

ФАКТОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЗДОРОВЬЯ СИБИРСКИХ ПОЧВ¹

© 2020 г. Е. Ю. Торопова^{1,2,*}, А. Е. Кудрявцев³, Г. Я. Стецов^{4,5}, М. П. Селюк^{1,2}

¹Новосибирский государственный аграрный университет
630039 Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
143050 Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Большие Вяземы, ул. Институтская, влад. 5, Россия

³Алтайский государственный аграрный университет
656049 Барнаул, просп. Красноармейский, 98, Россия

⁴Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий
656910 Барнаул, Научный городок, 35, Россия

⁵Алтайский государственный университет
656049 Барнаул, просп. Ленина, 61, Россия

*E-mail: 89139148962@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.12.2019 г.

После доработки 30.01.2020 г.

Принята к публикации 10.02.2020 г.

Качество почвы, как основного средства производства в сельском хозяйстве, принято оценивать по двум важнейшим, взаимосвязанным характеристикам: продукционной (плодородие) и средообразующей (здоровье). Практическая оценка здоровья почв имеет высокую актуальность и востребованность во всем мире. Цель исследования состояла в разработке шкалы оценки здоровья почвы независимо от числа используемых фактологических критериев. Задачи исследования: 1 – обоснование фактологических критериев оценки здоровья почвы; 2 – разработка шкалы здоровья почвы, интегрирующей экспериментальный аналитический материал; 3 – практическая апробация разработанной шкалы в условиях Западно-Сибирского региона. В результате была разработана и апробирована для решения практических задач интегральная шкала оценки здоровья почв. Шкала позволяет использовать любое число регламентируемых, оценочных или сравнительных фактологических критериев здоровья и позволяет оценить здоровье почвы в процентах. Использование предложенной шкалы способствовало выявлению причин низкой продуктивности агроценозов хозяйств Новосибирской обл. Агроценозы с пониженной, более чем на 50%, продуктивностью имели в среднем на 18–28% более низкие показатели здоровья по сравнению с высокопродуктивными полями. Интегральная оценка здоровья почв Томской обл. позволила определить очередность перевода полей хозяйства на органическую систему возделывания и выявить основные фитосанитарные и экологические проблемы, которые были учтены при введении органических технологий возделывания культур. Использование интегральной шкалы здоровья почвы позволило выявить отсутствие отрицательного влияния на здоровье почв технологии прямого посева культур в разных по засушливости степных районах Алтайского края. В острозасушливых районах здоровье почвы осталось практически неизменным с переходом на технологию No-till, отличия были в пределах статистических погрешностей. В менее засушливых степных районах введение технологии No-till оказало достоверное положительное влияние на здоровье чернозема выщелоченного за счет роста супрессивности почвы и численности сапротрофной микробиоты.

Ключевые слова: здоровье почвы, интегральная шкала, фактологический критерий, фитосанитарное состояние, порог вредоносности, супрессивность, фитотоксичность, конидия, численность микробиоты, семена сорняков.

DOI: 10.31857/S0002188120050166

ВВЕДЕНИЕ

Во второй половине XX века мировая научная общественность всерьез озаботилась ухудшением состояния здоровья почв наземных экосистем.

Эта важнейшая (наряду с плодородием) качественная характеристика почвы впервые предложена и разработана американскими почвоведом в 90-х гг. прошлого века [1]. Акцентирование внимания на этой характеристике почвы вызвано критическим состоянием значительной части почвенных ресурсов в большинстве стран мира,

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-416-220007р_а).

включая Россию. В течение многих десятилетий процесс деградации почв в России существенно превосходит и темпы самоочищения, и масштабы их ремедиации [2].

Современные почвы часто характеризуются такими негативными процессами как эрозия, локальное переувлажнение, засоление, дегумификация, захламление отходами производства и потребления, заселение паразитной, токсигенной и фитопатогенной биотой, загрязнение канцерогенными поллютантами, суперэкоотоксикантами, иными биологически опасными веществами – ксенобиотическими и/или природными. Например, остатки пестицидов загрязняют растительную продукцию, почву и сопряженные среды (воды, приземную атмосферу). Под их действием из агроэкосистем элиминируется полезная биота, а вредная, напротив, заселяет освободившиеся экологические ниши. Почва территорий, смежных с промышленными зонами и транспортными магистралями, хронически загрязняется тяжелыми металлами [3, 4].

Повсеместное заселение почв возбудителями корневых гнилей важнейших сельскохозяйственных культур превратилось в мировую проблему. Эти фитопатогены на территории России практически повсеместно (до 82%) заселили почву агроценозов зерновых злаковых культур [5, 6].

