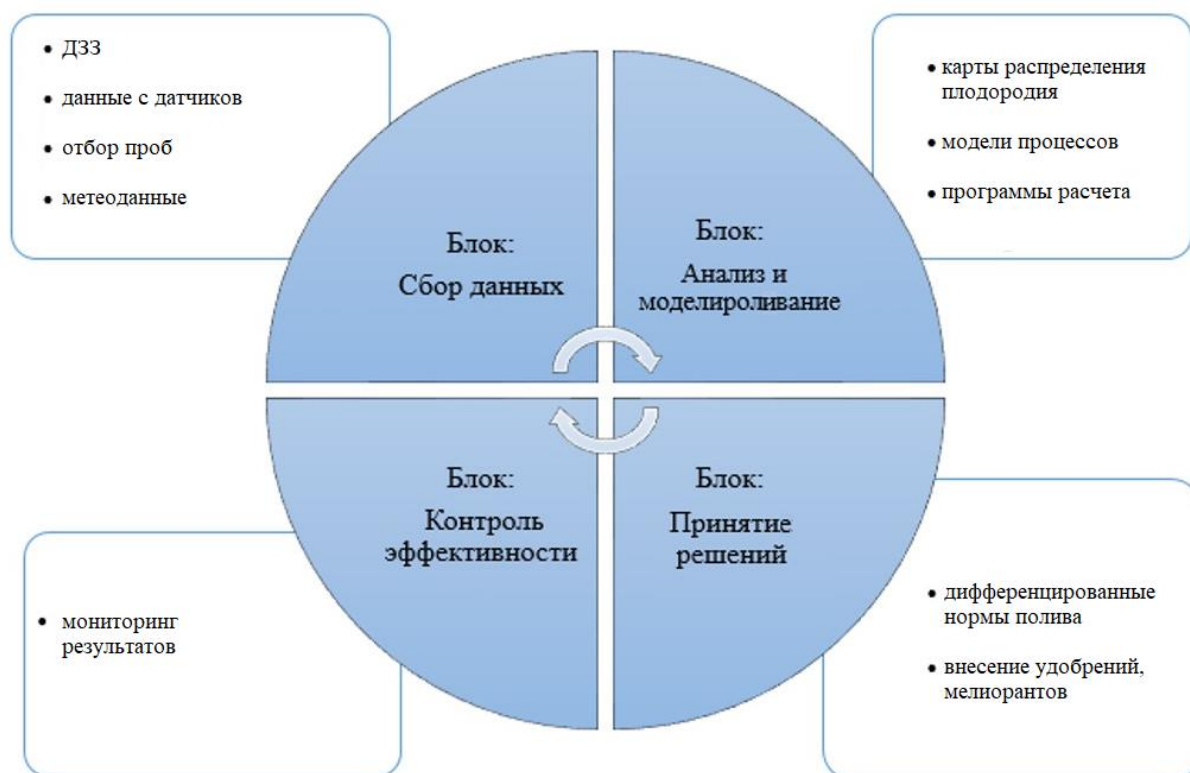


Рисунок 4 – Концептуальная схема системы прецизионного земледелия для условий Саратовского Заволжья

Figure 4 – Conceptual diagram of a precision farming system for the Saratov Trans-Volga region

Работы саратовских ученых заложили основу для применения информационных технологий на орошаемых землях Саратовского Заволжья. Ими была разработана концепция создания и ведения комплексного локального ГИС-мониторинга орошаемых агроландшафтов, включающая автоматизированную базу данных по почвам, грунтовым водам и техногенным объектам [17].

Для перехода от усредненных значений к дифференцированному распределению ресурсов по площадям орошаемых массивов необходимо

внедрение такого метода точного земледелия, как использование систем поддержки принятия решений, позволяющих рассчитывать оптимальные дозы удобрений на основе картограмм агрохимического обследования, управлять водным режимом, учитывая пространственную вариабельность влагозапасов и гидрофизических свойств почв [18].

Важную роль в прецизионном земледелии играют методы математического моделирования процессов в мелиорации. Главными задачами мелиорации являются обеспечение оптимального водного режима почвы, предотвращение эрозии и поддержание плодородия.

