

**ИЗМЕНЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛОДОРОДИЯ  
ПАХОТНЫХ ПОЧВ СКЛОНА НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

*Т.В. Нечаева, к.б.н., Н.В. Смирнова, к.б.н., Н.В. Гопп, к.б.н., О.А. Савенков, к.б.н., Институт почвоведения и агрохимии СО РАН*

*630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 8/2, [taya @inbox.ru](mailto:taya@inbox.ru)*

Приведены данные по изменению агрохимических параметров плодородия пахотных почв (слой 0-30 см) эрозионно опасного склона в лесостепной зоне юга Западной Сибири (Тогучинский район Новосибирской области). Результаты указывают на снижение в среднем по склону и ложбине стока по сравнению с вершиной водораздела содержания в почвах мелкой пыли в 1,3 и 1,5 раза, гумуса – в 1,8 и 2,4 раза, валового азота – в 1,7 и 2,0 раза, нитратного азота – в 1,4 и 1,6 раза, валового фосфора – в 1,3 раза в обоих случаях, обменного кальция – в 1,2 и 1,3 раза, обменного магния – в 1,4 и 1,6 раза соответственно. Установлено более высокое содержание подвижных форм фосфора в почвах склона (особенно в средней его части) и ложбины стока; в распределении валового и подвижных форм калия – наибольшее их содержание отмечено в почвах ложбины стока.

*Ключевые слова:* эрозионно опасный склон, гранулометрический состав, гумус, валовые и подвижные формы азота, фосфора, калия, кальция и магния.

В работах российских и зарубежных исследователей [2-10, 13-19, 22-25] показано, что в пахотных почвах на эрозионно опасных склонах происходят не только потери мелкозема, органического вещества и элементов питания, но и их перераспределение по элементам рельефа, резкое изменение соотношения питательных веществ. Это в итоге приводит к значительному снижению агрофизических, биологических и агрохимических параметров плодородия почв, продуктивности и качества выращиваемых культур.

Территория юга Западной Сибири благоприятна для земледелия, но сильно расчленена, много сельскохозяйственных угодий расположено на склонах крутизной 1-3°, а 8 % пашни - на более крутых склонах. Распашка склонов привела к тому, что в настоящее время около 15 млн га являются эрозионно опасными землями, из них 9 млн га подвержены смыву и дефляции [17]. В связи с резким сокращением использования минеральных и органических удобрений, практически полным прекращением работ по защите почв от эрозии, снижением общей культуры земледелия усилились процессы антропогенной деградации пахотных почв. Это вызывает необходимость проведения более детальных почвенно-агрохимических обследований склоновых агроландшафтов.

Цель исследований – оценить изменение агрохимических параметров плодородия пахотных почв эрозионно опасного склона в условиях экстенсивного землепользования на основе сравнительного анализа их гранулометрического состава, реакции среды, содержания гумуса, валовых и подвижных форм азота, фосфора, калия, кальция и магния.

**Методика.** Исследование проводили на территории Предсалаирской дренированной равнины (Предсалаирье) в лесостепной зоне юга Западной Сибири (Тогучинский район, Новосибирская обл.), где пахотные почвы в наибольшей степени подвержены эрозии [17]. Обследованный участок площадью 245 га включает вершину водораздела рек Ирба и Хайрузовка, верхнюю, среднюю и нижнюю части эрозионно опасного покатого склона с крутизной 3-5°, а также ложбину стока в средней части склона с крутизной 4-5°. Согласно классификации почв [11], почвенный покров участка представлен оподзоленными и выщелоченными черноземами, темно-серой и серой лесной, лугово-черноземной почвами. Почвообразующие породы – лессовидные карбонатные суглинки. На момент исследования пашня была занята овсяно-гороховой смесью, горохом посевным и ячменем. Координаты индивидуальных точек отбора почвенных образцов определяли с помощью системы геопозиционирования (GPS, Garmin eTrex Vista), погрешность привязки – 5 м.

