

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПОЧВОЗАЩИТНАЯ ОБРАБОТКА ПАХОТНЫХ ПОЧВ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Ю.А. Кузыченко¹, К.А. Катков²

^{1,2} ФГБНУ Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр

¹ Гл. науч. сотр., д-р с.-х. наук; e-mail: smc.yuka@yandex.ru

² Вед. науч. сотр., канд. техн. наук; e-mail: kkatkoff@mail.ru

Пахотные почвы Ставрополя подвержены влиянию различных природных и техногенных факторов, ухудшающих почвенное плодородие, поэтому разработка ряда определенных почвозащитных мероприятий является важной практической задачей. Процессы, влияющие на почву, имеют, как правило, комплексный характер и включают в себя определенное число факторов (водная эрозия, дефляция и т. д.), которые в той или иной степени проявляются на определенном типе черноземных и каштановых почв. Основная задача заключается в комплексной оценке состояния почв пашни на основе информации о площадях факторов, влияющих на почвы в районах обследования края. Для этой цели используется расчетный метод главных компонент, позволяющий получить значения комплексного показателя состояния почвы (КПСП). Установлено, что в главную компоненту PC_1 входят значимые факторы: солончаки и засоленные почвы; солонцы и смытые почвы. В компоненту PC_2 – дефлированные и переувлажненные почвы. Основной вклад в компоненту PC_3 вносит фактор: почвы, разрушенные совместным проявлением эрозии и дефляции.

Координаты расчетной точки BST и значения КПСП (D_i) определяются и рассчитываются в подпространстве выделенных главных компонент. Далее методом группировки данных проводится ранжирование районов обследования края по значению КПСП с выделением групп районов с удовлетворительным, посредственным и неудовлетворительным уровнем состояния почв и представление данных КПСП в картографическом виде. Анализ данных карты-схемы размещения определенных типов почв по территории края и сравнение их с данными на карте уровня состояния почв по точкам обследования позволяет сделать вывод о том, что в большинстве случаев определенным негативным факторам почвенно-климатического характера и генезиса почв соответствует неудовлетворительный уровень состояния почвы по значению КПСП (D_i). На основании комплексной оценки уровня состояния почв разработаны конкретные почвозащитные мероприятия по основной обработке почвы: в зонах с удовлетворительным уровнем – энергосберегающие технологии с отвальной обработкой только в системе полупара; с посредственным уровнем – комбинированное безотвальное рыхление; при неудовлетворительном уровне состояния почв – мелкие мульчирующие обработки до 10–12 см в дефляционных районах и глубокое чизелевание до 40 см на солонцовых почвах.

Ключевые слова: почвенная карта, метод главных компонент, техногенные факторы, почвенное плодородие, уровень состояния почвы, районы обследования

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.3.3

ВВЕДЕНИЕ

Стабилизация устойчивости агроландшафтного каркаса почв Ставропольского края связана с информационным обеспечением состояния почвенного покрова, подверженного различным видам воздействия, ухудшающим почвенное плодородие [Кулинцев и др., 2013; Trofimov et al., 2019]. В первую очередь речь идет о наличии и пространственном размещении солонцов и солонцеватых комплексов, площадь которых составляет 339,7 тыс. га. Кроме того, одним из важнейших факторов, непосредственно влияющих на ухудшение плодородия почв, является водная и ветровая эрозия и их совместное проявление, которым, по оценке разных авторов, подвергается до 75% тер-

ритории пахотных земель [Stagnari et al., 2019; Klik, Rosner, 2020]. Известны научные работы теоретического и прикладного характера, касающиеся оценки параметров и качества почвенного покрова, определяемого количеством почвенных таксонов на определенной территории и их взаимным расположением с оценкой таксономического разнообразия свойств почв [Смирнова, Геннадиев, 2017; Герасимова и др., 2020]. Однако, многообразие различных типов и подтипов почв в крае с неоднозначной технологической и природной нагрузкой на них приводит к необходимости выработки определенного обобщенного комплексного показателя состояния почвы (КПСП) в том или ином районе обследования края. Такая оценка проводится с

учетом выбранного набора критериальных факторов и площади каждого фактора в определенном районе обследования. Формируемый обобщенный показатель предполагает более дифференцированный подход к оценке уровня состояния почвы в определенном районе обследования края и представлении данных в картографическом виде. Подобная дифференциация районов края по уровню состояния пахотных почв позволит принимать оптимальные решения по внедрению различных способов механического воздействия на почвенный пласт, оказывающих почвозащитный эффект и в определенной степени устраняющих негативные процессы воздействия на почву.