Для решения этих задач подходит применение методов математического моделирования, позволяющих анализировать и прогнозировать развитие процессов в сложных экосистемах (рисунок 5). Развитие современных технологий существенно расширило возможности математического моделирования. Современные модели дают возможность учитывать большое количество факторов, влияющих на продуктивность сельского хозяйства, включая климатические условия, качество почвы, состав удобрений и особенности сельскохозяйственной техники. Применение математических моделей способствует принятию обоснованных управленческих решений, повышению эффективности производства и снижению негативного воздействия на окружающую среду [19].

Работа А. С. Фальковича показывает подготовку метода прогнозирования солевого режима темно-каштановых почв для условий Саратовского Заволжья, основанного на комплексном применении ГИС-технологий и математического моделирования (SWAP-модель). SWAP (Soil, Water, Atmosphere, Plant) представляет собой программу для расчета влажности почвы и урожайности сельскохозяйственных культур. Модель объединяет симуляцию движения воды, содержащихся в ней элементов и теплового потока в почве с расчетом потенциальной урожайности, используя современные концепции и подходы к моделированию [20].

Гидрологические модели	• Формирование стока • инфильтрация • испарение
Гидравлические модели	• Движение воды в каналах, трубопроводах и других гидротехнических сооружениях.
Модели влагопереноса в почве	• Движение воды в почвенном профиле, инфильтрация, испарение, поглощение воды корнями растений
Модели переноса солей	• Миграция солей в почвенном профиле, растворение, перенос водой и осаждение.
Модели роста растений	• Рост и развитие сельскохозяйственных культур в зависимости от внешних условий.
Модели качества воды	• Трансформация и перенос загрязняющих веществ в водных объектах

Рисунок 5 – Математические модели, применяемые в мелиорации, и описываемые процессы

Figure 5 – Mathematical models used in land reclamation and the processes described

Этот подход позволяет:

- прогнозировать динамику солей в почвенном профиле при различных сценариях водоподачи;
- оценивать риски вторичного засоления при проектировании оросительных систем;
- обосновывать экологически безопасные режимы орошения для конкретных контуров.

На данном этапе развития технологий необходим комплексный подход к применению прецизионных методов земледелия на орошаемых землях. Таким решением является создание цифровых двойников агроланд-

шафтов. Цифровой двойник меняет подход к управлению почвой и орошением, обеспечивая возможности мониторинга, моделирования и оптимизации процессов в реальном времени. Эта технология базируется на данных из нескольких источников, таких как датчики, дистанционное зондирование и метеостанции, для создания цифровой копии почвенных систем и орошения. В области управления орошением цифровые двойники включают в себя детальные представления об оросительной системе, влажности почвы и потребностях культур в питании. Интеграция данных в реальном времени позволяет точно назначать сроки полива, гарантируя, что культуры получают оптимальное количество воды и удобрений, тем самым сокращая потери и повышая урожайность [21].

На основе собранных данных можно сделать вывод, что применение прецизионных методов, адаптированных к природно-климатическим условиям Саратовского Заволжья, произведет следующий эффект (таблица 7).

Таблица 7 – Эффективность применения прецизионных методов земледелия на орошаемых землях Саратовского Заволжья
Table 7 – Efficiency of applying precision farming methods on irrigated lands of the Saratov Trans-Volga region

Показатель	Эффект
1	2
Экономия водных ресурсов при проведении поливов	Дифференцированный полив с учетом пространственной неоднородности влагозапасов позволяет снизить водоподачу на 18–35 % без падения урожайности. Это особенно важно в условиях дефицита водных ресурсов
Предотвращение вторичного засоления	Дифференцированное управление водным режимом позволяет избежать формирования зон избыточного увлажнения, являющихся очагами подъема грунтовых вод и засоления. Применение прецизионных режимов орошения снижает риски развития засоления на 25–40 % [21]
Оптимизация питания растений	В условиях высокой variability плодородия внесение усредненных доз удобрений приводит либо к дефициту урожайности на малообеспеченных участках, либо к неоправданным затратам и загрязнению окружающей среды на участках с оптимальным содержанием элементов питания [22]. Дифференцированное внесение удобрений с учетом пестроты обеспеченности элементами питания позволяет повысить эффективность внесения удобрений в 1,5–2 раза благодаря росту урожайности

