

# СВЯЗЬ ПОЧВЕННЫХ ФАКТОРОВ С УРОЖАЙНОСТЬЮ СОИ И ЛЮЦЕРНЫ

Д.В. Рисник

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
Москва, Россия, [biant3@mail.ru](mailto:biant3@mail.ru)*

Достижение устойчивого производства сельскохозяйственных культур должно включать, среди прочего, характеристики качества воды, качества почвы и урожайности сельскохозяйственных культур. Непрерывное выращивание кукурузы в штате Айова отрицательно сказалось на физических, химических и биологических показателях качества почвы [Chase, Duffy, 1991; Karlen, 2004]. Для улучшения состояния окружающей среды, вероятно, требуется переход от политики, ориентированной на процесс сельскохозяйственного производства, к политике, подразумевающей многофункциональное использование сельскохозяйственных ландшафтов [Boody et al., 2005; Broussard, Turner, 2009; Brown, Schulte, 2011]. Выбор подхода к управлению сельскохозяйственным производством должен учитывать также тенденции в изменении почв и масштабы местных проблем с качеством почв [Gassman et al., 2010].

Экологическое нормирование почв имеет принципиальное значение в охране окружающей среды. К сожалению, определение их качества основано на результатах лабораторных исследований. Такой подход чреват некоторыми недостатками. Например, единые лабораторные нормативы плохо применимы к территориям больших размеров, так как влияние внешних факторов ощутимо различается в пределах обширных пространств [Левич и др., 2004].

Однако возможен и другой подход к нормированию, базирующийся на природных характеристиках почв и воздействующих на них факторах, однако его реализация на практике достаточно сложна. В теории влияние факторов легко поддается статистическому анализу, но в природных условиях на почвы одновременно действует огромное количество показателей. Это мешает построить упорядоченную диаграмму зависимости эффекта от дозы. Чтобы проанализировать такую зависимость, можно перейти от количественных переменных к их качественным классам. Эта методика использована в методе расчета локальных экологических норм (методе ЛЭН) [Рисник и др., 2016].

Цель исследования: выявить почвенные факторы, влияющие на урожайность сои и люцерны.

**Материалы и методы.** В работе использована база данных с информацией о характеристиках почв штата Айова (США) [Iowa soil properties and interpretations database (ISPAID 8.1.1), 2017]. Взятая для исследования база данных содержит информацию о свойствах почв и урожайности произрастающих на них культур. База включает порядка 10 тыс. наблюдений за каждым показателем, проведенных с 1958 по 2017 гг.

В качестве биоиндикаторов состояния почв были рассмотрены показатели урожайности сои и люцерны в т/га. В качестве факторов, оказывающих действие на состояние почв, рассматривали следующие показатели: уклон поверхности, уровень доступной влаги, глубина текстурных и композиционных изменений, плотность верхнего горизонта, плотность горизонта В, глубина грунтовых вод, содержание органики, рН почвенной вытяжки, емкость катионного обмена (ЕКО),  $K_w$  – восприимчивость почв к водной эрозии (растет с увеличением восприимчивости), Т фактор – максимальный среднегодовой уровень водной эрозии, не влияющий на урожайность сельскохозяйственных культур в течение длительного периода, мощность молликового горизонта, содержание глины (частиц меньше 0,002 мм), содержание песка (частиц 0,02 до 2 мм), %.

**Определение групп индикаторов, однородных по отношению к факторам, не влияющим на качество среды**

Согласно *in situ*-технологии качество среды следует оценивать на основе биоиндикационных показателей. Биоиндикационные показатели отражают влияние всех характеристик среды. Однако их значения могут зависеть от двух видов факторов: как "активных" (концентрации химических веществ напрямую связанные с состоянием среды), так и "пассивных", оказывающих действие на значения индикаторов вследствие нарушения качества среды (сезоны года, географическая зональность и т. п.) Чтобы нивелировать влияние "пассивных" факторов, следует разделить наблюдения на несколько однородных по отношению к ним групп. Другими словами, группы должны содержать наблюдения с однородной реакцией на воздействие определенного "пассивного" фактора. После разделения в каждой группе выводится среднее значение индикатора. Если эти значения в двух группах статистически значимо различны, то каждая выделенная группа однородности потребует отдельного изучения воздействия на индикатор "активных" факторов.

