

**Information about the authors**

**Pchelkin Victor Vladimirovich**, doctor of technical sciences, professor of the department of land reclamation, recultivation and protection of FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, 44; e-mail: 9766793@mail.ru

**Sukharev Yuriy Ivanovich**, doctor of technical sciences, professor of the department of land reclamation, recultivation and protection of FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, 44, e-mail: vodoem@mail.ru

**Kuzina Oksana Mikhailovna**, assistant of the department of land reclamation, recultivation and protection of FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, 44; e-mail: kapyn@yandex.ru

**Vladimirov Stanislav Olegovich**, post graduate student of the department of land reclamation, recultivation and protection of FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, 44; e-mail: isvo@bk.ru

**Приглашаем к обсуждению**

УДК 502/504:631.6

DOI 10.34677/1997-6011/2020-1-54-58

**А.Е. КАСЬЯНОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

**ИННОВАЦИОННАЯ, ТОЧНАЯ, ЦИФРОВАЯ МЕЛИОРАЦИЯ**

*Использование цифровых методов в мелиорации показано на примере математической модели производства сельскохозяйственной продукции на мелиорируемых землях. Дана структура этой системы. Она включает три основных процесса, которые функционируют под влиянием природно-климатических и хозяйственных факторов. Экстремальные значения целевых функций позволяют рассчитать оптимальные значения хозяйственных факторов. Количественно процесс роста и развития сельскохозяйственного растения описывает кинетическая функция. Параметры функции находят методами регрессионного и корреляционного анализов. Динамику влаги, тепла, растворов элементов питания в почве описывают системы дифференциальных уравнений. Приведены параметры кинетической функции. Указаны основные факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на урожай озимой пшеницы в условиях Марксовского района Саратовской области. Низкий технический уровень гидромелиоративных систем отмечается на 37% площади мелиорируемых земель России. Системы не обеспечивают в полной мере реализацию направления цифровой и точной мелиорации. Инновация, объединяя эти направления, обеспечивает существенное повышение технического уровня гидромелиоративных систем. Однако в последние годы сокращается количество разработанных и внедренных в мелиоративную отрасль изобретений. Необходимы меры по стимулированию этих работ. Поэтому необходимо разрабатывать и внедрять в производство изобретения в области мелиорации.*

*Инновационная, цифровая, точная мелиорация, математическая модель, регрессионная зависимость, гидромелиоративная система, изобретения.*

**Введение.** Интенсивное развитие мелиорации в сельскохозяйственном производстве, которое отмечалось в 70-80 годах прошлого века, практически остановилось в 90 и нулевые годы. В настоящее время на части площадей мелиоративных систем России отмечается физическая и технологическая

деградация мелиоративных сооружений, снижается плодородие почв, падают урожаи сельскохозяйственных культур. Специалисты и ученые выявляют причины неудовлетворительного состояния мелиоративной отрасли и основные направления устранения недостатков ее эффективного развития,

отражая в характеристике самой отрасли: точная, цифровая мелиорация [1, 2]. Продолжая дальнейший анализ состояния мелиоративной отрасли можно выделить наиболее общее актуальное направление на устранения недостатков ее развития, которое соответствует инновационному развитию народного хозяйства страны. Инновационное направление развития включает и точную и цифровую мелиорацию. Термин инновация соответствует переводу с английского термина inventor – изобретатель, т.е. инновация – это разработка и внедрение в производство новых конструкций машин и механизмов, сооружений, технологий, программных средств. Некоторые особенности инноваций в мелиорацию рассмотрены в предлагаемом материале.

**Материалы и методы исследований.**

По данным Росреестра РФ на начало 2018 г. из 11255 тыс. га мелиорируемых земель в Российской Федерации неудовлетворительное состояние отмечается на площади 3702.4 тыс. га и на площади 4199 тыс. га требуется повышение технического уровня гидромелиоративных систем [3]. Для устранения отмеченных недостатков необходимы инновационные мероприятия, обеспечивающие существенное повышение уровня технических параметров гидромелиоративных систем.