Цель работы – провести ранжирование районов обследования края по значению КПСП, представить данные в картографическом виде и разработать конкретные рекомендации по системам обработки почвы в районах обследования.

Объект исследований. Территория Ставропольского края расположена в зонах Центрального и Восточного Предкавказья. Данная территория включает пять почвенно-климатических районов: крайне засушливый; засушливый; неустойчивого увлажнения; умеренно влажный; избыточно влажный. Гидротермический коэффициент (ГТК) обследуемой территории колеблется в диапазоне от 0,5 до 1,3. Годовое количество осадков находится в диапазоне 384–689 мм. Почвы представлены черноземами обыкновенными и южными, каштановыми, темно- и светло-каштановыми почвами, имеющими различный механический состав. В настоящей статье представлена карта-схема основных типов и подтипов почв в Ставропольском крае (рис. 1) [Кулинцев и др., 2013; Куприченков, 2005].

Основные почвенные факторы по районам обследования в крае и охватываемые ими площади представлены в таблице 1.

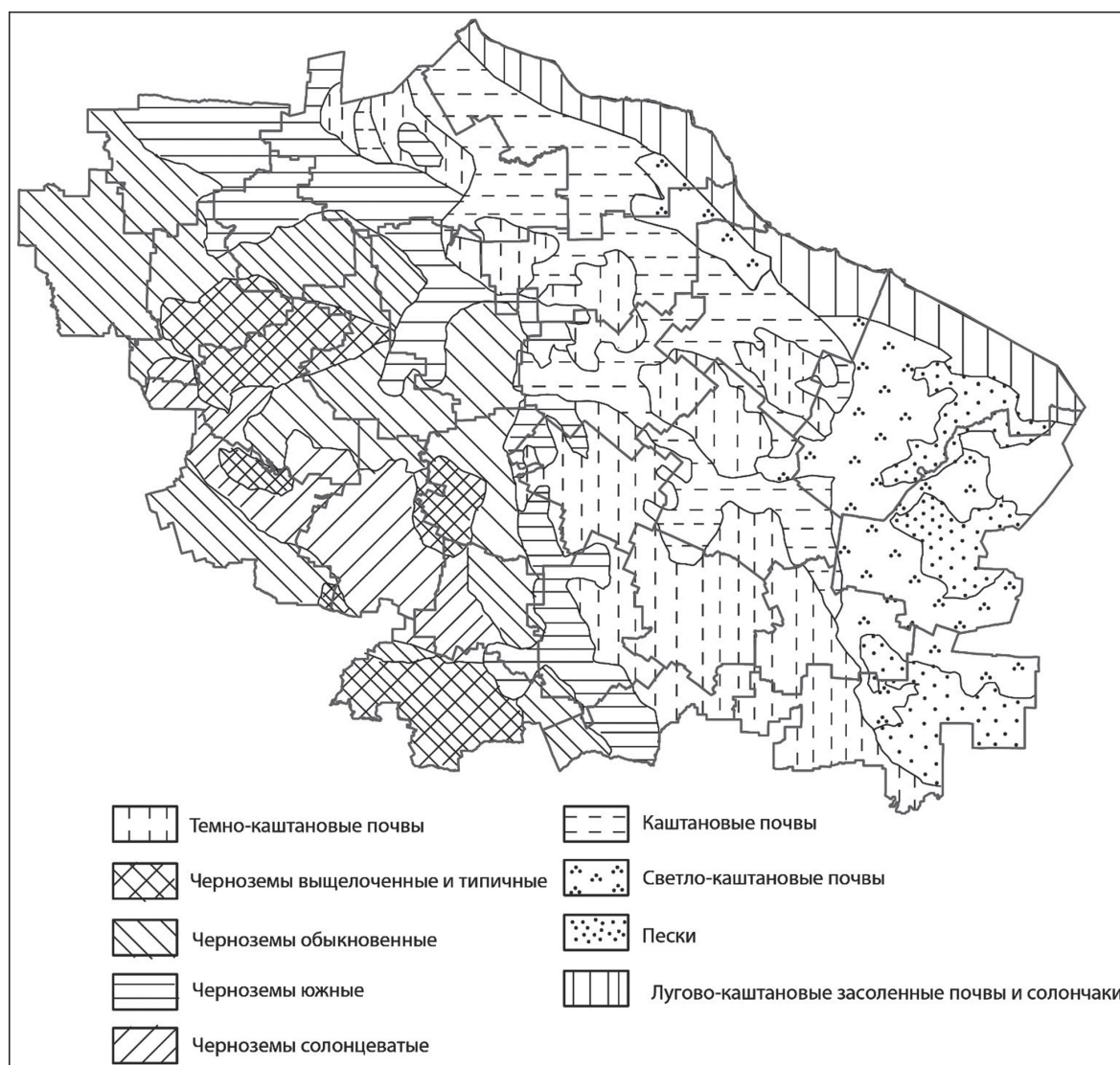


Рис. 1. Основные типы и подтипы почв Ставропольского края

Fig. 1. Main types and subtypes of soils in the Stavropol region

Таблица 1

Площади пашни по факторам обследования в различных районах края, %

№ п/п	Районы обследования	Факторы обследования					
		1	2	3	4	5	6
1	Апанасенковский	26,4	32,3	21,1	1	0	0,1
2	Арзгирский	32,6	25,3	4,7	43,5	6,6	0,6
3	Левокумский	14,5	7,8	22,1	2,9	10,7	8,9
4	Нефтекумский	48,6	5,3	25,7	0,5	0	2,3
5	Ипатовский	8,8	2,4	1,8	1,3	3,2	1,7
6	Туркменский	21,7	33,4	5	12,3	0	0,2
7	Благодарненский	2,9	13,7	8,6	16,1	8	0,7
8	Новоселицкий	1,2	0	9,7	25,7	5,2	0,4
9	Буденновский	2,1	0	4,1	8,3	1,1	1,4
10	Советский	9,2	0	8,2	7,9	0	2,9
11	Степновский	0,6	0	0	2	0	0,1
12	Курский	1,2	0	6,5	0,2	0	0,7
13	Красногвардейский	8,7	0,3	4	10	0,7	6,9
14	Новоалександровский	0,3	0	7,7	13,4	1,2	0,3
15	Изобильненский	9,4	1,1	14	16,1	1,6	1,9
16	Труновский	14,6	0,3	3,7	2,6	0,4	2
17	Грачевский	8,9	15,1	29,4	10,8	1,2	0,2
