

## ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ОПОДЗОЛЕННОГО ЧЕРНОЗЕМА В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

**О.П. Якутина, к.б.н., Т.В. Нечаева, к.б.н., Н.В. Смирнова, к.б.н.,  
Институт почвоведения и агрохимии СО РАН**

*Изучались трансформация валовых и подвижных форм азота, фосфора и калия в почве, продуктивность и качество урожая зерновых культур под влиянием стока талых вод. Показано, что с увеличением степени смытости почв происходят снижение содержания валовых и подвижных форм азота и углерода, увеличение содержания легкоподвижных форм фосфора и калия и возрастание отношения C:N. Подвижность калия и способность его вытесняться из межслоевого пространства минералов в смытых почвах повышаются. Наибольшая продуктивность растений получена на среднесмытой почве. Критическое снижение показателей почвенного плодородия и продуктивности пшеницы характерно для сильносмытой почвы.*

**Ключевые слова:** водная эрозия, смытые почвы, азот, фосфор, калий, продуктивность.

Водная эрозия наносит существенный урон пахотным землям во всем мире [14-15]. В сельскохозяйственных зонах северных стран наибольшие потери несут из-за эрозии в результате весеннего снеготаяния [12]. В Сибири большие запасы снега зимой, образование льдистого экрана в почве и кратковременный период таяния снега являются причинами интенсивного проявления эрозии [16]. Территория юга Западной Сибири благоприятна для земледелия, но сильно расчленена, здесь много пахотных земель располагается 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. Интенсивное проявление эрозионных процессов и игнорирование противоэрозионных мер приводят к тому, что слабосмытые почвы в течение 20-30 лет трансформируются в среднесмытые, а последние – в сильносмытые [7]. Устойчивым признаком ухудшения плодородия эродированных почв является снижение мощности гумусового горизонта и содержания органического вещества [14], продуктивности и качества выращиваемых культур [11]. Смыв верхнего гумусового слоя почвы сопровождается потерями как органических, так и неорганических соединений азота, фосфора и калия. В некоторых случаях наблюдается увеличение содержания элементов питания, связанное с припахиванием нижних горизонтов почвы [9]. Несмотря на рост площадей эродированных земель в Сибири, исследования специфики азотного, фосфорного и калийного режимов единичны.

Цель настоящей работы – изучить влияние длительного отрицательного баланса элементов питания в почве, степени смытости оподзоленного чернозема на основные агрохимические показатели почвы, продуктивность и качество урожая зерновых культур.

**Методика.** Район исследования – юго-восток Западной Сибири (Присалаирье). Почва – оподзоленный среднесуглинистый чернозем различной степени смытости. Исследования проводили с 2009 по 2011 гг. на склоне южной экспозиции с уклоном от 0 до 9,5° на участках под залежью, с пахотными несмытой, слабосмытой, среднесмытой и сильносмытой почвами. Удобрения на участке не вносили с 2000 г. Почвенные образцы отбирали в двукратной повторности из профилей, заложенных на участках, согласно степени смытости почвы. Отбор проводили через каждые 10 см до метровой глубины, растительные образцы – рамкой 50×50 см. В почве определяли содержание углерода по Тюрину,  $pH_{вод.}$ , емкость катионного обмена по Бобко-Аскинази, валовый азот по Кьельдалю, вало-

вый фосфор по Гинзбург, нитратный азот и подвижный фосфор по Карпинскому-Замятиной, легкообменный калий в хлоркальциевой вытяжке, обменный калий по Масловой [1]; необменный калий по Pratt, Morse [13]; валовой калий путем минерализации проб в смеси  $HNO_3$ , HF и  $HClO_4$  [6]; NPK в растениях методом мокрого озоления в смеси  $H_2SO_4$  и  $HClO_4$  [3].