В соответствии с системным подходом производство сельскохозяйственной продукции на мелиорируемых землях рассматривается как сложная многоэлементная система. Она включает основные процессы: роста и развития сельскохозяйственного растения; движения влаги, тепла растворов в почве; применение рабочей силы и техники. Процессы протекают под влиянием природно-климатической и производственно-хозяйственных групп факторов. Структура системы производства сельскохозяйственной продукции на мелиорируемых землях показана на рисунке [4].

Природно-климатические факторы неуправляемы. Они изменяются случайным образом. Посредством изменения производственно-экономических факторов, включающих режим орошения, нормы внесения удобрений, нормы осушения, параметры агротехнических работ управляют системой производства сельскохозяйственной продукции. Приведенный ниже материал, показывает некоторые направления цифровизации, которые отображает математическое моделирование в мелиорации.

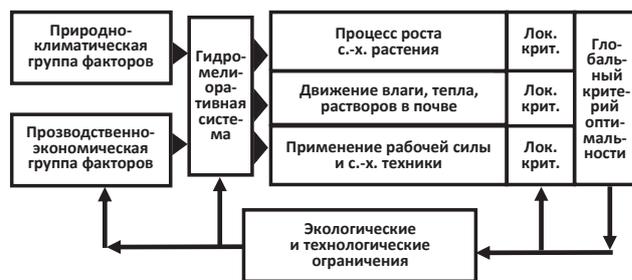


Рис. Структура системы производства сельскохозяйственной продукции на мелиорируемых землях

Количественно эффективность функционирования системы отображает глобальный критерий оптимальности, представленный в форме целевых функций:

$$Y = Y(X_I, X_{II}) \rightarrow \max;$$

$$S_{(x)} = \left[ C_0 \cdot Y - \left( \sum_{i=1}^m c_i x_i + A \right) \right] \rightarrow \max;$$

$$|\Psi_y| \leq |B|; \quad Y > Y_{np}.$$

где  $Y$  – урожайность;  $Y(X_I, X_{II})$  – аналитическая зависимость величины урожая от совокупности внешних факторов  $X_I, X_{II}$ ;  $X_I$  – совокупность неуправляемых природно-климатических факторов;  $X_{II}$  – совокупность управляемых производственно-экономических факторов;  $|\Psi_y|$  – матрица параметров почвенно-гидрогеологических процессов, определяющих экологическое состояние мелиорируемых земель объекта;  $|B|$  – матрица экологических ограничений, обеспечивающих сохранение природной среды мелиорируемых земель;  $S(x)$  – чистый доход;  $C_0$  – закупочная цена единицы урожая;  $x_i$  – удельная величина  $i$ -го затраченного ресурса;  $c_i$  – стоимость  $i$ -го затраченного ресурса;  $A$  – капитальные издержки;  $Y_{np}$  – проектная урожайность.

В качестве математической модели  $Y$  использована кинетическая функция

$$y = a \prod_{i=1}^m x_i^{\beta_i} e^{-\gamma_i x_i}$$

(КФ) вида, где  $a, \beta, \gamma$  – коэффициенты;  $x$  – величина фактора;  $m$  – количество рассматриваемых факторов;  $i = 1...m$ . КФ также количественно описывает процессы применения рабочей силы и сельскохозяйственной техники.

Процессы движения влаги, тепла и растворов в почве количественно отображают системы эллиптических дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами: влагоемкости, водопроницаемости, конвективной диффузии, теплопроводности и др. Уравнения используют для расчета режима орошения, динамики растворов элементов питания в почве [5].