Продолжение таблицы 7

Table 7 continued

1	2
Снижение темпов де-гумификации	Локальное внесение органических удобрений и сидератов на участках с наиболее низким содержанием гумуса позволяет стабилизировать и повышать потенциальное плодородие с минимальными затратами. Такой подход снижает темпы падения содержания гумуса в 2–3 раза по сравнению с традиционными технологиями [7]
Повышение экономической эффективности	Внедрение прецизионных технологий в хозяйствах Саратовской области (ЗАО «Агрофирма «Волга» Марковского района, опытно-производственное хозяйство ВолжНИИГиМ) обеспечило условный чистый доход 5,23 тыс. руб. с 1 га, уровень рентабельности 183,5 %

Выводы. Переход к применению прецизионных методов земледелия на орошаемых землях Саратовского Заволжья является объективно необходимым условием для обеспечения экологической безопасности и экономической эффективности мелиоративного комплекса. Многолетние исследования саратовских ученых показывают, что игнорирование пестроты почвенного плодородия в рамках даже одного поля при эксплуатации оросительных систем неизбежно ведет к прогрессирующей деградации почв и снижению продуктивности агроценозов.

Применение ГИС-технологий, информационно-советующих систем, дифференцированного внесения ресурсов и математического моделирования процессов почвы позволит не только стабилизировать мелиоративную обстановку, но и вывести продуктивность орошаемых земель на более высокий уровень. Внедрение разработанных систем в хозяйствах области подтвердило их высокую эффективность, заключающуюся в снижении затрат оросительной воды, уменьшении инфильтрационного питания грунтовых вод, предотвращении вторичного засоления, стабилизации уровня плодородия почв.

Дальнейшее развитие орошения в регионе, связанное с вводом новых земель и реконструкцией старых оросительных систем, должно базироваться на принципах цифровизации и дифференцированного управления

агроресурсами, что обеспечит экологическую безопасность и высокую рентабельность аграрного производства в условиях меняющегося климата.

