

ПРОБЛЕМА ОБОСНОВАНИЯ ДОПУСТИМЫХ ЭРОЗИОННЫХ ПОТЕРЬ ПОЧВЫ И ПОДХОД К ЕЕ РЕШЕНИЮ

**© 2015 г. Ю. П. Сухановский, А. В. Прущик,
Ю. А. Соловьева, С. И. Санжарова**

*Всероссийский научно-исследовательский институт земледелия
и защиты почв от эрозии, 305021, Курск, ул. К. Маркса, 70-Б
e-mail: soil-er@kursknet.ru*

Показано, что для разработки стратегии рационального использования почвенных ресурсов необходима методология, которая должна включать методы решения следующих задач: объективную оценку почвенных ресурсов; оценку их динамики за прошедшее время; долгосрочное прогнозирование динамики этих ресурсов; поиск компромиссов между необходимостью уменьшения деградации (эрозии) почвы и имеющимися экономическими возможностями. На примере эродированных черноземов пахотных земель Курской области рассмотрены решения указанных задач. Количество почвенных ресурсов оценивалось площадью пашни и мощностью гумусового горизонта, а их качество (плодородие, продуктивность) – запасами гумуса в слое 0–50 см. Динамика почвенных ресурсов оценивалась по изменению этих параметров. Приведены данные по сокращению ресурсов черноземов ориентировочно через 200–250 лет после распашки целины. Показано, что на восстановление мощности гумусового слоя эродированных черноземов потребуются тысячелетия, а на восстановление запасов гумуса – столетия. На большой площади пашни остановить эрозию за относительно малое время практически невозможно. Стратегия уменьшения эрозии включает этапы, для которых предложен подход к оценке допустимых эрозионных потерь почвы (ДЭПП). Этот подход представляет собой поиск компромисса между скоростью почвообразования, изменением мощности гумусового горизонта, продуктивности (качества, плодородия) почвы, случайным характером эрозионных процессов и, с другой стороны, противоэрозионных мероприятий в соответствии с имеющимися экономическими возможностями. Значения ДЭПП должны уменьшаться от этапа к этапу, приближаясь к скорости почвообразования. Разработаны значения ДЭПП для первого этапа (без экономической оценки).

Ключевые слова: эрозия почв, допустимые потери, почвенные ресурсы, черноземы.

ВВЕДЕНИЕ

За всю историю человечество потеряло 2 млрд га пашни, что больше ее современной площади (1.5 млрд га). В конце XX в. площадь пашни ежегодно сокращалась: в результате деградации на 0.47% и из-за отчуждения на другие хозяйственные нужды на 0.53% (Добровольский, 2012). Только за счет эрозии площадь пашни ежегодно уменьшалась на 0.4% (Кирюхина, 2004). Следовательно, из всех видов деградации эрозия почвы является главной причиной сокращения площади пашни, а также причиной снижения урожайности сельскохозяйственных культур.

В мире происходит стремительный рост численности населения. Так, по прогнозам к 2050 г. за 40 лет численность населения увеличится в 1.3 раза (достигнет 9.1 млрд чел.), а площадь пашни на одного человека сократится в 3.1 раза (достигнет 0.07 га/чел.). Это влечет необходимость повышать урожайность сельскохозяйственных культур не менее чем в 3 раза, а только за счет сокращения площади пашни – в 2.4 раза (Сухановский и др., 2013).

В России по состоянию на 1995 г. доля эродированных почв пахотных земель находилась в интервале от 0.7 (Челябинская область) до 78.1% (Чувашская Республика) (Литвин, 2002). На пашне ежегодный прирост площади эродированных почв равнялся в среднем 0.36%, достигая в некоторых регионах 1% (Каштанов и др., 2004). За последние 20 лет отсутствуют аналогичные данные об изменении площади эродированных почв, поэтому можно только предположить, что в результате эрозии деградация почв продолжалась.

Эти тенденции создают опасность глобального продовольственного кризиса в будущем. Чтобы избежать кризиса, необходима стратегия рационального (разумного) использования оставшихся почвенных ресурсов, включая подверженные эрозии.

Признавая, что почвы “имеют ключевое значение для поддержания жизни на Земле”, ООН объявила 5 декабря Всемирным днем почв, а 2015 г. провозгласила Международным годом почв (Резолюция ..., 2013).

При планировании противоэрозионных мероприятий используется понятие “допустимые эрозионные потери почвы”

(ДЭПП) или эквивалентное ему понятие “допустимая норма эрозии”. Для оценки ДЭПП используются разные подходы (Лисецкий и др., 2012), которые имеют общий недостаток: потери почвы не оцениваются с позиции долгосрочного прогнозирования динамики почвенных ресурсов.

