

# АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ГЛУБОКО РАЗРЫХЛЕННЫХ СКЛОНОВ

**А.А. Михайлин, С.В. Филонов**

*НИМИ ФГБОУ ВПО ДГАУ*

Ростовская область в ЮФО является крупнейшей по использованию орошаемого земледелия. Общий фонд регулярного орошения превышает 220 тыс. га и в основном расположен на равнинной территории. Склоновые же земельные массивы испытывают на себе многие факторы деградации (переуплотнение, дефляция, поверхностный смыв). Неоправданное применение вспашки, особенно на склонах, в Ростовской области, вследствие резких перепадов температур в осенне-зимнее время ( $15\div 25^{\circ}\text{C}$ ) при сильных ветрах ведет к обесструктуриванию верхнего плодородного слоя. Все это отражается на потере потенциально возможной продуктивности обрабатываемых склоновых земель [1].

Поскольку склоновые земли в основном являются богарными, а их площадь в земледелии Ростовской области и Южного Федерального округа высока, возникает необходимость в качественном улучшении физико-механических свойств поверхностного обрабатываемого слоя этих земель. Обычно, верхний 20-ти см слой почвы, как правило, обесструктурен, а ниже лежащие слои переуплотнены. При атмосферных осадках верхний слой коагулируется, а нижние горизонты воду не достаточно впитывают из-за переуплотнения. Вода стекает по склону, смывая плодородный слой почвы, что часто приводит к заболачиванию и засолению подножья склонов [2]. Устранить вышеперечисленные негативные факторы или свести к минимуму их влияние являлось целью наших исследований по обработке склонов.

В настоящее время разработано большое количество приемов по задержанию талых вод и атмосферных осадков на склонах. Среди них: террасирование, устройство естественных преград на обрабатываемом склоне, мульчирование, ще-

ление и др. Однако все они либо очень дороги и трудоемки или малоэффективны [3].

Результаты анализа текущего состояния физико-механических свойств, склоновых земель с/х назначения и агротехники на юге РФ показали, что требуется разработать специальную обработку склоновых земель на базе глубокого рыхления [4]. Нами был предложен новый способ обработки склоновых земель с устройством внутрипочвенных стенок и получен патент на изобретение № 2255450 «Способ обработки склоновых почв». В результате представляется возможным разработать ресурсосберегающую технологию обработки склоновых земель, предусматривающую глубокое рыхление, направленное на снижение эрозионных процессов и аккумуляцию внутрипочвенной влаги на склоне [6,7].

