

## Учет текущих и ожидаемых погодных рисков в растениеводстве на основе математической теории игр

Accounting for current and expected weather risks in crop production based on mathematical game theory

Перевертин К.А., Леунов В.И., Белолоубцев А.И.,  
Симаков Е.А., Иванцова Н.Н., Васильев Т.А.

Perevertin K.A., Leunov V.I., Belolyubtsev A.I., Simakov E.A.,  
Ivantsova N.N., Vasil'ev T.A.

### Аннотация

Тенденции климатически обусловленных изменений – потепление, аридизация земель, деградация криолитозоны и т.п. могут быть учтены при стратегическом планировании АЛСЗ – адаптивно-ландшафтных систем земледелия (климат – одна из важнейших характеристик агроландшафтов). Однако наибольшую опасность представляют погодные риски, связанные с повышением нервозности климата. В настоящей работе нами рассматривается метод учета погодных рисков, где (внешне парадоксально) собственно метеопрогнозирование объявляется вторичным (а в условиях полной неопределенности по прогнозам – даже необязательным!). Описываемый метод компенсации рисков можно отнести к тактическим. В рамках математической теории игр, как условные игроки рассматриваются А (агроном) и П (природа/погода). Придерживаясь рассчитанной оптимальной стратегии, А минимизирует потери урожая при любых «капризах» П. Засеяв 25% по технологии для влажного года ( $X_1$ ), а 75% – по технологии для засушливого года ( $X_2$ ), агроном гарантированно имеет цену игры 0,85 (условно-чистый доход), тогда как придерживаясь какой-либо только одной стратегии он гарантированно получит лишь 0,7 (для  $X_1$ ) или 0,8 (для  $X_2$ ). Оптимальным агрономическим решением будет применение на трети площадей технологии для засухи, а на двух третях – технологии для влажного года с осадками в неблагоприятный период. Полученные решения не носят характер универсальных региональных рекомендаций, но позволяют успешно оптимизировать агрономические решения в масштабах хозяйства. Для небольших (фермерских) хозяйств метод будет менее востребован. Однако крупные хозяйства (агрохолдинги) крайне заинтересованы в получении именно гарантированного уровня дохода, и организовать одновременное применение двух технологий на их достаточно развитой базе вполне возможно.

**Ключевые слова:** климат, риск, теория игр, урожай.

**Для цитирования:** Учет текущих и ожидаемых погодных рисков в растениеводстве на основе математической теории игр / К.А. Перевертин, В.И. Леунов, А.И. Белолоубцев, Е.А. Симаков, Н.Н. Иванцова, Т.А. Васильев. Картофель и овощи. 2020. №6. С. 6-10. <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.13.27.001>

Стремительные глобальные климатические изменения в последние десятилетия носят объективный характер. Не касаясь дискуссии о роли антропогенного фактора, отметим, что сельское хозяйство – наиболее чувствительная и уязвимая к погодным факторам отрасль природопользования. Для Северного полушария, и в немалой степени, для России динамика изменений опережает среднепланетарные показатели. Глобальные климатические тренды очевидны: потепление, расширение зоны аридизации земель (опустынивание), деградация криолитозоны (таяние «вечной» мерзлоты), хотя, на наш взгляд, самой опасной для аграриев тенденцией является повышение «нервозности» климата (термин введен академиком А.М. Обуховым, имя которого носит Институт физики атмосферы РАН). Средние климатические показатели могут

### Abstract

Trends of climate-related changes – warming, aridization of land, degradation of the cryolithozone, etc. can be taken into account in the strategic planning of adaptive landscape systems of agriculture (climate is one of the most important characteristics of agricultural landscapes). However, the greatest danger is posed by weather risks associated with increased climate nervousness. In this paper, we consider a method for accounting for weather risks, where (seemingly paradoxical) the actual forecast is declared secondary (and even optional in conditions of complete uncertainty according to forecasts!). The described method of risk compensation can be classified as tactical. Within the framework of mathematical game theory, A (agronomist) and P (nature/weather) are considered as conditional players. Adhering to the calculated optimal strategy and minimize crop losses in any «whims» of the P. Sowing 25% of the technology for the wet year ( $X_1$ ) and 75% - technology for dry years ( $X_2$ ), the agronomist has guaranteed the price of the game 0,85 (conditionally net income), while any only one strategy guaranteed to get only 0.7 (for  $X_1$ ) or 0.8 (for  $X_2$ ). The optimal agronomic solution will be to use technology for drought in one third of the area, and technology for a wet year with precipitation in an unfavorable period in two thirds. The obtained solutions do not have the character of universal regional recommendations, but they allow us to successfully optimize agronomic solutions on a farm scale. For small farms, this method will be less popular. However, large farms (agricultural holdings) are extremely interested in obtaining a guaranteed level of income, and it is quite possible to organize the simultaneous use of two technologies on their sufficiently developed base.

