



УДК 556.51

**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПОЧВЕННО-
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ В ЦЕЛЯХ РАЦИОНАЛЬНОЙ
ОРГАНИЗАЦИИ АГРОЛАНДШАФТОВ НА БАСЕЙНОВЫХ ПРИНЦИПАХ**
**THE GEOINFORMATION ANALYSIS OF SOIL AND GEOMORPHOLOGICAL
COMMUNICATIONS FOR THE RATIONAL ORGANIZATION
OF AGROLANDSCAPES ON THE BASIN PRINCIPLES**

О.И. Григорьева
O.I. Grigoreva

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015 г. Белгород,
ул. Победы, 85*

Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: olesya.grigoreva@yandex.ru

Ключевые слова: речной бассейн, эродированность почв, математический анализ, геоинформационный анализ, непараметрическая корреляционная связь.

Key words: river basin, erodibility of soils, mathematical analysis, geoinformation analysis, nonparametric correlation communication.

Аннотация. Используя методы математической статистики, в пределах бассейновых территориальных структур установлены связи между факторами водно-эрозионного процесса и почвенным покровом. Достоверность влияния фактора крутизны и экспозиции склонов на закономерности пространственного распространения почв различной степени смывости в агроландшафтах подтверждена с помощью критерия Фишера. Приведены примеры расчёта непараметрической корреляционной связи тремя различными способами. Обоснована необходимость применения ГИС-анализа для выявления почвенно-геоморфологических связей. По результатам геоинформационного картографирования выявлены соотношения учтенных и неучтенных факторов в статистической совокупности выявленных связей.

Resume. The goal of research is defining the nonparametric correlation between an angles map, a slope aspects map and also estimating the impact share of accounted and not accounted factors in the analysis. The object of the study is the Vorsklitsa river basin in Belgorod region (square – 600 km²). We discovered a nonparametric correlation between cartographical phenomena using χ^2 – methods. The input materials were GRID, and the morphometric relief maps based on it – slope angles, slope aspects and a vector soils map. We built the tables of contingency of Northern, North-Eastern, Eastern, South Eastern, South Western, Western, North Western slope aspects maps to do χ^2 – method. The value of the nonparametric correlation was estimated by applying Brandt and Snedecor's method and Pearson's formulae. The validity of connection was tested by using Pearson's coefficient of contingency and Chuprov's coefficient of contingency. The validity of the impact of slope angles and slope aspect was proved by means of Fisher's test.

Methods of mathematical analysis helped to determine the close relationship between the thematic map layers (slope, slope exposure and soil cover). The results obtained prove that the improvement of the information quality, in particular confirmed by mathematical methods, makes it possible to carry out an accurate geosystem analysis of the territory. The use of GIS analysis to determine soil-geomorphic relations will allow improving the correcting of large-scale soil materials. The most effective application of GIS analysis being for discovering the most recent water erosive processes and reviewing their current databases.

Введение

Применение методов математического и геоинформационного (ГИС) анализа в землеустройстве создает новую технологическую основу для обеспечения рационального землепользования, что особенно востребовано при реформировании земельных отношений.

Интенсивное внедрение статистических методов в научном поиске, особенно с 1960-х годов, было инициировано и подготовлено работами по прикладной статистике в различных областях знаний, в том числе в науках, смежных с сельскохозяйственными: в землеустройстве [Стативка, 1985; Волков, 2001], в экологических и географических исследованиях [Чертко, 1987; Андерсон, 1990; Пузаченко, 2004], агрономии [Доспехов, 1985], ботанике [Шмидт, 1984; Зайцев, 1984], почвоведении [Благовещенский и др., 1984, 1985; Дмитриев, 1995], геоморфологии [Девдариани, 1967; Каратаев, 1992], картографии [Тикунов, 1997] и др.

Несмотря на множество удачных примеров математизации исследований, в современной научной литературе пока недостаточно представлен опыт применения математико-



статистических методов для решения задач ландшафтно-экологического анализа территории и еще менее – по интеграции решения подобных задач в ГИС.