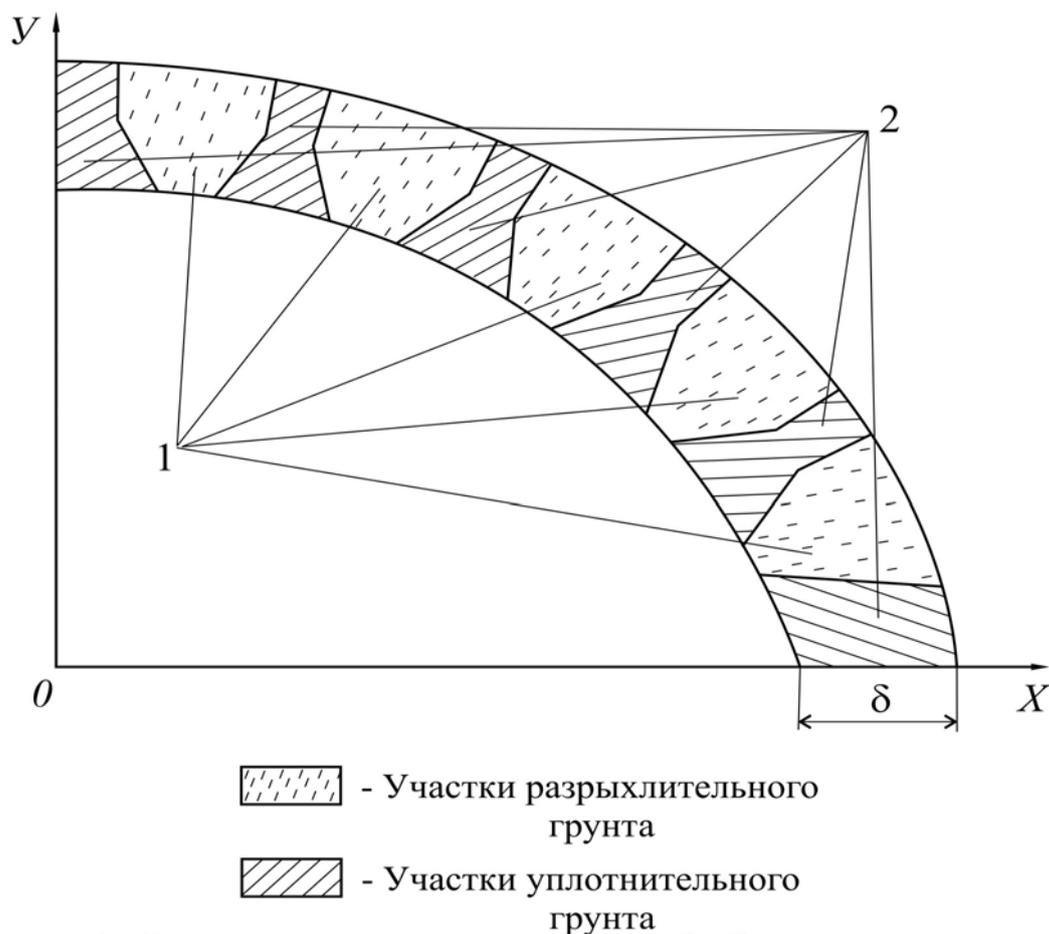


Рисунок 1 – Вертикальная проекция склона обработанного новым способом

На рисунке 1 представлено поперечное сечение склона, обработанного новым способом с устройством поперечных внутрипочвенных стенок 2 чередую-

щихся с глубоко разрыхлёнными участками 1, при глубине разуплотнения  $\delta =$  до 0,6÷0,7 м.

По нашим предварительным расчётам устройство внутрпочвенных стенок в сочетании с разрыхленными промежутками позволяет препятствовать внутрпочвенному стоку вод, что снижает поверхностную эрозию склонов, улучшает плодородие сельхозугодий, возвращает сильно эродированные участки в оборот, устраняет заболоченность земель у подножия склонов [5, 6].

При значительной аккумуляции внутрпочвенной влаги на обработанном новым способом склоновом участке резко увеличивается его масса. При этом склон может перейти в неустойчивое состояние. Для избежания непредвиденного оползня необходимо рассчитать параметры предельного устойчивого равновесия глубоко разрыхленного предлагаемым способом влагонасыщенного склона [7].

Расчёт устойчивости получаемого влагонасыщенного профиля склона – достаточно сложная задача, поэтому необходимо провести исследования данного вопроса в первом приближении [7- 9].

Установим, что почва – это пористое и неупругое тело. Также будем учитывать, что рассматриваемые склоны изначально являются устойчивыми, угол наклона к общей горизонтали не более  $20^{\circ}$ , толщина грунта, лежащего под плодородным слоем, составляет не менее 1,5 м. Расчёт на устойчивость был выполнен с использованием программного комплекса «FlexPDE 2.0». Для этого использовался метод конечных элементов.

При описании механического состояния устойчивости обработанного склона составляем математическую модель – уравнения равновесия частиц грунта [9-11]:

$$S_x \cdot dx + T_{xy} \cdot dy + F_x = 0; \quad T_{xy} \cdot dx + S_y \cdot dy + F_y = 0; \quad (1)$$

где:  $S_x$  и  $S_y$  – нормальные напряжения по осям  $X$  и  $Y$ ;  $T_{xy}$  – касательное напряжение;  $F_x$  и  $F_y$  проекции приложенных сил на соответствующие координатные оси.

$$\begin{aligned}
S_x &= C11 \cdot ex + C12 \cdot ey + C13 \cdot gxy; \\
S_y &= C12 \cdot ex + C22 \cdot ey + C13 \cdot gxy; \\
T_{xy} &= C13 \cdot ex + C23 \cdot ey + C33 \cdot gxy;
\end{aligned}
\tag{2}$$

где:  $ex = U dx$ ;  $ey = V dy$ ;  $gxy = U dy + V dx$ ; для исследуемого склона можем принять  $C13 = C23 = 0$ ;  $C11 = G$ ;  $C12 = G \cdot \eta$ ;  $C22 = G$ ;  $C33 = G \cdot (1 - \eta)/2$ .

Обработанный склон будем представлять ансамблем треугольных конечных элементов.