**Key words:** climate, risk, game theory, yield.

**For citing:** Accounting for current and expected weather risks in crop production based on mathematical game theory. K.A. Perevertin, V.I. Leunov, A.I. Belolyubtsev, E.A. Simakov, N.N. Ivantsova, T.A. Vasil'ev. Potato and vegetables. 2020. No6. Pp. 6-10. <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.13.27.001> (In Russ.).

даже мало отличаться от нормы, но нервозность климата определяет резкое возрастание неблагоприятных для земледелия погодных рисков с очередными «рекордами».

Возвратные майские заморозки на всходах свеклы, аномальное зимнее потепление, провоцирующее фазы развития растений с неожиданной меридианальной волной арктических холодных масс или «несвоевременный» метеорологический оптимум для вспышки фитофтороза на картофеле способны буквально за один день погубить урожай. Что уж говорить о блокирующих антициклонах с сопутствующей многомесячной засухой или об аномально обильных осадках в агрономически неблагоприятный период.

С 2008 года для РФ действует Руководящий Документ (РД-52.88.699–2008) «Положение о порядке действий уч-

реждений и организаций при угрозе возникновения и возникновения опасных природных явлений» [1]. Документ содержит в т.ч. Приложение А2 «Агрометеорологические опасные явления». В **таблице 1** приведено нормативное описание некоторых из них.

На заседании Правительства РФ, состоявшегося 5 марта 2020 года, первым вопросом повестки стала подготовка к весенней посевной. Председатель Правительства Михаил Мишустин заявил, что в 2020 году в РФ продолжится развитие агрострахования. Важность агрострахования также отметил в своем докладе на этом заседании Правительства министр сельского хозяйства РФ Дмитрий Патрушев. Он особо подчеркнул, что сельское хозяйство – отрасль, высокочувствительная от погодных условий.

Однако страховые выплаты – это компенсация уже состоявшегося ущерба, а задачи научного учета погодных рисков видятся если не в предотвращении, то в минимизации потерь урожайной продукции. Они могли бы быть частично решены достоверным долгосрочным погодным прогнозированием, однако, упоминая нервозность климата критически сказывается на достоверности прогнозов погоды. Специфика сельхозпроизводства требует именно долгосрочных прогнозов, т.к. агрономическое решение принимается задолго до начала вегетационного периода, а для озимых культур – даже в предшествующем году.

На заседании Круглого стола Евразийской экономической комиссии (30 марта 2017 года) были представлены долгосрочные прогнозы климатических изменений для стран-членов ЕЭК применительно к природопользованию на ближайшее десятилетие. В наилучших условиях окажется сельское хозяйство Беларуси, в наихудших – Казахстана, где наряду с деградацией высокогорных ледников будут прогрессировать процессы аридизации (опустынивания) земель. Учащаются засухи – как атмосферные, так и почвенные, а также суховеи. Однако все это в полной мере относится и ко многим житницам России – от Северного Кавказа до Сибири.

Конечно, например, тенденции учащения засух могут быть стратегически учтены (и учитываются!) в рамках проектирования АЛСЗ – адаптивно-ландшафтных систем земледелия (замечим, что климат – одна из важнейших характеристик ландшафта) путем внедрения засухоустойчивых сортов и соответствующего комплекса агротехнических мероприятий. Однако возрастание сложнопрогнозируемых (непредсказуемых) погодных рисков создаст угрозу отнесения значительной территории богарных сельхозугодий страны к зоне рискованного земледелия.

В этой ситуации применение обсуждаемого тактического приема – учета погодных рисков при формировании агрономического решения даст положительный эффект.

Агроном, интуитивно принимая решение в условиях погодных рисков, конечно, не выберет заведомо плохое, но его стратегия будет принадлежать к множеству рациональных решений, которые вполне приемлемы, но оптимальное (как правило, единственное) – наилучшее. Точное его определение возможно только с использованием экономико-математических методов, к которым относится и математическая теория игр.