Цель исследования состояла в выявлении непараметрической корреляционной связи между картографируемыми явлениями, измеренными в категоризируемых шкалах типологических карт крутизны, экспозиции склонов и почвенного покрова и в оценке доли влияния учтенных и неучтенных в анализе факторов.

Объект исследования: бассейн реки Ворсклица в пределах Белгородской области (площадь – 660 км²) (рис. 1).

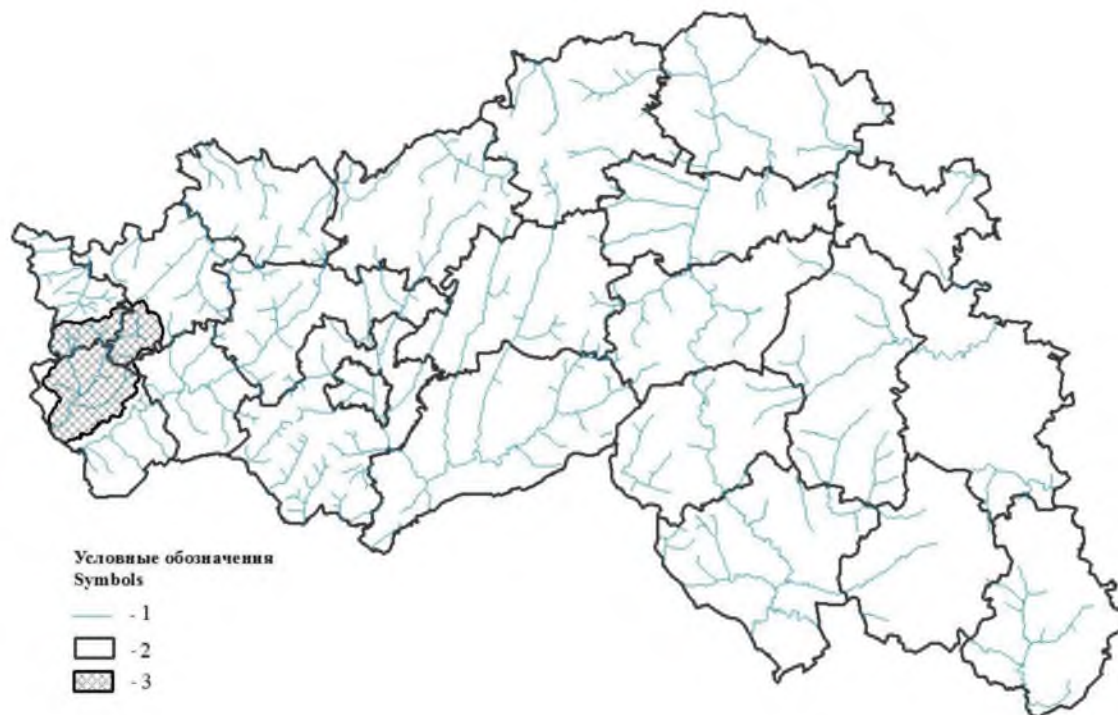


Рис. 1. Расположение бассейна реки Ворсклица в пределах Белгородской области: 1 – гидрографическая сеть, 2 – границы муниципальных районов, 3 – бассейн р. Ворсклица
 Fig. 1. Location Voronezh river basin within the Belgorod region: 1 – hydrographic network, 2 – the boundaries of administrative areas, 3 – Voronezh river basin

Река Ворсклица – правый приток р. Ворсклы, одной из крупнейших рек Белгородской области, относящейся к бассейну Днепра. Бассейн Ворсклицы относится к бассейну пятого порядка, согласно классификации Стрелера-Философова. Длина реки составляет 105 км, в пределах области – 98.6 км. Она имеет четыре правых притока: реки Дорогощ, Становая, Санок и Смородинка и левый приток – р. Лисенок с Дунайчиком.