**Результаты исследований.** Модель урожайности озимой пшеницы на орошаемых землях Марковского района Саратовской области включала следующие факторы:

1. Число использованных на 1 га озимой пшеницы тракторов (в пересчете на условный трактор)  $x_1$ . 2. Число использованных на той же площади комбайнов  $x_2$ . 3. Сумма начальных запасов питательных веществ в почве, пересчитанных в объем удобрений ( $x_{нз}$ ), и сумма минеральных и органических удобрений, внесенных на 1 га ( $x_{y3}$ ),  $x_3$ , т/га. 4. Затраты труда на 1 ц зерна, чел. – дн.  $x_4$ . 5. Минимальная среднемесячная температура поверхности почвы в январе, °С,  $x_5$ . 6. Сумма естественных осадков ( $x_{e6}$ ), выпавших на поле за период III декады (август – сентябрь), и объема оросительной воды ( $x_{o6}$ ), поданной на поле за тот же период,  $x_6$ , мм. 7. Сумма осадков за октябрь – март,  $x_{e7}$ , мм. 8. Сумма осадков за апрель,  $x_{e8}$ , мм, 9. Сумма естественных осадков ( $x_{e9}$ ), выпавших на поле озимой пшеницы за май, и объема оросительной воды ( $x_{o9}$ ), поданной на поле за тот же месяц,  $x_9$ , мм. 10. Сумма естественных осадков ( $x_{e10}$ ), выпавших на поле

за июнь, объема оросительной воды ( $x_{o10}$ ), поданной на поле за тот же месяц,  $x_{10}$ , мм. 11. Сумма осадков за июль,  $x_{11}$ , мм.

Совокупность значений факторов составила 2720 и урожайности – 160.

Значения факторов получены по данным метеостанций районов Саратовского Заволжья, отчетов хозяйств, полевых обследований и опытов.

Логарифмированием КФ приводим к линейному виду и находим параметры уравнения регрессии. Статистическая значимость коэффициентов  $\gamma_i$  и  $\beta_i$  уравнения регрессии при уровне значимости  $P = 0,05$  и степенях свободы 125 проверена по критерию Стьюдента  $t_T = 1,67$ . Критерий Фишера-Снедекора при уровне значимости  $P = 0,05$  и степенях свободы для числителя 23 и знаменателя 125  $F_T = 4,47$  подтверждает статистическую значимость всех коэффициентов уравнения регрессии. В таблице 1 приведены коэффициенты уравнения регрессии. В таблице 2 приведены результаты сравнения опытных и рассчитанных по модели значений урожайности на делянках вариантов полевого опыта Приволжской оросительной системы.

Таблица 1

Коэффициенты КФ

i	$\gamma_i$	$\beta_i$
1	-0,00941	0,0421
2	0,310	0,0199
3	0,0150	-0,008131
4	-0,0702	0,148
5	-0,0549	-0,166
6	-0,0108	0,856
7	-0,00319	0,310
8	0,0153	0,0609
9	-0,00151	0,0829
10	-0,00599	0,339
11	-0,00311	-0,00846

$a = 0,46$ .

Таблица 2

**Результаты сравнения опытных ( $Y_{оп}$ ) и рассчитанных ( $Y_p$ ) значений урожайности на делянках вариантов полевого опыта**

№ вар.	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$ ( $x_{e9} + x_{o9}$ )	$x_{10}$ ( $x_{e10} + x_{o10}$ )	$x_{11}$	Урожайность, ц/га	
												$Y_p$	$Y_{оп}$
1	0,40	0,06	0,8	1,0	12,6	98,0	200	17,7	53,0	84,1	18,6	36,4	36,8
2	0,40	0,06	0,8	1,5	12,6	98,0	200	17,7	53,0	124,1	18,6	35,9	36,2
3	0,40	0,06	0,8	1,7	12,6	98,0	200	17,7	53,0	144,1	18,6	34,6	35,3
К	0,40	0,06	0,8	0,8	12,6	98,0	200	17,7	33,0	84,1	18,6	34,4	35,0

$F_{\phi} = 10,25 > F_{05} = 3,49$  (Степени свободы: числитель – 3, знаменатель – 12).

Модель была использована при разработке рекомендаций по повышению эффективности производства озимой пшеницы на орошаемых землях Марковского района Саратовской области.