Впервые теория игр применялась нами для оптимизации сроков сева свеклы, как агротехнического приема в интегрированной системе защиты растений еще в середине восьмидесятых годов прошлого века [2], однако именно в последние годы возрастание погодных рисков вследствие нервозности климата актуализирует применение методики для более широкого круга агрономических задач. Пожалуй, именно с возросшей актуальностью проблемы можно связать введение с 2019 года курса «Теория игр» по дисциплине «Информатика» в учебный план Великолукской государственной сельскохозяйственной академии.

Возникшая в последние месяцы глобальная проблема коронавируса информационно заслонила лидировавшую ранее проблему глобального потепления. Но смещение информационных акцентов отнюдь не означает утрату значимости предыдущей проблемы. Ежегодно под редакцией советника Президента РФ, специального представителя при Президенте РФ по вопросам климата, Р.С. – Х. Эдельгериева, выходят Национальные доклады «Глобальный климат и почвенный покров России...», посвященные климатическим проблемам в сельском и лесном хозяйстве, что еще раз подчеркивает не просто актуальность, но острую социальную востребованность реальных решений по этой тематике [3].

Цель работы: представить метод учета погодных рисков, где (внешне парадоксально) собственно метеопрогнозирование объявляется вторичным (а в условиях пол-

**Таблица 1. Актуальные агрометеорологические опасные явления (ОЯ) согласно Руководящему документу (РД-52.88.699–2008)**

Название ОЯ	Характеристики и критерии или определение ОЯ
А 2. Агрометеорологические	
А 2.1. Заморозки	Понижение температуры воздуха и / или поверхности почвы (травостоя) до значений ниже 0 °С на фоне положительных средних суточных температур воздуха в периоды активной вегетации сельхозкультур или уборки урожая, приводящее к их повреждению, а также к частичной или полной гибели урожая сельхозкультур
А 2.2. Переувлажнение почвы	В период вегетации сельхозкультур в течении 20 дней (в период уборки в течение 10 дней) состояние почвы на глубине 10–12 см по визуальной оценке увлажненности оценивается, как липкое или текучее; в отдельные дни (не более 20% продолжительности периода) возможен переход почвы в мягкопластичное или состояние
А 2.3. Суховеи	Ветер скоростью 7 м/с и более при температуре выше 25 °С и относительной влажности не более 30% наблюдающийся хотя бы в один из сроков наблюдений в течение трех дней подряд и более в период цветения, налива, созревания зерновых культур
А 2.4. Засуха атмосферная	В период вегетации сельхозкультур отсутствие эффективных осадков (более 5 мм в сутки за период не менее 30 дней подряд при максимальной температуре воздуха выше 25 °С (в южных районах РФ – выше 30 °С). В отдельные дни (не более 25% продолжительности периода) возможно наличие максимальных температур ниже указанных пределов
А 2.5. Засуха почвенная	В период вегетации сельхозкультур за период не менее трех декад подряд запасы продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см составляют не более 10 мм или за период не менее 20 дней, если в начале периода засухи запасы продуктивной влаги в слое 0–100 см были менее 50 мм

ной неопределенности по прогнозам – даже необязательным!).

**Условия, материал и методы исследований**

Работу вели по стандартным методам математического моделирования [4].

**Результаты исследований**

Популярное объяснение метода

Учитывая формат настоящего издания, подробное математическое изложение метода не приводится. Его можно найти в многочисленных работах по теории игр. Приоритет авторского подхода – в методике представления задачи в формате понятном специалисту сельского хозяйства (агроному) не имеющему специальной математической подготовки.

За тысячелетия практики земледелия имеется достаточно примеров интуитивного применения опытными аграриями предлагаемого метода: «рисковать» на части посевных площадей (сроками сева, глубиной заделки семян и т. д.), справедливо полагая погодные характеристики грядущего агросезона малопредсказуемыми. В этих Играх с Природой Агроном стремится даже не к максимально возможному выигрышу (это не оправданный риск), а к гарантированному максимально возможному выигрышу. Обратимся к «народной мудрости». Метод вполне характеризуют две поговорки:

знать бы, где упаду, соломки бы подстелил;  
не кладите все яйца в одну корзину.