Почвы анализировали общепринятыми методами [12]: содержание гумуса по Тюрину; валового азота ( $N_{\text{вал}}$ ) по Кьельдалю; легкоподвижного фосфора ( $P_{\text{лп}}$ ) и нитратного азота ( $N\text{-}NO_3$ ) по Карпинскому-Замятиной – экстрагент 0,03 н.  $K_2SO_4$ ; подвижных фосфора и калия по Чирикову ( $P_{\text{Чириков}}$  и  $K_{\text{Чириков}}$ ) – 0,5 н.  $CH_3COOH$ ; подвижного фосфора по Николову ( $P_{\text{Николов}}$ ) – 0,2 н. яблочнокислый аммоний; обменных калия, кальция и магния по Масловой ( $K_{\text{Маслова}}$ ,  $Ca_{\text{обм}}$  и  $Mg_{\text{обм}}$ ) – 1 н.  $CH_3COONH_4$ ; легкообменного калия по Голубевой ( $K_{\text{лю}}$ ) – 0,005 н.  $CaCl_2$ . Гранулометрический состав определяли по Качинскому, рН водной суспензии ( $pH_{H_2O}$ ) – потенциметрическим методом, содержание в почвах валовых фосфора, калия, кальция и магния – методом атомно-эмиссионного анализа в порошкообразных образцах.

Рассчитывали следующие статистические параметры: среднее ( $\pm$ ) стандартное отклонение, коэффициент корреляции Спирмена ( $r_s$ ) при общем объеме выборки  $n = 57$  и вероятности ошибки  $p < 0,05$ . Оценку значимости различий между агрохимическими параметрами плодородия почв склона проводили с использованием  $t$ -критерия Стьюдента и  $U$ -критерия Манна-Уитни.

**Результаты и их обсуждение.** Реакция среды, гранулометрический состав. Почвы склона имели близкую к нейтральной реакцию среды с незначительным варьированием ( $pH_{H_2O}$  5,73-5,84) по элементам рельефа. Распределение физической глины в почвах неравномерное: максимальное ее содержание отмечено на вершине водораздела и в нижней части склона (50%), существенно ниже – в верхней и средней частях склона (46%), минимальное – в ложбине стока (44%). Наиболее выраженное снижение содержания частиц произошло

во фракции мелкой пыли: от 20,8% на вершине водораздела до 14,3% в ложбине стока. Содержание илистых частиц в почвах на вершине водораздела, в верхней части склона и ложбине стока – 15,6-17,2%, в средней и нижней частях склона оно увеличилось до 19,2 и 23,5% соответственно. Перетолжение мелкоземом с формированием смыто-намытых комплексов почв и конусов выноса на поверхности пашни способствует усложнению почвенного покрова и усилению его фрагментарности [2, 5, 17-18].

**Гумус, азот.** Наибольшее содержание гумуса и валового азота отмечено в почвах на вершине водораздела, в среднем по склону и ложбине стока содержание гумуса снизилось, соответственно, в 1,8 и 2,4 раза,  $N_{вал.}$  – в 1,7 и 2,0 раза (рис. 1).

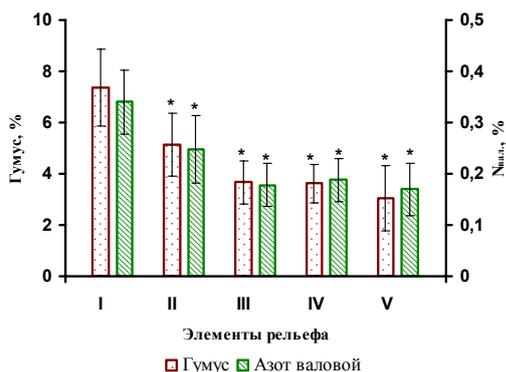


Рис. 1. Содержание гумуса и общего азота в почвах склона: I – вершина водораздела, II – верхняя, III – средняя, IV – нижняя части склона, V – ложбина стока. \* – показатели, статистически значимо отличающиеся от таковых на вершине водораздела ( $p < 0,05$ ) (здесь и на рис. 2 и 3).