В настоящее время стало очевидным, что качественная почва, помимо потенциального и актуального плодородия – запасов гумуса и доступных растениям биофилов – должна обладать и такой важнейшей имманентной характеристикой как здоровье. Здоровье почвы – это способность почвенной экосистемы в заданных пространственных границах поддерживать продуктивность растений, животных, приемлемое качество урожая, воды и воздуха, а также обеспечивать здоровье людей, животных и растений [2].

Используемые для повышения плодородия и супрессивности почвы органические удобрения также должны быть изначально безопасными (незагрязненными и неинфицированными) [7, 8]. Наконец, необходимо оценивать действие на почву всевозможных стрессоров, ксенобиотических и природных продуктов – в первую очередь, суперэкоотоксикантов, а также токсичных металлов и металлоидов, техногенных радионуклидов, персистентных агрохимикатов и т.п. – с учетом их сопутствующего действия на состояние почвенного здоровья [9].

Традиционные модели оценки почв агроценозов только по параметрам и критериям их плодородия, с позиций “максимальной продуктивности и прибыли” уже не соответствуют современ-

ной ситуации. Актуальны и востребованы новые концептуальные подходы. Только на здоровой почве возможно производство высококачественной продукции для нужд лечебного и детского питания, а также лекарственного сырья. Здоровая почва обеспечивает санитарное состояние водохранимых и рекреационных территорий, ее в течение многих десятилетий успешно используют в практике органического земледелия [10–12].

Качество почвы, как основного средства производства в сельском хозяйстве, принято оценивать по двум важнейшим, взаимосвязанным характеристикам: продукционной (плодородие) и средообразующей (здоровье) [13, 14].

Критерии здоровья почвы активно изучают в течение последнего десятилетия почвоведы и экологи разных стран [14–16]. В работах отечественных [17–19] и зарубежных [20–24] авторов сформулирован перечень фактологических критериев здоровья и качества почвы, включающий параметры из сферы не только земледелия, агрохимии, агрономии, почвоведения, общей экологии, но и почвенной микробиологии и фитопатологии.

В ряде работ отмечают, что здоровой почве присуща чистота от поллютантов и биотоксинов, высокое микробиологическое разнообразие, биологическая активность, супрессивность в отношении экономически значимых вредных организмов и самоочищающая способность в отношении ксенобиотических и природных поллютантов [2, 5, 10, 11, 15, 16, 22, 25].

Практическая оценка здоровья почв делает только первые шаги, однако имеет высокую актуальность и востребованность во всем мире [4, 6, 10, 11, 20, 23, 24, 26]. Во многих случаях всестороннее и объективное исследование здоровья почвы по фактологическим критериям становится жизненно необходимым для принятия практических решений по изменению и оптимизации технологий возделывания сельскохозяйственных культур, выявления причин низкого плодородия почвы, определения направлений использования и охраны земельных ресурсов.

Практическая работа по оценке здоровья почвы наталкивается на ряд нерешенных вопросов и проблем. Открытым остается вопрос интеграции и обобщения массива экспериментальных данных, характеризующих разные, часто противоречивые аспекты здоровья почвы, что затрудняет формулировку выводов и принятие обоснованных решений. Необходима разработка универсальной, не зависящей от числа и набора критериев системы количественной оценки здоровья почвы.

Цель работы – разработка шкалы оценки здоровья почвы независимо от числа используемых фактологических критериев.

Задачи исследования: 1 – обоснование фактологических критериев оценки здоровья почвы; 2 – разработка шкалы здоровья почвы, интегрирующей экспериментальный аналитический материал; 3 – практическая апробация разработанной шкалы в условиях Западно-Сибирского региона.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2014–2019 гг. в типичных агроценозах Западной Сибири. В аналитических исследованиях использовали общепринятые [28] и авторские методы, протоколы которых приведены в [9]. Практическую апробацию шкалы проводили в хозяйствах Новосибирской и Томской обл., Алтайского края. Образцы почвы отбирали в 6–10-кратной повторности как в агроценозах, так и на целинных участках, непосредственно примыкающих к полям и имеющих тот же тип почвы, с глубины 0–20 см в ранний весенний (перед посевом) и (или) в осенний (перед уборкой) периоды. Для исследования роли здоровья почвы в продуктивности агроценозов в 8-ми хозяйствах в разных районах Новосибирской обл. были выбраны контрастные по урожайности возделываемых культур поля. Для оценки фитосанитарной и экологической готовности почв для перехода на органические технологии возделывания сельскохозяйственных культур образцы серой лесной почвы отбирали в предпосевной и осенний периоды на 20-ти полях хозяйства, расположенного в Асиновском р-не Томской обл. В исследованиях влияния систем обработки почвы на ее здоровье были задействованы типичные для пунктов отбора проб почвы степной зоны Алтайского края – выщелоченный чернозем, серая лесная и каштановые почвы, обрабатываемые по традиционной (осенняя зябь с весенней культивацией и боронованием) и No-till (прямой посев по стерне предшественника) технологиям.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обоснование фактологических критериев оценки здоровья почвы. Фактологические критерии здоровья почвы довольно многочисленны и разнообразны [2, 17, 26], однако, по нашему мнению, их можно разделить на 3 группы по способу применения и методологии принятия практических решений на их основе. Первую группу представляют регламентируемые критерии. В эту

