

Игумнова Д.С., Кузнецов Ю.С.

Совершенствование решения задач оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур  
в севооборотах хозяйств Белгородской области с учётом интенсивности смыва почвы

.....  
*Электронный научно-производственный журнал*  
**«АгроЭкоИнфо»**  
=====

УДК 332.362:631.6.02+519.863:004.02

**Совершенствование решения задач оптимизации размещения посевов  
сельскохозяйственных культур в севооборотах хозяйств Белгородской  
области с учётом интенсивности смыва почвы**

*Игумнова Д.С.<sup>1</sup>, Кузнецов Ю.С.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Государственный университет по землеустройству*

*<sup>2</sup>Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова*

**Аннотация**

*В статье предложен новый способ решения задачи оптимизации размещения сельскохозяйственных культур на эродированных землях в защитных севооборотах. Критерий оптимальности решаемой задачи: объём смываемой почвы должен стремиться к минимуму. Искомые переменные – площади, приводятся в процентах от общей площади пашни и ограничены минимальными и максимальными значениями. Для нового способа приведено подробное описание составления матриц баз данных в программе Microsoft Excel и применения надстройки «Поиск решения». Переработана методика вычисления потенциального смыва почвы под сельскохозяйственными культурами в севооборотах в зависимости от наличия культур на пашне в период снеготаянья. Выведена единая формула для смыва почвы под яровыми и озимыми культурами.*

**Ключевые слова:** ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ, СТРУКТУРА ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ, ПРОТИВОЭРОЗИОННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕРРИТОРИИ, ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ВОДНАЯ ЭРОЗИЯ ЗЕМЕЛЬ, СМЫВ ПОЧВ

---

**Введение**

Противоэрозионная организация сельскохозяйственных земель до сих пор остаётся актуальной, потому что связана с природным процессом разрушения поверхностного слоя

Игумнова Д.С., Кузнецов Ю.С.

Совершенствование решения задач оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур  
в севооборотах хозяйств Белгородской области с учётом интенсивности смыва почвы

.....  
*Электронный научно-производственный журнал*  
**«АгроЭкоИнфо»**  
=====

земель – дефляцией почв. А процесс этот не обратим во времени и имеет свойство увеличивать интенсивность своего проявления. Поэтому, чем раньше назначить противоэрозионные мероприятия, тем меньше ресурсов и сил нужно будет потратить в будущем.

Для эколого-экономической оценки эффективности вариантов проектов противоэрозионной организации приходится иметь дело с большим количеством переменных, некоторые из которых взаимозависимы. Сложность учёта всех взаимосвязей переменных привели к построению упрощённых математических моделей сельскохозяйственных предприятий. При помощи этих моделей можно опробовать множество вариантов развития предприятия в зависимости от запроектированных мероприятий и посчитать окупаемость и эффективность применяемых мероприятий. Всё чаще при математическом моделировании приходится решать задачи на оптимизацию параметров. Наиболее часто оптимизация связана с увеличением выручки предприятия. В проектах же противоэрозионной организации сельскохозяйственных земель экологический аспект оптимизации – снижение интенсивности смыва почв, по значимости сопоставим с экономическими показателями возделывания сельскохозяйственных культур.

**Цель исследования:** усовершенствовать методику введения ограничений при решении задач оптимизации размещения сельскохозяйственных культур на эродированных землях в защитных севооборотах.

#### **Методы исследования**

Применяется метод ОПГ для нелинейных задач и распределительный метод линейного программирования, реализуемые при помощи надстройки Microsoft Excel «Поиск решения» для решения задачи оптимизации «размещение посевов сельскохозяйственных культур по территории хозяйства с учётом интенсивности смыва почвы». Для уточнения ограничений применяется метод итераций после каждого применения надстройки «Поиск решения». Для упрощения расчётных формул применяется метод возведения в степень с бинарным показателем степени.

Игумнова Д.С., Кузнецов Ю.С.

Совершенствование решения задач оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур  
в севооборотах хозяйств Белгородской области с учётом интенсивности смыва почвы

.....  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**  
=====

### **Объект исследования**

В качестве примера рассматривается оптимизация структуры посевных площадей в севооборотах АО «Мир» Прохоровского района Белгородской области, которая проводится в рамках проекта внутривладельческого землеустройства (противоэрозионной организации территории) землепользования данного предприятия. Схемы севооборотов составлены с учётом пожелания хозяйства, качественной оценки земель на предмет эродированности, особенностей возделывания культур в Центрально-Чернозёмном экономическом районе лесостепной зоны, региональных законодательных ограничений по обороту эродированных земель.

