

Научная статья

Original article

УДК 528:004.9:504.4(470.630)

doi: 10.55186/2413046X_2023_8_11_552

**БОНИТИРОВКА ПОЧВ И РАЗРАБОТКА ТЕПЛОВОЙ КАРТЫ
КОРРЕЛЯЦИОННОЙ МАТРИЦЫ С МНОЖЕСТВЕННОЙ
РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛЬЮ УРОЖАЙНОСТИ ПРИ
КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ АГРОЛАНДШАФТОВ
ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ НА
ОСНОВЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ ГИС**

**ASSESSMENT OF THE QUALITATIVE STATE OF SOILS AND
DEVELOPMENT OF A HEAT MAP OF THE CORRELATION MATRIX
WITH A MULTIPLE REGRESSION MODEL OF YIELD IN A
COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE STATE OF
AGRICULTURAL LANDSCAPES OF THE SOUTH-EASTERN PART OF
THE STAVROPOL TERRITORY BASED ON REGIONAL GIS**



Малочкин Владимир Юрьевич, аспирант (соискатель), ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» (355017, Россия, Ставропольский край, г. Ставрополь, переулок Зоотехнический, 12), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8230-2269>, vladimir-zelenokumsk@yandex.ru

Malochkin Vladimir YU., postgraduate student, FSBEI HE «Stavropol state agrarian University» (355017, Russia, Stavropol region, Stavropol, Zootekhnicheskij lane, 12), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8230-2269>, vladimir-zelenokumsk@yandex.ru

Аннотация. В рамках работ по разработке ГИС агроэкологической группировки на основе комплексной оценки территории и с применением

геоинформационных технологий проведена бонитировка почв по усовершенствованной методике, которая заключается в применении программного обеспечения QGIS посредством которого для каждого критерия в конструкторе запросов разработан механизм расчёта показателей. По каждому показателю автоматически формируется средневзвешенное значение, затем QGIS в автоматическом режиме суммирует полученные средневзвешенные значения показателей согласно формуле для конструктора запросов и получения итогового значения балла бонитета. Бонитировка почв является важной составляющей блока плодородия почв в региональной геоинформационной системе комплексной оценки состояния агроландшафтов юго-восточной части Ставропольского края в границах Советского района.

Abstract. As part of the work on the development of GIS agroecological grouping on the basis of a comprehensive assessment of the territory and with the use of geoinformation technologies, soil bonitization was carried out according to an improved methodology, which consists in the use of QGIS software, through which a mechanism for calculating indicators was developed for each criterion in the query designer. A weighted average value is automatically generated for each indicator, then QGIS automatically summarizes the weighted average values of the indicators obtained according to the formula for the query constructor and obtaining the final value of the bonus score. Soil bonitization is an important component of the soil fertility block in the regional geoinformation system for a comprehensive assessment of the state of agricultural landscapes of the southeastern part of the Stavropol Territory within the boundaries of the Sovetsky district.

Ключевые слова: агроландшафты, бонитировка почв, ГИС-технологии, тепловая карта, регрессионная модель урожайности, сельскохозяйственные угодья, комплексная оценка

Keywords: agrolandscapes, soil bonitization, GIS technologies, heat map, yield regression model, agricultural land, integrated assessment

Для проведения комплексной оценки состояния агроландшафтов на основе региональной геоинформационной системы необходимо владеть информацией и внести в структуру и классификатор ГИС материалы почвенных, агрохимических обследований, материалы почвенно-мелиоративных и гидрогеологических изысканий, а также справочную агрометеорологическую информацию [1, 5].

Основополагающей частью комплексной оценки является методика В. Д. Иванова, усовершенствованная нами в части автоматизации работ в QGIS и включает показатели, представленные в схеме на рисунке 1.