18	Шпаковский	37,6	17,6	28,7	33,2	2,6	14,3
19	Кочубеевский	32,9	17,2	14,5	23,4	0	7,2
20	Андроповский	76	25,6	1,3	37,9	0,1	2,4
21	Минераловодский	34,9	6,9	5,5	36,4	0,2	7,2
22	Петровский	8,5	7	31,7	8,4	1,2	0,1
23	Александровский	10,8	3,1	6,4	9,1	0,5	5,4
24	Георгиевский	6,8	3,3	2	14	0	2,4
25	Кировский	0	0	12,5	1,4	5,5	0,4
26	Предгорный	8,5	5,6	1,3	45,8	0	24,9

Примечание. Номер фактора обследования: 1 – солончаки и засоленные почвы; 2 – солонцы; 3 – дефлированные почвы; 4 – смытые почвы; 5 – почвы, разрушенные совместным проявлением эрозии и дефляции; 6 – переувлажненные почвы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходные измеряемые почвенные факторы, очевидно, могут быть зависимы между собой. Поэтому для формирования обобщенного показателя состояния почвы (КПСП) в числовом виде предлагается использовать метод главных компонент (Principal Component Analysis, PCA) [Айвазян и др., 1989; Зиновьев, 2000; Дубров, 1978; Gorban et al., 2007]. Применение этого метода позволит сократить размерность вектора исходных параметров путем перехода к новым переменным (главным компонентам), которые не коррелированы между собой.

Идея формирования КПСП состоит в следующем. С помощью метода PCA необходимо получить подпространство главных компонент. При этом число отобранных главных компонент определяет-

ся на основании величины объясненной дисперсии исходных параметров (80–90%). Остальные компоненты отбрасываются. Если число отобранных главных компонент равно k , то каждому i -му району в подпространстве отобранных главных компонент будет соответствовать вектор, элементами которого будут координаты главных компонент из матрицы счетов PC :

$$[PC_1^i, PC_2^i, \dots, PC_k^i], (i = 1, \dots, h), \quad (1)$$

где h – количество районов обследования.

В выделенном подпространстве главных компонент определяется опорная точка BST. Эта точка соответствует гипотетическому варианту почвы, у которой все используемые почвенные факторы имеют минимальное значение ($X^{\min}$) (см. табл. 1).