группу можно включить, например, численность в почве фитопатогенов, фитофагов и сорных растений [28]. Набор критериев этой группы зависит от целевого назначения анализируемых почв, истории агроценозов, выявляемых проблем, предполагаемых практических решений. Следует в каждом случае определиться с набором планируемых к возделыванию культур и перечнем наиболее экономически значимых для региона вредных организмов. Например, при планируемом возделывании зерновых культур обязательным критерием здоровья почвы является ее заселенность конидиями возбудителя гельминтоспориозной (обыкновенной) корневой гнили зерновых культур *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem., при возделывании подсолнечника или сои – заселенность склероциями возбудителя белой гнили *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary, при возделывании картофеля – склероциями *Rhizoctonia solani* Kuhn. и цистами золотистой картофельной нематоды *Globodera rostochiensis* Woll. Behrens. Для всех культур большое значение имеет засоренность почвы семенами сорняков. Обоснованное применение таких критериев предполагает определение зональных порогов вредоносности (ПВ) каждого из вредных объектов. Методика экспериментального определения ПВ достаточно трудоемка и требует создания серии искусственных инфекционных фонов [29]. Ориентиром для оценки ПВ большинства почвенных видов может служить их численность в целинных почвах-аналогах в непосредственной близости от анализируемых агроценозов. Установлено, что в целинных почвах численность фитопатогенов естественным образом в течение длительного времени поддерживается на уровне, близком к ПВ [19].

Вторая группа критериев может быть условно названа оценочными критериями. В нее входят все показатели здоровья почвы, оцениваемые по специальным, разработанным специально для них шкалам (супрессирующая активность почвы, фитотоксичность почвы и т.п.). Например, фитотоксичность почвы изменяется от нулевой – почва не фитотоксична (ингибирование ростовых процессов проростков до 20%) до высокой (ингибирование >60%) [28]. Для оценки уровня супрессивности почвы принята шкала от 100% (полная супрессивность – все блоки без признаков роста тест-объекта) до 0 (несупрессивная почва – все блоки тест-объекта развиваются на уровне контроля). Значение супрессивности может быть отрицательным, если почва характеризуется кондуктивностью, т.е. способствует размножению и выживанию тест-объекта [9].

Таблица 1. Шкала оценки здоровья почвы, баллы

Фактологический критерий, ед. измерения	Норма	Риск	Катастрофа	Бедствие
Превышение порога вредоносности (ПВ), число раз	≤ПВ	1.5–3	4–7	8–10 и более
<i>Bipolaris sorokiniana</i> , баллы	5	3	1	0
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> , баллы	5	3	1	0
Численность семян сорняков, баллы	5	3	1	0
Супрессивность почвы к фитопатогенам, %	>70	70–50	49–30	<30
<i>Bipolaris sorokiniana</i> , баллы	5	3	1	0
<i>Fusarium sporotrichoides</i> , баллы	5	3	1	0
Фитотоксичность, %	<30%	31–50%	51–69%	>70%
Всхожесть индикаторных растений, баллы	5	3	1	0
Фитомасса, баллы	5	3	1	0
Отклонение от эталона (целинный аналог почвы), %	>30%	>50%	>70%	Разы
Общее микробное число, баллы	5	3	1	0
Сапротрофные почвенные микромицеты, баллы	5	3	1	0
Бактерии, потребляющие органические формы азота (аммонификаторы), баллы	5	3	1	0
Бактерии, потребляющие неорганические формы азота (аммонификаторы), баллы	5	3	1	0
Целлюлозолитические микроорганизмы, баллы	5	3	1	0

Третья группа критериев здоровья почвы – это сравнительные критерии, для применения которых требуется обязательное сравнение выявленных параметров с аналогичными показателями целинных почв-аналогов. Это самая обширная группа фактологических критериев, включающая показатели микробиологической и ферментативной активности почвы, численности трофических групп микроорганизмов, интенсивности выделения почвой углекислого газа и многие другие [26]. В эту группу критериев могут быть также включены многочисленные показатели структуры, химического состава и плодородия почв. Применение этих критериев требует отбора и сопряженного анализа целинных аналогов культивируемых почв, что часто сопряжено с техническими трудностями. Применение микробиологических сравнительных критериев может наталкиваться на сложности в интерпретации результатов анализов почвенных образцов, поскольку культивируемые и целинные почвы на момент отбора проб часто имеют различия в гидротермических характеристиках, существенно влияющих на численность почвенной микробиоты [16, 18].