Цель работы – обоснование допустимых эрозионных потерь почвы с позиции разработки стратегии рационального использования эродлируемых почвенных ресурсов при производстве растениеводческой продукции.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Объект исследования – эродлируемые черноземы Центрального Черноземья, используемые для производства растениеводческой продукции.

К настоящему времени предложены разные подходы для оценки ДЭПП, подробный анализ которых приведен в работе Лисецкого и др. (2012). Для оценки значений ДЭПП используются три основных подхода и соответствующие им три параметра: 1) *скорость почвообразования* (потери почвы должны быть компенсированы почвообразованием, которое оценивается с большой неопределенностью); 2) *существующая мощность почвы* (чем больше мощность, тем больше значения ДЭПП); 3) *изменение продуктивности почвы* (ДЭПП оцениваются из допустимого снижения продуктивности почвы за определенный интервал времени и ее связи с эрозионными потерями почвы).

М.С. Кузнецовым и Д.Р. Абдулхановой (2013) предложен еще один подход, основанный на определении допустимых потерь запасов гумуса в почве на первом этапе, а затем на определении самих допустимых потерь почвы. Учитывая зависимость урожайности от запасов гумуса (Санжарова и др., 2009), этот подход можно отнести к снижению продуктивности почвы. Как будет показано ниже, на первом месте должно быть сохранение мощности гумусового слоя, а не запасов гумуса.

Основными недостатками этих подходов является то, что они не основаны на долгосрочном прогнозировании динамики почвенных ресурсов и не рассматривают ДЭПП как элемент стратегии рационального использования почвенных ресурсов. С этих позиций должна учитываться возможная в будущем динамика

скорости почвообразования, эрозионных потерь почвы, динамика мощности почвы и ее продуктивности. Т.е. нужно одновременно использовать все основные подходы и определять их приоритеты. Кроме этого, нужно учитывать (и прогнозировать) экономические условия, которые могут привести к ограничениям на допустимые потери почвы.

Главной стратегической задачей является производство в будущем необходимого количества и качества растениеводческой продукции. Решение этой задачи связано с почвенными ресурсами, которые потребуются в будущем.

В настоящее время нет методологии рационального использования почвенных ресурсов для производства растениеводческой продукции, которая была бы доведена до практического применения. Поэтому здесь предлагается, что эта методология должна включать, в частности, методы решения следующих задач: 1) объективную оценку почвенных ресурсов; 2) оценку того, что произошло с этими ресурсами в прошлом и почему; 3) долгосрочное прогнозирование динамики почвенных ресурсов; 4) поиск компромиссов между необходимостью уменьшения деградации (эрозии) почвы и имеющимися экономическими возможностями.

На примере черноземов Курской области рассмотрены подходы к решению указанных задач и показано как эти решения могут использоваться в обосновании допустимых эрозионных потерь почвы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Объективная оценка почвенных ресурсов с позиции производства растениеводческой продукции. Природные ресурсы оцениваются количеством и качеством. Качество оценивается по принципу: чем больше производится продукции из единицы ресурсов (при прочих равных условиях), тем выше их качество. Количество почвы оценивается двумя измеряемыми параметрами: площадью пашни и мощностью гумусового слоя. Качество почвы оценивается по принципу: чем больше урожайность (количество производимой продукции с единицы площади при прочих равных условиях), тем выше качество почвы, и, наоборот, чем выше качество почвы, тем больше урожайность (при прочих равных условиях). Доказано (Сухановский и др., 2013; 2014), что для черноземов

и серых лесных почв Курской области среднемноголетняя урожайность зерновых и пропашных культур (при прочих равных условиях) прямо пропорциональна запасам гумуса в слое почвы 0–50 см.

Это означает следующее: во сколько раз запасы гумуса больше или меньше, во столько же раз больше или меньше и урожайность. Т.е. запасы гумуса (третий измеряемый параметр почвы) в первом приближении объективно оценивают качество почвы с позиции количества производимой продукции. Понятие “качество” является относительным понятием. Качество почвы относительно (с позиции) качества самой растениеводческой продукции будет определяться, например, содержанием в почве вредных веществ, которые переходят в продукцию. В дальнейшем (если не оговорено специально) под качеством почвы понимается ее качество с позиции количества производимой продукции.

Для качественной характеристики свойств почвы используют следующие понятия: “плодородие”, “продуктивность” и “здоровье” почвы – для которых нет объективных количественных оценок. Чтобы в дальнейшем избежать путаницы в этих понятиях, примем, что все указанные свойства оцениваются по тому же принципу, что и качество почвы (чем больше урожайность при прочих равных условиях, тем выше качество почвы). В таком случае качество, плодородие, продуктивность и здоровье почвы будут все одновременно улучшаться, ухудшаться или оставаться без изменений.