Координаты точки BST в подпространстве главных компонент определяются выражением:

$$PC_j^{\text{BST}} = \sum_{m=1}^n a_{mj} X_m^{\min}, \quad (j=1, \dots, k), \quad (2)$$

где a_{mj} – компонентная нагрузка исходного признака m по компоненте j ; n – количество исходных параметров деградации почвы, используемых для формирования КПСП.

Таким образом, в подпространстве выбранных k главных компонент получаем h точек с координатами (1) и опорную точку с координатами, определяемыми выражением (2).

Далее в подпространстве выбранных главных компонент рассчитывается КПСП (D_i), который определяется как евклидово расстояние между каждой из h точек, характеризующих почву оцениваемого района, и опорной точкой BST:

$$D_i = \sqrt{(PC_1^i - PC_1^{\text{BST}})^2 + (PC_2^i - PC_2^{\text{BST}})^2 + \dots + (PC_k^i - PC_k^{\text{BST}})^2}, \quad (i=1, \dots, h). \quad (3)$$

Районами с удовлетворительным уровнем состояния почв будут являться те, в которых значение D_i будет наименьшим. Предложенную методику иллюстрирует рисунок 2, представленный для случая трех выделенных главных компонент (PC_1, PC_2, PC_3). На этом рисунке точками A, B и C обозначены координаты оцениваемых районов в подпространстве главных компонент. Для реализации метода PCA используется интегрированный математический пакет MATLAB.

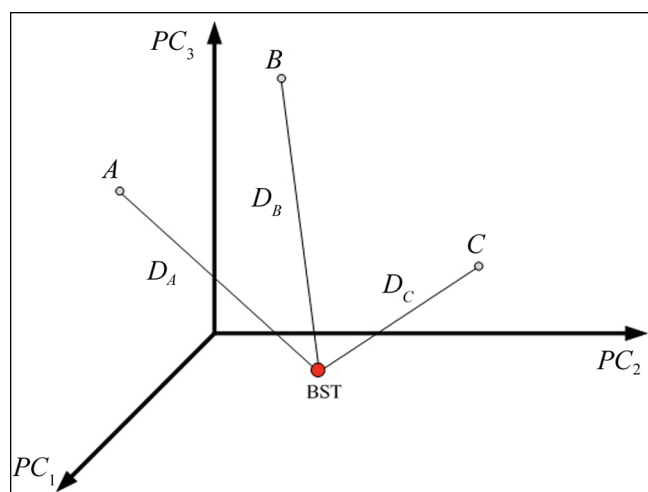


Рис. 2. Пример нахождения КПСП почвы для случая трех выделенных главных компонент

Fig. 2. An example of finding the CISS for a case of three selected main components

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка состояния пахотных почв по КПСП проводится по двадцати шести районам обследования Ставропольского края ($h = 26$) с количеством измеряемых факторов состояния почвы равным шести ($n = 6$). Значения представленных выше исходных факторов, используемых при формировании КПСП, приведены в таблице 1 [Кулинцев и др., 2013].

Перед применением метода PCA необходимо проверить степень коррелированности исходных данных между собой. Для этого необходимо построить корреляционную матрицу. Результат расчета корреляционной матрицы представлен в таблице 2.

Таблица 2

Корреляционная матрица исходных параметров

Номер фактора обследования	Номер фактора обследования						
		1	2	3	4	5	6
	1	–	0,603	0,141	0,445	–0,173	0,138
	2	–	–	0,209	0,342	0,024	–0,028
	3	–	–	–	–0,182	0,16	–0,011
	4	–	–	–	–	0,037	0,528
	5	–	–	–	–	–	–0,042
	6	–	–	0	–	–	–

Анализ данных таблицы 2 показывает, что в исходных параметрах присутствуют величины, заметно коррелированные между собой. Поэтому для сокращения размерности задачи и расчета КПСП оправдан переход к некоррелированным переменным, осуществляемый методом PCA. Собственные значения (λ) полученных главных компонент представлены в таблице 3. По правилу Кайзера рекомендуется оставлять только те главные компоненты, которые удовлетворяют условию $\lambda_i \geq 1$. Применение этого правила позволило выделить три первых главных компоненты PC_1, PC_2 и PC_3 . Таким образом, размерность задачи снижается и можно перейти к подпространству трех главных компонент, которые ортогональны друг другу, т. е. являются независимыми.