Таким образом, следует констатировать значительное разнообразие фактологических критериев здоровья почв, требующее в каждом случае взвешенного выбора набора критериев и обоснованного подхода к их применению и интерпретации результатов анализов.

Шкала здоровья почвы. Для получения интегрального показателя здоровья почвы была разработана шкала, в которой используемым фактологическим критериям присвоены баллы, соответствующие интегральным характеристикам экосистем: норме, риску, катастрофе, бедствию [30] (табл. 1):

– норма (**Н**) – состояние системы, отвечающее области ее равновесия, устойчивости (здоровая почва);

– риск – вероятность деградации экологической системы (окружающей среды) или перехода ее в неустойчивое состояние (относительно здоровые земли, с нарушением здоровья по ряду критериев);

– катастрофа – неравновесное нестационарное состояние экологической системы (окружающей среды), следствием которого становится потеря устойчивости (больные земли, с нарушением здоровья по большинству критериев);

– бедствие – последствия катастрофы, равновесное состояние экологической системы (окружающей среды) на предельно низком энергетическом уровне (больные земли, малопродуктивные для сельскохозяйственного использования, требующие срочного оздоровления и ремедиации).

В табл. 1 приведен пример использования некоторых фактологических критериев для оценки здоровья почвы и перевод полученных данных в баллы. Например, если почва заселена конидия-

ми возбудителя обыкновенной корневой гнили *B. sorokiniana* ниже зонального ПВ, ее состояние соответствует норме и ей присваивается максимальный балл – 5. По мере ухудшения фитосанитарного состояния и роста заселенности почв конидиями фитопатогена почва переходит в разряд “риск”, затем “катастрофа” и наконец “бедствие”, когда ее заселенность превышает 8–10 ПВ. В этом случае ей совсем не присваивают баллы. Аналогичный подход использован для перевода в баллы других фактологических критериев из группы регламентируемых.

В отношении оценочных критериев был развит аналогичный подход, но баллы присваивали в зависимости от соответствия выявленных величин принятым шкалам. Например, при оценке почвы на супрессивность к *B. sorokiniana* максимальный балл присваивали высоко супрессивной почве (на уровне 81–100%), нулевой балл присваивали почве с супрессивностью <20% или кондуктивной, т.е. стимулирующей рост колоний фитопатогена.

В отношении сравнительных фактологических критериев оценивали в баллах степень отклонения показателей от эталона (целинного аналога). Чем сильнее отклонение, тем менее благополучной считали почву, присваивая ей все меньше баллов.

В итоге для получения интегральной количественной оценки здоровья почвы баллы по фактологическим критериям суммировали и вычисляли здоровье почвы в процентах, принимая за 100% максимально возможную сумму баллов.

С учетом шкалы были предложены следующие интегральные критерии здоровья почв (в %):

- 80–100% – экологическая норма, полностью здоровые земли;
- 60–79% – экологический риск, относительно здоровые земли с нарушением здоровья по ряду критериев;
- 30–59% – больные земли, с нарушением здоровья по большинству критериев;
- 0–29% – больные земли, малопригодные для сельскохозяйственного использования, требующие срочного оздоровления и ремедиации.

В наших практических исследованиях здоровья почвы число использованных фактологических критериев в зависимости от целей и возможностей варьировало от 9 до 34. Чем меньше набор критериев, тем более ответственным становится их выбор и усложняется интерпретация результатов. При массовых анализах почвы частым ограничивающим фактором становится отдаленность точек отбора образцов от аналитической лаборато-

рии. Этот фактор особенно критичен при анализе почвенной микробиоты, численность которой сильно зависит от влажности и температуры, поэтому недопустимым становится длительное, более 3-х сут хранение отобранных образцов, особенно в летнее время.

При массовых анализах почвы предпочтение следует отдавать фактологическим критериям, показатели которых минимально зависят от условий и длительности хранения почвенных образцов.

В зависимости от назначения анализов, отдельным фактологическим критериям можно придавать бóльшую или меньшую значимость, что следует отражать в балльной оценке, вводя соответствующие повышающие коэффициенты.

Практическая апробация шкалы в Западной Сибири. Приведенная выше шкала была в общем виде разработана в 2014 г. и с тех пор прошла широкую практическую апробацию в агроценозах Западной Сибири. С использованием шкалы были проведены исследования по выявлению причин низкого плодородия отдельных полей в хозяйствах региона. Шкалу использовали при оценке пригодности полей и хозяйств для перехода к биологическому земледелию. В последние годы, применяя шкалу, проводили исследование влияния систем обработки почвы на ее здоровье. Результаты оценки здоровья почвы контрастных по продуктивности полей в хозяйствах лесостепной зоны Новосибирской обл. приведены в табл. 2.