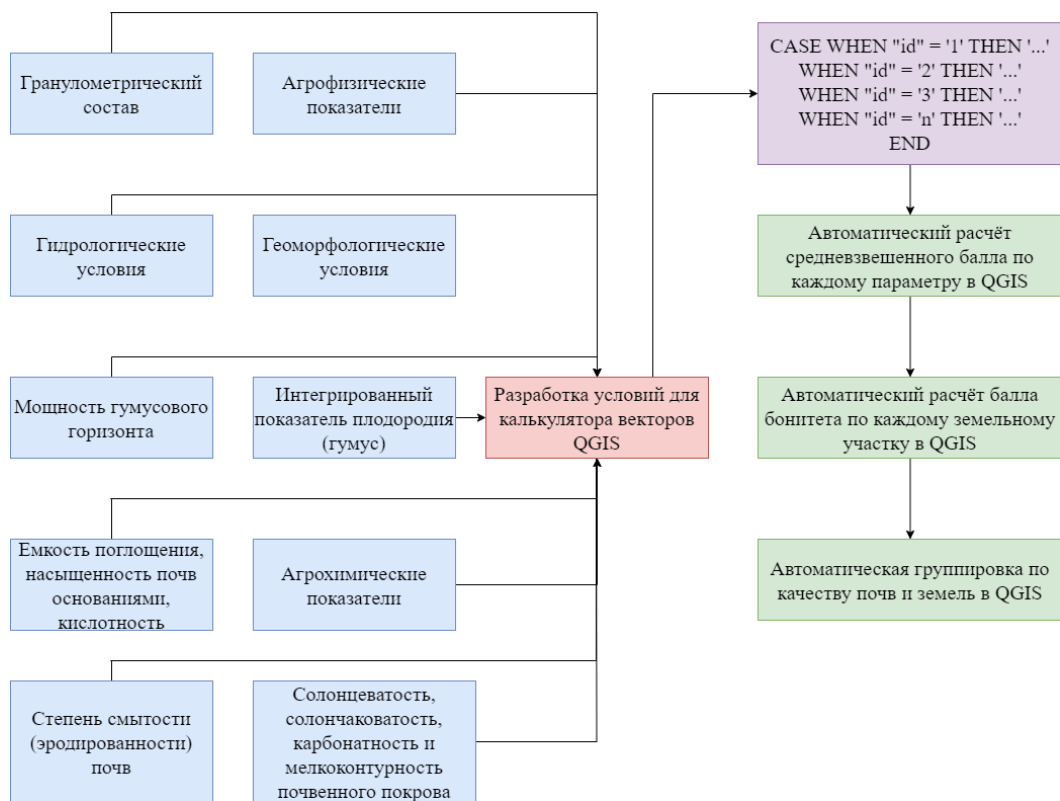


Рисунок 1 – Схема оценки качественных показателей почв сельскохозяйственных угодий с использованием ГИС-технологий

Для каждого из этих показателей существуют критерии оценки, которые внесены в классификатор региональной ГИС и для каждого критерия в конструкторе запросов QGIS разработаны механизм для расчёта показателей, который представлен на рисунке 2.

1. Гранулометрический состав (value_1)	2. Агрофизические показатели (value_2)	3. Гидрологические условия (value_3)	4. Геоморфологические условия (value_4)	5. Мощность гумусового горизонта (value_5)
CASE WHEN "id" = '1' AND "Почва" = 'Черноземы' THEN '2' WHEN "id" = '2' AND "Почва" = 'Темно-каштановые' THEN '4' WHEN "id" = '3' AND "Почва" = 'Каштановые' THEN '6' END	((("Сод_0.25-10" * K1) + ("Кэфф_впит" * K2) + ("Плотн_слож" * K3)) / (K1+K2+K3))	((("Ур_гр_вод" * K1) + ("ГТК" * K2) + ("Ур_увлаж" * K3) + ("Сумм_средт_темп" * K4) + ("Заболоч" * K5)) / (K1+K2+K3+K4+K5))	((("Крут_скл" * K1) + ("Эксп_скл" * K2) + ("Степень_камен" * K3) + ("Хар_сложения" * K4)) / (K1+K2+K3+K4))	CASE WHEN "id" = '1' THEN '10' WHEN "id" = '2' THEN '7' WHEN "id" = '4' THEN '3' END
6. Интегрированный показатель плодородия (value_6)	7. Емкость поглощения, насыщенность почв основаниями, кислотность (value_7)	8. Агрохимические показатели (value_8)	9. Степень смытости (эродированности) почв (value_9)	10. Солонцеватость, солончакость, карбонатность и мелкоконтуриность почвенного покрова (value_10)
((("Сод_гум0-20" * K1) + ("Сод_гумуса" * K2) + ("Зап_гум0-100" * K3) + ("Обогащ_С:Н" * K4) + ("Тип_гумуса" * K5)) / (K1+K2+K3+K4+K5))	((("Емк_поглощ" * K1) + ("Степ_насып_основ" * K2) + ("рН" * K3)) / (K1+K2+K3))	((("Содерж_азот" * K1) + ("Содерж_фосф" * K2) + ("Содерж_калия" * K3)) / (K1+K2+K3))	((("Степ_смыт" * K1) + ("Степ_смыт_куль" * K2)) / (K1+K2))	((("Знач_10.1" * k1) + ("Знач_10.2" * k2) + ("Знач_10.3" * k3) + ("Знач_10.4" * k4) + ("Знач_10.5" * k5) + ("Знач_10.6" * k6) + ("Знач_10.7" * k7) + ("Знач_10.8" * k8) + ("Знач_10.8.1" * k9) + ("Знач_10.9" * k10) + ("Знач_10.9.1" * k11)) / (k1+k2+k3+k4+k5+k6+k7+k8+k9+k10+k11))
Расчёт балла бонитета				
array_sum(array("value_1", "value_2", "value_3", "value_4", "value_5", "value_6", "value_7", "value_8", "value_9", "value_10"))				

Рисунок 2 – Механизм расчёта балла бонитета по каждому показателю

В результате автоматизированной обработки в QGIS значение выводится в отдельное поле «Балл бонитета» и присваивается характеристика почв.