Предположим, что Агроном действительно достоверно знает, «где упадет», например, что год будет засушливым. Разумеется, он «подстелет соломки» – запланирует комплекс соответствующих мероприятий, оценит затраты, выход урожая, возможные закупочные цены и, в итоге, сведет все к одной цифре – УЧД (условно чистому доходу, р/га). Именно эта единственная цифра (деньги) вписывается в клеточку Платежной матрицы (табл. 2 и 3), например, на пересечении столбца стратегии Природы «засуха» и строки стратегии Агронома «противозасушливая технология».

Аналогично, достоверно зная, что год будет влажным (с осадками в неблагоприятный период), Агроном выберет несколько иную технологическую схему – «подстелет соломки» совсем в других местах, поэтому соответствующая ячейка Платежной матрицы (УЧД) будет иметь приемлемо высокое значение по сравнению со стандартной технологией.

Точно так же рассматриваются ситуации, когда Агроном в Игре с Природой «промахнулся» – представил стратегию (технологию) для влажного года, а сезон выдался засушливым, или наоборот. Но и в этих случаях экспертные оценки опытного агронома имеют высокую достоверность и также вносятся в платежную матрицу (табл. 2).

Заметим, что данные приведены просто для иллюстрации метода. При решении практических задач Агроном заполняет матрицу применительно к конкретному полю, доступным технологиям, сортам, затратам, закупочным ценам на урожайную продукцию (прогнозу цен).

Простым, но важнейшим принципом является не временная реализация долевого выражения смешанной стратегии агронома, а одномоментное распределение долей стратегий в структуре посевных площадей.

**Таблица 2. Платежная матрица 2×2 исходов игры Природа/Агроном (выделены минимально гарантированные для Агронома исходы игры при применении на всей площади одной (чистой) стратегии)**

Агроном	Стратегия	
	Природа	
	Засуха	Влажный год
Технология для дождливого года X <sub>1</sub>	a <sub>11</sub> =0,7	a <sub>12</sub> = 1
Технология для засухи X <sub>2</sub>	a <sub>21</sub> =0,9	a <sub>22</sub> = 0,8

**Таблица 3. Исходная платежная матрица для задачи 2×3 (элементы матрицы приведены не в р/га, а в т/га)**

Агроном	Стратегия		
	Природа		
	Засуха	Влажный год	Норма
Технология для засухи	25	34	50
Технология для влажного года	20	50	35

Другими словами – если оптимальная смешанная стратегия для агронома – 90% (стратегия X<sub>1</sub>) на 10% (стратегия X<sub>2</sub>), это не означает, что стратегию X<sub>2</sub> необходимо случайным образом использовать раз в 10 лет, ведь достаточно в текущем году на 90% сельхозгодий применять стратегию X<sub>1</sub>, а на 10% – стратегию X<sub>2</sub>. Размерность матрицы, в принципе может быть любой, но для практических задач желательно стремится к минимизации размерности.

После заполнения всех ячеек платежной матрицы можно вспомнить вторую поговорку. Оптимальное решение, как правило, лежит в области смешанных стратегий.

Т.е. не просто чистые стратегии: или X<sub>1</sub>, или X<sub>2</sub>, а смешанная – и X<sub>1</sub>, и X<sub>2</sub> в рассчитанной пропорции. Другими словами – имеется 100 яиц (100% посевных площадей), есть две корзины (X<sub>1</sub> и X<sub>2</sub>). Как оптимально разложить яйца по корзинам, чтобы при любых «капризах погоды» иметь гарантированный УЧД, превышающий УЧД по любой из чистых стратегий?

Оптимальное решение лежит в области смешанных стратегий:

$$X_1 = \frac{a_{22} - a_{21}}{a_{22} + a_{11} - a_{21} - a_{12}} = \frac{0,8 - 0,9}{0,8 + 0,7 - 0,9 - 1} = 0,25$$

$$X_2 = \frac{a_{11} - a_{12}}{a_{22} + a_{11} - a_{21} - a_{12}} = \frac{0,7 - 1}{0,8 + 0,7 - 0,9 - 1} = 0,75$$

при этом цена игры (гарантированный доход агронома):

$$V = \frac{a_{11} \cdot a_{22} - a_{12} \cdot a_{21}}{a_{22} + a_{11} - a_{21} - a_{12}} = 0,85$$

Таким образом, засевая 25% по технологии для влажного года, а 75% – по технологии для засушливого года, агроном гарантированно имеет цену игры 0,85 (условно чистый доход), тогда как придерживаясь какой-либо только одной стратегии он гарантированно получит лишь 0,7 (для X<sub>1</sub>) или 0,8 (для X<sub>2</sub>).