**Результаты исследований и их обсуждение.** Изменение плодородия чернозема оподзоленного в условиях длительного возделывания пшеницы было оценено на основании сравнения данных, полученные ранее [5] и в настоящее время, при анализе почвенных образцов с многолетней залежи (30 лет) и пахотного участка. В пахотном слое несмытой почвы, в сравнении с залежью, обнаружено снижение содержания гумуса, валовых форм азота и фосфора (табл. 1). Содержание углерода, валовых форм азота и фосфора в несмытой почве в сравнении с залежью снизилось на 21, 22 и 4% соответственно. В результате эрозии потери углерода в пахотном слое слабо-, средне- и сильносмытой почвы составили 6,6, 13 и 26,6%. Содержание общего азота в слабо-, средне- и сильносмытой почве в сравнении с несмытой снизилось на 5, 33 и 71% соответственно. Соотношение C : N в среднесмытой почве составило 1:19 в сравнении с 1:14 для залежи, несмытой и слабо-смытой почв. Содержание валового фосфора в слабо-, средне- и сильносмытой почве снизилось в сравнении с несмытой на 3,8, 23 и 15,4% соответственно. Содержание валового калия в среднесмытой почве в сравнении с несмытой увеличилось на 0,1%. Стабильно низкое содержание нитратного азота ( $< 5$  мг/кг) отмечено для всех почв. Содержание доступных форм фосфора и калия увеличилось с усилением степени смытости почвы, максимальные значения были зафиксированы для среднесмытой почвы. Емкость катионного обмена, напротив, в этой почве имела наименьшее значение.

Содержание гумуса в 0-50 см слое несмытых и смытых почв варьировало от 5 до 3 % (рис. А), что значительно ниже величин (7-5%), определенных для этого участка ранее [5]. В то же время, только в среднесмытой почве отмечено достоверное снижение гумуса по всему профилю почвы. С увеличением степени смытости потери органического вещества возрастали в ряду несмытая-слабосмытая-среднесмытая почва и составили 7, 39 и 49 % соответственно в сравнении с 30-летней залежью. В смытых почвах наблюдалось существенное снижение содержания гумуса с глубиной ( $r = -0,87$ ), которое свидетельствует не только об обеднении верхних горизонтов, но и об общей деградации почвы. В метровом слое содержание общего азота в ряду залежь – несмытая – слабо-смытая – среднесмытая почва существенно снизилось (рис. Б). Теснота связи между степенью смытости почв и содержанием валового азота составила  $r = -0,39$ . В пахотном и подпахотном слоях залежи, несмытой и смытых почв содержание  $N_{общ}$  варьировало в пределах 0,3(залежь)–0,06% (сильносмытая). Прямая корреляция между C : N и степенью смытости ( $r = +0,40$ ) и обратная корреляция между C : N и глубиной почвы ( $r = -0,52$ ) показали строгую взаимообусловленность содержания гумуса, азота и степени смытости почвы. Содержание минерального азота варьировало от 3 до 5 мг/кг и с глубиной снижалось во всех почвах ( $r = -0,84$ ).

Содержание валового фосфора в 0-50 см слое на залежи изменялось от 0,23 до 0,29% (рис. В) с максимальным значением в слое 0-20 см за счет биогенного накопления. Теснота связи между содержанием гумуса и валовым фосфором со-

ставила  $r = +0,90$ . Усиление минерализации органического вещества и выноса элемента растениями в пахотной почве в сравнении с залежью привело к снижению содержания валового фосфора в слое 0-20 см, но среднее значение в слое 0-50 см оставалось на уровне залежи. Содержание валового фосфора в верхних слоях профиля снизилось за счет, с одной стороны, выноса его с твердым стоком, с другой, вовлечения в пахотный слой горизонтов с меньшим количеством фосфора. Среднесмытая почва обладала наименьшим содержанием

валового фосфора в пахотном слое. Обратная тенденция обнаружена для подвижного фосфора. Так, в ряду несмытая-слабо- среднесмытая почва его содержание возросло (см. табл. 1), что связано с припахиванием иллювиального горизонта, обогащенного подвижными фосфатами. Согласно градициям [2], залежь имела повышенный уровень обеспеченности подвижным фосфором; несмытая пашня – средний; слабо-, средне- и сильносмытая – высокий уровень. Среднесмытая почва содержала максимальное содержание фосфора.