Результаты исследования методом ЛЭН позволяют найти границы классов качества (значения, разделяющие градации экологического благополучия или допустимости) в отдельных группах, связанные с физико-химическими и биологическими свойствами. Анализ групп однородности с использованием средних величин, описанный выше, требует нормальности распределения значений индикатора. В связи с этим, целесообразнее применять для этих целей непараметрический метод с использованием *U*-критерия Манна-Уитни. При его использовании закон распределения значений в группах однородности не важен.

В нашем исследовании в качестве "пассивного" фактора выступает почвенная зональность. Площадь штата Айова можно разделить на 12 основных почвенных зон (ОПЗ, ориг. MSA).

Результаты сравнения значений урожайности сои между основными почвенными зонами при помощи *U*-критерия Манна-Уитни показали, что в одну группу можно объединить наблюдения, относящиеся к 3, 6 и 9 ОПЗ (не выявлено достоверных отличий между значениями индикатора в зонах, по отношению к значениям индикатора в остальных зонах объединенные зоны вели себя идентично). В другую группу можно объединить наблюдения, относящиеся к 5 и 7 ОПЗ. Остальные ОПЗ следует рассматривать как самостоятельные группы однородности.

Результаты сравнения значений урожайности люцерны показало, что в одну группу можно объединить наблюдения: 1) относящиеся к 1Т и 4 ОПЗ; 2) относящиеся к 5 и 7 ОПЗ; 3) относящиеся к 8, 9 и 11 ОПЗ.

#### **Корреляционный анализ связей между урожайностью и физико-химическими характеристиками почвенных экосистем**

Полученные коэффициенты корреляции между индикаторами и факторами для выделенных групп основных почвенных зон приведены в табл. 1 (для урожайности сои) и табл. 2 (для урожайности люцерны).

Для урожайности сои во многих группах ОПЗ установлены высокие по шкале Чеддока связи с уклоном поверхности (до  $-0.77$ ) и уровнем доступной влаги (до  $0.78$ ). Кроме того во многих группах ОПЗ установлена заметная по шкале Чеддока связь между урожайностью и Т фактором (до  $0.63$ ), содержанием песка (до  $-0.62$ ), содержанием органических веществ (до  $0.55$ ). В единичных группах ОПЗ выявлены заметные связи урожайности сои с глубиной текстурных и композиционных изменений, плотностью горизонтов, величиной ЕКО и содержанием глины.

Таблица 1. – Коэффициенты корреляции между урожайностью сои и факторами состояния почв. Жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции ( $p < 0,05$ )