В распределении нитратного азота максимум его содержания установлен в почвах на вершине водораздела (7,6 мг  $N-NO_3/kg$ ), в среднем по склону и ложбине стока произошло снижение в 1,4 и 1,6 раза соответственно. Уменьшение содержания гумуса, валового и нитратного азота, пыли мелкой в почвах вниз по склону и тесные корреляции гумуса с  $N_{вал.}$  ( $r_s = 0,94$ ),  $N-NO_3$  ( $r_s = 0,61$ ) и пылью мелкой ( $r_s = 0,80$ ) указывают на их взаимодействие и снижение параметров плодородия. Полученные в опыте результаты согласуются с данными других исследователей [4-10, 13-19, 22-25] и позволяют сделать вывод о том, что из почв эрозивно опасных склонов выносятся в основном наиболее мелкоземистые частицы, которые обладают высокой поглотительной способностью и обогащены элементами питания. Кроме того, происходят значительные потери гумуса и азота, что ведет к ухудшению почвенной структуры, азотного питания растений, снижению поглотительной и вододерживающей способности почв.

**Фосфор.** В распределении фосфора в почвах склона отмечено, с одной стороны, снижение содержания  $P_{вал.}$  от вершины водораздела к ложбине стока в 1,3 раза, с другой стороны, увеличение содержания  $P_{цириков}$  в среднем по склону и ложбине стока в 1,8 и 2,4 раза соответственно (рис. 2 А). Содержание  $P_{николов}$  и  $P_{лп}$  в почвах на вершине водораздела составило, соответственно, 26 и 0,29 мг  $P_2O_5/kg$ , в среднем по склону их содержание увеличилось в 1,4 раза в обоих случаях, в ложбине стока – в 1,3 и 1,5 раза.

Установлены тесные корреляционные связи  $P_{вал.}$  с гумусом ( $r_s = 0,67$ ) и пылью мелкой ( $r_s = 0,51$ ),  $P_{цириков}$  с гумусом ( $r_s = -0,77$ ) и пылью мелкой ( $r_s = -0,68$ );  $P_{николов}$

с  $P_{лп}$  ( $r_s = 0,70$ ). Подобная закономерность по снижению содержания валового фосфора и увеличению подвижных его форм в смытых почвах Западной Сибири в сравнении с несмытыми, а также тесная связь валового фосфора с гумусом были отмечены и ранее [21-23]. Однако, в черноземах и серых лесных почвах Курской области установлено снижение содержания подвижных фосфора и калия на склонах полярных экспозиций по сравнению с водораздельным плато [6, 7]. Следовательно, разнонаправленность изменений в содержании валового фосфора и подвижных его форм в почвах эрозивно опасных склонов может быть обусловлена неравномерным распределением тонкодисперсных минеральных частиц по элементам рельефа, потерями гумуса и припахиванием нижележащих горизонтов (обогащенных или обедненных соединениями фосфора).

Согласно грациям Агрохимслужбы России [12], содержание  $P_{цириков}$  в почвах на вершине водораздела и в среднем по склону соответствовало повышенному и высокому уровням, по откорректированным шкалам для зерновых культур в Предсалаирье [1] – среднему и высокому уровням. Однако доступность растениям запасов растворимых фосфатов по содержанию  $P_{николов}$  соответствовала среднему уровню [21], а степень подвижности фосфатов по содержанию  $P_{лп}$  была низкой [1]. Таким образом, необходимо учитывать специфику фосфатного фонда почв исследуемой территории, использовать по возможности откорректированные шкалы и несколько методов, включая определение легкоподвижного фосфора.