Список источников

1. Колганов А. В., Масный Р. С., Балакай Г. Т. Потенциал мелиорированных земель России // Мелиорация и гидротехника. 2026. Т. 16, № 1. С. 1–18. DOI: 10.31774/2712-9357-2026-16-1-1-18. EDN: JLMEVA.
2. Шадских В. А., Кижаяева В. Е., Романова Л. Г. Эколого-мелиоративные аспекты использования орошаемых земель Саратовской области // Экология и строительство. 2020. № 2. С. 54–60. DOI: 10.35688/2413-8452-2020-02-008. EDN: UPCWBY.
3. Ольгаренко В. Иг., Бабичев А. Н., Монастырский В. А. Принципы применения элементов технологии точного земледелия и прецизионного орошения в сельскохозяйственном производстве // Новости науки в АПК. 2018. № 2-2(11). С. 23–26. DOI: 10.25930/61sr-d695. EDN: FXVQTY.
4. Xing Y., Wang X. Precise application of water and fertilizer to crops: challenges and opportunities // Frontiers in Plant Science. 2024. Vol. 15. PMID: 39711591. DOI: 10.3389/fpls.2024.1444560. EDN: DGEQCP.
5. Vasilyev S. M., Babichev A. N., Olgarenko V. I. Applying the precision irrigation technology to address the deficit of water resources in the south of Russia // The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems / ed. by A. V. Bogoviz. Heidelberg: Springer International Publishing, 2021. P. 789–795. DOI: 10.1007/978-3-030-72110-7_86. EDN: MSZBWQ.
6. Усов Н. И. Почвы Саратовской области. Ч. 2. Заволжье. Саратов: Сарат. обл. изд-во, 1948. 362 с.
7. Шадских В. А., Кижаяева В. Е. Почвозащитная основная обработка орошаемых темно-каштановых почв сухостепного Заволжья // Проблемы устойчивого развития мелиорации и рационального природопользования: материалы Юбилейн. междунар. науч.-практ. конф. (Костяковские чтения), г. Москва, 10–11 апр. 2007 г. М.: Всерос. НИИ автоматизации, 2007. Т. 2. С. 181–186. EDN: YKZTZB.
8. Шадских В. А., Кижаяева В. Е. Изменение плодородия и гумусового состояния темно-каштановых длительно орошаемых почв при различных агротехнических приемах // Мелиорация и водное хозяйство. 2022. № 2. С. 7–10. DOI: 10.32962/0235-2524-2022-2-7-11. EDN: JBPIYQ.
9. Янюк В. М., Романова Л. Г., Тарасенко П. В. Оценка и прогноз гумусового состояния орошаемых темно-каштановых почв Заволжья // Аграрный научный журнал. 2021. № 11. С. 59–63. DOI: 10.28983/asj.y2021i11pp59-63. EDN: PAIDMT.
10. Романова Л. Г., Майорова В. В. Физическая деградация почв и пути ее оценки // Водосберегающие технологии как основа эффективного использования орошаемых земель: сб. науч. тр. Саратов: Науч. кн., 2003. С. 81–88. EDN: YVPQAB.
11. Проблемы плодородия почв УНПО «Поволжье» Саратовского государственного аграрного университета имени Н. И. Вавилова / В. В. Корсак, С. М. Бакиров, Б. В. Фисенко, И. В. Маслов, С. И. Муравлев // Основы рационального природопользования: материалы VII Нац. конф. с междунар. участием, г. Саратов, 18–19 нояб. 2021 г. Саратов: Саратовский ГАУ, 2021. С. 25–29. EDN: LQCABM.
12. Supply of nutrients of zonal soil subtypes and macronutrients balance in fodder crop rotation links on irrigation / M. M. Okonov, T. I. Bakinova, V. A. Batyrov, S. A. Orosov, E. A. Dzhirgalova, S. V. Ubushaeva, A. N. Mandzhieva, R. M. Shabanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Tashkent, 12–14 May 2021. Tashkent, 2021. 012082. DOI: 10.1088/1755-1315/868/1/012082. EDN: UNUNAA.

13. Корсак В. В., Пронько Н. А. Современные информационные технологии рационального природопользования на орошаемых землях Поволжья // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. 2009. № 3. С. 27–29. EDN: JXCQQD.
14. Леонтьев С. А., Егоров В. С., Никишанов А. Н. Мелиоративное состояние земель Саратовской области // Научная жизнь. 2014. № 6. С. 84–90. EDN: TLCGGF.
15. Неблагоприятное влияние орошения на почву и возможности и перспективы применения внутрипочвенной импульсной континуально-дискретной парадигмы ирригации / В. П. Калиниченко, О. С. Безуглова, Н. Г. Солнцева, А. Н. Сковпень, В. В. Черненко, Л. П. Ильина, А. А. Болдырев, Д. В. Шевченко, Д. А. Скворцов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2012. № 2(6). С. 38–49. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=570> (дата обращения: 01.07.2026). EDN: OZKNYN.
16. Волкова Е. А. Использование комплекса средств информационно-технологической поддержки при эксплуатации орошаемых участков // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 1. С. 77–98. DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-1-77-98. EDN: KKXPWK.
17. Пронько Н. А., Корсак В. В., Корнева Т. В. ГИС-мониторинг мелиоративного состояния орошаемых земель (на примере сухостепного Заволжья) // Мелиорация и водное хозяйство. 2008. № 6. С. 26–29. EDN: JXGCSB.
18. Пронько Н. А., Корсак В. В. Геоинформационная система поддержки управления орошаемым земледелием // Научная жизнь. 2015. № 6. С. 24–34. EDN: VJOZLJ.
19. Моделирование природно-техногенных процессов в мелиоративно-водоохозяйственном комплексе: коллектив. моногр. / В. А. Шевченко [и др.]. М.: ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2025. 231 с. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2025.48.97.001. EDN: VFODYW.
20. Фалькович А. С. Значения гидрофизических параметров для моделирования влагопереноса в террасовых темно-каштановых почвах Нижнего Поволжья // Научное обозрение. 2011. № 3. С. 13–17. EDN: OKMEIL.
21. Subeesh A., Chauhan N. Agricultural digital twin for smart farming: A review // Green Technologies and Sustainability. 2026. Vol. 4, № 2. 100299. DOI: 10.1016/j.grets.2025.100299. EDN: LTCNVE.
22. Пронько В. В., Корсак В. В., Дружкин А. Ф. Влияние погодных условий и агротехнических приемов на эффективность удобрений в степном Поволжье // Агрохимия. 2004. № 8. С. 20–26. EDN: ONQDX.