Один из основных вопросов при проектировании севооборотов – дифференцированное размещение сельскохозяйственных культур по категориям эрозионно-опасных земель с учётом плодородия почв, степени их эродированности. Севообороты разрабатывают в соответствии с экономически выгодной структурой посевных площадей, планируемой урожайностью сельскохозяйственных культур. При этом структура посевных площадей определяется с учётом потребности в кормах и требований защиты почв от эрозии и т.д. [1-3].

Постановка задачи «оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур по территории хозяйства с учётом интенсивности смыва почвы» сводится к следующему: требуется разместить сельскохозяйственные культуры по категориям эрозионно-опасных земель и севооборотным массивам так, чтобы потенциальный смыв почвы при возделывании культур на различных категориях эрозионно-опасных земель был минимальным. *Критерий оптимальности данной задачи:* объём смываемой почвы должен стремиться к минимуму. *Основные ограничения* при оптимизации состоят в равенстве суммарной площади сельскохозяйственных культур, суммарной площади категорий эрозионно-опасных земель, суммарной площади пашни самого хозяйства (те же ограничения необходимо соблюдать и внутри севооборотов) [1-3].

### **Результаты и обсуждение**

На основе карты эрозионной опасности земель предприятия АО «Мир» и выбранного типа противоэрозионной организации территории (контурной, прямолинейной) назначается расположение водорегулирующих и приовражных лесополос

Игумнова Д.С., Кузнецов Ю.С.

Совершенствование решения задач оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур  
в севооборотах хозяйств Белгородской области с учётом интенсивности смыва почвы

.....  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**  
=====

(агролесомелиоративные мероприятия). Далее определяется территория под размещения различных типов защитных севооборотов.

В севооборотах подбирается предварительная ротация культур по лучшему предшественнику. После чего записывается предварительная структура посевных площадей внутри севооборотов и в целом по хозяйству, соответствующая перспективным ориентирам хозяйства. В предварительной структуре посевных площадей имеются обязательные культуры (по почвозащитным соображением) и ходовые культуры (по экономическим соображениям).

Далее составляется несколько матриц математических моделей (5 отдельных массивов данных), отражающих свойства рассматриваемого объекта (земель сельхозпредприятия) и интенсивности процесса (смыва почвы под севооборотом):

– исходные данные по структуре площадей (культура и занимаемая ею площадь в % и га, 2 массива данных),

– ограничения по структуре площадей в севооборотах (культура и занимаемая ею площадь в %, 2 массива данных),

– потенциальный смыв почвы под культурами в каждом севообороте: культура; эталонный коэффициент её эрозионной опасности ( $K_{э, к}$ ); площадь по категориям эрозионной опасности земель в севообороте ( $P_{у, с}$ , га), с указанием максимального смыва почвы ( $E_{у, т/га}$ ); средневзвешенный уклон севооборота ( $i_{с, °}$ ); расчётный смыв под культурой в таблице для каждого севооборота ( $E_{к, год, у, с, т/га}$ ); полученный средневзвешенный по категориям суммарный смыв почвы с севооборота ( $\sum_k E_{к, год, у, с, т}$ ).

Этапы предлагаемого решения задачи на оптимизацию:

1. Записать и пронумеровать возделываемые культуры (см. рис. 1 слева).
2. Составить матрицу предварительного распределения посевных площадей (в га) под культурами в назначенных севооборотах (матрица «найденные значения переменных», см. рис. 1 слева, пример для трёх севооборотов), рассчитать, долю площади севооборота от площади пашни всего хозяйства  $P_{с(\%)}$ .
3. Составить матрицу исходных данных по расчёту потенциального смыва почв (см. рис. 1, справа).

Игумнова Д.С., Кузнецов Ю.С.

Совершенствование решения задач оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур  
в севооборотах хозяйств Белгородской области с учётом интенсивности смыва почвы

.....  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**  
 =====

4. Запись формулы в матрицу «**потенциального смыва почв**» (см. рис. 1 по центру, табл. 2): формулы для  $\text{Э}_{\text{к год } u, c}$  в ячейки матрицы, по строкам средневзвешенный смыв  $\text{Э}_{\text{к год } u, c}$ , просуммировать по столбцу значения  $\text{Э}_{\text{к год } u, c}$ .

5. Записать в ячейку целевую функцию: *суммарный смыв с севооборотов должен стремиться к минимуму* (см. табл. 2).

6. Составить матрицу «**ограничений по доле культуры в севообороте**», которая включает 3 матрицы: минимальный процент культуры, максимальный процент культуры, искомые переменные (изменяемые ячейки) – *процент культуры в севообороте*  $p_{(%)}$  (см. рис. 1 снизу, рис. 2).

