

УДК 911.6:912.43:631.44 (470.322)

**АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ И ПЕРСПЕКТИВЫ  
УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ****Галаганова Л.А.***ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», Москва,  
e-mail: lyub-galagano@yandex.ru*

В данной статье рассмотрена важность сохранения почвенного покрова как основного условия обеспечения продовольственной безопасности и устойчивого развития региона. Объектом исследования выбраны изменения состояние почвенного покрова Липецкой области. Данный регион является одним из староосвоенных с преобладанием черноземных почв, требующих особого внимания и охраны. Целью данной работы является оценка степени изменения состояния плодородия почв Липецкой области под действием растущей антропогенной нагрузки и интенсификации сельскохозяйственного использования. Работа выполнена по материалам агрохимического обследования и картам, отражающим кислотность, обеспеченность почв гумусом, подвижными соединениями фосфора и калия, а также радиоактивное загрязнение. Исходя из особенностей исходных данных была создана методика геопространственного кластерного анализа и оценки изменений агрохимического состояния на примере данного региона с использованием разработанного автором индекса изменений. Изучено состояние почвенного покрова Липецкой области в период с 2006 по 2017 г. по ряду основных геохимических показателей, проведено сравнение с картами, содержащими исторические данные. С помощью комплексного индекса изменений, также предложенного автором, выполнена обобщенная оценка состояния почв области. Нами предложена классификация степени изменений состояния почв. В результате проведенных исследований установлено, что состояние почв Липецкой области за данный период существенно изменилось по всем учитываемым показателям. Среди позитивных изменений можно отметить существенное снижение загрязнения Cs-137. В целом выявлено преобладание негативных изменений на большей части площади земель сельскохозяйственного назначения Липецкой области, что свидетельствует о необходимости принятия мер для поддержания плодородия почв для сохранения устойчивости развития региона.

**Ключевые слова:** агрохимическое состояние почв, устойчивое развитие, Липецкая область, плодородие почв, геопространственный анализ, кластерный анализ

**ANALYSIS OF SOIL CONDITION AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT  
IN LIPETSK REGION****Galaganova L.A.***State University of Land Management, Moscow, e-mail: lyub-galagano@yandex.ru*

This article discusses the importance of soil conservation as the main condition for food security and sustainable development of the region. The object of the study selected changes in the state of the soil cover of the Lipetsk region. This region is one of the old developed regions with a predominance of black soil requiring special attention and protection. The aim of this work is to assess the degree of changes in soil fertility of the Lipetsk region under the influence of growing anthropogenic load and intensification of agricultural use. The work was carried out on the materials of agrochemical examination and maps showing acidity, soil humus, mobile compounds of phosphorus and potassium, as well as radioactive contamination. Based on the characteristics of the source data, a method of geospatial cluster analysis and evaluation of changes in the agrochemical state on the example of the region using the index of changes developed by the author. The state of the soil cover of the Lipetsk region in the period from 2006 to 2017 years for number of basic geochemical indicators, a comparison with maps containing historical data. With the help of a complex index of changes, also proposed by the author, a generalized assessment of the state of the soils of the region. As a result of our research it was found that the soil condition of the Lipetsk region during this period has changed significantly for all the indicators taken into account. We have proposed a classification of the degree of changes in the state of soils. Among the positive changes can be noted a significant reduction in pollution of Cs-137. In General, the prevalence of negative changes in most of the agricultural land area of the Lipetsk region was revealed, which indicates the need for measures to maintain soil fertility to maintain the sustainability of the region.

**Keywords:** agrochemical state of soils, sustainable development, Lipetsk region, soil fertility, geospatial analysis, cluster analysis

В конце XX в. человечество осознало ограниченность ресурсов Земли, международное сообщество выбрало в качестве стратегии дальнейшего существования «устойчивое развитие». Этот путь предполагает удовлетворение потребностей настоящего времени, не ставя под угрозу обеспеченность будущих поколений ресурсами необходимыми для жизни [1].