Бонитировка почв проводится по усовершенствованной методике согласно схеме оценки качественных показателей почв сельскохозяйственных угодий с использованием ГИС-технологий для сравнительной оценки качества почв, их производительной способности, плодородие которых выражается в баллах [3]. Шкала оценки уровня плодородия почв в баллах бонитета представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Шкала оценки уровня плодородия почв в баллах бонитета

Уровень плодородия почв	Балл бонитета
Очень низкоплодородные	< 30
Низкоплодородные	30-40
Среднеплодородные	41-60
Плодородные	61-70
Высокоплодородные	71-90
Очень высокоплодородные	91-100

Карта бонитета почвенного покрова формируется на основе множества показателей, имеющих в ГИС, в том числе материалов агрохимического обследования, показывает оценку потенциального плодородия почв и

закономерности его изменения [6, 7]. Карта бонитировки почв по состоянию на 2020 год представлена на рисунке 3.

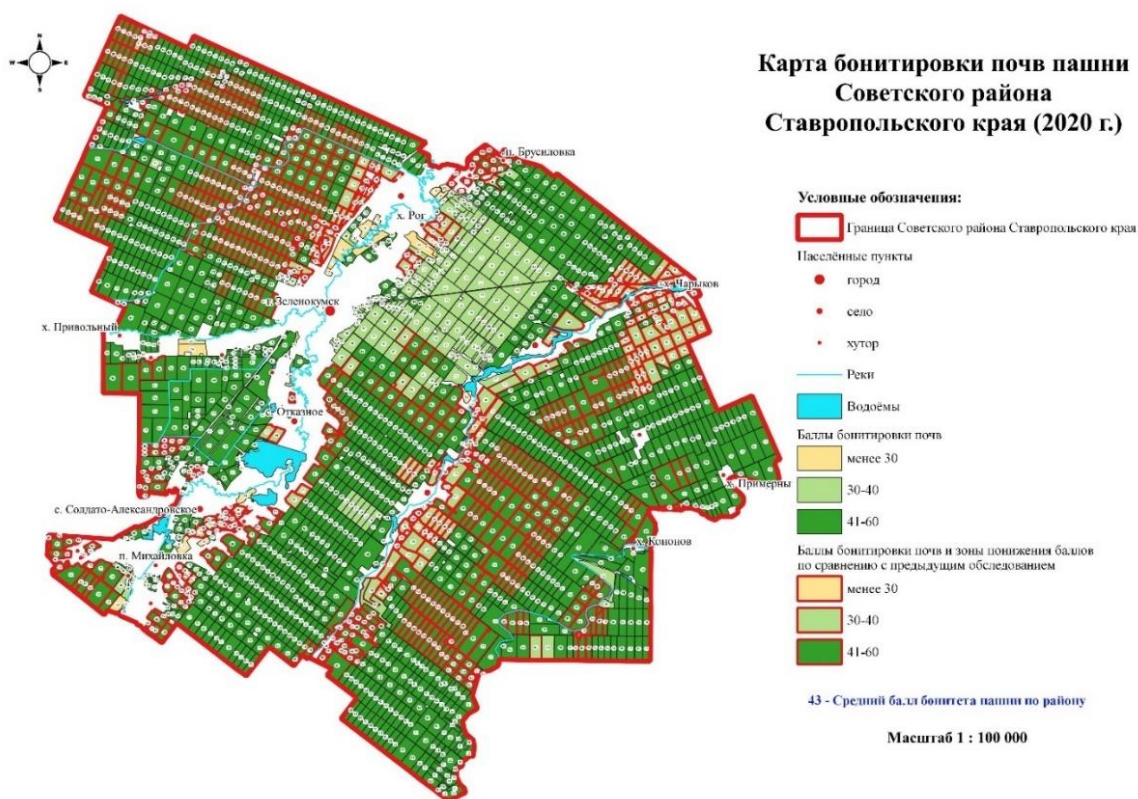


Рисунок 3 – Бонитировка почв Советского района Ставропольского края на 2020 год

Данные группировки почв по уровню плодородия, выраженного в баллах бонитета на 2020 год представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Бонитировка пашни Советского района Ставропольского края в 2020 году

Уровень плодородия почв	Балл бонитета	Площадь, га	%	Средний балл по району
Очень низкоплодородные	< 30	1641	1,0	43
Низкоплодородные	30-40	19625	11,8	
Среднеплодородные	41-60	144595	87,2	
Плодородные	61-70	–	–	
Итого		165861	100,0	

Проанализировав рисунок 3 и таблицу 2, можно сделать вывод, что 87,2 % территории района занимают среднеплодородные почвы. Остальная территория располагается на очень низкоплодородных и низкоплодородных почвах. Средний балл бонитета пашни Советского района Ставропольского края составляет 43 балла.

Так как главным показателем плодородия почвы является урожайность, то необходимо выявить её изменение в разрезе основной выращиваемой культуры (озимая пшеница) на основе статистических критериев (рис. 4).