Таблица 3

Собственные значения (λ) по осям главных компонент

Главная компонента	Собственное значение λ
PC_1	2,071
PC_2	1,366
PC_3	1,102
PC_4	0,839
PC_5	0,349
PC_6	0,273

Имеет смысл оценить вклад исходных факторов состояния почв в каждую из выделенных главных компонент. Для этого необходимо оценить абсолютные значения матрицы нагрузок, полученные в процессе применения метода PCA. Матрица нагрузок для первых трех главных компонент представлена в таблице 4.

В первую главную компоненту PC_1 наибольший вклад вносят такие факторы, как площади со-

лончаков и засоленных почв, площади солонцов и смытые почвы. Во вторую главную компоненту PC_2 – дефлированные и переувлажненные почвы. Основной вклад в третью главную компоненту PC_3 вносит фактор почв, разрушенных совместным проявлением эрозии и дефляции. Далее в подпространстве выделенных главных компонент определяются координаты опорной точки BST и рассчитываются, согласно (3), значения КПСП (D_i).

Таблица 4

Матрица нагрузок для первых трех главных компонент

№ п/п	Факторы деградации почвы	Главные компоненты		
		PC_1	PC_2	PC_3
1	Площади солончаков и засоленных почв	0,573	0,210	–0,254
2	Площади солонцов	0,501	0,419	–0,119
3	Дефлированные почвы	0,066	0,605	0,301
4	Смытые почвы	0,549	–0,346	0,203
5	Почвы, разрушенные совместным проявлением эрозии и дефляции	–0,065	0,222	0,804
6	Переувлажненные почвы	0,334	–0,495	0,378

Районы края группировались в соответствии с полученными значениями КПСП (табл. 5). Для этого, используя метод группировки данных, вся выборка значений КПСП была разделена на три класса [Афифи, Эйзен, 1982]. Величина классового интервала (h) определялась согласно выражению:

$$h = \frac{D^{\max} - D^{\min}}{3}, \quad (4)$$

где $D^{\max}$ и $D^{\min}$ – максимальное и минимальное значения показателя состояния почв D_i соответственно.

Рассчитанное значение классового интервала $h = 1,744$. Тогда районы, в которых величина $D < 1,842$, имеют почвы с удовлетворительным состоянием. Районы, где КПСП принимает значения $1,842 \leq D \leq 3,586$, характеризуются посредственным уровнем состояния почв. Районы, где $D > 3,586$, характеризуются неудовлетворительным состоянием почв. Данные таблицы 5 представлены в картографическом виде на рисунке 3.

Анализ картографических материалов (см. рис. 1, 3) показывает, что неудовлетворительное состояние светло-каштановых и каштановых почв северо-восточных и восточных районов края связано с высокой дефляционной нагрузкой. Аналогичным состоянием почв характеризуется и юго-западная часть края, где отмечается наличие солонцов и переувлажненных почв. Разработка перспективных систем почвозащитной обработки почвы в концепции

новой системы земледелия [Кулинцев и др., 2013] предполагает внедрение энергосберегающих технологий в районах с удовлетворительным состоянием почв. При этом оборот пласта почвы рекомендуется только в системе полупаровой обработки. Приемлемый уровень состояния почв ориентирует на проведение комплекса почвозащитных безотвальных разноглубинных обработок под отдельные культуры севооборота. На почвах с неудовлетворительным состоянием, связанным с дефляционными процессами, задачей основной обработки является создание мульчирующего почвозащитного слоя комбинированными агрегатами, на солонцовых почвах – глубокое чизелевание до 40 см (табл. 6).

ВЫВОДЫ

Применение метода главных компонент с разработкой обобщенного комплексного показателя (D_i) позволяет дифференцированно оценить состояние почв в обследуемых районах края.

В районах с неудовлетворительным состоянием светло-каштановых и каштановых почв с высокой степенью дефляционных процессов рекомендуется применение мелких мульчирующих обработок.

Солонцеватые черноземные почвы в юго-западной части края требуют улучшения водно-физических свойств путем глубокого чизелевания до 40 см.

Посредственный уровень состояния черноземных почв предполагает применение безотвальных разноглубинных обработок в севообороте.