Почвы – это фундамент, обеспечивающий продовольственную безопасность, поэтому важность контроля и поддержания хорошего состояния почвенного покрова несомненна. Сохранение качества почвенного покрова – это одна из приоритетных целей устойчивого развития и одно из обязательных условий дальнейшего выживания человечества.

Серьезная заинтересованность науки в понимании механизмов возникновения и развития почв возникла в 70-е гг. XIX в., уже тогда начали отмечать первые признаки снижения плодородия. Основоположник почвоведения В.В. Докучаев писал: «Почвы и грунты есть зеркало и вполне правдивое отражение, результат векового взаимодействия между водой, воздухом, землей, с одной стороны, растительностью и животными организмами и возрастом страны – с другой» [2]. На протяжении всего XX века на почвы помимо природных активно влияли другие факторы: интенсификация сельского хозяйства, промышленность, коммунальное хозяйство и транспорт. В данной работе будет оцениваться изменение состояния почвенных ресурсов черноземно-степной зоны, на примере Липецкой области для последующего анализа устойчивости развития данного региона.

Липецкая область является одним из староосвоенных регионов России, с преобладанием промышленности и сельского хозяйства в структуре ВВП – 55,5% (2017 г.). В настоящий момент отмечается рост доли сельского хозяйства в структуре ВВП области с 7,1% в 2005 г. до 12,5% – 2017 г., что не может не сказаться на состоянии почвенного покрова [3].

При этом регион обладает выдающимся почвенным богатством и разнообразием: 82% площади занимают черноземы степные и их гидроморфные аналоги, 11,3% – лесостепные серые лесные, 1,1% – пойменные почвы, и только 1% – пески и песчаные почвы, 4% – почвы балочных склонов. Земли сельскохозяйственного назначения составляют 80% области [4]. Необходимость сохранения качества почвенного покрова в данном регионе делает необходимым постоянный контроль за его состоянием.

Цель исследования: выявление и оценка степени изменения состояния почв Липецкой области под действием растущей антропогенной нагрузки по материалам агрохимического обследования и историческим данным о состоянии почв.

#### Материалы и методы исследования

В данной работе проводится исследование при помощи геоинформационных методов изменения состояния почв Липецкой области по ряду агрохимических показателей: кислотность ( $\text{pH}_{\text{КСЛ}}$ ), содержание в пахотном горизонте органического вещества, подвижных фосфора и калия, а также загрязнение радиоактивным изотопом цезия Cs-137.

В качестве исторических данных о состоянии почв области нами использовались карты-схемы, отражающие состояние пашни на 01.01.2006 из монографии «Почвы Липецкой области». Схемы, иллюстрирующие кислотность ( $\text{pH}_{\text{КСЛ}}$ ), содержание в пахотном горизонте органического вещества, подвижных фосфора и калия, а также загрязнение Cs-137, не имеют масштабной линейки, их масштаб, определенный по расстоянию между населенными пунктами, примерно соответствует 1:1000000.

Состояние пашни отображается на схемах цветовыми шкалами с градациями. Обеспеченность почв гумусом на территории Липецкой области подразделяется на три градации: низкая (2,1–4,0%) занимала по состоянию на 2006 г. 9% от площади пашни, средняя (4,1–6,0%) – 52%, повышенная (6,1–8,0%) – 39% по состоянию на 01.01.2016. По степени кислотности почв пашню Липецкой области делят на три группы: близкая к нейтральной ( $\text{pH}$  5,6–6,8) – 35% площади пашни, слабокислая ( $\text{pH}$  5,1–5,5) – 45% и среднекислая ( $\text{pH}$  4,6–5,0) – 20%. Средневзвешенное значение фосфора в пахотных почвах области на 01.01.2006 г. составляло 99 мг/кг, территория пашни со средней обеспеченностью фосфором составила 40% площади пашни, с повышенной – 20%, с высокой – 20%, и на 20% площади пашни отмечался дефицит этого элемента. Обеспеченность пахотных почв Липецкой области подвижным калием в 2006 г. подразделялась на высокую, занимающую 25% площади пашни, повышенную и среднюю в сумме составивших – 74%, низкую – 1% от площади пашни [4].