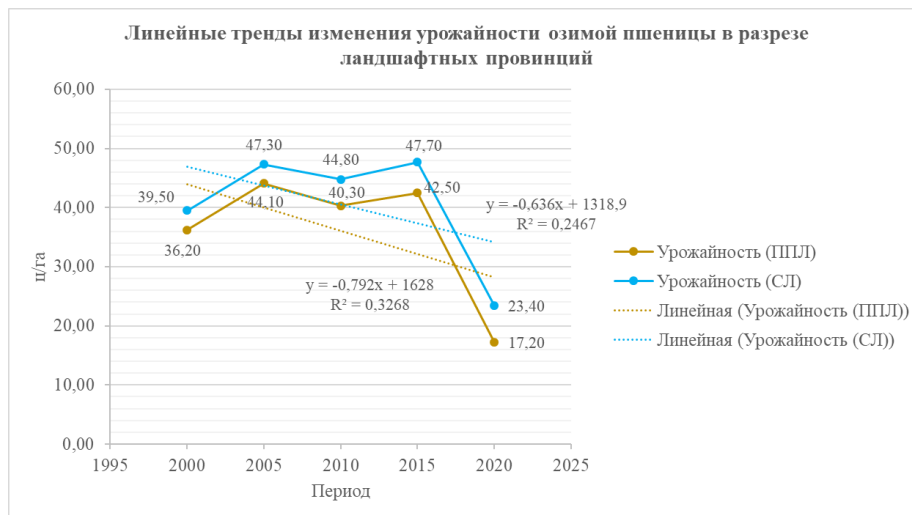


Рисунок 4 – Линейные тренды изменения урожайности озимой пшеницы в разрезе ландшафтных провинций Советского района Ставропольского края

Исходя из того, что критерием оценки плодородия почв является урожайность, выполним построение линейной множественной регрессионной модели урожайности по F-критерию Фишера-Снедекора.

Используя библиотеки Python импортируем имеющиеся исходные для расчетов данные, полученные в результате проведения работ по комплексной оценке состояния агроландшафтов. В результате анализа получаем тепловую карту корреляционной матрицы (рис. 5).

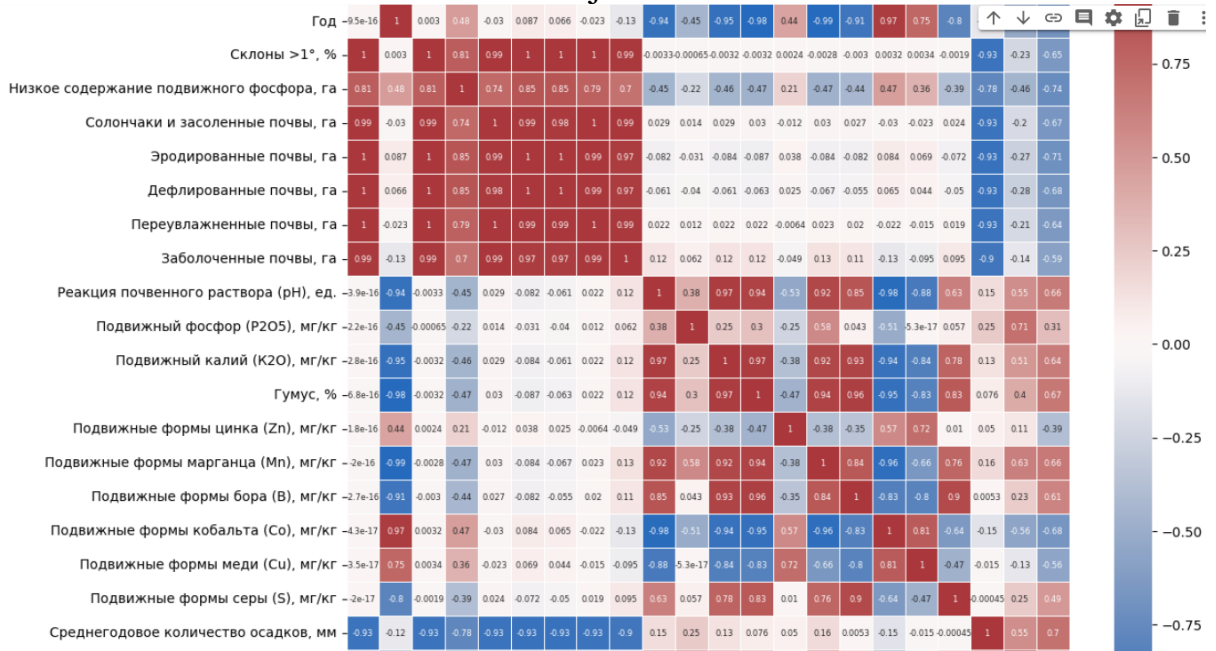


Рисунок 5 – Тепловая карта корреляционной матрицы Советского района Ставропольского края

На следующем этапе исключаем зависимые переменные с условием ($|r| > 0.85$) и тепловая карта примет вид (рис. 6):