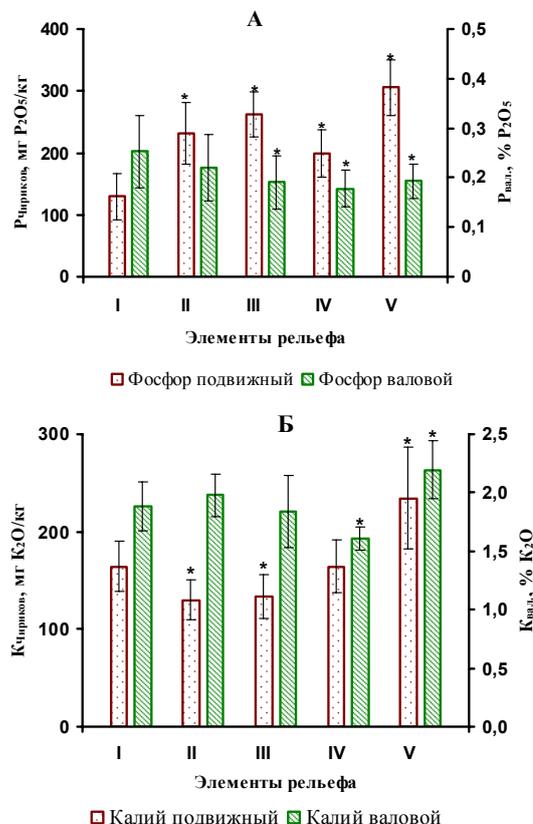


Рис. 2. Содержание валовых и подвижных форм фосфора (А) и калия (Б) в почвах склона

**Калий.** Распределение валового калия и подвижных (обменных) его форм по элементам рельефа было неравномерным с максимальным их содержанием в почвах ложбины стока (рис. 2 Б). От верхней к нижней час-

ти склона отмечены снижение содержания в почвах валового калия в 1,2 раза и увеличение содержания  $K_{\text{чириков}}$  и  $K_{\text{маслова}}$  в 1,3 раза в обоих случаях. Содержание  $K_{\text{лю}}$  в почвах на вершине водораздела и склона варьировало незначительно и в среднем составило 11,3 мг  $K_2O/kg$ , тогда как в ложбине стока было существенно выше – 23,4 мг  $K_2O/kg$ . В проведенных нами ранее исследованиях на юге Западной Сибири [3, 22, 23] выявлены, с одной стороны, снижение содержания валового калия и увеличение подвижных его форм (особенно легкообменной) в слабо- и среднесмытых темно-серых почвах и оподзоленных черноземах в сравнении с несмытыми почвами, с другой стороны, снижение содержания обменного калия в агросерой почве транзитной части склона в сравнении с элювиальной. В Московской области отмечено увеличение содержания обменного калия в почвах вниз по склону (крутизной 8 и 4°), что обуславливает со временем пестроту почвенного покрова по содержанию данного элемента питания [15].

Найдены тесные корреляционные связи между подвижными формами калия в почвах склона:  $K_{\text{чириков}}$  и  $K_{\text{маслова}}$  ( $r_s = 0,94$ );  $K_{\text{чириков}}$  и  $K_{\text{лю}}$  ( $r_s = 0,76$ );  $K_{\text{маслова}}$  и  $K_{\text{лю}}$  ( $r_s = 0,68$ ). Считается, что больше всего теряется подвижного калия за счет выноса илестых частиц, обогащенных этим элементом [8-9, 19]. В данном исследовании тесной связи илестой фракции с подвижными формами калия не установлено, однако  $K_{\text{чириков}}$  и  $K_{\text{маслова}}$  имели значимые, но слабой силы связи корреляции с физической глиной ( $r_s = 0,30$  и  $0,43$  соответственно).

Согласно грациям Агрохимслужбы России [12], содержание в почвах склона подвижных форм калия соответствовало высокому уровню. В то же время по грациям, разработанным для зональных почв лесостепи Западной Сибири с учетом гранулометрического состава [20], содержание  $K_{\text{чириков}}$  соответствовало низкому уровню,  $K_{\text{маслова}}$  – варьировало от неустойчивого до низкого уровня,  $K_{\text{лю}}$  – было неустойчивым. Это свидетельствует о необходимости учета гранулометрического состава и, по возможности, содержания легкообменного калия как одних из обязательных условий для корректной оценки калийного состояния почв.