Следовательно, для рассматриваемых черноземов динамика запасов гумуса описывает динамику качества (плодородия, продуктивности и здоровья) почвы. А динамика площади пашни и мощности гумусового слоя описывает динамику количества почвы.

В дальнейшем из трех параметров, характеризующих почвенные ресурсы, рассмотрены только два: мощность гумусового слоя и запасы гумуса, которые оценивают почвенные ресурсы, приходящиеся на единицу площади пашни, например на 1 га.

Оценка того, что произошло с почвенными ресурсами в прошлом и почему. В таблице (строки 1–5) представлены данные по состоянию черноземов пахотных земель Курской области ориентировочно через 200–250 лет после распашки целины (Сухановский и др., 2013).

Данные по состоянию черноземов пахотных земель Курской области

№ строки	Параметр	Неэродированные	Степень эродированности		
			слабая	средняя	сильная
Эродированные черноземы по сравнению с неэродированными почвами*					
1	Гумусовый горизонт, см	74±1	55±1	35±1	24±2
2	Сокращение гумусового горизонта, %	0	24±1	52±1	67±3
3	Сокращение запасов гумуса в слое 0–50 см, %	0	23±1	48±2	59±3
Черноземы по сравнению с целиной*					
4	Сокращение запасов гумуса в слое 0–50 см, %	50	62	74	80
5	Сокращение запасов гумуса в слое 0–50 см за счет эрозии, %	0	12	24	30
Допустимые потери почвы: уменьшение скорости эрозии					
6	Скорость сокращения гумусового горизонта за 200 лет, мм/год	0	1.0	2.0	2,5
7	Допустимые эрозионные потери почвы $I_{\text{доп}}$, мм/год (т/га в год)**	0.53 (6.4)	0.39 (4.7)	0.25 (3.0)	0.17 (2.0)
8	Снижение эрозии, отн. ед.	0	2.6	8	>15
Допустимые потери почвы: снижение урожайности					
9	Снижение урожайности на эродированных почвах***, %	0	18	35	52
10	Дополнительное снижение урожайности через 50 лет при $I_{\text{доп}}$, %	3.6	2.6	1.7	1.2

* Данные Сухановского и др. (2013).

** $I_{\text{доп}}$ (т/га год) = $10 \rho I_{\text{доп}}$ (мм/год) при плотности сложения почвы $\rho = 1.2 \text{ г/см}^3$.

*** Зерновые и пропашные культуры на черноземах и серых лесных почвах лесостепной и степной зон России, Украины и Молдавии (Санжарова, 2009).

В строках 1–3 таблицы приведены данные для сравнения эродированной почвы с неэродированной. Из них следует, что в результате эрозии почвы за 200–250 лет существенно уменьшилось количество почвы (сократилась мощность гумусового горизонта) и ухудшилось ее качество (существенно сократились запасы гумуса в слое 0–50 см, что привело к существенному сниже-

нию урожайности, обусловленной запасами гумуса). Для сильно-эродированного чернозема (строка 1) мощность гумусового горизонта равняется 24 см, что соответствует глубине вспашки. Это означает, что через 200–250 лет после распашки целины на сильно-эродированной почве уже происходило припахивание материнской породы.

В строках 4–5 таблицы приводятся данные сокращения запасов гумуса по сравнению с целиной, из которых следует вывод: в незэродированном черноземе только в результате гумификации и дегумификации органического вещества запасы гумуса уменьшились на 50%, в результате эрозии эти запасы сократились еще на 12–30%. Следовательно, потери гумуса за счет эрозии меньше, чем только за счет процессов гумификации и дегумификации.

Все это произошло по следующей причине: после распашки целины произошла смена растительного покрова, которая привела к резкому уменьшению поступления в почву органического вещества (что привело к уменьшению запасов гумуса), а при наличии уклона и к резкому увеличению эрозионных потерь почвы.

Это приводит к очевидному выводу: стратегия рационального использования почвенных ресурсов должна быть ориентирована на увеличение поступления в почву органического вещества (в частности, растительных остатков) и на уменьшение эрозионных потерь почвы.

Долгосрочное прогнозирование динамики почвенных ресурсов. Все принимаемые решения на будущее должны основываться на объективных прогнозах последствий таких решений. В России долгосрочное прогнозирование динамики почвенных ресурсов (их количества и качества) находится в стадии зарождения, что сдерживает разработку долгосрочных прогнозов производства растениеводческой продукции (их количества и качества).