**1. Агрохимическая характеристика пахотного слоя чернозема оподзоленного различной степени смытости**

С.-х. угодье, степень смытости почвы	pH <sub>H2O</sub>	C <sub>орг.</sub>	N <sub>вал.</sub>	C:N	Гумус	K <sub>вал.</sub>	P <sub>вал.</sub>	NO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -P	CaCl <sub>2</sub> -K	CH <sub>3</sub> COON H <sub>4</sub> -K	ЕКО*, мг-экв/100г	Уровень насыщ.**, %
		%											
30-летняя залежь*	7.1	3.8	0.27	1/14	6.5	-	0.27	4.4	0.7	0.39	9.7	-	-
Несмытая пахотная	7.1	3.0	0.21	1/14	5.2	1.1	0.26	3.5	0.6	0.41	9.8	30.7	0.8
Слабосмытая	6.7	2.8	0.20	1/14	4.9	-	0.25	4.1	1.2	0.44	9.2	30.2	0.8
Среднесмытая	6.8	2.6	0.14	1/19	4.5	1.2	0.20	4.7	2.0	0.79	11.8	28.6	1.0
Сильносмытая <sup>II</sup>	6.8	2.2	0.06	1/37	3.81	-	0.22	4.6	1.3	0.46	8.4	-	-

\*Не определено; емкость катионного обмена (ЕКО); \*\* уровень насыщенности ЕКО обменным калием; I – 0-30 см; II – 0-20 см.