**Кальций, магний.** В почвах склона и ложбины стока по сравнению с вершиной водораздела содержание валового кальция было ниже, а в количестве валового магния различий по элементам рельефа не отмечено (рис. 3 А, Б). Содержание обменных кальция и магния в почвах на вершине водораздела было наибольшим, в среднем по склону их содержание снизилось в 1,2 и 1,4 раза, в ложбине стока – в 1,4 и 1,6 раза соответственно.

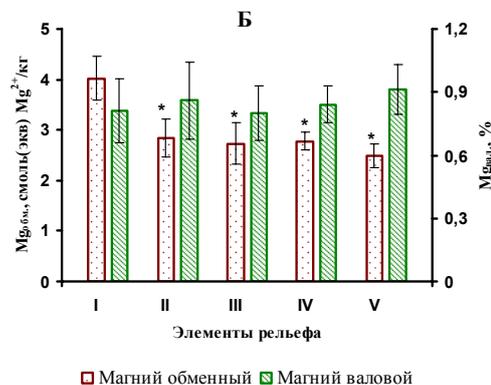
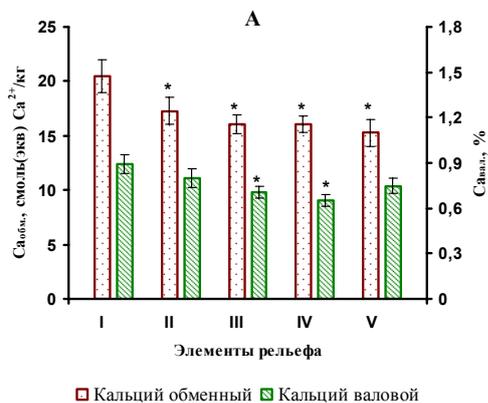


Рис. 3. Содержание валовых и подвижных форм кальция (А) и магния (Б) в почвах склона

Установлены значимые корреляционные связи между  $Ca_{\text{обм}}$  и  $Mg_{\text{обм}}$  ( $r_s = 0,66$ ), а также обменных кальция и магния с гумусом ( $r_s = 0,55$  и  $0,74$ ), пылью мелкой ( $r_s = 0,51$  и  $0,68$ ), физической глиной ( $r_s = 0,43$  и  $0,59$ ),  $P_{\text{чириков}}$  ( $r_s = -0,63$  и  $-0,78$ ). Существенное снижение содержания обменных кальция и магния в почвах эрозионно опасного склона по сравнению с вершиной водораздела может быть связано как с различной насыщенностью обменными основаниями пахотного слоя, унаследовавшего такой уровень содержания от почвообразующих пород, так и с их миграцией вместе с мелкоземистыми частицами и органическим веществом в составе твердого и жидкого стоков.

**Заключение.** Таким образом, в пахотных почвах эрозионно опасного склона на юге Западной Сибири происходит снижение содержания мелкой пыли, гумуса, валового и нитратного азота, валового фосфора, обменных кальция и магния; наиболее существенные изменения данных параметров выявлены в средней и нижней частях склона, ложбине стока. В распределении подвижных форм фосфора по элементам рельефа отмечено более высокое их содержание в почвах склона (особенно в средней его части) и ложбины стока, наибольшее количество валового калия и подвижных его форм – в почвах ложбины стока. Вниз по склону (от верхней к нижней части) содержание валового калия в почвах снижалось, а подвижных форм элемента увеличивалось.

В условиях многолетнего экстенсивного использования почв склона выявлено снижение агрохимических параметров плодородия в отношении азота, фосфора и калия, что вызывает потребность во внесении удобрений. Использование весьма усредненных граций по фосфору и калию, принятых в системе Агрохимслужбы России (без учета специфики фосфатного и калийного фондов исследуемых почв, гранулометрического состава, вида выращиваемых культур), считаем недостаточным. Для объективной оценки обеспеченности макроэлементами почв региона целесообразно пользоваться системой региональных шкал с применением нескольких методов определения их подвижных форм.