Ранее для черноземов Центрального Черноземья была разработана модель (Сухановский, 2011), описывающая динамику трех почвенных процессов: эрозии, трансформации органического вещества и образования гумусового горизонта. Проверка модели показала, что изменение за 200 лет мощности гумусового горизонта модель занизила в среднем на 13% (Сухановский, 2013), а запасов гумуса занизила на 15% (Сухановский и др., 2011). Следовательно, эта модель может использоваться для долгосрочного про-

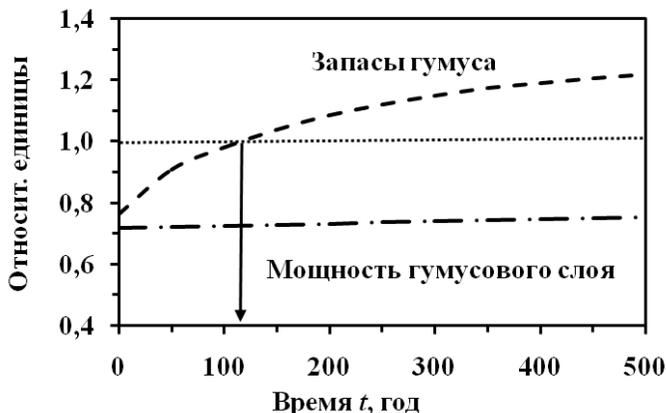
гнозирования. Результаты прогнозирования привели к выводам (Сухановский и др., 2011): при современном земледелии почвенные ресурсы будут продолжать сокращаться, урожайность, обусловленная запасами гумуса, будет снижаться, однако этот процесс можно существенно замедлить.

При разработке стратегии важно ставить реально решаемые задачи. Существует вопрос: возможно ли эродированные почвы восстановить до неэродированных?

Восстановление мощности гумусового слоя. Из фактических данных о зависимости мощности гумусового слоя почвы от ее возраста (Голеусов, Лисецкий, 2009) следует, что для увеличения мощности гумусового слоя с 55, 35 и 24 до 74 см (неэродированный чернозем Курской области) Природе потребовалось, соответственно, 2, 4 и 5 тыс. лет (почва находилась в состоянии целины). Если эродированные почвы перевести в залежь, которая со временем перейдет в состояние целины, то на восстановление мощности гумусового слоя потребуется такое же время, т.е. тысячелетия. Из этого следует два важных вывода: 1) то, что природа создавала тысячелетиями, человек потерял за 200–250 лет; 2) потери гумусового слоя почвы практически невозможно восстановить.

Восстановление запасов гумуса. Используя модель (Сухановский и др., 2011), для эродированного склона длиной 500 м и углом наклона 3° разработан оптимистический прогноз восстановления эродированного чернозема при следующих условиях: растительность на склоне такая же, как на целине, но с учетом снижения продуктивности эродированного чернозема; эрозия (смыв почвы) отсутствует. На рисунке представлены полученные результаты для запасов гумуса в слое 0–20 см и мощности гумусового слоя. На вертикальной оси “1.0” соответствует условиям неэродированной почвы на верху склона в начальный момент времени при $t = 0$ (мощность гумусового горизонта равнялась 80 см, а содержание гумуса в пахотном слое почвы – 5.8%).

Из данных рисунка следует, что в лучшем случае для восстановления запасов гумуса в слое почвы 0–20 см потребуется примерно 120 лет (вертикальная стрелка на рисунке). По прогнозу запасы гумуса в слое 0–50 см восстановятся через 250 лет. Мощность гумусового слоя за 500 лет увеличится на 28 мм при средней скорости 0.06 мм/год.



Оптимистический прогноз динамики запасов гумуса в слое 0–20 см и мощности гумусового слоя на конце эродированного склона.

Из оптимистического прогноза следует, что почвенные ресурсы, потерянные в результате эрозии, практически невозможно восстановить.

Следовательно, разрабатывая стратегию, необходимо исходить из следующего: 1) при производстве растениеводческой продукции эродируемые почвенные ресурсы сокращаются, практически можно только замедлить это сокращение; 2) на первом месте должна быть задача сохранения мощности гумусового слоя (количества почвы), поскольку на его восстановление требуются тысячелетия; 3) на втором месте задача сохранения запасов гумуса (качества, плодородия, продуктивности, здоровья почвы), от которых зависит урожайность сельскохозяйственных культур.

Все это приводит к поиску компромисса между необходимостью остановить сокращение почвенных ресурсов и необходимостью производить разнообразную растениеводческую продукцию (заданного количества и качества).

Поиск компромисса между необходимостью уменьшения эрозии почвы и имеющимися экономическими возможностями. Остановить эрозию за короткое время практически невозможно. Обусловлено это следующими причинами: 1) требуется разработка и принятие адекватных законов; 2) эрозии подвержена огромная площадь пашни; 3) земледелие обладает большой инертно-

стью (только для внедрения новых почвосберегающих технологий на всей площади пашни потребуется много времени); 4) при уменьшении допустимых эрозионных потерь почвы резко возрастают затраты на противоэрозионные мероприятия (Ларионов, 1993); этих затрат может не хватить даже на то, чтобы снизить эрозию до уровня почвообразования; 5) единственным известным способом, гарантирующим восстановление эродированных почв, является перевод пашни в залежь с последующим переходом к условиям целины. Все эродированные почвы практически невозможно перевести в залежь, поскольку необходимо увеличивать количество производимой растениеводческой продукции.