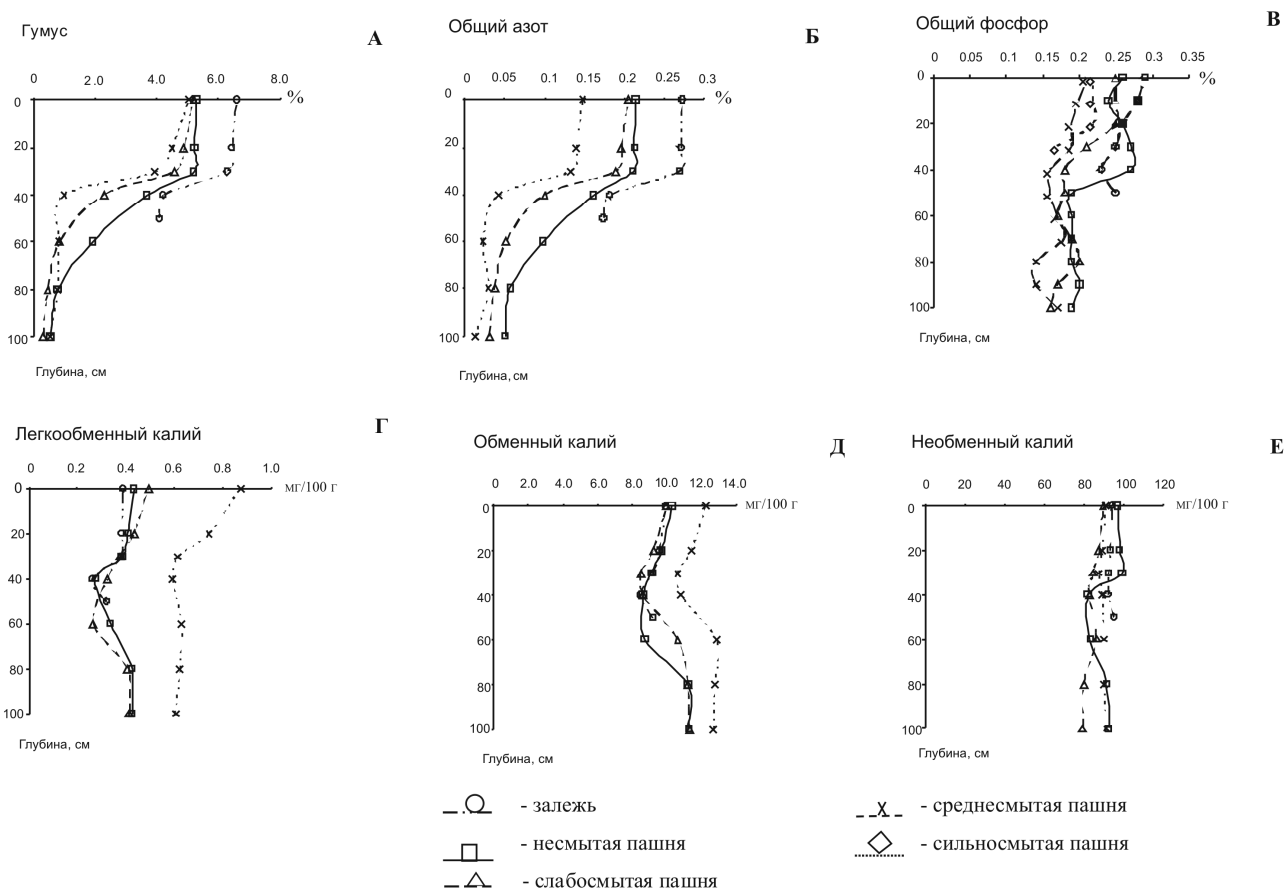


Рис. Распределение валовых и подвижных форм азота, фосфора и калия по профилю чернозема оподзоленного различной степени смытости

Содержание легкообменного калия ( $K_{\text{легк.}}$ ) в слое 0-50 см залежи и пахотной несмытой почвы составило 0.34 и 0.36 мг, обменного калия ( $K_{\text{обм.}}$ ) – 9.2 мг в обеих почвах, необменного калия ( $K_{\text{необм.}}$ ) – 93 и 90 мг/100 г соответственно. Согласно градициям [8], содержание  $K_{\text{легк.}}$  было низким ( $< 1$  мг/100 г) независимо от степени смытости, содержание  $K_{\text{обм.}}$  и  $K_{\text{необм.}}$  – неустойчивым ( $< 22$  и  $< 180$  мг/100 г). В пахотном слое несмытой почвы содержание  $K_{\text{легк.}}$ ,  $K_{\text{обм.}}$  и  $K_{\text{необм.}}$  составило 0.41, 9.8 и 98 мг/100 г соответственно; в слабосмытой – 0.44, 9.2 и 86 мг/100 г; в среднесмытой – 0.79, 11.7 и 90 мг/100 г; в сильносмытой – 0.46, 8.4 и 60 мг/100 г. Между содержанием  $K_{\text{легк.}}$  и  $K_{\text{обм.}}$  в профиле всех почв обнаружена тесная связь ( $r = +0,75$ ). Максимальное количество  $K_{\text{легк.}}$  и  $K_{\text{обм.}}$  (рис. Г и Д) отмечено в слое 0-20 см, минимальное – 30-40 см, что связано с биогенной аккумуляцией. Между содержанием обменного

калия и гумуса в метровом слое пахотных почв наблюдалась обратная зависимость ( $r = -0,50$ ). Теснота связи между степенью смытости почв и содержанием легкообменного калия составила  $r = +0,74$ , степенью смытости почв и содержанием обменного калия  $r = +0,61$ . Увеличение содержания  $K_{\text{легк.}}$  и  $K_{\text{обм.}}$  в профиле среднесмытой почвы (рис. Г и Д) по сравнению с несмытой и слабосмытой могло быть связано с миграцией калия с поверхностным и внутрипочвенным стоком. Кроме того, видно, что с уменьшением содержания гумуса, происходят снижение емкости катионного обмена (ЕКО) и увеличение её насыщенности обменным калием (см. табл. 1). Подвижность калия, выражающаяся в трансформации труднодоступных форм калия в легкодоступные, в эродированных почвах увеличивается. Так, насыщенность обменным калием ЕКО в пахотном слое среднесмытой почвы составила 1,0 % и