Особенности в пространственной изменчивости агрохимических и других параметров плодородия почв на эрозионно опасных склонах необходимо учитывать при разработке адаптивно-ландшафтных систем земледелия с целью получения планируемого урожая выращиваемых культур и воспроизводства почвенного плодородия.

## Литература

1. Аверкина С.С., Синещев В.Е., Ткаченко Г.И. Оценка методов определения фосфатов в черноземах Новосибирской области // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2011. – № 11-12. – С. 5-10.
2. Габбасова И.М., Сулейманов Р.Р., Хабиров И.К., Комиссаров М.А., Фрюауф М., Либельт П., Гарипов Т.Т., Сидорова Л.В., Хазиев Ф.Х. Изменение эродированных почв во времени в зависимости от их сельскохозяйственного использования в Южном Предуралье // Почвоведение. – 2016. – № 10. – С. 1277-1283.
3. Гопт Н.В., Нечаева Т.В., Савенков О.А., Смирнова Н.В., Смирнов В.В. Применение цифровой модели высот (ASTER GDEM, 30 м) для оценки пространственной изменчивости содержания основных макроэлементов в агросерой почве склона // Агрохимия. – 2016. – № 4. – С. 46-54.
4. Гопт Н.В., Нечаева Т.В., Савенков О.А., Смирнова Н.В., Смирнов В.В. Оценка влияния мезорельефа склона на пространственную изменчивость свойств почвы и характеристики растительного покрова по данным дистанционного зондирования Земли // Исследование Земли из космоса. – 2016. – № 3. – С. 66-74.
5. Губина Д.А. Изменение гранулометрического состава пахотных почв подтаежной зоны Томской области при водной эрозии // Плодородие. – 2014. – № 6. – С. 23-24.
6. Дубовик Е.В., Дубовик Д.В. Агрохимические свойства чернозема в зависимости от экспозиции и крутизны склона // Агрохимия. – 2012. – № 7. – С. 10-15.
7. Дубовик Е.В., Дубовик Д.В. Агрохимические свойства серых лесных почв склонового агроландшафта // Агрохимия. – 2013. – № 11. – С. 19-25.
8. Жилко В.В., Жукова И.И., Черныш А.Ф., Цыбулька Н.Н., Тишук Л.А. Потери гумуса и макроэлементов, вызываемые водной эрозией, из дерново-палево-подзолистых почв Белоруссии // Агрохимия. – 1999. – № 10. – С. 41-46.
9. Каитанов А.Н., Явтушенко В.Е. Агроэкология почв склонов. - М.: Колос, 1997. – 240 с.
10. Кирюхина З.П., Пацукевич З.В. Эрозионная деградация почвенного покрова России // Почвоведение. – 2004. – № 6. – С. 752-758.
11. Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1977. – 224 с.
12. Практикум по агрохимии [Под ред. В.Г. Минеева]. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
13. Савельева Д.А. Особенности трансформации некоторых показателей гумусного состояния пахотных почв в эрозионных ландшафтах подтайги Томской области // Земледелие. – 2016. – № 7. – С. 19-23.
14. Савич В.И., Гукалов В.Н., Мансуров Б.А. Агроэкологическая оценка развития эрозии во времени и в пространстве // Плодородие. – 2015. – № 3. – С. 40-42.
15. Савоськина О.А. Почвозащитные приемы обработки – важнейший резерв снижения потерь биофильных элементов на эрозионно опасных землях // Агрохимический вестник. – 2011. – № 1. – С. 19-23.
16. Сухановский Ю.П., Санжарова С.И., Пруцкий А.В. Модель динамики содержания гумуса в эродированном черноземе Центрального Черноземья // Агрохимия. – 2011. – № 12. – С. 45-52.
17. Танасиенко А.А. Специфика эрозии почв в Сибири. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – 176 с.
18. Чупрова В.В., Жуков З.С. Оценка плодородия землепользований Красноярской лесостепи с неоднородным почвенным покровом // Плодородие. – 2016. – № 2. – С. 34-37.
19. Явтушенко В.Е., Макаров Н.Б. Потери органического вещества и элементов питания растений из почвы в результате водной эрозии // Агрохимия. – 1996. – № 4. – С. 117-123.
20. Якименко В.Н., Нечаева Т.В. Действие и последствие калийных удобрений в Западной Сибири // Вестник Международного института питания растений. – 2016. – № 2. – С. 9-13.
21. Якутина О.П. Изменение фосфатного фонда черноземных почв Западной Сибири под влиянием водной эрозии // Агрохимия. – 2006. – № 2. – С. 16-21.
22. Якутина О.П., Нечаева Т.В., Смирнова Н.В. Режимы основных элементов питания и продуктивность растений на эродированных почвах юга Западной Сибири // Проблемы агрохимии и экологии. – 2011. – № 1. – С. 16-22.
23. Якутина О.П., Нечаева Т.В., Смирнова Н.В. Изменение плодородия оподзоленного чернозема в результате водной эрозии на юге Западной Сибири // Плодородие. – 2014. – № 1(76). – С. 21-23.
24. Polyakov V., Lal R. Soil erosion and carbon dynamics under simulated rainfall // Soil Science. – 2004. – № 169. – P. 590-599.
25. Strauss P., Klaghofer E. Effect of soil erosion on soil characteristics and productivity // Bodenkultur. – 2001. – № 52(2). – P. 147-153.