Все это приводит к необходимости разработки стратегии рационального (разумного) использования эродируемых почвенных ресурсов при производстве растениеводческой продукции. Стратегической задачей является снижение эрозионных потерь почвы до скорости почвообразования (образования гумусового слоя почвы). Эта стратегия, как и любая другая, должна содержать этапы. Для каждого этапа должны быть обоснованы допустимые эрозионные потери почвы, которые и представляют собой компромисс между необходимостью стабилизации мощности гумусового слоя (стратегическая задача) и имеющимися экономическими возможностями. Допустимые потери почвы должны уменьшаться от этапа к этапу, приближаясь к скорости почвообразования. Решив эту стратегическую задачу, можно будет ставить вопрос об увеличении мощности гумусового слоя почвы.

Введем понятие “планируемый период”, который определяет интервал времени $T_{пл}$ (год), через который произойдет определенное событие, например, слой почвы, потерянный в результате эрозии, достигнет определенного значения, или продуктивность (качество) почвы снизится на определенное значение.

Вся стратегия разбивается на n этапов с продолжительностью T_i (год), $i = 1, 2, \dots, n$. Для каждого этапа обосновываются допустимые потери почвы $I_{доп,i}$. Эти потери уменьшаются от этапа к этапу и стремятся к скорости почвообразования.

Учитывая, что эрозия почвы является случайным процессом, введем следующие величины: $\Delta H_{ср}$ (мм) – среднее значение слоя смытой почвы за время $T_{пл}$; ΔH_p (мм) – потерянный в результате эрозии слой почвы, соответствующий вероятности превышения

(обеспеченности) P (%); $K_n = \Delta H_p / \Delta H_{cp}$ – коэффициент надежности, соответствующий вероятности превышения P . Тогда средние эрозионные потери почвы за год (мм/год) запишутся

$$I_{cp} = \frac{\Delta H_{cp}}{T_{пл}} = \frac{\Delta H_p}{T_{пл} K_n}. \quad (1)$$

Обозначим через $\Delta H_{доп}$ (мм) допустимый слой смывтой почвы за время $T_{пл}$. В зависимости (1) ΔH_p заменим на $\Delta H_{доп}$ и получим зависимость для допустимых эрозионных потерь почвы (мм/год)

$$I_{доп} = \frac{\Delta H_{доп}}{T_{пл} K_n}. \quad (2)$$

При проектировании противоэрозионных мероприятий рассчитывают среднесуточные эрозионные потери почвы $I_{рас}$ (мм/год). Выбирают такие мероприятия, которые удовлетворяют условию: $I_{рас} \leq I_{доп}$. Зависимость (2) получена ранее (Сухановский, Бахирев, 1998; Sukhanovskii, 2011) и имеет следующий смысл: за планируемый период времени $T_{пл}$ с вероятностью $(100\% - P)$ эрозионные потери почвы не превысят допустимые потери $\Delta H_{доп}$. Чтобы использовать зависимость (2), необходимо обосновать значения трех величин: $T_{пл}$, P и $\Delta H_{доп}$. Ниже приводится их обоснование для первого этапа стратегии. Для следующих этапов, имея данные мониторинга о состоянии и использовании эродированных почв, а также более совершенные методы прогнозирования, необходимо проводить корректировку значений этих величин.

Планируемый период $T_{пл}$. Результаты прогнозирования (Сухановский и др., 2011) показали, что заметное сокращение мощности гумусового слоя, запасов гумуса и снижение урожайности можно установить примерно через 50 лет. Такой же период (называемый горизонтом планирования) принят в американском законе охраны почвенных и водных ресурсов (Лисецкий и др., 2012). Поэтому принимается $T_{пл} = 50$ лет.

Вероятность превышения P (%). Эта вероятность оценивает риск того, что за время $T_{пл}$ эрозионные потери почвы могут превысить допустимые потери $\Delta H_{доп}$. В настоящее время при выборе противоэрозионных мероприятий это не учитывается, т.е. принимается $K_n = \Delta H_p / \Delta H_{cp} = \Delta H_{cp} / \Delta H_{cp} = 1$. В таком случае риск будет очень большим, например, для конкретного случая он равняется $P = 45\%$ (Сухановский, 2013). Для первого этапа можно принять

$P = 5\%$ и для этого значения рассчитывать коэффициент надежности K_n , используя модели, описывающие эрозию почвы как случайный процесс. Например, для черноземов Центрального Черноземья, используя модель (Сухановский, 2013), получено приближенное значение $K_n = 1.4$.