Предлагаемая запись ограничений по допустимой структуре культур в севооборотах даёт возможность указать, где и какие культуры обязательны, а какие строго запрещены к размещению в севообороте ( $p_{k c(%)\max}=0$ ). Здесь же можно учесть минимальную площадь поля в севообороте ( $p_{k c(%)\min} \leq p_{k c(%)}$ ), которую необходимо рассчитать отдельно и выразить в процентах от площади всего хозяйства.

7. Записать формулы перерасчёта посевных площадей из долей площади пашни в гектары для каждой культуры севооборота (см. табл. 2) в ячейки матрицы «**найденные значения переменных**».

8. Запустить надстройку Microsoft Excel «Поиск решения» [4, 5].

9. В окне «Параметры поиска решения» указать ячейку целевой функции  $Z$  и указать действие – сведение значения к минимуму (см. рис. 1).

10. Вести изменяемые ячейки – матрица  $p_{k c(%)}$ .

11. Составить ограничения (см. табл. 2). Достаточно трёх последних формул ограничений (указанных в таблице), но в окне «Параметры поиска решения» строк будет больше, в связи с количеством севооборотов.

12. Выбрать метод решения – «Поиск решения нелинейных задач методом ОПП».

13. Запустить команду «Найти решение» [4, 5].

Игумнова Д.С., Кузнецов Ю.С.

Совершенствование решения задач оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур в севооборотах хозяйств Белгородской области с учётом интенсивности смыва почвы

Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо»

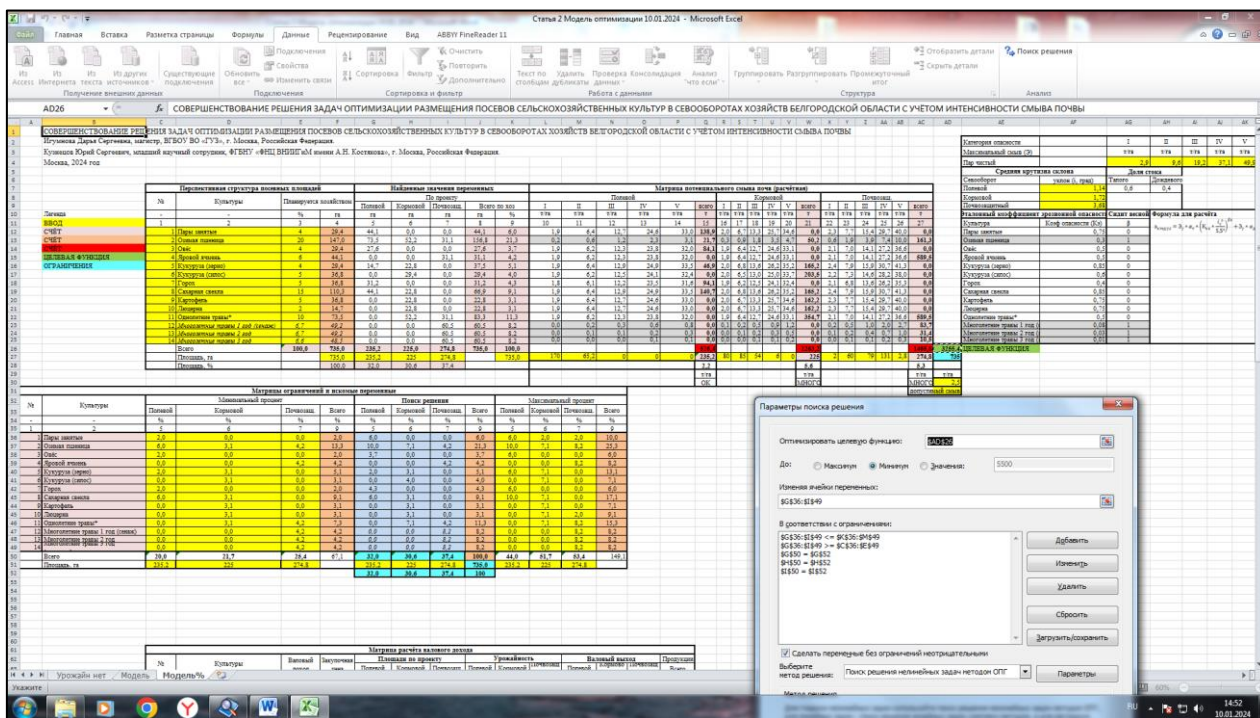


Рис. 1. Экранная форма матриц для решения задачи на оптимизацию структуры посевных площадей в севооборотах в программе Microsoft Excel с демонстрацией окна «Параметры поиска решения»