Для моделирования текущего состояния почвенного покрова Липецкой области использовалась информация по контурам сельскохозяйственных угодий из «Единой федеральной информационно-системы земель сельхозназначения» относящаяся к 11-му туру агрохимического обследования почв (2014–2017 гг.) [5]. Данные по агрохимическому обследованию покрывают Липецкую область не полностью: в доступном покрытии полностью представлены Краснинский, Елецкий, Долгоруковский и Задонский, остальные районы покрыты данными частично, полностью отсутствуют данные на Данковский и Грязинский районы (рис. 1). Для сравнения столь различных источников была разработана методика, основанная на объединении данных из двух источников с помощью использования регулярной сетки квадратов-кластеров с пло-

щадью 1 км<sup>2</sup>. Реализация методики состоит из трех этапов:

1. Этап подготовки данных к обработке.
2. Анализ данных по состоянию почвенного покрова по отдельным элементам.
3. Комплексный анализ состояния почвенного покрова.

Этап подготовки данных состоит из комплекса работ по занесению информации из используемых источников в кластеры для дальнейшего анализа. Подготовка исторических данных заключалась в геопространственной привязке (по населенным пунктам и устьям рек) и векторизации карт-схем в программе ArcGIS. Результаты векторизации были перенесены на сеть кластеров в виде классов.

Данные агрохимического обследования были переведены в растровое покрытие с разрешением 30 м и с помощью инструмента извлечения значений растра в таблицу, по векторной сети получены значения показателей. Нами не использовались инструменты интерполяции модуля ArcGIS Geostatistical Analyst, так как в дальнейшем планируется исследование взаимосвязей между агрохимическими показателями, рельефом и другими свойствами ландшафта.

Последующая обработка полученных таблиц производилась с помощью скриптов на языке Python 3, в результате которой получено медианное значение показателя для каждого кластера. Результат был экспортирован в xls., объединен с вектором кластеров и разделен на градации (табл. 1). Кластерам с историческими данными также присвоены классы в соответствии с их значениями.

Для оценки состояния почв по пяти показателям из современного значения класса ( $C_{сов}$ ) вычитается историческое значение ( $C_{ист}$ ) и получаем индекс изменений показателей ( $I_{изм}$ ).

$$I_{изм} = C_{сов} - C_{ист}$$

В результате получены значения индекса изменений, позволяющие оценить степень изменений для пяти показателей. Выделены следующие градации изменений состояния: катастрофическое снижение качества, сильное снижение качества, умеренное снижение качества, незначительное снижение качества, качественные изменения отсутствуют, незначительный рост качества, умеренный рост качества, резко выраженный рост качества (табл. 2).