Механическое состояние устойчивости обработанного склона будем описывать следующими дифференциальными уравнениями:

$$\begin{aligned}
dx[U dx + \eta * V dy] + p1 * dy[U dy + V dx] &= 0 \\
dy[V dy + \eta * U dx] + p1 * dx[U dy + V dx] - \rho * ga/G &= 0
\end{aligned}
\tag{3}$$

где  $p1 = (1 - \eta)/2$ ;  $\eta$  – коэффициент Пуассона;  $U, V$  – смещение частиц грунта в горизонтальном и вертикальном направлении соответственно,  $\rho$  – плотность грунта;  $ga$  – ускорение свободного падения;  $G = E/(1 - \eta^2)$ ;  $E$  – модуль Юнга.

В результате вычислений с применением программы-расчётчика «FlexPDE 2.0» получились следующие результаты.

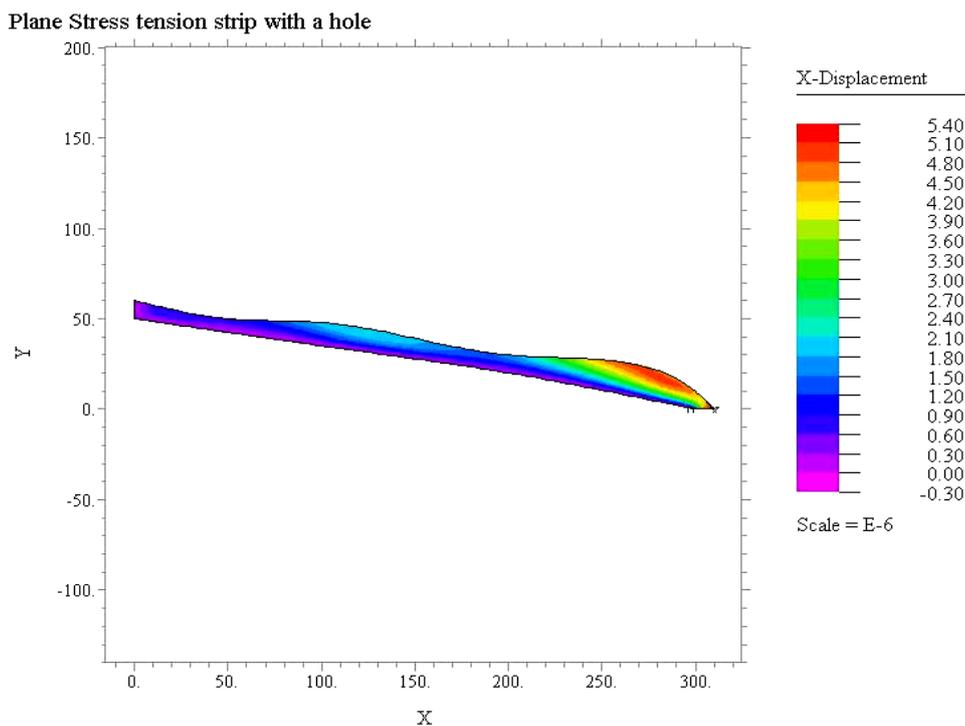


Рисунок 2 – X смещение для необработанного участка

На рисунках 2 и 3 приведены смещения по осям  $X$  и  $Y$  для необработанного участка. В рисунках 4 и 5 показаны смещения по осям  $X$  и  $Y$  для участка на котором применяется новый способ обработки почвы.