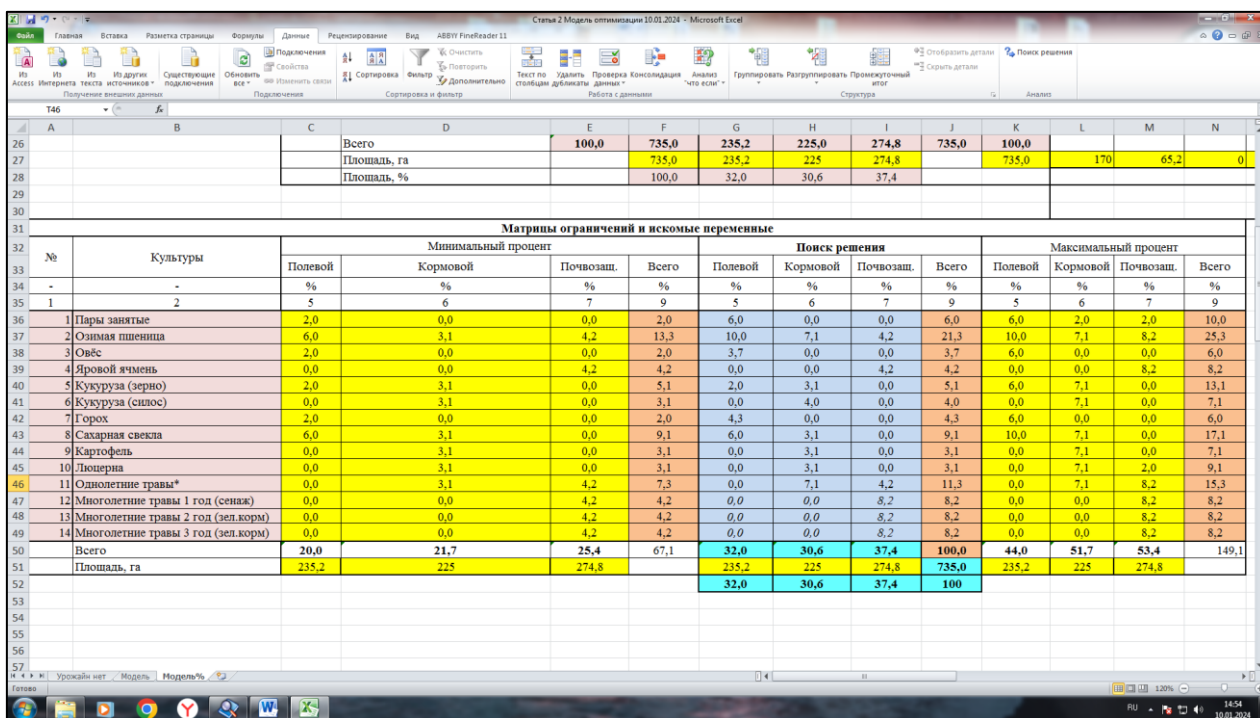


Рис. 2. Экранная форма матрицы ограничений с найденными значениями искомых переменных в программе Microsoft Excel

Игумнова Д.С., Кузнецов Ю.С.

Совершенствование решения задач оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур в севооборотах хозяйств Белгородской области с учётом интенсивности смыва почвы

.....  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**  
 =====

После окончания работы надстройки, найденные значения переменных необходимо проверить на адекватность реальности, то есть верифицировать: допустимы ли площади полей в севообороте для хозяйства и получится ли соблюсти ротацию в севообороте (кратность площади полей и их количество).

Если выведенные значения не адекватны, то можно уточнить ограничения по структуре посевных площадей в соответствующей матрице. Иными словами, несколько раз выполнить надстройку «Поиск решения» с разным набором значений  $r_{kc(\%)max}$ ;  $r_{kc(\%)min}$  и методом итераций добиться нужного результата.

Таблица 1. Обозначения и расшифровка переменных оптимизационной модели посевных площадей в севооборотах на эродированных землях