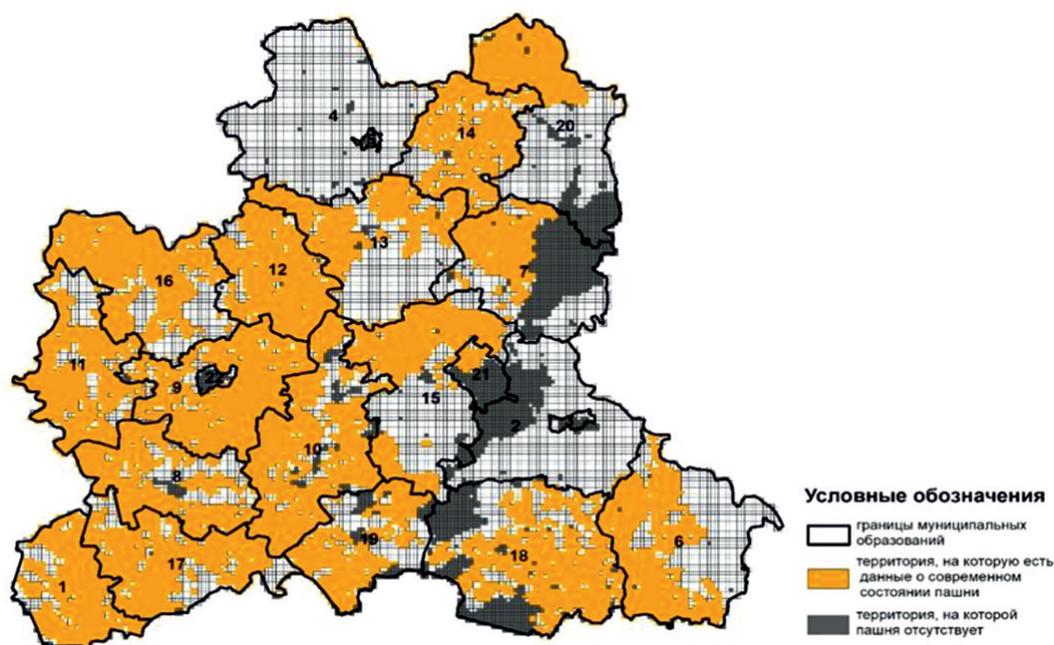


Рис. 1. Доступные данные агрохимического обследования, характеризующие современное состояние почв. 1 – Воловский район; 2 – Грязинский район; 3 – город Грязи; 4 – Данковский район; 5 – город Данков; 6 – Добринский район; 7 – Добровский район; 8 – Долгоруковский район; 9 – Елецкий район; 10 – Задонский район; 11 – Измалковский район; 12 – Краснинский район; 13 – Лебедянский район; 14 – Лев-Толстовский район; 15 – Липецкий район; 16 – Становлянский район; 17 – Тербунский район; 18 – Усманский район; 19 – Хлевенский район; 20 – Чаплыгинский район; 21 – город Липецк; 22 – город Елец

Таблица 1

Градации значений классов для медианных значений показателей

Классы	Наименование показателя				
	Гумус	pH <sub>KCl</sub>	P <sub>подв</sub>	K <sub>подв</sub>	Cs-137
1	<2,1	<4,1	<20	<20	< 1 Ку/м <sup>2</sup>
2	2,1–4,0	4,1–4,5	21–50	21–40	>1 Ку/м <sup>2</sup>
3	4,1–6,0	4,6–5,0	51–100	41–80	
4	6,1–8,0	5,1–5,5	101–150	81–120	
5	8,1–10,0	5,6–6,0	151–200	121–180	
6	>10,1	>6,0	>201	>181	

Таблица 2

Значения индекса изменений показателей

Значение	Наименование показателя			
	Гумус	pH <sub>KCl</sub>	P <sub>подв</sub>	K <sub>подв</sub>
Катастрофическое снижение качества	*	-4	*	-4
Сильное снижение качества	-3	-3	-3	-3
Умеренное снижение качества	-2	-2	-2	-2
Незначительное снижение качества	-1	-1	-1	-1
Качественные изменения отсутствуют	0	0	0	0
Незначительный рост качества	1	1	1	1
Умеренный рост качества	2	2	2	2
Резко выраженный рост качества	*	3	3	3
Снижение радиоактивного загрязнения				
Значение	Cs-137	* – значения отсутствуют		
Значительное снижение загрязнения	-2			
Незначительное снижение загрязнения	-1			
Качественные изменения отсутствуют	0			
Загрязнение сохранилось	1			