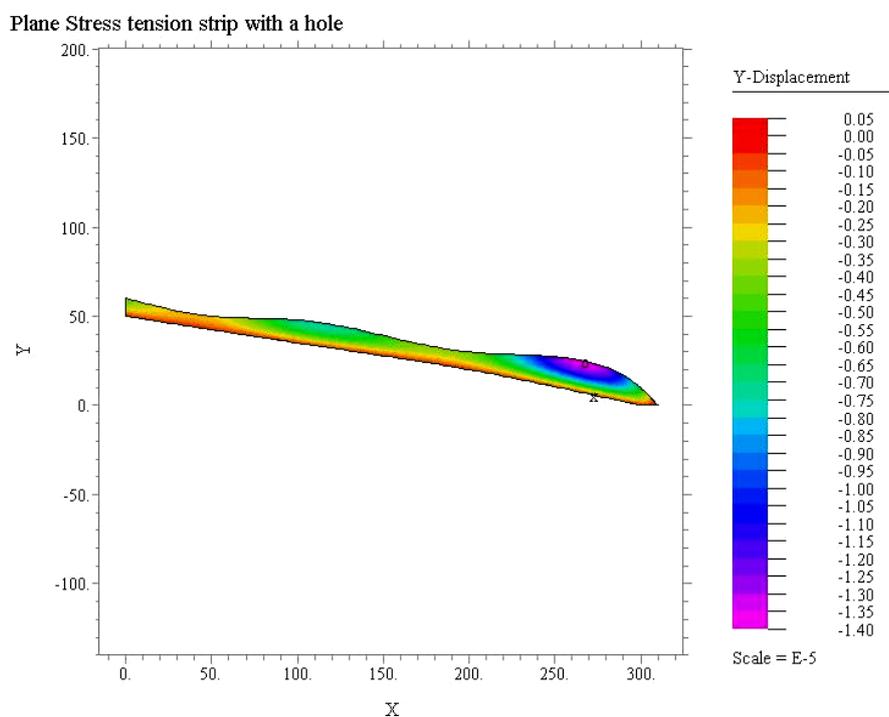


Рисунок 3 –  $Y$  смещение для необработанного участка

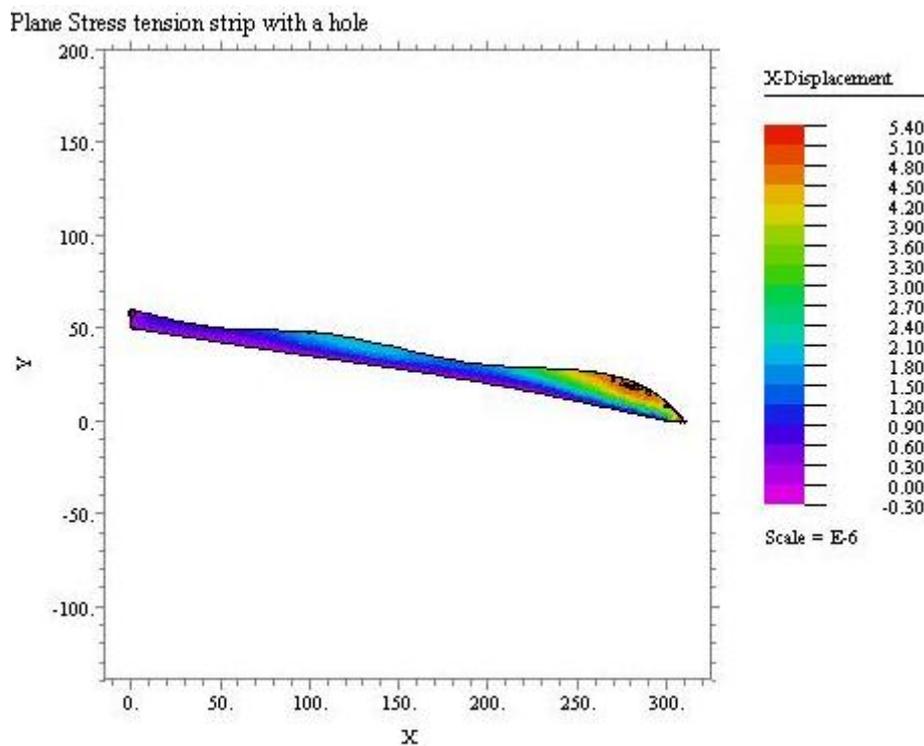


Рисунок 4 –  $X$  смещение для участка обработанного новым способом

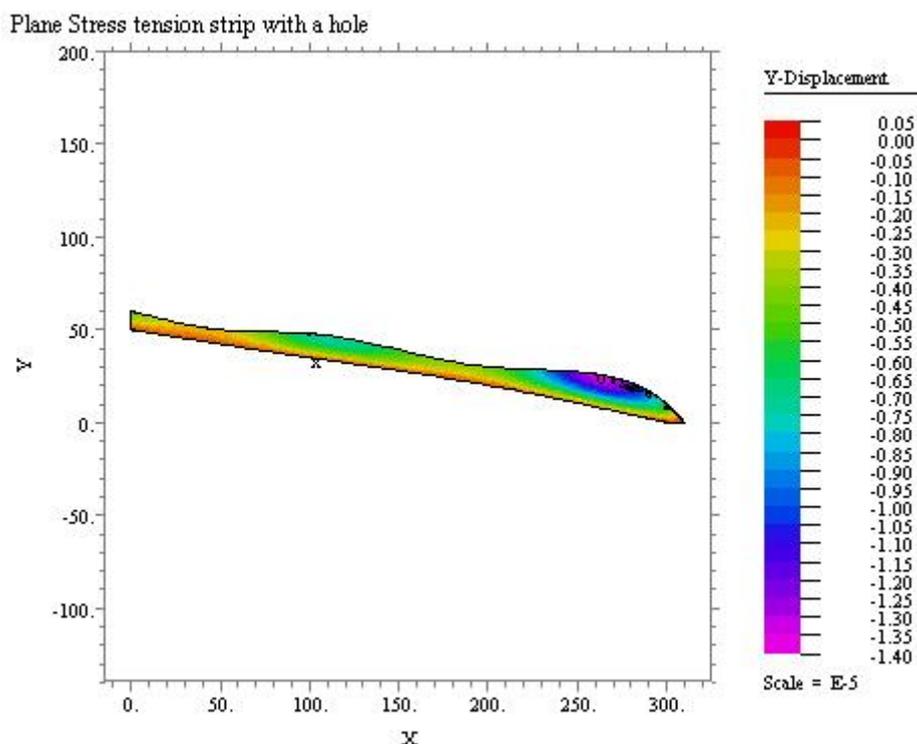


Рисунок 5 –  $Y$  смещение для участка обработанного новым способом

На основании вышеприведённых графиков, полученных в результате произведённых вычислений, применяя метод конечных элементов, используя программу-расчётчик «FlexPDE 2.0», можно сделать вывод, что предложенный новый мелиоративный способ обработки склоновых земель не увеличивает возможность сползания обработанного горизонта склона предлагаемым способом, по сравнению с необработанным. Следовательно, применение нового способа обработки склоновых земель на базе глубокого рыхления, возможно, позволит аккумулировать внутрипочвенную влагу на склоновых землях, что приведёт к повышению урожайности выращиваемых сельскохозяйственных культур и потенциально возможной продуктивности обрабатываемых склоновых земель.

### Литература:

1. Гаврилюк, Ф.Я. Полевые исследования и картирование почв [Текст]: Рекомендации / Ф.Я. Гаврилюк. – Ростов-н/Д.: Ростовский ун-т, 1981. – 208с.

2. Иванова, Н.А. Способы снижения уплотнения почв и их эффективность [Текст]: Сборник трудов ЮжНИИГиМ / Н.А. Иванова. – Новочеркасск, 1990г. – 380с.
3. Мамаев, З.М. Комплексная механизация мелиоративных работ [Текст]: Каталог ВНИИГиМ / З.М. Мамаев. – М.: ВНИИГиМ, 1986. – 300с.