<b>Обозначения по матрице «потенциального смыва»:</b>		
$\mathcal{E}_{k \text{ год } y, c}$	т/га	потенциальный смыв почвы под культурой (к) в севообороте (с) с учётом поправок за год с площади у категории эрозионной опасности земель, которой соответствует потенциальный смыв $\mathcal{E}_y$ ;
$\mathcal{E}_{k \text{ год } y, c}$	т	средневзвешенный смыв почвы под культурой (к) в севообороте (с);
$\sum_k \mathcal{E}_{k \text{ год } y, c}$	т	суммарный годовой смыв почв с площади севооборота (с);
$Z$	т	суммарный годовой смыв почв с территории всех севооборотов хозяйства;
$r_{kc(\%)}$	%	доля площади культуры (к) в севообороте (с);
$r_{kc}$	га	площадь культуры (к) в севообороте (с);
$R_k = \sum_c r_{kc}$	га	площадь культуры (к) на пашне хозяйства;
$R_k(\%)$	%	доля площади культуры (к) на пашне хозяйства;
$R_c = \sum_k r_{kc}$	га	площадь севооборота (с);
$R_c(\%)$	%	доля площади севооборота (с) от площади хозяйства;
$\sum_k R_k$	га	площадь пашни хозяйства, занятая культурами;
$\sum_c R_c$	га	площадь пашни хозяйства, занятая севооборотами;
$P$	га	площадь пашни хозяйства;
$P_{yc}$	га	часть площади севооборота (с), соответствующая у категории эрозионной опасности земель;
$\sum_y P_{yc}$	га	сумма всех площадей у категории севооборота (с);
$P_y = \sum_{cy} P_{yc}$	га	сумма всех площадей у категории по всей пашне хозяйства.
<b>Обозначения исходных данных по матрице «потенциального смыва»:</b>		
$\mathcal{E}_y$	т/га	максимальные значения смыва почвы по у категории эрозионно-опасных земель;
$\alpha_t, \alpha_d$	-	соответственно, доля талого и ливневого стока в соответствующей природной зоне;

Игумнова Д.С., Кузнецов Ю.С.

Совершенствование решения задач оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур в севооборотах хозяйств Белгородской области с учётом интенсивности смыва почвы

.....  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**  
 =====

$K_{э к}$	-	эталонный коэффициент эрозионной опасности возделываемой сельскохозяйственной культуры (к);
$i_c$	град	средневзвешенный по площади уклон пашни в севообороте (с).
$\beta_k$	-	коэффициент, характеризующий защитные свойства культуры в период снеготаянья, для озимых $\beta = 1$ , для яровых $\beta = 0$ .
<b>Обозначения по матрице ограничений по структуре площадей в севооборотах:</b>		
$p_{к с(\%)}$	%	доля площади культуры (к) в севообороте (с)
$p_{к с(\%)min}$	%	минимальная доля площади культуры (к) в севообороте (с)
$p_{к с(\%)max}$	%	максимальная доля площади культуры (к) в севообороте (с)

Таблица 2. Постановка задачи оптимизации структуры посевных площадей на эродированных землях сельхозпредприятия

<b>Расчётные формулы в модели матрицы «потенциального смыва»:</b>	
$\mathcal{E}_{к год у,с} = \mathcal{E}_y * \alpha_T * \left( K_{э к} * \frac{i_c^\circ}{5,5^\circ} \right)^{\beta_k} + \mathcal{E}_y * \alpha_d * K_{э к} * \frac{i_c^\circ}{5,5^\circ}, \quad \text{т/га в год}$	
$\mathcal{E}_{к год у,с} = \frac{\sum_y (P_{у с} * \mathcal{E}_{к год у,с})}{\sum_y P_{у с}} * p_{к с}, \quad \text{т в год}$	
<b>Расчётные формулы для матрицы «посевных площадей»:</b>	
$p_{к с} = p_{к с(\%)} * P / 100\%, \text{ га}$	
$P_{с(\%)} = P_{с} * 100\% / P, \%$	
<b>Ограничения в задаче оптимизации (надстройки «Поиск решения»):</b>	
<i>по площади пашни</i>	$\sum_k P_k = \sum_c P_c = P = P_y, \text{ га}$
<i>по равенству площади севооборотов и площади категорий в севооборотах</i>	$P_c = \sum_y P_{у с}, \text{ га}$
<i>по равенству назначенной доли площади севооборота (с) в хозяйстве и суммы долей площадей культур в севообороте (с)</i>	$P_{с(\%)} = \sum_k p_{к с(\%)}$
<i>по доле культуры в севообороте</i>	$p_{к с(\%)min} \leq p_{к с(\%)} \leq p_{к с(\%)max}$
<i>не отрицательности переменных</i>	$0 \leq p_{к с(\%)}$
<b>Искомые переменные (приведённые, %)</b>	$p_{к с(\%)}$
<b>Целевая функция (минимизируемая, т)</b>	$Z = \sum_c (\sum_k \mathcal{E}_{к год у,с}) \rightarrow \min$ $Z = \sum_k \mathcal{E}_{к год у,с1} + \sum_k \mathcal{E}_{к год у,с2} + \sum_k \mathcal{E}_{к год у,с} \rightarrow \min$

Предложения по упрощению расчётов.