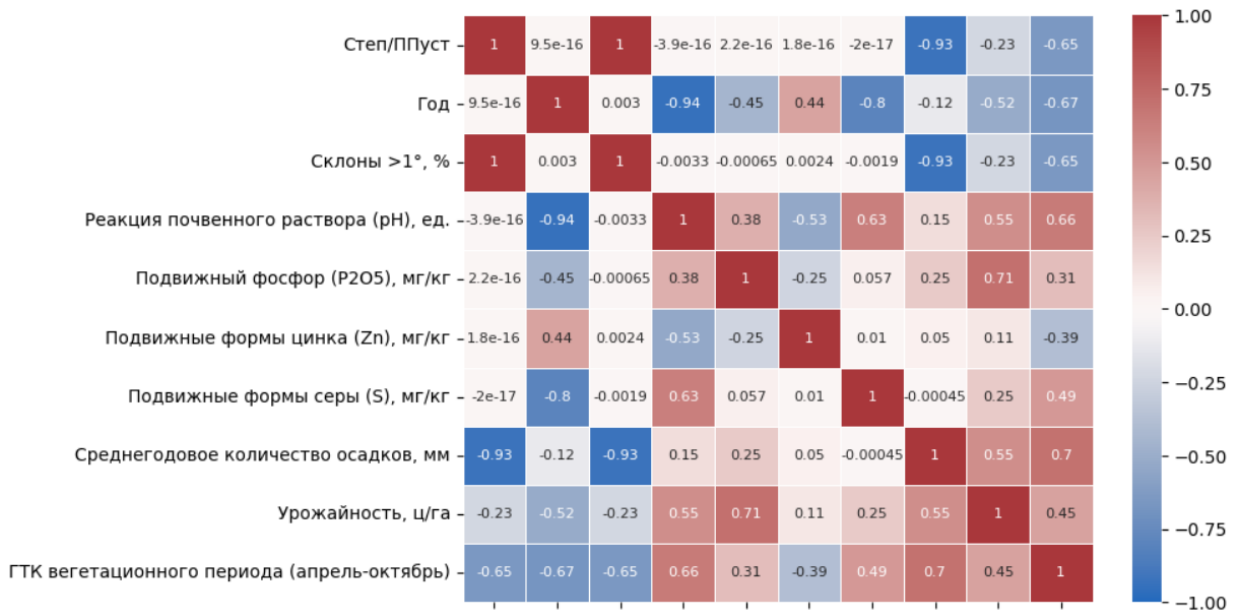


Рисунок 6 – Тепловая карта корреляционной матрицы Советского района Ставропольского края с исключением зависимых переменных (разработана автором)

Для набора данных, представленного на рисунке 7 посредством Python, построим множественную регрессионную модель урожайности с исключением статистически незначимых коэффициентов регрессии (показатели, доверительные интервалы которых на уровне 0,05 (5%) содержат нулевое значение).