Замечательно, что последнее уравнение можно заменить на нестрогое неравенство, т.е. вместо «=» использовать «≥», так как Природа в роли игрока не будет злонамеренно придерживаться оптимальной стратегии, минимизировать выигрыш Агронома, а поступит случайным образом.

Решение для платежной матрицы большей размерности (больше, чем 2×2) не представляет принципиальной проблемы, так как задача теории игр легко сводится

к задаче линейного программирования, а именно к таблице симплекс-метода, знакомой агрономам, например, по задаче оптимизации посевных площадей.

Практически полный охват современных компьютеров сетью интернета не требует в нашем случае установки каких-либо специализированных пакетов прикладных программ. В свободном доступе находится множество онлайн-калькуляторов. Достаточно в какой-либо из поисковых систем набрать ключевые слова (калькулятор, платежная матрица, смешанные стратегии, симплекс-метод, и т.п.). Главное для практиков при внедрении – корректно составить платежную матрицу. А приведение ее к симплекс-таблице с последующим решением – простая техническая задача.

Решение практической задачи большей размерности (2×3) (табл. 3).

За основу взяты конкретные условия и технологические возможности опытных полей экспериментальной базы «Пышлицы» ВНИИ картофельного хозяйства, расположенных в условиях Мещерской изменчивости. Почва дерново-подзолистая, связнопесчанная с близким залеганием грунтовых вод. Поэтому недостаток атмосферных осадков в засушливый период вегетации менее опасен, чем избыточное увлажнение. Для оптимального размещения картофеля в рамках четырехпольного севооборота, в последние годы вместо осенней вспашки проводится весновспашка во избежание «заплывания» почвы. Учитывая гранулометрический состав почвы, активные рабочие органы не используются. Основное внесение минеральных удобрений в виде диаммофоски из расчета 500 кг/га (физ. веса) проводится в процессе предпосадочной подготовки почвы. При прогнозировании засушливого вегетационного периода доза внесения диаммофоски увеличивается до 600 кг/га, особенно на повышенных участках поля, для предотвращения негативного влияния засухи, так как калийные и фосфорные компоненты удобрения повышают засухоустойчивость растений [5, 6, 7, 8]. Кроме того, для снижения вредности парши обыкновенной в засушливых условиях предусматривается обязательное внесение сульфата аммония в дозе 100–150 кг/га перед междурядной обработкой в начале фазы бутонизации. Основным элементом технологии в случае возможного избыточного увлажнения – мелкая посадка клубней с последующим формированием гребней на полевых участках с максимально выровненным микрорельефом, внекорневая подкормка растений аммиачной селитрой и обязательное предуборочное рыление междурядий.

Столбцы матрицы (стратегии игрока Природа) – засуха/перувлажненность/климатическая норма

Строки матрицы (стратегии игрока Агроном) – технология для засухи/технология для влажного года (с осадками в неблагоприятный период).



Поля картофеля при засухе (слева) и избыточном увлажнении (справа)

Платежная матрица с помощью онлайн калькулятора приводится к задаче симплекс-метода:

$$\begin{aligned} X_1 &\leq 50 \\ X_2 &\leq 40 \\ 2X_1 + X_2 &\leq 80 \\ F = 5X_1 + 3X_2 &\rightarrow \max \end{aligned}$$

Также с помощью онлайн калькулятора для симплекс-метода получаем решение:

$$\begin{aligned} X_1 &= 20 \\ X_2 &= 40 \\ F &= 220 \end{aligned}$$

Переходя к процентному выражению, имеем:

$$\begin{aligned} X_1 &= 20 / (20 + 40) = 1/3 \\ X_2 &= 40 / (20 + 40) = 2/3 \end{aligned}$$

Таким образом, оптимальным агрономическим решением будет применение на трети площадей технологии для засухи, а на двух третях – технологии для влажного года с осадками в неблагоприятный период.