Отбор почвенных образцов проводили с полей, которые, по оценкам агрономов, в течение длительного времени имели контрастную, отличающуюся на 50% и более продуктивность всех возделываемых в хозяйствах сельскохозяйственных культур.

Исследование показало, что состояние здоровья почв из агроценозов с разной продуктивностью существенно различалось. Агроценозы с пониженной продуктивностью имели в среднем на 18–28% более низкие показатели здоровья по сравнению с высоко продуктивными полями. Перечень проблемных критериев различался в зависимости от хозяйства и поля, что позволило разработать дифференцированные подходы к оздоровлению почв конкретных агроценозов.

Оценка здоровья целинных почв разных типов по регламентируемым и оценочным критериям, исключая сравнительные, имела высокие показатели – от 72.5 до 90.0%. Типы целинных почв отличались по природному уровню здоровья. Самыми низкими показателями здоровья характеризовался чернозем южный солонцеватый,

Таблица 2. Оценка здоровья почв из агроценозов разной продуктивности Новосибирской области (2014–2016 гг.), %

Район, хозяйство	Продуктивность высокая		Продуктивность низкая	
	предельные показатели	среднее	предельные показатели	среднее
Новосибирская обл., Тогучинский р-н, совхоз “им. XX партсъезда КПСС”	85.0–69.5	75.9	52.0–44.0	47.8
Тогучинский р-н, ИП “Глухов”	75.5–62.0	68.2	53.0–42.5	47.5
Коченевский р-н, СПК “Урожай”	75.0–61.5	67.5	54.0–42.0	47.2
Колыванский р-н, ООО “Соколово”	75.5–60.5	67.3	50.6–40.2	42.4
Краснозерский р-н, ИП “Вайс”	80.0–65.5	70.5	56.5–42.0	50.7
Краснозерский р-н, ООО “Рубин”	82.0–68.5	75.4	65.5–50.0	60.6
Краснозерский р-н, ЗАО “Колыбельское”	70.5–55.5	60.8	50.5–39.0	42.5
Коченевский р-н, ООО “Росагро”	75.0–62.5	68.2	60.0–48.5	53.0

имеющий пониженную супрессивность к фитопатогенам и в силу химического состава оказывавший умеренное, но выраженное фитотоксическое действие на индикаторные растения [2, 19]. Самым высоким уровнем здоровья обладали целинные аналоги выщелоченного чернозема и лугово-черноземной почвы. Существенная часть образцов целинной почвы была засорена в высокой степени (до 3 ПВ) семенами сорняков, что свидетельствовало о частичном вытеснении естественной растительности рудеральными видами. Таким образом, комплексный подход к оценке здоровья почв позволяет выявить причины низкой продуктивности агроценозов и внести целенаправленные коррективы в агротехнологии для их устранения.

С переходом ряда хозяйств Сибири к органическому земледелию возросла потребность в объективной оценке готовности полей и хозяйств региона к изменению технологий возделывания культур. Интегральная оценка здоровья почв хозяйства Томской обл. позволила определить очередность перевода полей хозяйств на новую систему возделывания. В конце вегетации был проведен повторный анализ полей для оценки фитосанитарной результативности технологий. Результаты исследования почв приведены в табл. 3. Представленные данные позволили разделить поля хозяйства на 3 неравные группы. Только одно поле “Рассвет” имело полностью здоровую в фитосанитарном и экологическом отношении почву по всем фактологическим критериям. 10 полей имели относительно здоровые по интегральной оценке почвы, с нарушением здоровья по небольшому числу критериев. У каждого из этих полей были “узкие места”, которые требовали корректировки. Например, почва поля “За козлятником” в значительной степени была засе-

лена конидиями *Bipolaris sorokiniana*, на нем было рекомендовано возделывать фитосанитарные в отношении этого специализированного фитопатогена не зерновые культуры. Поля “Кайла” и “Опытное” были сильно засорены семенами сорняков, особенно гречишкой вьюнковой и просом сорнополевым. Там требовалось включение в технологии возделывания сельскохозяйственных культур специальных мероприятий по очищению почвы от семян сорняков и снижению засоренности, например, повышение конкурентной способности культур к сорнякам за счет повышения нормы высева. Почва полей “Минские” и “Косилровка” содержала низкое число микроорганизмов, на них требовалось внесение органических удобрений. Поля “Над Кайлой”, “Лысая гора”, “Сумное” показали как высокую засоренность семенами сорняков, так и низкую численность микроорганизмов, поэтому на них требуется применение обоих указанных выше технологических приемов.

Следует отметить, что за период вегетации почва полей “Над Кайлой”, “Лысая гора” и “Сумное” улучшила показатели здоровья, что свидетельствовало о результативности проведенных почвоулучшающих мероприятий.