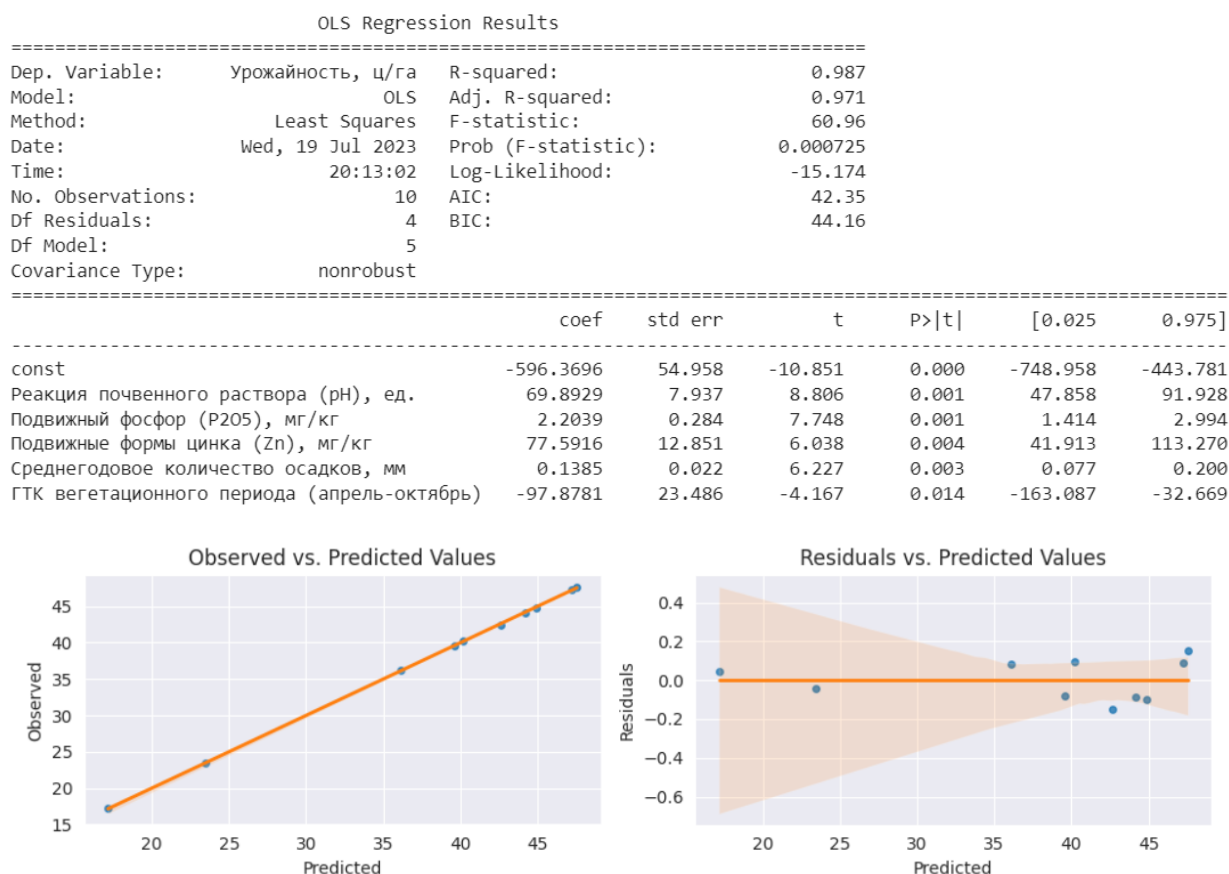


Рисунок 7 – Результаты построения множественной регрессионной модели урожайности в Советском районе Ставропольского края

Результаты показывают, что модель содержит 5 регрессоров, а уравнение линейной множественной регрессионной модели урожайности, которое имеет вид:

$$\hat{y} = -596.3696 + 69.8929 \cdot x_1 + 2.2039 \cdot x_2 + 77.5916 \cdot x_3 + 0.1385 \cdot x_4 - 97.8781 \cdot x_5,$$

где

\hat{y} - оценка урожайности, ц/га;

x_1 - реакция почвенного раствора (рН), ед.;

x_2 - подвижный фосфор (P_2O_5), мг/кг;

x_3 - подвижные формы цинка (Zn), мг/кг;

x_4 - среднегодовое количество осадков, мм;

x_5 - ГТК вегетационного периода.

И модель в целом и все ее параметры являются статистически значимыми на уровне значимости 0,015.

Таким образом, можно сделать вывод, что в степных и полупустынных ландшафтах являются лимитирующим фактором и важную роль при оценке урожайности основной культуры (озимой пшеницы) играют такие показатели, как реакция почвенного раствора, содержание подвижного фосфора, подвижных формы цинка, а также величина среднегодового количества осадков и ГТК [2].

В результате проведенных исследований формируется электронные карты-слои и связанные с ними базы данных, а путём взаимного наложения полученных геоинформационных баз данных, с учётом индивидуальных особенностей влияния отдельно взятого фактора, проводится агроэкологическая группировка, результатом которой является разработанная схема использования земель на агроландшафтной основе (рис. 8) и интерактивный агроэкологический паспорт (рис. 9), являющиеся ядром региональной геоинформационной системы [4].