Допустимый слой смытой почвы $\Delta H_{\text{доп}}$ (мм) за время $T_{\text{пл}}$.
 Обозначим через $\Delta H_{\text{по}}$ (мм) приращение за время $T_{\text{пл}}$ мощности гумусового слоя за счет почвообразования. Если экономические условия позволяют снизить эрозионные потери до почвообразования ($\Delta H_{\text{доп}} = \Delta H_{\text{по}}$, т.е. до стабилизации мощности гумусового горизонта), то стратегия будет состоять из одного этапа. В таком случае допустимые потери почвы будут определяться скоростью почвообразования; это первый из трех упомянутых выше основных подходов. Такая ситуация может быть редкой по следующей причине. Для среднеэродированного чернозема (строка 1 в таблице) средняя скорость эрозии за 200 лет $I_{\text{эр}} = (740 - 350)/200 = 2$ мм/год. Средняя скорость образования гумусового слоя при оптимистическом прогнозе $I_{\text{по}} = 0.06$ мм/год. Следовательно, на пашне нужно будет снизить эрозионные потери почвы в 30 раз, что экономически может быть невозможно, поскольку с уменьшением допустимых эрозионных потерь почвы резко возрастают затраты на противоэрозионные меры (Ларионов, 1993). В таком случае для первого этапа будет $\Delta H_{\text{доп}} > \Delta H_{\text{по}}$, а конкретные значения $\Delta H_{\text{доп}}$ будут определяться экономическими обоснованиями (возможностями).

Пока такого обоснования нет, в качестве $\Delta H_{\text{доп}}$ можно принять абсолютную погрешность (стандартное отклонение) $\Delta H_{\text{погр}}$ измерения мощности гумусового слоя, а в качестве относительной погрешности принять коэффициент вариации $\varepsilon_{\text{погр}} = 100 (\Delta H_{\text{погр}}/H_{\text{гум}})$, где $H_{\text{гум}}$ – среднее значение мощности гумусового слоя почвы (Сухановский, 1998). Наименьшее значение $\varepsilon_{\text{погр}} = 5\%$ имеют незэродированные черноземы. Для оценки $\Delta H_{\text{доп}} = \Delta H_{\text{погр}} = (\varepsilon_{\text{погр}} H_{\text{гум}})/100$ для эродированных черноземов также принимается $\varepsilon_{\text{погр}} = 5\%$. Тогда зависимость (2) запишется

$$I_{\text{доп}} = \frac{\varepsilon_{\text{погр}} H_{\text{гум}}}{100 T_{\text{пл}} K_n}. \quad (3)$$

Зависимость (3) имеет следующий смысл: при допустимых эрозионных потерях почвы $I_{\text{доп}}$ через $T_{\text{пл}} = 50$ лет с вероятностью

$(100 - 5) = 95\%$ слой смытой почвы будет в пределах погрешности измерения мощности гумусового горизонта, т.е. можно принять, что за 50 лет в пределах погрешности измерения гумусовый слой не изменится. Зависимость (3) показывает, что допустимые потери почвы определяются исходя из существующей мощности гумусового слоя $H_{\text{гум}}$; это второй из трех упомянутых выше основных подходов.

В таблице (строка 6) представлены значения средней за 200 лет скорости сокращения мощности гумусового слоя. Скорость почвообразования (для оптимистического прогноза она равняется 0.06 мм/год) много меньше указанной скорости сокращения гумусового слоя. Поэтому приближенно можно принять, что скорость сокращения гумусового слоя равняется скорости эрозии, исключая сильно эродированную почву, для которой в какой-то момент времени мощность гумусового слоя сократилась до мощности пахотного слоя (24 см) и затем оставалась постоянной. Это означает, что для этой почвы скорость эрозии больше 2.5 мм/год (строка 6 в таблице).

В строке 7 таблицы представлены значения допустимых эрозионных потерь почвы, рассчитанные по уравнению (3) при следующих значениях величин: $T_{\text{пл}} = 50$ лет; $K_n = 1.4$ (при $P = 5\%$); $\varepsilon = 5\%$; значения $H_{\text{гум}}$ взяты из таблицы (строка 1).

В строке 8 таблицы представлены данные по снижению эрозии, т.е. во сколько раз сократится скорость эрозии (по сравнению с прошлым периодом земледелия), если будут приняты значения допустимых потерь почвы в строке 7 таблицы. Для первого этапа стратегии такой результат можно считать хорошим.

При поиске компромисса необходимо еще оценивать насколько уменьшится качество (продуктивность) почвы при разных значениях допустимых ее потерь.

В строке 9 таблицы представлены данные по снижению урожайности на эродированных почвах. Оценим, насколько дополнительно сократится урожайность при эрозионной потере слоя почвы $\Delta H_{\text{доп}} = \Delta H_{\text{погр}}$ за $T_{\text{пл}} = 50$ лет.