В данном случае потенциальный смыв под культурой (для матрицы исходных данных) определяется по общепринятой методике: отдельно от талого и ливневого стоков на различных категориях эрозионно-опасных земель при отсутствии на них растительного покрова [1-3].



Игумнова Д.С., Кузнецов Ю.С.

Совершенствование решения задач оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур в севооборотах хозяйств Белгородской области с учётом интенсивности смыва почвы

.....  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**  
 =====

Предлагаем переработать методику вычисления для удобства составления матрицы «потенциального смыва почв» при вводе минимального количества переменных (см. рис. 3).

1. Для выбранных возделываемых сельскохозяйственных культур севооборотов из эталонной таблицы выписывают коэффициент эрозионной опасности ( $K_э$ ).

2. Так как любая культура может оказаться на любом участке склона севооборота, то в качестве фактического уклона берут средневзвешенную крутизну склона ( $i_{ср}$ , град) на территории каждого севооборота (по карте крутизны склонов):

$$i_{ср} = \frac{\sum P * i}{\sum P}, \text{ град}, \quad (1)$$

где  $P$  – площадь земель с выбранной градацией крутизны склона, га или %;  
 $i$  – средняя крутизна склона в градации, град.

3. Определяют значение поправки за рельеф ( $K_{эi}$ ), по формуле:

$$K_{эi} = K_э \frac{i^\circ}{5,5^\circ}, \quad (2)$$

где  $i^\circ$  – фактическая крутизна склона под выбранной культурой, град;  $5,5^\circ$  – средняя крутизна склона земельных участков для эталонных значений коэффициента  $K_э$  (от 3 до 8°).

4. Из таблицы расчёта интенсивности смыва почвы по линиям стока (при составлении карты эрозионной опасности земель предприятия) выбираются максимальные значения смыва почвы по каждой категории эрозионно-опасных земель (Э).

Смыв по каждой категории эрозионно-опасных земель отдельно от талого (Э<sub>т</sub>) и ливневого стока (Э<sub>д</sub>) определяют путём умножения выбранного максимального значения (Э) на долю талого и ливневого стока соответственно. Известно, что в условиях лесной и степной зоны 60 процентов годового смыва почвы происходит от талого стока, а 40 процентов – от дождей, следовательно:

$$Э_т = Э * \alpha_т = Э * 0,6, \text{ т/га в год} \quad (3)$$

$$Э_д = Э * \alpha_д = Э * 0,4 \text{ т/га в год} \quad (4)$$

5. Определяется общегодовой смыв по каждой культуре для каждой категории эрозионно-опасных земель (Э<sub>к.год</sub>) с учётом временных особенностей сева культуры. В

Игумнова Д.С., Кузнецов Ю.С.

Совершенствование решения задач оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур в севооборотах хозяйств Белгородской области с учётом интенсивности смыва почвы

.....  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**  
 =====

весенний период (сток талых вод) только озимые и многолетние травы защищают пахотные угодья от смыва почв, поэтому смыв под остальными культурами будет равен смыву на пару (зяби). В летний период все культуры в той или иной мере защищают почву от эрозии. То есть для расчёта годового смыва на каждой категории земель **по озимым и многолетним травам** применима формула:

$$\mathcal{E}_{\text{к год (озим)}} = \mathcal{E}_T * K_{Эi} + \mathcal{E}_D * K_{Эi}, \text{ т/га в год.} \quad (5)$$

А для остальных культур:

$$\mathcal{E}_{\text{к год (яров)}} = \mathcal{E}_T + \mathcal{E}_D * K_{Эi}, \text{ т/га в год.} \quad (6)$$

Если в формулы 5 и 6 подставить поправки на долю стока (3,4), то получим:

$$\mathcal{E}_{\text{к год (озим)}} = \mathcal{E} * \alpha_T * K_{Эi} + \mathcal{E} * \alpha_D * K_{Эi}, \text{ т/га в год.} \quad (7)$$

$$\mathcal{E}_{\text{к год (яров)}} = \mathcal{E} * \alpha_T + \mathcal{E} * \alpha_D * K_{Эi}, \text{ т/га в год.} \quad (8)$$

В окончательном виде формулы для расчёта общегодового смыва по набору всех исходных данных будут выглядеть следующим образом:

$$\mathcal{E}_{\text{к год (озим)}} = \mathcal{E} * \alpha_T * K_Э * \frac{i^\circ}{5,5^\circ} + \mathcal{E} * \alpha_D * K_Э * \frac{i^\circ}{5,5^\circ}, \text{ т/га в год.} \quad (9)$$

$$\mathcal{E}_{\text{к год (яров)}} = \mathcal{E} * \alpha_T + \mathcal{E} * \alpha_D * K_Э * \frac{i^\circ}{5,5^\circ}, \text{ т/га в год.} \quad (10)$$