### Выводы

По опыту попыток внедрения, первое впечатление у практиков, ознакомленных с предлагаемым методом, выражается в сомнении о возможном одновременном применении двух (а, в принципе, и более технологий). Скорее всего, для небольших (фермерских) хозяйств метод будет менее востребован. Однако крупные хозяйства (агрохолдинги) крайне заинтересованы в получении именно гарантированного уровня дохода, и организовать одновременное применение двух технологий на их достаточно развитой базе вполне возможно.

К тому же нередки ситуации, когда нет необходимости радикально менять весь технологический регламент, ведь достаточно выделить ключевой элемент технологии. Например, глубина заделки семян – что мешает сделать ее разной по частям поля. Учесть и риск почвенной засухи. Возможно, иногда у соседа урожай окажется выше, но у вас он будет гарантирован.

Также достаточно просто маневрировать сроками сева (ранний посев/поздний посев). Яркий пример неурвности климата – майские возвратные заморозки в Центральной России в 2017 году, нанесшие сильнейший ущерб свекловодству (период после 2014 года, когда Россия впервые в своей истории вышла не просто на самообеспечение, но и стала экспортировать сахар). Волна холода дошла до Воронежской области. Почти полностью погибли всходы в Липецкой области. Пересев был невозможен из-за отсутствия семян, которые были закуплены «в обрез». Классическая ситуация «одной корзины».

Часто вызывает вопрос адекватность формализации стратегий А и П. Да, зачастую приходится использовать качественные градации типа «сильный-средний-сла-

бый», но это отнюдь не сказывается на математической корректности метода.

Иногда аграрии задают вопрос – а «ранний посев», «поздний посев» – это какого числа? Приходится отвечать, что это не «посевная в райкомовские сроки», но эти даты для своих полей лучше всех знают сами задающие вопрос агрономы.

Автономность данной задачи отнюдь не ставит под сомнение важность и необходимость существующей системы прогнозов погоды. На этапе составления задачи линейного программирования (ЛП-задачи) можно учиты-

вать и традиционные метеопрогнозы, например, введением весовых коэффициентов.

Оптимизация агрономических решений с грамотным производственным внедрением метода безусловно способна повысить эффективность сельхозпроизводства в условиях погодной неопределенности (возрастания климатических рисков).

В заключение, хочется подчеркнуть, что рассмотренная инновационная (в некоторых аспектах) методика – оптимизация агрономических решений с помощью

Теории игр – несомненно, заслуживает внимания, т.к. в современных кризисных условиях дефицита ресурсов остается недооцененным один из важнейших – интеллектуальный ресурс, выгодно отличающий кадровый потенциал России по уровню профессиональной подготовки специалистов-аграриев от многих других стран.

**Библиографический список**

**References**

1. Приложение А2 «Агрометеорологические опасные явления» // Руководящий Документ (РД-52.88.699-2008). Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200105083>. Дата обращения: 28.05.2020.
2. Сагитов А.О., Перевертин К.А. Фитонематология – сельскохозяйственному производству. Алма-Ата: Кайнар, 1987. 184 с.
3. Р.С.-Х. Эдельгериев (ред.). Глобальный климат и почвенный покров России: оценка рисков и эколого-экономических последствий деградации земель. Адаптивные системы и технологии рационального природопользования (сельское и лесное хозяйство). М.: Геос, 2019. 286 с.
4. Бабкина А.В. Ермакова Е.А., Светлова Г.Н. Экономико-математические методы и моделирование: учебно-методическое пособие. М.: РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева, 2018. 112 с.
5. Сабинин Д.А. Физиологические основы питания растений. М.: Издательство АН СССР, 1965. 346 с.
6. Vander Zaag, P., Demagante, A. Acasio, R., Domingo, A., Hagerman, H.: Response of solanum potatoes to mulching during different seasons in an isohyperthermic environment in the Philippines. Tropical Agriculture (Trinidad). 1986. Vol. 63. Pp. 229–239.
7. Malik N.J., Dwell R.B., Thornton M.K., Pavek J.J. Dry matter accumulation in potato cloves under seasonal high temperature conditions in Pakistan // Amer. Potato J. 1992. Vol. 52. Pp. 267–274. DOI:10.1007/BF02852679
8. Struik P.C., Ewing E.E. Crop physiology of potato (Solanum tuberosum): responses to photoperiod and temperature relevant to crop modelling. In: Haverkort A.J., MacKerron D.K.L. (eds) Potato Ecology And modelling of crops under conditions limiting growth. Current Issues in Production Ecology. Dordrecht. Springer, 1995. Vol 3. Pp. 19–40.