Таблица 3

Количество кластеров, характеризующих изменения в состоянии почв

Значение	Наименование показателя			
	Гумус	pH <sub>KCl</sub>	P <sub>подв</sub>	K <sub>подв</sub>
Катастрофическое снижение качества	*	6	*	1
Сильное снижение качества	7	85	11	17
Умеренное снижение качества	2035	597	428	1302
Незначительное снижение качества	8451	3959	2979	3964
Качественные изменения отсутствуют	2898	6172	6525	4271
Незначительный рост качества	17	2243	2489	2973
Умеренный рост качества	3	337	731	829
Резко выраженный рост качества	*	18	254	59
Всего	13411	13417	13417	13416
Снижение радиоактивного загрязнения				
Значение	Cs-137	* – значения отсутствуют		
Значительное снижение загрязнения	50			
Незначительное снижение загрязнения	1885			
Качественные изменения отсутствуют	11479			
Загрязнение сохранилось	2			
Всего	13416			

Общее количество 24540 кластеров, из которых не имеют на своей территории сельскохозяйственных земель 2092. Данные агрохимического обследования доступны на 13411–13417 кластеров, что позволяет оценить изменения состояния территории по основным агрохимическим показателям 60% территории Липецкой области. Для каждого показателя посчитано количество кластеров для каждой из градаций (табл. 3).

Наибольшие негативные изменения коснулись содержания в почвах гумуса, калия и кислотности, значительная территория претерпевает снижение содержания в почвах питательных элементов. Но есть положительные изменения в содержании в почве калия и фосфора, а также снижении радиоактивного загрязнения Cs-137.

Для комплексной оценки территории по вышеперечисленным показателям рассчитываем комплексный индекс изменений ( $I_{изм.ком}$ ), складывая  $I_{изм}$  по гумусу, кислотности, калию и фосфору, вычитаем индекс изменений по цезию.

$$I_{изм.ком} = I_{изм.гум.} + I_{изм.pH} + I_{изм.P} + I_{изм.K} - I_{изм.Cs}$$

Весь диапазон значений  $I_{изм.ком}$  от -8 до 7 ранжирован на 5 градаций: значительные негативные изменения, незначительные не-

гативные изменения, отсутствие изменений, незначительные позитивные изменения, значительные позитивные изменения (табл. 4).

**Таблица 4**

Градации значений комплексного индекса изменений состояния почв

Значение	Диапазон комплексного индекса изменений
Значительные негативные изменения	-8 до -5
Незначительные негативные изменения	-4 до -2
Отсутствие изменений	-1 до 1
Незначительные позитивные изменения	2 до 4
Значительные позитивные изменения	5 до 7

**Результаты исследования и их обсуждение**

Негативным изменениям разной степени подвержены почвы всех районов, на территорию которых имеются данные агрохимического обследования за 2014–2017 г. Негативные изменения наиболее распространены в Липецком, Добровском, Задонском и Тербунском районах (рис. 2).