Для условий лесной и степной зоны (Белгородской области, взятой за пример) формулы примут вид (рис.3):

$$\mathcal{E}_{\text{к год (озим)}} = \mathcal{E} * K_Э * i^\circ * 0,11 + \mathcal{E} * K_Э * i^\circ * 0,07, \text{ т/га в год.} \quad (11)$$

$$\mathcal{E}_{\text{к год (яров)}} = \mathcal{E} * 0,6 + \mathcal{E} * K_Э * i^\circ * 0,07, \text{ т/га в год.} \quad (12)$$

Авторам видится возможность формулы 9,10 преобразовать в единую формулу путём возведения в степень (с бинарным показателем) произведения поправочных коэффициентов за культуру при стоке талых вод, что облегчит расчёт в Microsoft Excel:

$$\mathcal{E}_{\text{к год}} = \mathcal{E} * \alpha_T * \left( K_Э * \frac{i^\circ}{5,5^\circ} \right)^\beta + \mathcal{E} * \alpha_D * K_Э * \frac{i^\circ}{5,5^\circ}, \text{ т/га в год,} \quad (13)$$

где  $\beta$  – коэффициент, характеризующий защитные свойства культуры в период снеготаянья, для озимых  $\beta = 1$ , для яровых  $\beta = 0$ .

Обратим здесь внимание на то, что использование введённых коэффициентов повышает точность расчётов, когда после основной культуры поле засеивают покровными культурами, запахииваемыми на следующий год перед основным севом.

Игумнова Д.С., Кузнецов Ю.С.

Совершенствование решения задач оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур  
в севооборотах хозяйств Белгородской области с учётом интенсивности смыва почвы

Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»

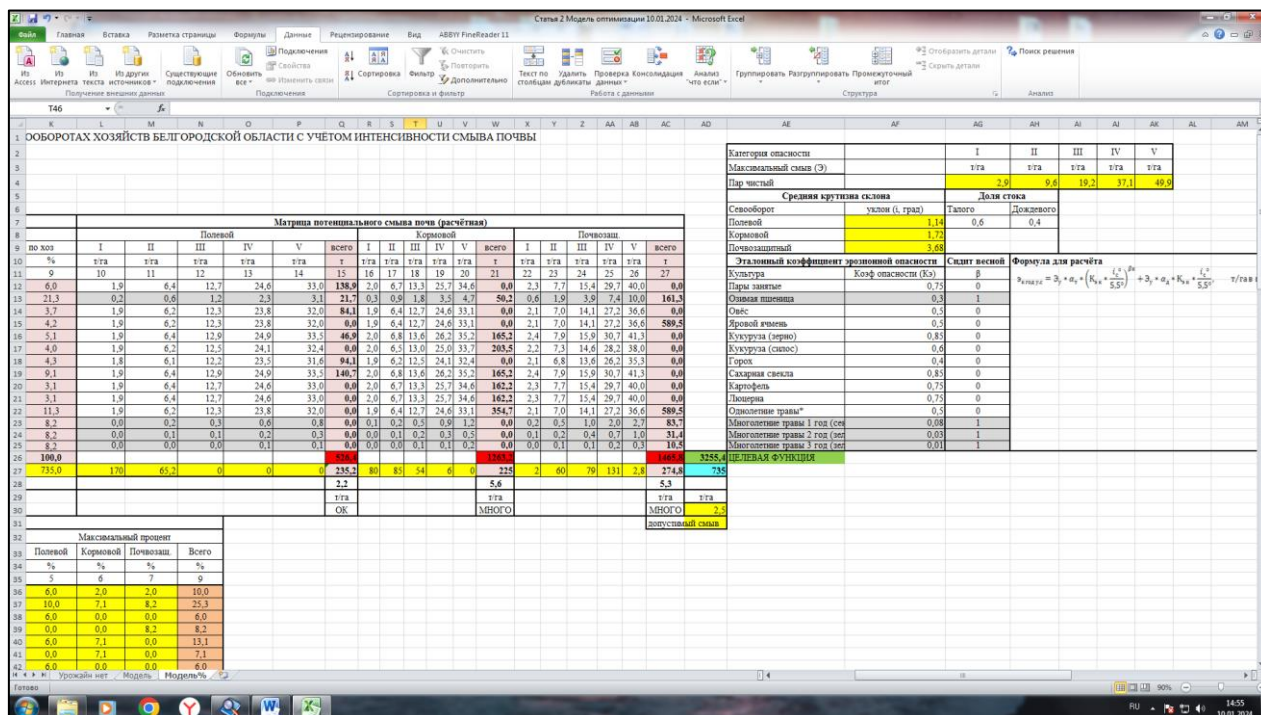


Рис. 3. Экранная форма матрицы «потенциального смыва», рассчитанная после окончания работы надстройкой «Поиск решения»