1. Appendix A2. Agrometeorological hazards. Guidance Document (RD-52.88.699-2008). Regulations on the procedure of actions of institutions and organizations in the event of a threat of occurrence and occurrence of dangerous natural phenomena [Web resource]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200105083>. Access date: 28.05.2020. (In Russ.).
2. Sagitov A.O., Perevertin K.A. Phytonematology – agricultural production. Alma-Ata. Kainar. 1987. 184 p. (In Russ.).
3. R.S.-Kh. Edelgeriev (ed.) Global climate and soils of Russia: Assessment of risks and ecological and economic consequences of land degradation. Adaptive systems and technologies of rational nature management (agriculture and forestry). Moscow. GEOS 2019. 286 p. (In Russ.).
4. Babkina A.V. Ermakova E.A., Svetlova G.N. Economic and mathematical methods and modeling: educational and methodological guide. Moscow. RSAU–MSHA after K. A. Timiryazev, 2018. 112 p. (In Russ.).
5. Sabinin D.A. Physiological bases of plant nutrition. Moscow. Publishing house of the USSR Academy of Sciences. 1965. 346 p. (In Russ.).
6. Vander Zaag, P., Demagante, A. Acasio, R., Domingo, A., Hagerman, H.: Response of solanum potatoes to mulching during different seasons in an isohyperthermic environment in the Philippines. Tropical Agriculture (Trinidad). 1986. Vol. 63. Pp. 229–239.
7. Malik N.J., Dwell R.B., Thornton M.K., Pavek J.J. Dry matter accumulation in potato cloves under seasonal high temperature conditions in Pakistan. Amer. Potato J. 1992 Vol. 52. Pp. 267–274. DOI:10.1007/BF02852679
8. Struik P.C., Ewing E.E. Crop physiology of potato (Solanum tuberosum): responses to photoperiod and temperature relevant to crop modelling. In: Haverkort A.J., MacKerron D.K.L. (eds) Potato Ecology And modelling of crops under conditions limiting growth. Current Issues in Production Ecology. Dordrecht. Springer, 1995. Vol. 3. Pp. 19–40.

**Об авторах**

**Author details**

Перевертин Кирилл Александрович (ответственный за переписку), доктор биол. наук, Центр паразитологии Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН, Почвенный институт имени В.В. Докучаева. E-mail: perevertink@mail.ru

Леунов Владимир Иванович, доктор с.-х. наук, профессор, кафедра овощеводства, РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева. E-mail: vileunov@mail.ru

Белолубцев Александр Иванович, доктор с.-х. наук, профессор, и.о. декана факультета агрономии и биотехнологии, РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева. E-mail: agrofak@rgau-msha.ru

Симаков Евгений Алексеевич, доктор с.-х. наук, профессор, зав. отделом экспериментального генофонда, ВНИИКХ имени А.Г. Лорха

Иванцова Наталья Николаевна, канд. техн. наук, доцент, кафедра высшей математики, РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева. E-mail: kozuch75@rgau-msha.ru

Васильев Тарас Аркадьевич, н.с. междисциплинарной лаборатории математического моделирования почвенных систем, Почвенный институт имени В.В. Докучаева. E-mail: soilsystemslab@gmail.com

Perevertin K.A. (author for correspondence), D. Sci (Biol.), Parasitology Centre, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Soil Institute named after V.V. Dokuchaev. E-mail: perevertink@mail.ru

Leunov V.I., D. Sci (Agr.), professor, department of vegetable growing, RSAU–MTAA after K.A. Timiryazev. E-mail: vileunov@mail.ru

Belolubtsev A.I., D. Sci (Agr.), professor, acting dean of faculty of agronomy and biotechnology, RSAU–MTAA after K.A. Timiryazev. E-mail: agrofak@rgau-msha.ru

Simakov E.A., D. Sci (Agr.), professor, head of the experimental gene pool department, Lorch Potato Research Institute  
Ivantsova N.N., Cand. Sci. (Techn.), associate professor, department of higher mathematics, RSAU–MTAA after K.A. Timiryazev. E-mail: kozuch75@rgau-msha.ru

Vasil'ev T.A., research fellow, Interdisciplinary Laboratory for Mathematical Modeling of Soil Systems, Soil Science Institute named after V.V. Dokuchaev. E-mail: soilsystemslab@gmail.com