Формированию истока реки предшествует увлажненная балка с задернованным днищем и выходами родников. Ворсклица течет почти параллельно Ворскле в юго-западном направлении. Питается река за счет бедных водой неоген-палеогеновых отложений, поэтому она маловодна [Антимонов, 1959].

Территория бассейна расположена на северо-западе Белгородской области, в пределах юго-западного склона Среднерусской возвышенности. В неотектоническом плане Среднерусской возвышенности соответствует положительная структура первого порядка – Воронежская антеклиза. Поверхность Среднерусской возвышенности еще в доледниковое время была расчленена интенсивными эрозионными процессами. Древние водно-эрозионные формы здесь почти не изменены ледником и соответствуют современному рельефу.

В геоморфологическом отношении бассейн Ворсклицы представляет собой эрозионно-денудационную возвышенность с увалистым и холмисто-увалистым рельефом. Долинно-балочная сеть осложнена активным ростом оврагов. Этому способствуют: склоновый тип местности, повсеместное распространение податливых к эрозии лессовидных суглинков, длительное и интенсивное сельскохозяйственное использование территории. В пределах бассейна встречаются оползни и оползневые участки. Правобережные склоны Ворсклицы отличаются значительной крутизной, изрезаны овражно-балочной сетью, а левобережные склоны – низ-

менные, пологие, порой с заболоченными участками. Густота овражно-балочной сети оценивается в 1.8 км/км².

В структуре угодий земельного фонда бассейна Ворсклицы (рис. 2) на пашню приходится 38751.6 га, что составляет 58.5% от площади бассейна реки. Значительную долю площадей (11361.6 га) занимают леса и древесно-кустарниковая растительность. Под природными кормовыми угодьями находится 9370.6 га, под землями застройки – 4751.1 га. Высокая доля распаханности сельскохозяйственных угодий требует не только поддерживающих мероприятий, но и нуждается в природообустройстве, восстановлении экологического баланса бассейна Ворсклицы.

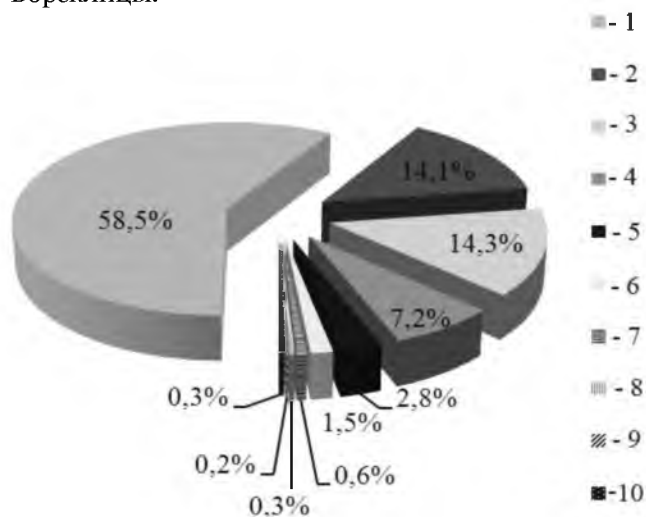


Рис. 2. Распределение земель территории бассейна р. Ворсклица по угодьям: 1 – пашня; 2 – пастбища и сенокосы; 3 – леса; 4 – земли застройки; 5 – древесно-кустарниковая растительность; 6 – водные объекты; 7 – дороги; 8 – сады; 9 – болота; 10 – прочие земли

Fig. 2. The distribution of lands Vorsklitsa river basin: 1 – arable land; 2 – grasslands and haylands; 3 – forests; 4 – buildings; 5 – woody shrub vegetation; 6 – water objects; 7 – roads; 8 – gardens; 9 – swamps; 10 – others lands

Для эффективного почвоводоохранного обустройства территории малых водосборов перспективна методическая увязка бассейновой концепции, специального ландшафтного картографирования, расчетных методов стока воды и смыва почвы, дистанционного зондирования и геоинформационных технологий [Лисецкий, Марциневская, 2009; Лисецкий, Панин, 2013]. Достигая цели устойчивого социально-экономического развития территории области и реализации права граждан на благоприятную окружающую среду, создания комфортного жизненного пространства для жителей Белгородской области, в области утверждена концепция бассейнового природопользования, в основе которой лежит нахождение оптимума между сложившейся практикой природопользования в бассейнах, перспективами развития территории, природно-ресурсным потенциалом, мерами по воспроизводству природных ресурсов и обеспечению экологической безопасности.