Третья группа из 8 полей имела больные земли, с нарушением здоровья по большинству критериев. На каждом из этих полей было несколько проблемных показателей, требовавших существенной корректировки с помощью технологических приемов. Эти поля необходимо было в течение ряда лет готовить для перехода на органические технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

Таким образом, комплексный анализ здоровья почвы позволил выявить основные фитосанитарные и экологические проблемы, которые были

Таблица 3. Интегральная оценка пригодности почв для органического земледелия (Томская обл., 2017 г.)

Наименование поля	Интегральная оценка, %		
	весна	осень	среднее
Целина	91.1	86.7	88.9
Рассвет	86.7	88.9	87.8
За козлятником	77.8	77.8	77.8
Косиловка	73.3	77.8	75.6
Опытное	71.1	73.3	72.2
Минские	68.9	73.3	71.1
Кайла	68.9	68.9	68.9
Сумное	60.0	77.8	68.9
Над Кайлой	60.0	68.9	64.5
У вышки	60.0	62.2	61.1
За богомоловым логом	57.8	64.4	61.1
Лысая гора	51.1	71.1	61.1
Челбак	57.8	60.0	58.9
Казанщина	62.2	51.1	56.7
Чертоны	60.0	57.8	58.9
За заправкой справа	62.2	53.3	57.8
Лобаниха	48.9	57.8	53.4
Звездочка	51.1	55.6	53.3
Волчи норы	44.4	48.9	46.7
Сафоново	42.2	51.1	46.7

учтены при введении органических технологий возделывания культур.

В 2018 г. был проведен анализ здоровья почвы и определено влияние систем ее обработки в регионах засушливых зон Алтайского края. Результаты исследования представлены в табл. 4. Данные позволили заключить, что технологии прямого посева культур не оказывали отрицательного влияния на здоровье почв засушливых зон Алтайского края. Исследование было проведено в хозяйствах, использующих для возделывания культур разные типы почвы и расположенных в разных по засушливости степных районах. Здоровье светло-каш-

тановой почвы и южного чернозема в острозасушливых пунктах отбора проб “Табуны” и “Волчиха” осталось практически неизменным с переходом на технологии прямого посева культур по стерне предшественника, отличия были в пределах статистических погрешностей. В этих районах жесткость гидротермических факторов не позволила в течение 4–5 лет в полной мере проявиться положительным или отрицательным последствиям новой технологии. Следует констатировать, что в условиях острой засухи на поверхности почвы Кулундинской сухой степи замедлилось формирование стерневой “подушки”, во многом обуславливающей преимущества технологии прямого посева. В несколько менее засушливых степных районах пунктов “АлтайНИИСХ” и “Алейск” введение технологии No-till оказало достоверное положительное влияние на здоровье чернозема выщелоченного. Более высокая продуктивность культур севооборотов способствовала проявлению положительных последствий введения новой технологии. Более активное накопление на поверхности почвы растительных остатков обеспечило рост супрессивности почвы и численности сапротрофной микробиоты, не ухудшая другие показатели. В итоге интегральная оценка здоровья почвы в агроценозах с технологией No-till оказалась достоверно выше на 8% (“Алейск”) и 23.5% (“АлтайНИИСХ”). Таким образом, применение интегральной шкалы оценки здоровья почвы позволило выявить положительную тенденцию от введения в засушливой степи Алтайского края технологии No-till.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований была разработана и апробирована для решения практических задач интегральная шкала оценки здоровья почв. Шкала позволяет использовать любое число регламентированных, оценочных или сравнительных фактологических критериев здоровья и оценить здоровье почвы в процентах. Использование предложенной шкалы способствовало выявле-

Таблица 4. Здоровье почвы в зонах Алтайского края при применении разных систем их обработки, %

Пункт отбора проб	Тип почвы	Система обработки почвы	
		no-till	традиционная
Табуны	Светло-каштановая	68.5 ± 7.9	68.0 ± 7.1
Волчиха	Чернозем южный	69.5 ± 5.8	72.0 ± 8.0
АлтайНИИСХ	Чернозем выщелоченный	84.0 ± 9.2	60.5 ± 5.5
Алейск	Чернозем выщелоченный	76.5 ± 6.3	68.5 ± 6.2
Среднее		74.1 ± 8.9	67.3 ± 7.8

нию причин низкой продуктивности агроценозов хозяйств Новосибирской обл. Агроценозы с пониженной, более чем на 50%, продуктивностью имели в среднем на 18–28% более низкие показатели здоровья по сравнению с высокопродуктивными полями.