References

1. Kolganov A.V., Masnyi R.S., Balakay G.T., 2026. *Potentsial meliorirovannykh zemel' Rossii* [The reclaimed land potential in Russia]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 16, no. 1, pp. 1-18, DOI: 10.31774/2712-9357-2026-16-1-1-18, EDN: JLMEVA. (In Russian).
2. Shadskikh V.A., Kizhaeva V.E., Romanova L.G., 2020. *Ekologo-meliorativnye aspekty ispol'zovaniya oroshaemykh zemel' Saratovskoy oblasti* [Ecological and reclamation aspects of the use of irrigated lands in Saratov region]. *Ekologiya i stroitel'stvo* [Ecology and Construction], no. 2, pp. 54-60, DOI: 10.35688/2413-8452-2020-02-008, EDN: UPCWBY. (In Russian).
3. Olgarenko V.Ig., Babichev A.N., Monastyrskiy V.A., 2018. *Printsipy primeneniya elementov tekhnologii tochnogo zemledeliya i pretsizionnogo orosheniya v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve* [Principles of using elements of technology of precision farming and precision irrigation in agricultural production]. *Novosti nauki v APK* [Science News in the AIC], no. 2-2(11), pp. 23-26, DOI: 10.25930/61sr-d695, EDN: FXVQTY. (In Russian).
4. Xing Y., Wang X., 2024. Precise application of water and fertilizer to crops: challenges and opportunities. *Frontiers in Plant Science*, vol. 15, PMID: 39711591, DOI: 10.3389/fpls.2024.1444560, EDN: DGEQCP.

5. Vasilyev S.M., Babichev A.N., Olgarenko V.I., 2021. Applying the precision irrigation technology to address the deficit of water resources in the south of Russia. The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems. Heidelberg, Springer International Publ., pp. 789-795, DOI: 10.1007/978-3-030-72110-7_86, EDN: MSZBWQ.

6. Usov N.I., 1948. *Pochvy Saratovskoi oblasti. Ch. 2. Zavolzh'e* [Soils of the Saratov Region. Pt. 2. Trans-Volga Region]. Saratov, Saratov Regional Publ., 362 p. (In Russian).

7. Shadskikh V.A., Kizhaeva V.E., 2007. *Pochvozashchitnaya osnovnaya obrabotka oroshaemykh temno-kashtanovykh pochv sukhostepnogo Zavolzh'ya* [Primary soil-conservation cultivation of irrigated dark chestnut soils of the dry-steppe Trans-Volga region]. *Problemy ustoychivogo razvitiya melioratsii i ratsional'nogo prirodopol'zovaniya: materialy Yubileyn. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Kostyakovskie chteniya)* [Problems of Sustainable Development of Land Reclamation and Rational Nature Management: Proc. of the Jubilee International Scientific and Practical Conference (Kostyakov Readings)]. Moscow, All-Russian Research Institute of Automatics, vol. 2, pp. 181-186, EDN: YKZTZB. (In Russian).

8. Shadskikh V.A., Kizhaeva V.E., 2022. *Izmenenie plodorodiya i gumusovogo sostoyaniya temno-kashtanovykh dlitel'no oroshaemykh pochv pri razlichnykh agrotekhnicheskikh priemakh* [Change of fertility and humus state dark chestnut longly irrigated soils under various agrotechnical practices]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 2, pp. 7-10, DOI: 10.32962/0235-2524-2022-2-7-11, EDN: JBPIYQ. (In Russian).

9. Yanyuk V.M., Romanova L.G., Tarasenko P.V., 2021. *Otsenka i prognoz gumusovogo sostoyaniya oroshaemykh temno-kashtanovykh pochv Zavolzh'ya* [Assessment and forecast of the humus state of irrigated dark chestnut soils of the Trans-Volga region]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal], no. 11, pp. 59-63, DOI: 10.28983/asj.y2021i11pp59-63. EDN: PAIDMT. (In Russian).