Таблица 5

Уровень состояния почвы по районам обследования

№ района обследования	Районы обследования	Комплексный показатель состояния почвы (D_i)	Уровень состояния почвы
11	Степновский	0,0983	Удовлетворительный
12	Курский	0,4469	
16	Труновский	0,7542	
9	Буденновский	0,7671	
10	Советский	0,9383	
14	Новоалександровский	0,9840	
5	Ипатовский	1,1028	
24	Георгиевский	1,1187	
23	Александровский	1,3478	
13	Красногвардейский	1,4185	
15	Изобильненский	1,6839	
25	Кировский	2,2672	Посредственный
8	Новоселицкий	2,3709	
22	Петровский	2,7965	
4	Нефтекумский	3,0361	
17	Грачевский	3,0558	
7	Благодарненский	3,1392	
6	Туркменский	3,2133	
21	Минераловодский	3,4024	
19	Кочубеевский	3,4272	
1	Апанасенковский	3,8412	Неудовлетворительный
2	Арзгирский	4,4054	
3	Левокумский	4,6137	
18	Шпаковский	5,0013	
26	Предгорный	5,2870	
20	Андроповский	5,3294	

Таблица 6

Системы основной обработки почвы в районах с различной уровнем состояния почвы

Уровень состояния почвы	Зоны края	Система основной обработки почвы
Удовлетворительный, $D < 1,842$	Северо-западная и юго-восточная	Энергосберегающие системы основной обработки почвы с оборотом пласта только под полупар
Посредственный, $1,842 < D < 3,586$	Центральная	Комбинированная безотвальная разнотрубинная обработка
Неудовлетворительный, $D > 3,586$	Северо-восточная, восточная	Почвозащитная мульчирующая обработка почвы
	Юго-западная	Чизельная обработка до 40 см