С конца 19 века разрабатывались математические зависимости роста и развития сельскохозяйственных растений от влияния внешних факторов. [6, 7]. Это направление исследований развивалось и в нашей стране [8]. В гидромелиорации они продолжились в работах А.Н. Костякова [9] и его последователей [10]. Переход к совершенствованию мелиорируемых агроландшафтов потребовал применения математических методов, используемых в землеустройстве [11].

Работы отечественных и зарубежных ученых в достаточной мере позволили установить параметры оптимальных почвенных режимов в различных природно-климатических зонах. Реализации этих режимов на мелиорируемых землях препятствует низкий технический уровень гидромелиоративных систем. Разработка и внедрение в практику изобретений в области мелиорации – одно из основных направлений повышения технического уровня гидромелиоративных систем. В последние годы число изобретений в области мелиорации существенно сократилось. В Федеральном институте промышленной собственности (ФИПС) нет подразделения, которое рассматривает и регистрирует заявки на изобретения в области гидромелиорации. Эти заявки рассматривают подразделения фармацевтики, легкой промышленности и др. Изобретения должны решать задачи повышения экологической безопасности мелиоративных мероприятий, надежности сооружений, снижения энергетических и трудовых затрат, повышение производительности труда [12].

### Выводы

Низкий технический уровень гидромелиоративных систем отмечается на 37% площади мелиорируемых земель России. Инновационное направление развития мелиорации, на базе разработки и внедрении изобретений повышает технический уровень гидромелиоративных систем. Модернизированные системы обеспечат в полной мере реализацию направлений цифровой и точной мелиорации. Необходимы

мероприятия по стимулированию разработки и внедрению изобретений в мелиоративные мероприятия.

### Библиографический список

1. **Дубенок Н.Н.** Роль мелиораций в повышении устойчивости земледелия в России. / Мат-лы Междун.научно-практ. конф., посвященной 50-летию ВНИИОЗ. – Волгоград: ВНИИОЗ, 2017. – С. 25-29.
2. **Шабанов В.В., Голованов А.И.** Некоторые аспекты точной мелиорации. // Природообустройство. – 2019. – № 1. – С. 92-95.
3. Национальный доклад об использовании земельных ресурсов в Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosreestr.ru/site/activity/>
4. **Касьянов А.Е.** Моделирование оптимального режима орошения // Гидротехника и мелиорация. – 1976. – № 10. – С. 16-17.
5. Mathematical model Saltmed [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.icid.org/res\\_tools.html](http://www.icid.org/res_tools.html)
6. **Либих Ю.** Химия в приложении к земледелию и физиологии. – М.–Л.: Сельхозгиз, 1936. – 289 с.
7. **Митчерлих Э.** Почвоведение. – М.: И.Л., 1957. – 275 с.
8. **Полуэктов Р.А.** Динамические модели агроэкосистемы. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 312 с.
9. **Костяков А.Н.** Основы мелиорации. – М.: Сельхозгиз, 1960. – 622 с.
10. Мелиорация земель: [учебник] / ред.: А.И. Голованов. – М.: КолосС, 2011. – 824 с.
11. **Papaskiri T.V.** Modern technologies of digital land management. / T.V. Papaskiri A.E. Kasyanov, N.N. Alekseenko i dr. / 2019. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volume 350, conference 1.
12. **Касьянов А.Е.** Инновационные технологии осушительных мелиораций: монография. – М.: Издательство «Спутник +», 2019. – 148 с.

Материал поступил в редакцию 14.01.2020 г.

### Сведения об авторе

**Касьянов Александр Евгеньевич**, доктор технических наук, профессор кафедры мелиорация и рекультивация земель ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, Тимирязевская 49., e-mail: [kasian64@mail.ru](mailto:kasian64@mail.ru), SPIN-код: 8262-5760, AuthorID: 339847. ID ORCID0000-0002-6912-9078. Scopus AuthorID57209504859.