Карта использования земельных ресурсов на агроландшафтной основе

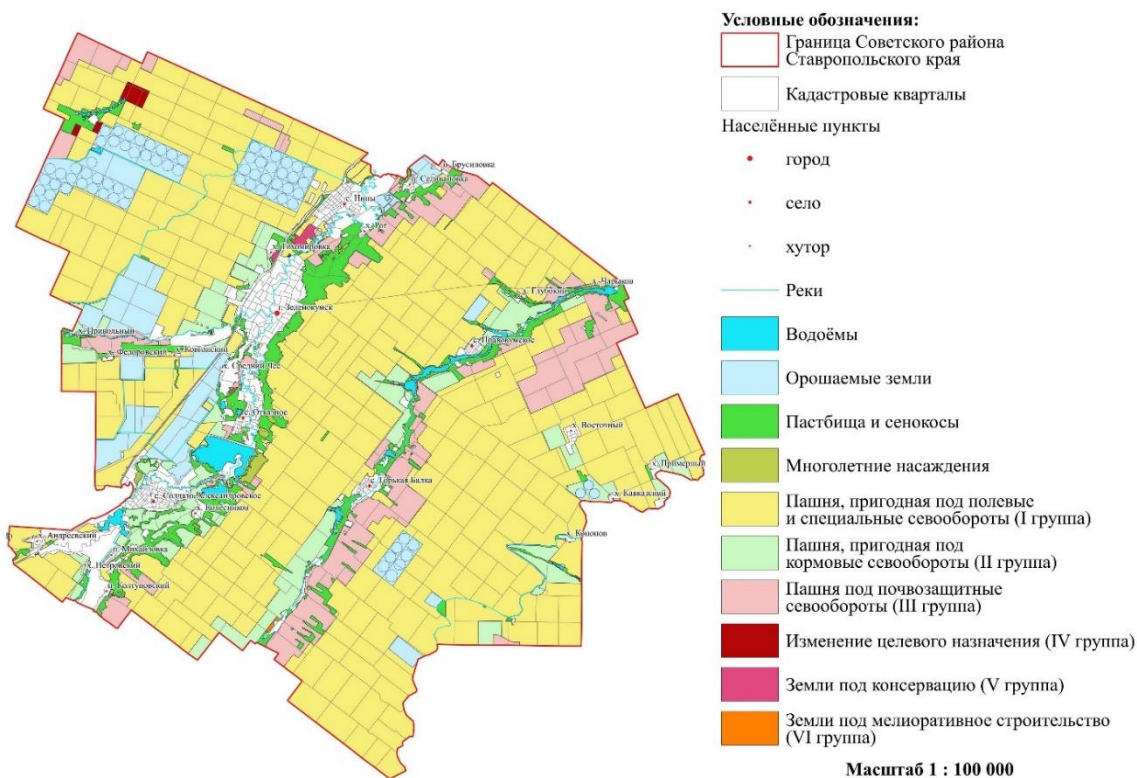


Рисунок 8 – Схема использования земельных ресурсов Советского района Ставропольского края на агроландшафтной основе (разработана автором)

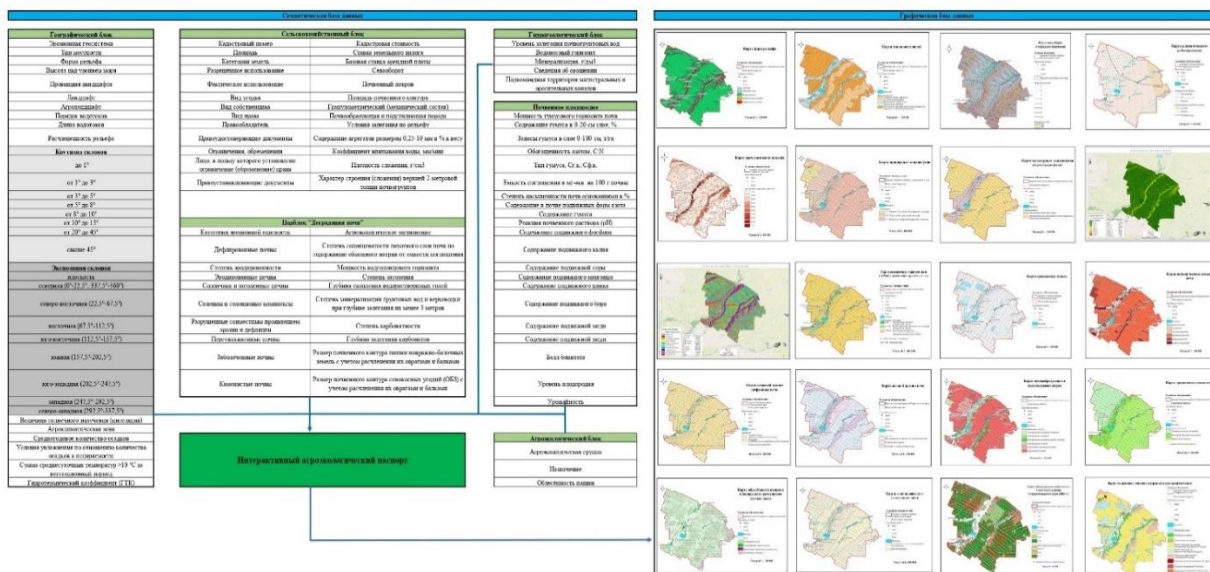


Рисунок 9 – Интерактивный агроэкологический паспорт Советского района Ставропольского края (разработан автором)

Результаты агроэкологической группировки представлены в таблице 3.

На территории района выделено шесть агроэкологических групп земель. Общая площадь пашни, входящей в состав этих групп, составляет 165861 гектаров.

Таблица 3 – Агроэкологическая группировка пашни Советского района Ставропольского края

Агроэкологическая группа		Площадь, га	%
I	полевые севообороты	122831,0	74,1
II	кормовые севообороты	27252,0	16,4
III	почвозащитные севообороты	10547,0	6,4
IV	изменение целевого назначения	4600,0	2,8
V	непригодными для возделывания с/х культур (консервация)	200,0	0,1
VI	мелиоративное строительство	431,0	0,2
Итого		165861,0	100,0

В результате проведения комплексной оценки состояния агроландшафтов выполнены работы по бонитировке почв и разработке тепловой карты корреляционной матрицы с множественной регрессионной моделью урожайности, а совокупность полученных данных позволила обеспечить графической и атрибутивной базой данных муниципальный уровень управления земельными ресурсами в целях учета и мониторинга агроландшафтов, ландшафтно-сельскохозяйственной типизации территории, планирования мероприятий по воспроизводству почвенного плодородия и повышению эффективности землепользования.

Список источников

1. Волков, С. Н. Природные ландшафты как фактор эффективного развития сельского хозяйства на Северном Кавказе / С. Н. Волков, С. В. Савинова, Е. В. Черкашина, Д. А. Шаповалов, В. В. Братков, П. В. Ключин // Юг России: экология, развитие. – 2020. – № 2 (55). – С. 113–124.
2. Лошаков, А. В. Основные проблемы сельскохозяйственного землепользования Ставропольского края / А. В. Лошаков // Московский экономический журнал. – 2022. – № 4. – С. 137–145.