была в 1,3 раза выше, чем в несмытой и слабосмытой почвах. Увеличение степени подвижности калия (рассчитанное как отношение обменного калия к легкообменному) также свидетельствует о том, что в эродированных почвах способность обменного калия вытесняться из поглощенного состояния становится сильнее по сравнению с неэродированными почвами. Степень подвижности калия в пахотном слое несмытой почвы составила 24, в слабо- и среднесмытой почвах – 21 и 15 соответственно. В пахотном слое сильносмытой почвы содержание  $K_{\text{легк.}}$  было на уровне несмытой и слабосмытой; содержание  $K_{\text{обм.}}$  и  $K_{\text{необм.}}$  (рис. Е) – существенно ниже в сравнении с несмытой, слабо- и среднесмытой почвами.

## 2. Структура урожая и содержание NPK в зерне и соломе на оподзоленном черноземе различной степени смытости

Почва по степени смытости	Масса, г/м <sup>2</sup>		N	P	K
	снопа	зерна в снопе	% на сухую массу		
Несмытая	127	52,0	0,97/0,26	0,49/0,12	0,41/0,74
Слабосмытая	220	77,5	1,01/0,27	0,50/0,16*	0,40/0,80
Среднесмытая	262*	96,0	0,90/0,29	0,49/0,14	0,41/0,85
Сильносмытая	63	28,8	0,87/0,26	0,48/0,15	0,47/1,01*

\*Значения достоверно отличающиеся ( $p \leq 0,05$ ) от таковых на несмытой почве.

Примечание. Содержание NPK – зерно/солома.

Максимальные показатели массы снопа и зерна пшеницы в снопе (табл. 2) получены на участках со слабо- и среднесмытой почвой, минимальные – на сильносмытой. Полученные данные согласуются с результатами по содержанию доступных элементов питания в пахотном слое. Содержание нитратов в почве и азота в зерне и соломе было очень низкое. Содержание фосфора в зерне и соломе, напротив, оказалось выше оптимальной, а содержание калия ниже оптимальной величины, что также совпадает с данными почвенной диагностики по этим элементам. Несмотря на неодинаковое содержание азота, калия и фосфора в почве разница по выносу этих элементов зерном и соломой на всех исследуемых почвах находилась в пределах ошибки, за исключением сильносмытой почвы, где наблюдалось достоверное увеличение содержания калия в зерне и соломе. Это могло быть связано с физиологической потребностью растений компенсировать неблагоприятные почвенные условия с помощью поглощения этого элемента в условиях дефицита азота [10]. Оптимальное отношение азота к калию составляет для зерна и соломы 4 и 0,5 соответственно [8]. В нашем случае для несмытой почвы эти отношения были в 1,7 и 1,4 раза ниже в сравнении с оптимумом, слабосмытой – 1,6 и 1,5; среднесмытой – 1,8 и 1,5; сильносмытой – 2,2 и 1,9 раз соответственно.

**Заключение.** Многолетнее использование пахотного участка на склоне без внесения удобрений привело к снижению реакции среды, содержания почвенного органического вещества, валовых форм азота, фосфора, емкости катионного обмена. Содержание углерода, валовых форм азота и фосфора в

пахотном слое несмытой почвы в сравнении с залежью уменьшилось на 21, 22 и 4% соответственно, увеличилось соотношение C:N. Содержание гумуса и общего азота в пахотных несмытой и смытых почвах резко снизилось на границе пахотного и подпахотного слоя. Ухудшение азотного питания проявилось в уменьшении содержания нитратов в почве, сужении отношения азота к калию в зерне и соломе. С увеличением степени смытости почвы содержание валовых форм азота и фосфора снижалось, легкоподвижного фосфора, легкообменного и обменного калия возрастало, с максимальными величинами, полученными для среднесмытой почвы. Подвижность, степень подвижности и способность калия вытесняться из поглощенного состояния в смытых почвах повысились в результате уменьшения емкости катионного обмена и увеличения её насыщенности обменным калием. Содержание калия в зерне и соломе пшеницы на сильносмытой почве возросло. Максимальная продуктивность растений получена на среднеэродированной почве, что связано с припашкой иллювиального слоя, обогащенного элементами питания. Ввиду исходного высокого плодородия сибирских черноземов негативные последствия эрозионных процессов отчетливо сказались только на сильносмытой почве.