Фактор	Урожайность сои по основным почвенным зонам								
	1L	1T	2	3+6+9	4	5+7	8	11	12
уклон поверхности	<b>-0.77</b>	<b>-0.73</b>	<b>-0.55</b>	<b>-0.66</b>	<b>-0.74</b>	<b>-0.75</b>	<b>-0.25</b>	<b>-0.43</b>	<b>-0.48</b>
уровень доступной влаги	<b>0.59</b>	<b>0.20</b>	<b>0.62</b>	<b>0.56</b>	<b>0.61</b>	<b>0.46</b>	<b>0.77</b>	<b>0.56</b>	<b>0.78</b>
глубина текстурных и композиционных изменений	<b>0.53</b>	<b>-0.28</b>	<b>0.26</b>	<b>0.18</b>	<b>0.15</b>	<b>0.22</b>	-0.12	<b>0.42</b>	<b>0.43</b>
плотность верхнего горизонта	<b>-0.11</b>	0.10	<b>-0.40</b>	<b>-0.47</b>	<b>-0.52</b>	<b>-0.37</b>	<b>-0.26</b>	-0.05	<b>-0.17</b>
плотность горизонта В	<b>-0.10</b>	<b>-0.22</b>	<b>-0.49</b>	<b>-0.55</b>	<b>-0.64</b>	<b>-0.36</b>	<b>-0.21</b>	0.00	<b>-0.16</b>
глубина грунтовых вод	<b>-0.29</b>	<b>-0.23</b>	<b>-0.23</b>	-0.01	<b>-0.13</b>	0.05	<b>-0.18</b>	<b>-0.20</b>	<b>-0.34</b>
содержание органического вещества	<b>0.47</b>	<b>0.48</b>	<b>0.55</b>	<b>0.50</b>	<b>0.52</b>	<b>0.47</b>	<b>0.50</b>	<b>0.23</b>	<b>0.54</b>
pH	-0.06	<b>0.23</b>	-0.02	0.03	<b>0.22</b>	<b>-0.21</b>	<b>-0.34</b>	<b>-0.13</b>	0.04
ЕКО	<b>0.32</b>	<b>0.19</b>	<b>0.55</b>	<b>0.41</b>	<b>0.11</b>	<b>0.21</b>	<b>0.42</b>	<b>0.33</b>	<b>0.56</b>
Kw	<b>-0.37</b>	-0.13	<b>0.07</b>	<b>-0.09</b>	<b>-0.15</b>	<b>-0.27</b>	<b>0.39</b>	<b>0.19</b>	<b>0.34</b>
T фактор	<b>0.60</b>	-0.16	<b>0.42</b>	<b>0.53</b>	<b>0.63</b>	<b>0.58</b>	<b>0.33</b>	<b>0.48</b>	<b>0.56</b>
мощность молликового горизонта	<b>0.39</b>	<b>0.50</b>	<b>0.31</b>	<b>0.37</b>	<b>0.49</b>	<b>0.42</b>	<b>0.37</b>	<b>0.23</b>	<b>0.30</b>
содержание глины	<b>0.09</b>	0.10	<b>0.55</b>	<b>0.35</b>	<b>-0.13</b>	<b>0.12</b>	<b>0.26</b>	<b>0.41</b>	<b>0.60</b>
содержание песка	<b>-0.15</b>	<b>-0.25</b>	<b>-0.62</b>	<b>-0.56</b>	<b>-0.53</b>	<b>-0.43</b>	<b>-0.58</b>	<b>-0.42</b>	<b>-0.57</b>

Для урожайности люцерны выявлены схожие, но более слабые связи. Так, во многих группах ОПЗ установлены заметные по шкале Чеддока связи с уклоном поверхности (до  $-0.68$ ), уровнем доступной влаги (до  $0.65$ ), T фактором (до  $0.60$ ), содержанием песка (до  $-0.62$ ). Остальные связи были достаточно слабы или незначимы.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции между урожайностью люцерны и факторами состояния почв. Жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции ( $p < 0,05$ )