**A.E. KASYANOV**

Federal state budgetary educational institution of higher education Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation

## INNOVATIVE, ACCURATE, DIGITAL LAND RECLAMATION

*The use of digital methods in land reclamation is shown by the example of a mathematical model of agricultural production on reclaimed land. The structure of this system is given. It includes three main processes that operate under the influence of climatic and economic factors. Extreme values of objective functions allow us to calculate the optimal values of economic factors. Extreme values of objective functions allow us to calculate the optimal values of economic factors. Quantitatively, the process of growth and development of an agricultural plant IS described by the kinetic function. The function parameters are found by regression and correlation analysis methods. The dynamics of moisture, heat, solutions of nutrients in the soil are described by the system of differential equations. There are given parameters of the kinetic function. The main factors that have the most significant effect on the yield of winter wheat under the conditions of the Marxovsky district of the Saratov region are indicated. The low technical level of irrigation and drainage systems is noted in 37% of the area of the reclaimed land in Russia. Systems do not fully implement the directions of the digital and accurate land reclamation. By combining these directions, innovation provides a significant increase in the technical level of irrigation and drainage systems. However, in recent years, the number of inventions developed and implemented in the land reclamation industry has been decreasing. Measures are needed to stimulate this work. Therefore, it is necessary to develop and implement inventions in the field of land reclamation.*

*Innovative, digital, accurate land reclamation, mathematical model, regression dependence, irrigation and drainage system, inventions.*

### References

1. **Dubenok N.N.** Rol melioratsij v povyshenii ustojchivosti zemledeliya v Rossii. / Mat-ly Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoj 50-letiyu VNIIOZ. – Volgograd: VNIIOZ, 2017. – S. 25-29.
2. **Shabanov V.V., Golovanov A.I.** Nekotorye aspekty tochnoj melioratsii. // Prirodobustrojstvo. – 2019. – № 1. – S. 92-95.
3. Natsionalny doklad ob ispolzovanii zemelnyh resursov v Rossijskoj Federatsii [Elektronny resurs]. – Rezhim dostupa: <https://rosreestr.ru/site/activity/>
4. **Kasyanov A.E.** Modelirovanie optimalnogo rezhima orosheniya // Gidrotehnika i melioratsiya. – 1976. – № 10. – S. 16-17.
5. Mathematical model Saltmed [Elektronny resurs]. – Rezhim dostupa: [http://www.icid.org/res\\_tools.html](http://www.icid.org/res_tools.html)
6. **Libikh Yu.** Himiya v prilozhenii k zemledeliyu i fiziologii. – M.–L.: Selhozgiz, 1936. – 289 s.
7. **Mitcherlikh E.** Pochvovedenie. – M.: I.L., 1957. – 275 s.
8. **Poluektov R.A.** Dinamicheskie modeli agroekosistemy. – L.: Gidrometeoizdat, 1991. – 312 s.
9. **Kostyakov A.N.** Osnovy melioratsii. – M.: Selhozgiz, 1960. – 622 s.
10. Melioratsiya zemel: [uchebnik] / red.: A.I. Golovanov. – M.: KolosS, 2011. – 824 s.
11. **Papaskiri T.V.** Modern technologies of digital land management. / T.V. Papaskiri A.E. Kasyanov, N.N. Alekseenko i dr. / 2019. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volume 350, conference 1.
12. **Kasyanov A.E.** Innovatsionnye tehnologii osushitelnyh melioratsij: monografiya. – M.: Izdatelstvo «Sputnik +», 2019. – 148 s.

The material was received at the editorial office  
14.01.2020

### Information about the author

**Kasyanov Alexander Evgenievich**, doctor of technical sciences, professor of the department of melioration and land reclamation, FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, st. Timiryazevskaya 49. e-mail: [kasian64@mail.ru](mailto:kasian64@mail.ru). SPIN code: 8262-5760, AuthorID: 339847.ID ORCID0000-0002-6912-9078.