Установлены следующие зависимости для эродированных (по отношению к неэродированным) черноземов Курской области: 1) $\varepsilon_{\text{ур}} = a_{\text{гум}} \varepsilon_{\text{гум}}$, где $\varepsilon_{\text{ур}}$, $\varepsilon_{\text{гум}}$ – относительное уменьшение, соответственно, урожайности и запасов гумуса в слое почвы 0–50 см,

$a_{\text{гум}} = 0.82$ (Сухановский и др., 2013); 2) $\varepsilon_{\text{гум}} = a_{\text{гор}} \varepsilon_{\text{гор}}$, где $\varepsilon_{\text{гор}}$ – относительное уменьшение мощности гумусового горизонта, $a_{\text{гор}} = 0.87$ (Сухановский, 2011).

Из этих зависимостей следует, что $\varepsilon_{\text{ур}} = a \varepsilon_{\text{гор}}$, где $a = a_{\text{гум}} a_{\text{гор}} = 0.71$. Тогда относительное снижение урожайности на эродированных почвах через 50 лет запишется

$$\varepsilon_{\text{ур}+50} = a \left[\frac{H_0 - (H_{\text{эр}} - \Delta H_{\text{доп}})}{H_0} \right] = \varepsilon_{\text{ур}} + \varepsilon_{50}, \quad (4)$$

где H_0 , $H_{\text{эр}}$ – мощность гумусового горизонта незэродированного и эродированного чернозема соответственно; $\varepsilon_{\text{ур}} = a(H_0 - H_{\text{эр}})/H_0$ – снижение урожайности на уже эродированных черноземах; $\varepsilon_{50} = a\Delta H_{\text{доп}}/H_0$ – дополнительное снижение урожайности через 50 лет при допустимых эрозионных потерях почвы $I_{\text{доп}}$. Если задать допустимое снижение урожайности $\varepsilon_{50, \text{доп}}$, то допустимые потери почвы будут определяться зависимостью $\Delta H_{\text{доп}} = \varepsilon_{50, \text{доп}} H_0 / a$; это будет третий из трех упомянутых выше основных подходов, который основан на допустимом снижении продуктивности почвы.

В строке 10 таблицы представлены рассчитанные значения ε_{50} , из которых следует, что предлагаемые допустимые потери почвы уже на первом этапе стратегии практически не приведут к значительному ухудшению качества (продуктивности) почвы через 50 лет.

Для последующих этапов значения $I_{\text{доп}}$ должны уменьшаться и достичь скорости образования гумусового слоя почвы, т.е. обеспечить стабилизацию мощности гумусового горизонта (стратегическая задача). При этом ухудшение качества почвы будет замедляться. Значения допустимых эрозионных потерь почвы должно соответствовать экономическим возможностям. Продолжительности этапов соответствуют этапам общей стратегии рационального использования всех почвенных ресурсов страны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере черноземов Курской области рассмотрено решение трех задач: объективной оценки почвенных ресурсов; оценки того, что произошло с этими ресурсами в прошлом и почему; долгосрочное прогнозирование динамики почвенных ресурсов. Полученные решения привели к следующим выводам: почвенные ресурсы, потерянные в результате эрозии, практически невозмож-

но восстановить; при современном земледелии эрозию можно только замедлить; требуется разработка стратегии рационального использования оставшихся почвенных ресурсов, включающая решение четвертой задачи – поиск компромисса между замедлением эрозии и экономическими возможностями.

Стратегической задачей является стабилизация мощности гумусового горизонта, т.е. снижение эрозии до уровня почвообразования (после этого можно будет решать следующую стратегическую задачу – увеличение мощности гумусового горизонта эродированных почв). Стратегия разбивается на этапы, для которых разработан подход к оценке допустимых эрозионных потерь почвы, значения которых должны уменьшаться от этапа к этапу. Для первого этапа (без экономической оценки) предложены значения допустимых потерь почвы, которые гарантируют с вероятностью 95%, что за планируемый период 50 лет потери почвы не превысят допустимое значение, а урожайность зерновых и пропашных культур, обусловленная запасами гумуса, не снизится больше, чем на 3%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Голушов П.В., Лисецкий Ф.Н.* Воспроизводство почв в антропогенно нарушенных ландшафтах лесостепи. М.: ГЕОС, 2009. 210 с.
2. *Добровольский Г.В.* Педосфера как оболочка высокой концентрации и разнообразия жизни на планете // Почвы в биосфере и жизни человека. М.: Моск. гос. ун-т леса, 2012. С. 20–34.
3. *Капитанов А.Н., Шишов Л.Л., Кузнецов М.С.* Развитие исследований по эрозии и охране почв // Сб. докл. Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Россельхозакадемии и 100-летию со дня рождения С.С. Соболева. Курск: Всероссийский НИИ земледелия и защиты почв от эрозии РАСХН, 2004. С. 11–20.
4. *Кирюхина З.П., Пацукевич З.В.* Эрозионная деградация почвенного покрова России // Почвоведение. 2004. № 6. С. 752–758.
5. *Кузнецов М.С., Абдулханова Д.Р.* Допустимые пределы эрозионных потерь почв Центрально-черноземной области европейской территории России // Почвоведение. 2013. № 7. С.882–889. DOI: 10.7868/S0032180X13050092.
6. *Ларионов Г.А.* Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 200 с.
7. *Лисецкий Ф.Н., Светличный А.А., Черный С.Г.* Современные проблемы эрозиоведения. Белгород: Константа, 2012. 456 с.