Фактор	Урожайность люцерны по основным почвенным зонам							
	1L	1T+4	2	3	5+7	6	8+9+11	12
уклон поверхности	<b>-0.68</b>	<b>-0.53</b>	<b>-0.35</b>	<b>-0.46</b>	<b>-0.57</b>	<b>-0.53</b>	<b>-0.17</b>	<b>-0.36</b>
уровень доступной влаги	<b>0.56</b>	<b>0.50</b>	<b>0.49</b>	<b>0.51</b>	<b>0.54</b>	<b>0.53</b>	<b>0.46</b>	<b>0.65</b>
глубина текстурных и композиционных изменений	<b>0.50</b>	0.05	<b>0.15</b>	<b>0.08</b>	<b>0.18</b>	<b>0.10</b>	<b>0.25</b>	<b>0.35</b>
плотность верхнего горизонта	-0.04	<b>-0.35</b>	<b>-0.35</b>	<b>-0.37</b>	<b>-0.38</b>	<b>-0.47</b>	-0.04	<b>-0.10</b>
плотность горизонта В	-0.06	<b>-0.44</b>	<b>-0.39</b>	<b>-0.47</b>	<b>-0.33</b>	<b>-0.42</b>	0.03	<b>-0.16</b>
глубина грунтовых вод	-0.06	<b>0.12</b>	<b>0.17</b>	<b>0.32</b>	<b>0.35</b>	<b>0.31</b>	<b>0.30</b>	-0.02
содержание органического вещества	<b>0.35</b>	<b>0.33</b>	<b>0.25</b>	<b>0.23</b>	<b>0.24</b>	<b>0.19</b>	<b>-0.10</b>	<b>0.25</b>
pH	<b>-0.11</b>	<b>0.13</b>	<b>-0.18</b>	<b>0.25</b>	<b>-0.17</b>	<b>-0.22</b>	<b>-0.37</b>	<b>-0.11</b>
ЕКО	<b>0.22</b>	<b>-0.06</b>	<b>0.27</b>	0.00	-0.03	0.09	<b>0.13</b>	<b>0.30</b>
Kw	<b>-0.35</b>	<b>-0.13</b>	0.06	<b>-0.11</b>	<b>-0.24</b>	<b>-0.13</b>	<b>0.11</b>	<b>0.27</b>
T фактор	<b>0.58</b>	<b>0.60</b>	<b>0.32</b>	<b>0.55</b>	<b>0.56</b>	<b>0.41</b>	<b>0.35</b>	<b>0.47</b>
мощность молликового горизонта	<b>0.29</b>	<b>0.31</b>	<b>0.07</b>	<b>0.12</b>	<b>0.20</b>	<b>0.13</b>	-0.02	<b>0.12</b>
содержание глины	0.03	<b>-0.14</b>	<b>0.35</b>	0.01	<b>-0.06</b>	<b>0.17</b>	<b>0.18</b>	<b>0.40</b>
содержание песка	<b>-0.14</b>	<b>-0.30</b>	<b>-0.49</b>	<b>-0.44</b>	<b>-0.37</b>	<b>-0.49</b>	<b>-0.27</b>	<b>-0.44</b>

Большинство связей между урожайностью и характеристиками почв были хотя и значимы, но достаточно слабы. Выявленная значимость, в первую очередь, обусловлена большим размером исходного массива данных. Результаты анализа свидетельствуют о том, что функциональных зависимостей между индикаторами и факторами нет.

Довольно низкие величины коэффициентов корреляции говорят о целесообразности продолжения исследований связей при помощи метода ЛЭН.

### **Список использованных источников**

1. Левич А.П., Булгаков Н.Г., Максимов В.Н. Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга. М.: НИА-Природа, 2004. – 271 с.

2. Рисник Д.В., Левич А.П., Фурсова П.В., Гончаров И.А. Алгоритм метода по расчету границ качественных классов для количественных характеристик систем и по установлению взаимосвязей между характеристиками. Часть 1. Расчеты для двух качественных классов. Компьютерные исследования и моделирование 8, 1 (2016), 19–36.

3. Boody G., Vondracek B., Andow D.A., Krinke M., Westra J., Zimmerman J., Welle P. Multifunctional agriculture in the United States. *BioScience* 55, 2005. P. 27-38.

4. Broussard W., Turner, R.E. A century of changing land-use and water-quality relationships in the continental US. *Front. Ecol. Environ.* 7. 2009. P. 302-307.

5. Brown P.W., Schulte L.A. Agricultural landscape change (1937-2002) in three townships in Iowa, USA. *Landsc. Urban Plan.* 100. 2011. P. 202-212.

6. Chase C., Duffy M. An economic comparison of conventional and reduced-chemical farming systems in Iowa. *Am. J. Alternative Agric.* 6. 1991. P. 168-173.

7. Gassman P.W., Williams J.R., Wang X., Saleh A., Osei E., Hauck L.M., Izaurralde R.C., Flowers J.D. The agricultural policy/environmental extender (APEX) model: an emerging tool for landscape and watershed environmental analyses. *Transactions of the ASABE.* 53 (3). 2010. P. 711-740.

8. Iowa soil properties and interpretations database (ISPAID 8.1.1), ред. от 28.06.2017. URL: <https://www.extension.iastate.edu/soils/ispaid> (дата обращения: 10.11.2017)

9. Karlen D.L. Cropping systems: Rain-fed maize-soybean rotations of North America. 2004. P. 358-362.