10. Romanova L.G., Mayorova V.V., 2003. *Fizicheskaya degradatsiya pochv i puti yee otsenki* [Physical soil degradation and ways of its assessment]. *Vodoberegayushchie tekhnologii kak osnova effektivnogo ispol'zovaniya oroshaemykh zemel': sb. nauch. tr.* [Water-Saving Technologies as a Basis for Efficient Use of Irrigated Lands: collection of scientific papers]. Saratov, Scientific Book Publ., pp. 81-88, EDN: YVPQAB. (In Russian).

11. Korsak V.V., Bakirov S.M., Fisenko B.V., Maslov I.V., Muravlev S.I., 2021. *Problemy plodorodiya pochv UNPO «Povolzh'ye» Saratovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta imeni N. I. Vavilova* [Problems of soil fertility of the scientific production association “Povolzhye” of the Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov]. *Osnovy ratsional'nogo prirodopol'zovaniya: materialy VII Nats. konf. s mezhdunar. uchastiem* [Fundamentals of Rational Nature Management: Proc. of the VII National Conf. with International Participation]. Saratov, Saratov State Agrarian University, pp. 25-29, EDN: LQCABM. (In Russian).

12. Okonov M.M., Bakinova T.I., Batyrov V.A., Orosov S.A., Dzhirgalova E.A., Ubushaeva S.V., Mandzhieva A.N., Shabanov R.M., 2021. Supply of nutrients of zonal soil subtypes and macronutrients balance in fodder crop rotation links on irrigation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Tashkent, 12–14 May 2021. Tashkent, 012082, DOI: 10.1088/1755-1315/868/1/012082, EDN: UNUNAA.

13. Korsak V.V., Pronko N.A., 2009. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii ratsional'nogo prirodopol'zovaniya na oroshaemykh zemlyakh Povolzh'ya* [Modern information technologies for rational nature management on irrigated lands of the Volga region]. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N. I. Vavilova* [Bulletin of Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov], no. 3, pp. 27-29, EDN: JXCQQD. (In Russian).

14. Leontyev S.A., Egorov V.S., Nikishanov A.N., 2014. *Meliorativnoe sostoyanie zemel' Saratovskoy oblasti* [Reclamation state of lands in Saratov region]. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific Life], no. 6, pp. 84-90, EDN: TLCGGF. (In Russian).

15. Kalinichenko V.P., Bezuglova O.S., Solntseva N.G., Skovpen A.N., Chernenko V.V., Ilyina L.P., Boldyrev A.A., Shevchenko D.V., Skvortsov D.A., 2012. *Neblagopriyatnoe vliyanie orosheniya na pochvu i vozmozhnosti i perspektivy primeneniya vnutripochvennoy impul'snoy kontinual'no-diskretnoy paradigmy irrigatsii* [Unfavorable effect on soil of existing ways of watering and opportunities for use of intrasoil pulse continually-discrete irrigation paradigm]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* [Scientific Journal of the Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 2(6), pp. 38-49, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=570> (accessed 01.07.2026), EDN: OZNKYN. (In Russian).

16. Volkova E.A., 2025. *Ispol'zovanie kompleksa sredstv informatsionno-tekhnologicheskoy podderzhki pri ekspluatatsii oroshaemykh uchastkov* [The application of the IT support tools set in the irrigated area operation]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 15, no. 1, pp. 77-98, DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-1-77-98, EDN: KKXPWK. (In Russian).

17. Pronko N.A., Korsak V.V., Korneva T.V., 2008. *GIS-monitoring meliorativnogo sostoyaniya oroshaemykh zemel' (na primere sukhostepnogo Zavolzh'ya)* [GIS-monitoring for irrigated lands (using the dry-steppe Trans-Volga region as an example)]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 6, pp. 26-29, EDN: JXGCSB. (In Russian).