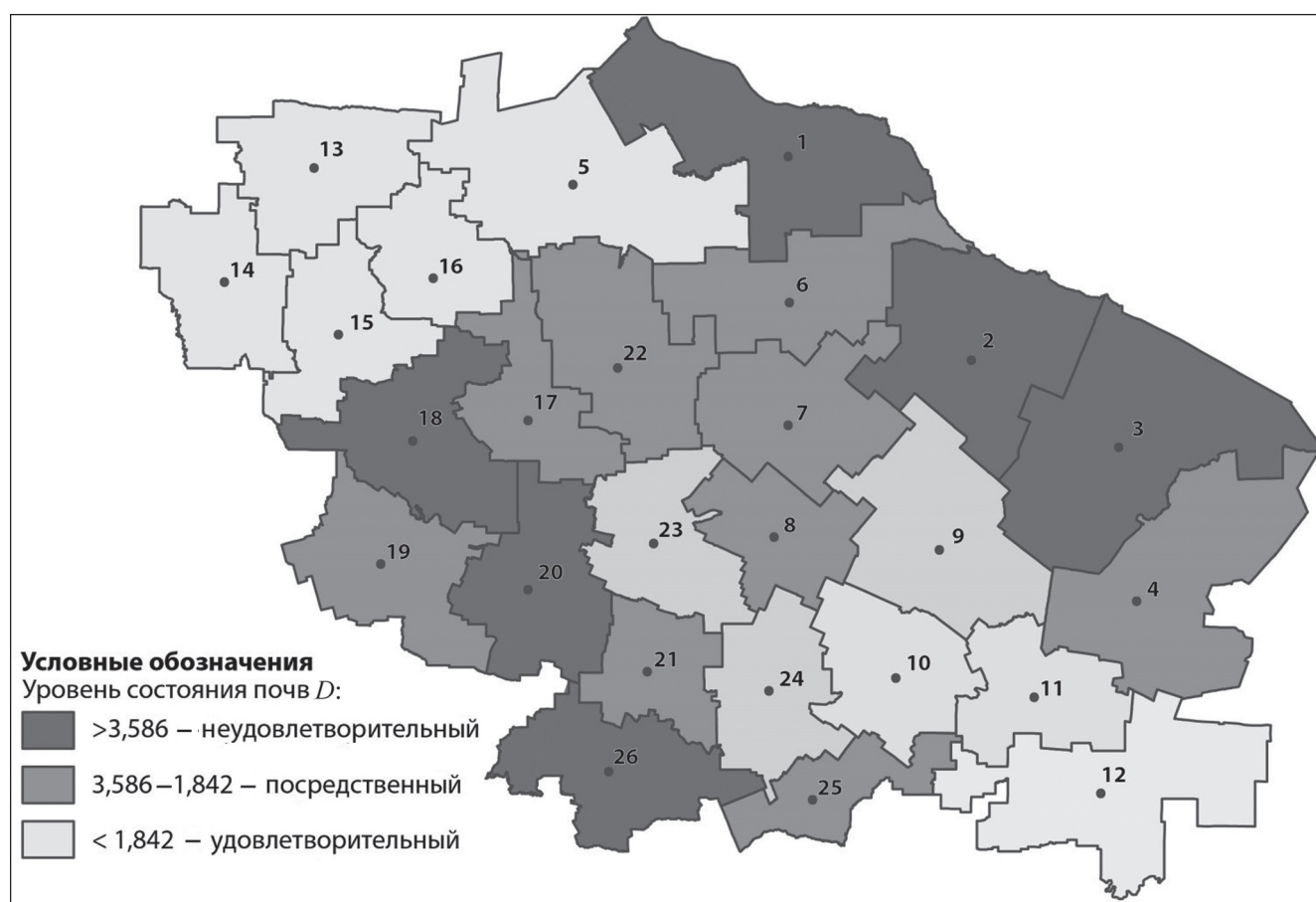


Рис. 3. Районы Ставропольского края с обозначением уровня комплексного показателя состояния почвы D
Fig. 3. Districts of the Stavropol region with indication of the level of complex indicator of the state of soil D

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Айвазян В.М., Бухштабер И.С., Енюков Л.Д., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с.
- Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ. М.: Мир, 1982. 488 с.
- Герасимова М.И., Головлева Ю.А., Лаврова А.М., Красильников П.В. Количественная оценка почвенного разнообразия при разных масштабах исследования на примере Республики Карелии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2020. № 3. С. 47–52.
- Дубров А.М. Обработка статистических данных методом главных компонент. М.: Статистика, 1978. 136 с.
- Зиновьев А.Ю. Визуализация многомерных данных. Красноярск: Изд-во КГТУ, 2000. 180 с.
- Кулинцев В.В., Годунова Е.И., Желнакова Л.И. и др. Система земледелия нового поколения Ставропольского края. Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2013. 520 с.
- Куприченко М.Т. Почвы Ставрополя. Ставрополь: Ставропольская краевая типография, 2005. 423 с.
- Смирнова М.А., Геннадиев А.Н. Количественная оценка почвенного разнообразия: теория и методы исследования // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2017. № 4. С. 3–11.
- Stagnari F., Galieni A., D'Egidio S., Pagnani G., Pisante M. Sustainable soil management. *Innovations in sustainable agriculture*, 2019, p. 105–131, DOI: 10.1007/978-3-030-23169-9_5.
- Trofimov I.A., Trofimova L.S., Yakovleva E.P., Oparina O.S., Oparin M.L. Scientific Bases for Ensuring Productive Longevity of Agrolandscapes in Russia, *Biology Bulletin*, 2019, vol. 46, no. 10, p. 1442–1447.
- Klik A., Rosner J. Long-term experience with conservation tillage practices in Austria: Impacts on soil erosion processes *Soil and Tillage Research*, 2020, 203 p.
- Электронный источник
Gorban A., Keg B., Wunsch D., Zinovyev A. *Principal Manifolds for Data Visualization and Dimension Reduction*, LNCSE 58, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2007, URL: <http://pca.narod.ru/> (дата обращения 30.04.2021).

Поступила в редакцию 07.12.2021
После доработки 05.10.2022
Принята к публикации 01.12.2022

ASSESSMENT OF THE STATE AND PROTECTION TREATMENT OF ARABLE SOILS IN THE STAVROPOL TERRITORY

Yu.A. Kuzychenko¹, K.A. Katkov²

^{1,2} FGBNU North Caucasus Federal Agricultural Research Center

¹ Chief Scientific Researcher, D.Sc. in Agricultural Sciences; e-mail: smc.yuka@yandex.ru

² Leading Scientific Researcher, Ph.D. in Technical Sciences; e-mail: kkatkoff@mail.ru

The arable soils of Stavropol are affected by various natural and man-made factors that reduce soil fertility, therefore, the development of a number of specific soil protection measures is an important practical task. The processes affecting the soil are usually complex and include a certain number of factors (water erosion, deflation, etc.), which are more or less manifested on a certain type of chernozem and chestnut soils. The main task is to comprehensively assess the state of arable soils based on the information about the areas of factors affecting soils in the survey areas. For this purpose, the calculation method of main components is used, which allows to obtain the values of the complex indicator of the state of soil (CISS). It was found that the main component PC_1 includes the following significant factors: solonchaks and saline soils; salt marshes and washed away soils. The PC_2 component includes deflated and waterlogged soils. The main contribution to the PC_3 component is by the following factor: soils destroyed by combined erosion and deflation.