Интегральная оценка здоровья почв Томской обл. позволила определить очередность перевода полей хозяйства на органическую систему возделывания и выявить основные фитосанитарные и экологические проблемы, которые были учтены при введении органических технологий возделывания культур. Использование интегральной шкалы здоровья почвы выявило отсутствие отрицательного влияния на здоровье почв технологии прямого посева культур в разных по засушливости степных районах Алтайского края. В острозасушливых районах здоровье почвы осталось практически неизменным с переходом на технологию No-till, отличия были в пределах статистических погрешностей. В менее засушливых степных районах введение технологии No-till оказало достоверное положительное влияние на здоровье чернозема выщелоченного за счет роста супрессивности почвы и численности сапротрофной микробиоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Doran J.W., Sarrantonio M., Liebig M.A.* Soil health and sustainability // *Adv. Agron.* 1996. V. 56. P. 1–54.
2. *Глинушкин А.П., Соколов М.С., Торопова Е.Ю.* Фитосанитарные и гигиенические требования к здоровой почве / Под ред. Соколова М.С. М.: Изд-во Агрорус, 2016. 288 с.
3. *Соколов М.С.* Актуальные задачи оздоровления почв России // *Почвы в биосфере и жизни человека* / Под ред. Добровольского Г.В., Куста Г.С., Санаева В.Г. М.: МГУЛ, 2012. С. 356–384.
4. *Соколов М.С., Марченко А.И.* Здоровая почва как основа благополучия России (концептуально-аналитические аспекты) // *Агрохимия.* 2011. № 6. С. 3–10.
5. *Соколов М.С., Марченко А.И., Санин С.С., Торопова Е.Ю., Чулкина В.А., Захаров А.Ф.* Здоровье почвы агроценозов как атрибут ее качества и устойчивости к биотическим и абиотическим стрессорам // *Изв. ТСХА.* 2009. № 1. С. 13–22.
6. *Торопова Е.Ю.* Диагностика здоровья почвы // *Защита и карантин растений.* 2019. № 4. С. 19–22.
7. *Соколов М.С., Спиридонов Ю.Я., Глинушкин А.П., Торопова Е.Ю.* Органическое удобрение – эффективный фактор оздоровления почвы и индуктор ее супрессивности // *Достиж. науки и техн. АПК.* 2018. Т. 32. № 1. С. 4–12.
8. *Bonanomi G., Antignani V., Capodilupo M., Scala F.* Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases // *Soil Biol. Biochem.* 2010. V. 42. № 2. P. 136–144.
9. *Спиридонов Ю.Я., Соколов М.С., Глинушкин А.П., Каракотов С.Д., Кориунов А.В., Торопова Е.Ю., Сарраев П.В., Семенов А.М., Семенов В.М., Никитин Н.В., Калиниченко В.П., Лысенко Ю.Н.* Адаптивно-интегрированная защита растений. М.: Печатный город, 2019. 626 с.
10. *Sokolov M.S., Dorodnykh Y.L., Marchenko A.I.* Healthy soil as a necessary condition of human life // *Euras. Soil Sci.* 2010. T. 43. № 7. С. 802–809.
11. *Соколов М.С., Соколов Д.М., Тымчук С.Н., Ларин В.Е.* Методология и показатели санитарно-микробиологического контроля безопасности почвы (аналитический обзор) // *Биосфера.* 2014. Т. 6. № 2. С. 158–169.
12. *Соколов М.С., Глинушкин А.П., Торопова Е.Ю.* Средообразующие функции здоровой почвы – фитосанитарные и социальные аспекты // *Агрохимия.* 2015. № 8. С. 81–94.
13. *Karlen D.L. Andrews S.S., Doran J.W.* Soil quality: current concepts and applications // *Adv. Agron.* 2001. V. 74. P. 1–39.
14. *Семенов А.М., Семенов В.М., Ван Бругген А.Х.К.* Диагностика здоровья и качества почвы // *Агрохимия.* 2011. № 12. С. 4–18.
15. *Janvier C., Villeneuve F., Alabouvette C., Edel-Hermann V., Mateille T., Steinberg C.* Soil health through disease suppression: Which strategy from description to indicators? // *Soil Biol. Biochem.* 2007. V. 39. P. 1–23.
16. *Microbiological methods for assessing soil quality* / Eds. J. Bloem, D.W. Hopkins, A. Benedetti. UK, USA: CAB Publishing, 2006. 301 p.
17. *Семенов А.М., Соколов М.С.* Концепция здоровья почвы: фундаментально-прикладные аспекты обоснования критериев оценки // *Агрохимия.* 2016. № 1. С. 3–16.
18. *Добровольская Т.Г.* Структура бактериальных сообществ почв. М.: Академкнига, 2002. 282 с.
19. *Торопова Е.Ю., Соколов М.С., Глинушкин А.П.* Индукция супрессивности почвы – важнейший фактор лимитирования вредоносности корневых инфекций // *Агрохимия.* 2016. № 8. С. 46–55.
20. *Bezdicsek D.F.* Development and evaluation of indicators for agroecosystem health // *Agriculture in concern with the environment.* ACE Research Projects Western Region, 1996. 6 p.
21. *Logan T.J.* Soils and environmental quality // *Handbook of soil science* / Ed. Sumner M.E. Boca Raton: CRC Press, 2000. P. 155–169.
22. *Garbeva P., Van Veen J.A., Van Elsas J.D.* Microbial diversity in soil: selection of microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness // *Annu. Rev. Phytopathol.* 2004. V. 42. P. 243–270.
23. *Burns R.G., Nannipieri P., Benedetti A., Hopkins D.W.* Defining soil quality // *Microbiological methods for assessing soil quality* / Ed. J. Bloem, D.W. Hopkins, A. Benedetti. UK, USA: CAB Publishing, 2006. P. 15–22.
24. *Janvier C., Villeneuve F., Alabouvette C., Edel-Hermann V., Mateille T., Steinberg C.* Soil health through disease