### Заключение

Как видно из итоговых формул (11, 12, 13), для составления матрицы потенциального смыва почвы под культурой, потребуются значения: эталонного коэффициента эрозионной опасности культуры ( $K_3$ ), коэффициента её наличия на пашне при снеготаянии ( $\beta$ ), максимального смыва почвы по каждой категории эрозионно-опасных земель ( $\Xi$ ), средневзвешенной крутизны склона по севооборотам ( $i^\circ$ ), площадей по категориям эрозионной опасности земель под севооборотами ( $P_{yc}$ ).

Особое внимание при заполнении вышеуказанной матрицы надо уделить назначению сельхозкультуры (зелёный корм, силос, зерно, семена), по причине различных коэффициентов эрозионной опасности культуры. Поэтому при расчёте по предложенному методу рекомендуем записывать структуру площадей не по хозяйству в целом, а по севооборотам, или учитывать культуру в структуре дважды по виду использования.

Целевая функция для минимизации состоит из 7 численных параметров, 6 из которых имеют постоянные значения в процессе решения задачи оптимизации (для получения  $\Xi_{k \text{ год } uc}$ ) и включает 3 подпараметра, составляющие ряды в матрице данных

Игумнова Д.С., Кузнецов Ю.С.

Совершенствование решения задач оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур  
в севооборотах хозяйств Белгородской области с учётом интенсивности смыва почвы

.....  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**  
=====

(культура с видом использования, севооборот, категория эрозионной опасности земель). Для получения значения целевой функции необходимо провести операцию осреднения удельного смыва под культурой по весу площади категории, умножить удельный смыв на площадь культуры в севообороте, просуммировать полученные значения по культурам, получив сумму по севооборотам, после сложить суммы смыва по севооборотам. Искомые переменные (площадь культуры в севообороте) приведены к процентам от общей площади пахотных угодий хозяйства.

Отличие разработанного способа оптимизации от способа Н.Г. Коноколина заключается в том, что методы поиска решения задачи (распределительный метод линейного программирования, ОПГ) применяются дифференцировано для каждого предварительно размещённого севооборота. То есть интенсивность смыва определена для каждой культуры соответствующего севооборота уже с поправкой на географические (территориальные) условия его размещения на эродированных землях хозяйства. Данное положение позволяет более полно учитывать защитные функции сельскохозяйственных культур, а методом итераций (меняя структуру посевов в матрице ограничений) добиться соблюдения экологических ограничений при реализации перспективной структуры посевных площадей в хозяйстве.

Иными словами, предложенное решение задачи позволит оптимизировать размещение посевов сельскохозяйственных культур не только по территории хозяйства в зависимости от категории эрозионно-опасных земель, но и внутри севооборотов [1, 2].

**Список использованных источников: проверено**

1. Волков С.Н. Землеустройство: в 9 т. Т. 4. Региональное землеустройство: учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений. – Москва: КолосС, 2009. – 707 с.
2. Волков С.Н. Землеустройство: в 9 т. Т. 9. Экономико-математические методы и модели: учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений. – Москва: КолоС, 2001. – 696 с.
3. Землеустроительное проектирование. Противозерозионная организация территории сельскохозяйственного предприятия: метод. указания / Н.Г. Конокотин, К.М. Кирюхина, Н.М. Матасова, В.В. Пронин; под общ. ред. К.М. Кирюхиной; Государственный университет по землеустройству. – Москва, ГУЗ, 2003. – 95 с.

Игумнова Д.С., Кузнецов Ю.С.

Совершенствование решения задач оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур  
в севооборотах хозяйств Белгородской области с учётом интенсивности смыва почвы

.....  
*Электронный научно-производственный журнал*  
**«АгроЭкоИнфо»**  
=====

4. Черноруцкий И.Г. Методы оптимизации. Компьютерные технологии. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2011. – 384 с.

5. Прокопенко Н.Ю. Методы оптимизации: учеб. пособие; Нижегород. гос. архитектур. - строит. ун-т. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2018. – 118 с.  
=====

**Цитирование:**

Игумнова Д.С., Кузнецов Ю.С. Совершенствование решения задач оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур в севооборотах хозяйств Белгородской области с учётом интенсивности смыва почвы [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2024. – № 1. – Режим доступа: [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/1/st\\_117.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/1/st_117.pdf)  
DOI: <https://doi.org/10.51419/202141117>.