## CHANGES IN THE AGROCHEMICAL PARAMETERS OF FERTILITY OF SLOPED ARABLE SOILS IN THE SOUTHERN REGIONS OF WESTERN SIBERIA

T.V. Nechaeva, N.V. Smirnova, N.V. Gopp, O.A. Savenkov

Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Science pr. Acad. Lavrent'eva 8/2, Novosibirsk, 630090 Russia, E-mail: taya\_inbox.ru

Changes in the agrochemical parameters of fertility of arable soils (0- to 30-cm layer) on erosion-threatening slopes in the forest-steppe zone of the southern regions of Western Siberia (Toguchin district, Novosibirsk oblast) were demonstrated. The obtained results showed that the average contents of fine silt in soils on the slope and in the runoff hollow are lower than on the watershed top in 1.3 and 1.5 times, humus in 1.8 and 2.4 times, total nitrogen in 1.7 and 2.0 times, nitric nitrogen in 1.4 and 1.6 times, total phosphorus in 1.3 and 1.3 times, exchangeable calcium in 1.2 and 1.3 times, and exchangeable magnesium in 1.4 and 1.6, respectively. A relatively high content of labile phosphorus was found in soils on the slope (especially in its middle part) and in runoff hollows; relatively high contents of potassium (both total and labile forms) were noted in soils of the runoff hollows.

Keywords: erosion-threatening slope; texture; humus; total and labile nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium.

УДК 631.8.022.3

## ВЛИЯНИЕ ПРЕПАРАТА СИЛИПЛАНТ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОЙ ТРИТИКАЛЕ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

А.Н. Кишикаткина, д.с.-х.н., Пензенский ГАУ, Л.А. Дорожкина, д.с.-х.н., ННПП «НЭСТ М»,

А.А. Галиуллин, к.с.-х.н., Пензенский ГАУ

Приведены данные по влиянию комплексного кремниевоего удобрения Силиплант на урожайность и качество зерна озимой тритикале в условиях выщелоченного чернозема Среднего Поволжья.

Ключевые слова: кремниевое удобрение Силиплант, способы внесения, озимая тритикале, урожайность, качество.

Один из путей увеличения производства высококачественного продовольственного и кормового зерна -

более полное использование потенциала относительно новой зерновой культуры – тритикале, в которой удачно сочетаются высокая экологическая пластичность ржи с урожайностью и качеством пшеницы.

Тритикале – это культура будущего. По содержанию протеина она превосходит озимый ячмень, кукурузу и даже пшеницу. Зерно тритикале наряду с зеленой массой используется в основном для кормовых целей. Многие сорта тритикале обладают высокой потенци-