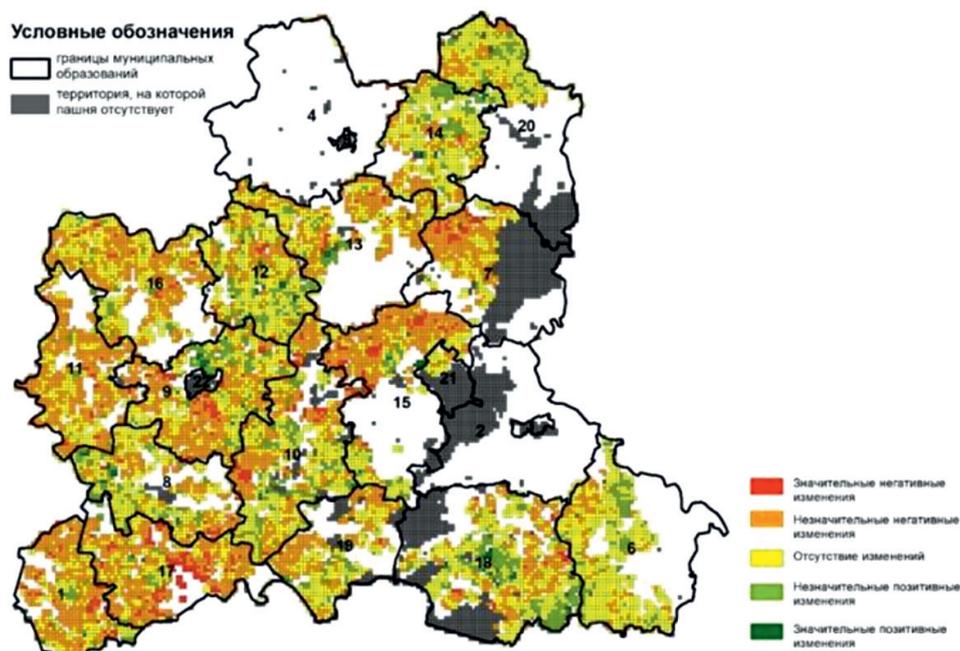


Рис. 2. Пространственное распределение комплексного индекса изменений. 1 – Воловский район; 2 – Грязинский район; 3 – город Грязи; 4 – Данковский район; 5 – город Данков; 6 – Добринский район; 7 – Добровский район; 8 – Долгоруковский район; 9 – Елецкий район; 10 – Задонский район; 11 – Измалковский район; 12 – Краснинский район; 13 – Лебедянский район; 14 – Лев-Толстовский район; 15 – Липецкий район; 16 – Становлянский район; 17 – Тербунский район; 18 – Усманский район; 19 – Хлевенский район; 20 – Чаплыгинский район; 21 – город Липецк; 22 – город Елец

### Заключение

Анализ изменений состояния почв Липецкой области позволяет сделать вывод о значительном снижении загрязнения Cs-137. Пространственное отображение изменений состояния почвенного покрова свидетельствует о незначительной площади сельскохозяйственных угодий, не претерпевших негативных изменений, что свидетельствует о неблагоприятных последствиях интенсификации сельскохозяйственного производства в период с 2005 по 2017 г. Данное обстоятельство свидетельствует о необходимости принятия мер для поддержания плодородия почв Липецкой области для сохранения устойчивости развития территории при дальнейшей интенсификации сельского хозяйства.

### Список литературы / References

1. Юсова Ю.С., Чижикова Т.А. Рациональное использование земли как фактор устойчивого развития АПК // Фундаментальные исследования. 2016. № 6–1. С. 244–247.
2. Юсова Ю.С., Чижикова Т.А. Rational use of land as a factor of sustainable development of agriculture // Fundamental research. 2016. № 6–1. С. 244–247 (in Russian).
3. Докучаев В.В. Кучению о зонах природы. Горизонтальная и вертикальная почвенные зоны. [Электронный ресурс]. URL: <http://bookre.org/reader?file=489307> (дата обращения: 12.06.2019).
4. Докучаев В.В. The teaching about the zones of nature. Horizontal and vertical soil zones. [Electronic resource]. URL: <http://bookre.org/reader?file=489307> (date of access: 12.06.2019) (in Russian).
5. Сискевич Ю.И., Никоноренков В.А., Долгих О.В., Ахтырцев А.Б., Сушков В.Д. Почвы Липецкой области. Липецк: Позитив Л, 2018. 209 с.
6. Liskevich Y.I., Nikonorenkov V.A., Dolgikh O.V., Akhtyrtsev A.B., Sushkov V.D. The soils of the Lipetsk region. Lipetsk: Positive L, 2018. 209 p. (in Russian).
7. Единая федеральная информационная система земель сельхозназначения. [Электронный ресурс]. URL: <http://efis.mcx.ru/efis> (дата обращения: 11.01.2019).
8. Unified Federal information system of agricultural land. [Electronic resource]. URL: <http://efis.mcx.ru/efis> (date of access: 11.01.2019) (in Russian).