18. Pronko N.A., Korsak V.V., 2015. *Geoinformatsionnaya sistema podderzhki upravleniya oroshaemym zemledeliem* [Geoinformation system for supporting irrigated agriculture management]. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific Life], no. 6, pp. 24-34, EDN: VJOZLJ. (In Russian).

19. Shevchenko V.A. [et al.], 2025. *Modelirovanie prirodno-tekhnogennykh protsessov v meliorativno-vodokhozyaystvennom komplekse: kollektiv. monogr.* [Modeling Natural and Man-Made Processes in the Land Reclamation and Water Management Complex: collective monograph]. Moscow, Federal Scientific Center of Hydrometeorology and Meteorology named after A. N. Kostyakov, 231 p., DOI: 10.37738/VNIIGIM.2025.48.97.001, EDN: VFODYW. (In Russian).

20. Falkovich A.S., 2011. *Znacheniya gidrofizicheskikh parametrov dlya modelirovaniya vlagoperenosa v terrasovykh temno-kashtanovykh pochvakh Nizhnego Povolzh'ya* [The values of hydro physical parameters in modeling moisture transfer in the terraced dark chestnut soils of the Lower Volga region]. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review], no. 3, pp. 13-17, EDN: OKMEIL. (In Russian).

21. Subeesh A., Chauhan N., 2026. Agricultural digital twin for smart farming: A review. *Green Technologies and Sustainability*, vol. 4, no. 2, 100299, DOI: 10.1016/j.grets.2025.100299, EDN: LTCNVE.

22. Pronko V.V., Korsak V.V., Druzhkin A.F., 2004. *Vliyanie pogodnykh usloviy i agrotekhnicheskikh priemov na effektivnost' udobreniy v stepnom Povolzh'ye* [The effect of weather conditions and land treatment on the efficiency of fertilizers in the steppe Volga region]. *Agrokimiya* [Agrochemistry], no. 8, pp. 20-26, EDN: ONQDX. (In Russian).

Информация об авторах

Н. В. Медведев – аспирант кафедры гидромелиорации, природообустройства и строительства в АПК, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (410012, г. Саратов, пр-т им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3), kalek15864@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4852-2452;

В. В. Корсак – профессор кафедры гидромелиорации, природообустройства и строительства в АПК, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (410012, г. Саратов, пр-т им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3), vvcorsac@rambler.ru, AuthorID: 352371, ORCID: 0000-0001-6285-7649;

Н. А. Пронько – профессор кафедры гидромелиорации, природообустройства и строительства в АПК, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (410012, г. Саратов, пр-т им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3), n_pronko@mail.ru, AuthorID: 415593, ORCID: 0000-0003-2814-2011;

Т. А. Панкова – доцент кафедры гидромелиорации, природообустройства и строительства в АПК, кандидат технических наук, доцент, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (410012, г. Саратов, пр-т им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3), vtanja@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4619-765X.

Information about the authors

N. V. Medvedev – Postgraduate Student of the Department of Hydraulic Reclamation, Nature Management and Construction in Agro-Industrial Complex, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (410012, Saratov, Pyotr Stolypin ave., build. 4, str. 3), kalek15864@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4852-2452;

V. V. Korsak – Professor of the Department of Hydraulic Reclamation, Nature Management and Construction in Agro-Industrial Complex, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (410012, Saratov, Pyotr Stolypin ave., build. 4, str. 3), vvcorsac@rambler.ru, AuthorID: 352371, ORCID: 0000-0001-6285-7649;

N. A. Pronko – Professor of the Department of Hydraulic Reclamation, Nature Management and Construction in Agro-Industrial Complex, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (410012, Saratov, Pyotr Stolypin ave., build. 4, str. 3), n_pronko@mail.ru, AuthorID: 415593, ORCID: 0000-0003-2814-2011;

T. A. Pankova – Associate Professor of the Department of Hydraulic Reclamation, Nature Management and Construction in Agro-Industrial Complex, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (410012, Saratov, Pyotr Stolypin ave., build. 4, str. 3), vtanja@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4619-765X.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.*

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 13.04.2026; одобрена после рецензирования 16.07.2026;
принята к публикации 11.09.2026.*

The article was submitted 13.04.2026; approved after reviewing 16.07.2026; accepted for publication 11.09.2026.