3. Малочкин, В. Ю. Земельно-информационная система состояния и использования агроландшафтов (база данных) / В. Ю. Малочкин, А.В. Лошаков, С.В. Одинцов. - Свидетельство № 2020621124. Российская Федерация. Земельно-информационная система состояния и использования агроландшафтов: база данных / заявитель и правообладатель В. Ю. Малочкин. – № 2020620958; заявл. 15.06.2020 г.; зарег. в Реестре баз данных 02.07.2020 г.
4. Малочкин, В.Ю. Разработка механизма комплексной оценки состояния агроландшафтов на основе региональной геоинформационной системы Советского района Ставропольского края / В. Ю. Малочкин // Московский экономический журнал. – 2022. – № 9. – С. 57–72.
5. Морковкин, Г. Г. Использование ГИС-технологий для оценки временной динамики структуры агроландшафтов и свойств почв на примере умеренно-засушливой и колючей степи Алтайского края / Г. Г. Морковкин, Е. А. Литвиненко, Т. В. Байкалова, Н. Б. Максимова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 5 (103). – С. 39–45.
6. Носов, С. И. Выделение и защита особо ценных сельскохозяйственных земель в целях обеспечения продовольственной безопасности страны / С. И. Носов, Б. Е. Бондарев, П. М. Сапожников // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2022. – № 1 (169). – С. 95–99.
7. Сагайдак, А. Э. Совершенствование оценки земель сельскохозяйственного назначения в условиях рынка / А. Э. Сагайдак, А. А. Сагайдак // Финансовые рынки и банки. – 2020. – № 5. – С. 97–101.

References

1. Volkov, S. N. Prirodny`e landshafty` kak faktor e`ffektivnogo razvitiya sel`skogo hozyajstva na Severnom Kavkaze / S. N. Volkov, S. V. Savinova, E. V. Cherkashina, D. A. Shapovalov, V. V. Bratkov, P. V. Klyushin // Yug Rossii: e`kologiya, razvitie. – 2020. – № 2 (55). – С. 113–124.

2. Loshakov, A. V. Osnovny`e problemy` sel`skoxozyajstvennogo zemlepol`zovaniya Stavropol`skogo kraja / A. V. Loshakov // Moskovskij e`konomicheskij zhurnal. – 2022. – № 4. – С. 137–145.
3. Malochkin, V. Yu. Zemel`no-informacionnaya sistema sostoyaniya i ispol`zovaniya agrolandshaftov (baza danny`x) / V. Yu. Malochkin, A.V. Loshakov, S.V. Odinczov. - Svidetel`stvo № 2020621124. Rossijskaya Federaciya. Zemel`no-informacionnaya sistema sostoyaniya i ispol`zovaniya agrolandshaftov: baza danny`x / zayavitel` i pravoobladatel` V. Yu. Malochkin. – № 2020620958; zayavl. 15.06.2020 g.; zareg. v Reestre baz danny`x 02.07.2020 g.
4. Malochkin, V.Yu. Razrabotka mexanizma kompleksnoj ocenki sostoyaniya agrolandshaftov na osnove regional`noj geoinformacionnoj sistemy` Sovetskogo rajona Stavropol`skogo kraja / V. Yu. Malochkin // Moskovskij e`konomicheskij zhurnal. – 2022. – № 9. – С. 57–72.
5. Morkovkin, G. G. Ispol`zovanie GIS-texnologij dlya ocenki vremennoj dinamiki struktury` agrolandshaftov i svojstv pochv na primere umerenno-zasushlivoj i kolochnoj stepi Altajskogo kraja / G. G. Morkovkin, E. A. Litvinenko, T. V. Bajkalova, N. B. Maksimova // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 5 (103). – С. 39–45.
6. Nosov, S. I. Vy`delenie i zashhita osobo cenny`x sel`skoxozyajstvenny`x zemel` v celyax obespecheniya prodovol`stvennoj bezopasnosti strany` / S. I. Nosov, B. E. Bondarev, P. M. Sapozhnikov // Ispol`zovanie i ohrana prirodny`x resursov v Rossii. – 2022. – № 1 (169). – С. 95–99.
7. Sagajdak, A. E`. Sovershenstvovanie ocenki zemel` sel`skoxozyajstvennogo naznacheniya v usloviyax ry`nka / A. E`. Sagajdak, A. A. Sagajdak // Finansovy`e ry`nki i banki. – 2020. – № 5. – С. 97–101.

Для цитирования: Малочкин В.Ю. Бонитировка почв и разработка тепловой карты корреляционной матрицы с множественной регрессионной моделью урожайности при комплексной оценке состояния агроландшафтов юго-восточной части Ставропольского края на основе региональной ГИС //

Московский экономический журнал. № 11. 2023

Moscow economic journal. № 11. 2023

Московский экономический журнал. 2023. № 11. URL: <https://qje.su/nauki-o-zemle/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-11-2023-19/>

© Малочкин В.Ю., 2023. *Московский экономический журнал, 2023, № 11.*