## Литература

1. *Агрохимические методы исследования почв.* – М.: Наука, 1975. – 656 с. 2. Берхин Ю.И., Чагина Е.Г., Яцен Е.Д. Диагностика условий фосфорного питания сельскохозяйственных культур в Западной Сибири // Агрохимия. – 1989. – № 6. – С. 112-116. 3. Гинзбург К.Е., Щеглова Г.М., Вульфус Е.В. Ускоренный метод сжигания почв и растений // Почвоведение. – 1963. – № 5. – С. 89-96. 4. Голубева А.П. Определение степени подвижности обменного калия // Пособие по проведению анализов почв и составлению агрохимических картограмм. – М.: Россельхозиздат, 1969. – С. 70-74. 5. Ковалев С.З., Танасиенко А.А. К диагностике смытых оподзоленных черноземов Присалаирья // Защита почв Сибири от эрозии и дефляции. Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1981. – С. 106-117. 6. Методические рекомендации по спектральному определению тяжелых металлов в объектах окружающей среды, полимерах и биологическом материале. – Одесса, 1986. – 36 с. 7. Танасиенко А.А. Специфика эрозии почв в Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – 176 с. 8. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – 231 с. 9. 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. 10. Cakmak I., 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 168, 521-530. 11. Lal, R. 2010. Enhancing eco-efficiency in agro-ecosystems through soil carbon sequestration. Crop Science, 50, 120-131. 12. NJF Report// NJF Seminar 444// Soil Erosion in the Nordic countries: Processes, mapping and mitigation, Oslo, Norway, 2-4 November, Vol. 7, № 7, 2011. 13. Pratt, P., Morse, H., 1954. Potassium release from exchangeable and nonexchangeable forms in Ohio soils. Ohio Agric. Exp. Stat. Bull. 747-754. 14. Polyakov, V. & Lal, R. 2004. Soil erosion and carbon dynamics under simulated rainfall. Soil Science, 169, 590-599. 15. Strauss, P., Klaghofer, E., 2001. Effect of soil erosion on soil characteristics and productivity. Bodenkultur, 52 (2) 147-153. 16. Tanasienko A.A., Yakutina O.P., Chumbaev A.S., 2011. Effect of snow amount on runoff, soil loss and suspended sediment during periods of snowmelt in southern West Siberia. Catena 87, 45-51.

## EFFECT OF WATER EROSION ON THE FERTILITY OF PODZOLIZED CHERNOZEM IN THE SOUTHERN REGION OF WESTERN SIBERIA

O.P. Yakutina, T.V. Nechaeva, N.V. Smirnova

Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, ul. akademika Lavrentieva 8/2, Novosibirsk, 630090 Russia, E-mail: oyakutina@yandex.ru

The transformation of total and mobile forms of nitrogen, phosphorus, and potassium in the soil, as well as the productivity and quality of wheat grain under the effect of snowmelt waters, has been studied. It has been shown that the contents of total and mobile nitrogen and carbon decrease, those of available phosphorus and exchangeable potassium increase, and the C:N ratio increases with increasing degree of soil erosion. The mobility of potassium and its ability to be displaced from the inter-layer space of minerals increase in the eroded soils. The maximal plant productivity has been found on the moderately eroded soil. The critical decrease of soil fertility and wheat productivity has been found in the strongly eroded soil.

Keywords: water erosion, eroded soils, snowmelt water, nitrogen, phosphorus, potassium, productivity.