4. Винокуров А.А. К вопросу применения в руслах горных водотоков бассейна Верхней Кубани поперечных сооружений, селеспусков и террасирования склонов// А.А. Винокуров. – Вестник Волг ГАСУ. Сер.: Стр-во и архит., 2008.- №11(30).-с. 105
5. Михайлин А.А. Разработка новой ресурсосберегающей технологии обработки склоновых земель [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №4. – Режим доступа: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1525](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1525) (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
6. Михайлин, А.А. Анализ устойчивости обрабатываемых влагонасыщенных склоновых почв [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №4. – Режим доступа: [ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1182](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1182) (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
7. Михайлин А.А. Влияние технических характеристик орудия на показатели качества глубокого разрыхления орошаемых земель// А.А. Михайлин, В.П. Максимов, И.В. Клименко. – Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации 2013г. №3.- с. 134-147.
8. Волосухин В.А. Методика проведения инженерного мониторинга лотковых каналов оросительных систем Южного Федерального округа [монография]/ В.А. Волосухин, М.А. Бандурин – Новочерк. гос. мелиор. акад. – Новочеркасск, 2007. – 40с.
9. Balci, O.: Verification, Validation and Testing, in Handbook of Simulation, J. Banks, ed., John Willy, New York, 1998. Pp. 335-393.
10. Caquot, A. (1966). et Kerisel. J., 'Traité de Mécanique des Sols', 4ème éd, 240 p
11. Lambe J.W., Whitman R.V. Soil mechanics. New Delhi, Wiley eastern limited, 1984, 522 p.