The coordinates of the calculated point BST and the values of the CISS (D_i) are determined and calculated in the subspace of selected principal components. Then by the method of data grouping, the surveyed areas of the region are ranked according to the CISS values and the groups of areas with satisfactory, moderate and unsatisfactory soil conditions are formed, and the CISS data are presented in cartographic form. The analysis of the map-scheme of certain types of soils over the territory of the region and their comparison with the data of the map of soil state level at the survey points allows to conclude that in most cases certain negative factors of soil-climatic character and soil genesis correspond to the unsatisfactory level of soil state according to the CISS values (D_i). Based on the comprehensive assessment of the soil state level, specific soil protection measures have been developed for basic tillage: energy-saving technologies with dump processing of semi-fallow lands in the areas with a satisfactory level; combined subsurface loosening in the areas with moderate level; and shallow mulching treatment down to 10–12 cm in deflationary areas and deep chiseling down to 40 cm on saline soils with unsatisfactory level of soil state.

Keywords: soil map, method of main components, technogenic factors, soil fertility, level of the state of soil, survey areas

REFERENCES

- Afifi A., Ejzen S. *Statisticheskij analiz: Podhod s ispol'zovaniem EVM* [Statistical Analysis: A Computer-Based Approach], Moscow, Mir Publ., 1982, 488 p. (In Russian)
- Ajvazyan V.M., Bukhshtaber I.S., Enyukov L.D., Meshalkin L.D. *Prikladnaya statistika. Klassifikatsiya i snizhenie razmernosti* [Applied statistics. Classification and dimension reduction], Moscow, Financial statistics, 1989, 607 p. (In Russian)
- Dubrov A.M. *Obrabotka statisticheskikh dannykh metodom glavnykh component* [Statistical data processing by the method of principal components], Moscow, Statistika Publ., 1978, 136 p. (In Russian)
- Gerasimova M.I., Golovleva Yu.A., Lavrova A.M., Krasil'nikov P.V. *Kolichestvennaya otsenka pochvennogo raznoobraziya pri raznykh masshtabakh issledovaniya na primere respublikii Karelii* [Quantitative assessment of soil diversity at different scales of research (case study of the Republic of Karelia)], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2020, no. 3, p. 47–52. (In Russian)
- Klik A., Rosner J. Long-term experience with conservation tillage practices in Austria: Impacts on soil erosion processes *Soil and Tillage Research*, 2020, 203 p.
- Kulinczev V.V., Godunova E.I., Zhelnakova L.I. et al. *Sistema zemledeliya novogo pokoleniya Stavropol'skogo kraja* [The new generation farming system of the Stavropol Territory], Stavropol', AGRUS Stavropol State Agrarian University Publ., 2013, 520 p. (In Russian)
- Kuprichenkov M.T. *Pochvy Stavropol'ya* [Soils of Stavropol], Stavropol', Stavropol regional printing house, 2005, 423 p. (In Russian)
- Smirnova M.A., Gennadiyev A.N. *Kolichestvennaya otsenka pochvennogo raznoobraziya: teoriya i metody issledovaniya* [Quantitative Assessment of Soil Diversity: Theory and Methods of Study], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2017, no. 4, p. 3–11. (In Russian)
- Stagnari F., Galieni A., D'Egidio S., Pagnani G., Pisante M. Sustainable soil management. Innovations in sustainable agriculture, Moscow, 2019, p. 105–131.
- Trofimov I.A., Trofimova L.S., Yakovleva E.P., Oparina O.S., Oparin M.L. Scientific Bases for Ensuring Productive Longevity of Agrolandscapes in Russia, *Biology Bulletin*, 2019, vol. 46, no. 10, p. 1442–1447.
- Zinov'ev A.Yu. *Vizualizatsiya mnogomernykh dannykh* [Multidimensional data visualization], Krasnoyarsk, Krasnoyarsk State Technical University Publ., 2000, 180 p. (In Russian)
- Web source*
Gorban A., Keg B., Wunsch D., Zinovyev A. *Principal Manifolds for Data Visualization and Dimension Reduction*, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2007, URL: <http://pca.narod.ru> (access date 30.04.2021).

Received 07.12.2021

Revised 05.10.2022

Accepted 01.12.2022