- suppression: Which strategy from description to indicators? // *Soil Biol. Biochem.* 2007. V. 39. P. 1–23.
25. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Учение об экологических функциях почв. М.: Изд-во МГУ, 2012. 412 с.
26. Соколов М.С., Марченко А.И. Экологический мониторинг здоровья почвы в системе “ОВОС” (методология выбора критериев оценки) // *Агрохимия*. 2013. № 3. С. 3–18.
27. Соколов М.С., Глинушкин А.П., Спиридонов Ю.Я. Перспективы исследований по улучшению качества и оздоровления почв России // *Достиж. науки и техн. АПК*. 2016. Т. 30. № 7. С. 5–10.
28. Чулкина В.А., Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я. Фитосанитарная диагностика агроэкосистем. Уч.-практ. пособ. Барнаул, 2017. 210 с.
29. Чулкина В.А., Торопова Е.Ю. Определение порогов вредоносности возбудителей корневых инфекций // *Защита и карантин растений*. 2006. № 1. С. 41–43.
30. Черников В.А., Алексахин Р.М., Голубев А.В. Агроэкология / Под ред. Черникова В.А., Черкесова А.И. М.: Колос, 2000. 536 с.

Factual Criteria for Assessing the Health of Siberian Soils

E. Yu. Toropova^{a,b,#}, A. E. Kudryavtsev^c, G. Ya. Stetsov^{d,e}, and M. P. Selyuk^{a,b}

^a*Novosibirsk State Agrarian University
ul. Dobrolyubova 160, Novosibirsk 630039, Russia*

^b*Russian Federal Research Institute of Phytopathology
ul. Institut, bld. 5, Moscow region, Odintsovo district, Bolshye Vyazemy 143050, Russia*

^c*Altay State Agrarian University
prosp. Krasnoarmeysky 98, Barnaul 656049, Russia*

^d*Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies
Nauchny gorodok 35, Barnaul 656910, Russia*

^e*Altay State University
prosp. Lenina 61, Barnaul 656049, Russia*

[#]*E-mail: 89139148962@yandex.ru*

The soil quality, as the main means of production in agriculture, is usually evaluated according to two most important, interrelated characteristics: production (fertility) and environment-forming (health). A practical assessment of soil health is highly relevant around the world. The aim of the research was to develop a scale for assessing soil health regardless of factual criteria used number. Research objectives: 1 – substantiation of factual criteria for assessing soil health; 2 – development of a soil health scale integrating experimental analytical material; 3 – practical testing of the developed scale in the conditions of the West Siberian region. As a result of research, an integrated scale for assessing soil health was developed and tested to solve practical problems. The scale allows you to use any number of regulated, evaluative or comparative factual soil health criteria, and allows you to assess the soil health in percent. Using the proposed scale contributed to identifying the causes of low agrocenoses productivity in the Novosibirsk Region farms. Agrocenoses with reduced, by more than 50% productivity, had an average of 18–28% lower health indicators compared to highly productive fields. An integrated assessment of soil health in the Tomsk Region made it possible to determine the priority of transferring farm fields to an organic cultivation system and to identify the main phytosanitary and environmental problems that were taken into account when introducing organic cultivation technologies. The use of the integrated soil health scale made it possible to identify the absence of a negative effect on the soils health of No-till technologies in different steppe regions of the Altai Territory. In severely arid regions, soil health remained virtually unchanged with the transition to No-till technology, the differences were within the statistical errors. In less arid steppe regions, the introduction of No-till technology had a significant positive effect on the leached black soil health due to increase the suppressive activity and the saprotrophic microbiota number in the soil samples.

Key words: soil health, integral scale, factual criterion, phytosanitary condition, severity threshold, suppressive activity, phytotoxicity, conidia, microbiota number, weed seeds.