8. *Литвин Л.Ф.* География эрозии почв сельскохозяйственных земель России. М.: ИКЦ “Академкнига”, 2002. 255 с.
9. Резолюция 68-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН от 20.12.2013 г. (A/RES/68/232).
http://www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/68/232&Lang=R
10. *Санжарова С.И., Сухановский Ю.П., Прущик А.В.* Статистический анализ влияния эродированности почвы на урожайность сельскохозяйственных культур // Плодородие. 2009. № 5. С. 39–40.
11. *Сухановский Ю.П., Санжарова С.И., Прущик А.В.* Модель динамики содержания гумуса в эродированном черноземе Центрального Черноземья // Агрехимия. 2011. № 12. С. 45–52.
12. *Сухановский Ю.П.* Вероятностный подход к расчету эрозионных потерь почвы // Почвоведение. 2013. № 4. С. 474–481. DOI: 10.7868/S0032180X13040138.
13. *Сухановский Ю.П., Бахирев Г.И.* Оценка допустимых эрозионных потерь почвы // Доклады РАСХН. 1998. № 1. С. 27–28.
14. *Сухановский Ю.П., Прущик А.В., Санжарова С.И.* Зависимость урожайности зерновых и пропашных культур от запасов гумуса в черноземах и серых лесных почвах // Докл. РАСХН. 2014. № 4. С. 49–52.
15. *Сухановский Ю.П., Прущик А.В., Санжарова С.И.* Оценка и динамика ресурсов черноземов и серых лесных почв сельскохозяйственных угодий Курской области // Вестн. Курской гос. с.-х академии. 2013. №6. С. 53–59.
16. *Sukhanovskii Yu.P.* Urgent Problems of Soil Erosion and its Effects Prediction // Soil Erosion: Causes, Processes and Effects / Ed. Arthur J. Fournier. Nova Science Publishers. 2011. P. 235–240.
https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=17223&osCsid=dd03f785cfbce7343c05c60161431632.

THE PROBLEM OF SUBSTANTIATING THE EROSION-INDUCED PERMISSIBLE SOIL LOSS AND AN APPROACH TO ITS SOLUTION

**Yu. P. Sukhanovskii, A. V. Prushchik, Yu. A. Solov`eva,
S. I. Sanzharova**

*All-Russia Research Institute of Arable Farming and Soil Erosion
Control, ul. K. Marx, 70-B, Kursk, 305021, Russia
e-mail: soil-er@kursknet.ru*

In the paper it is shown that for developing a strategy for the rational use of soil resources a methodology is required, which must include

methods to solve the following tasks: objective evaluation of soil resources; evaluation of their dynamics in the past time; long-term prediction of soil resources dynamics; search for a compromise between the necessity of decreasing the soil degradation (erosion) and available economic possibilities. The solution of the above tasks is shown as exemplified by the eroded chernozem soils in Kursk Region. The quantity of the soil resources was evaluated by the arable area and the thickness of the humus horizon; their quality (fertility, productivity) was evaluated by the humus content in the 0–50 cm soil layer. The dynamics of the soil resources was estimated by changes in these parameters. The data are presented to show how the chernozem resources have been declining within the last 200–250 years. It is also shown that thousands of years will be required to restore the thickness of the humus layer in eroded chernozem soils, and hundreds of years - to restore the humus storage. It is practically impossible to stop erosion in a huge area for a relatively short period of time. A strategy of erosion reduction should be divided into the stages, for which an approach to the evaluation of permissible (tolerable) erosion soil loss (TESL) is suggested. This approach is based on searching a compromise between the rate of soil formation, the humus horizon depth, soil productivity (quality, fertility), a random character of erosion processes on the one hand, available erosion control measures and economic possibilities on the other hand. The values of TESL must be decreased from stage to stage, thus coming nearer to the rate of soil formation. The values of TESL are presented for the first stage (without economic assessment).

Keywords: soil erosion, tolerable soil loss, soil resources, prediction, strategy, chernozem soils.