Методы исследования

Выявление непараметрической корреляционной связи между картографируемыми явлениями осуществляли методом χ^2 [Шмидт, 1984; Доспехов, 1985; Дмитриев, 1995; Boloac et al., 2011; Bagdonavicius et al., 2012; Voinov et al., 2013]. Применение данного метода для оценки связи между признаками, не имеющих такие параметры, как медиана и среднее квадратичное отклонение, рекомендовано рядом авторов [Шмидт, 1984; Доспехов, 1985; Дмитриев, 1995].

Исходными материалами послужили растр формата GRID, представляющий собой регулярную сетку с шагом 10×10 м (рис. 3) и производные на его основе карты морфометрических показателей рельефа – крутизны (рис. 4), экспозиции склонов (рис. 5), а также векторная почвенная карта (рис. 6), созданная автором на основе оцифровки карт масштаба 1:10 000.

Комплексность анализа обеспечивала объединенная карта, полученная в программном комплексе ArcGIS 10 путем оверлея карт экспозиции и крутизны склонов (рис. 7). Осуществлена переклассификация растров экспозиции и крутизны склонов с последующим присвоением каждому значению ячейки кодового номера и дальнейшего объединения полученных векторных карт. Первые цифры (1–10) в строках обозначают код, присвоенный ячейкам карты экспозиции склонов, цифры после разделителя (1–8) – код, присвоенный ячейкам карты крутизны склонов.

Каждая ячейка карты, содержащая информацию о крутизне и экспозиции склонов и векторной почвенной карты (рис. 8), идентифицирована и содержит информацию с качественными характеристиками (тип, подтип, род и эродированность почвы, ее гранулометрический состав, расположение по склону: экспозиция и крутизна склона) и количественной – площадь

ячейки (га). В анализ включены только почвы, используемые под пашню в бассейне реки Ворсклица.



Рис. 3. Цифровая модель рельефа бассейна р. Ворсклица
Fig. 3. DEM of Vorsklitsa river basin



Рис. 4. Карта крутизны склонов (град.) в бассейн р. Ворсклица
Fig. 4. The map of slope angles Vorsklitsa river basin (degree)

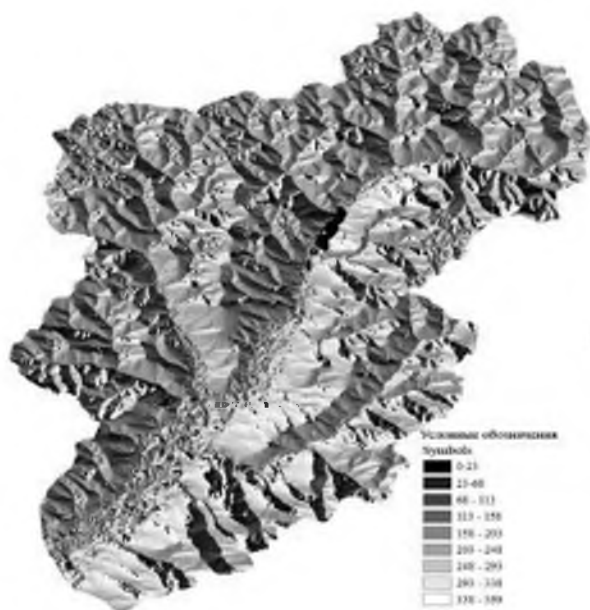


Рис. 5. Карта экспозиции склонов (град.) бассейна р. Ворсклица
Fig. 5. The map of slope aspect Vorsklitsa river basin (degree)

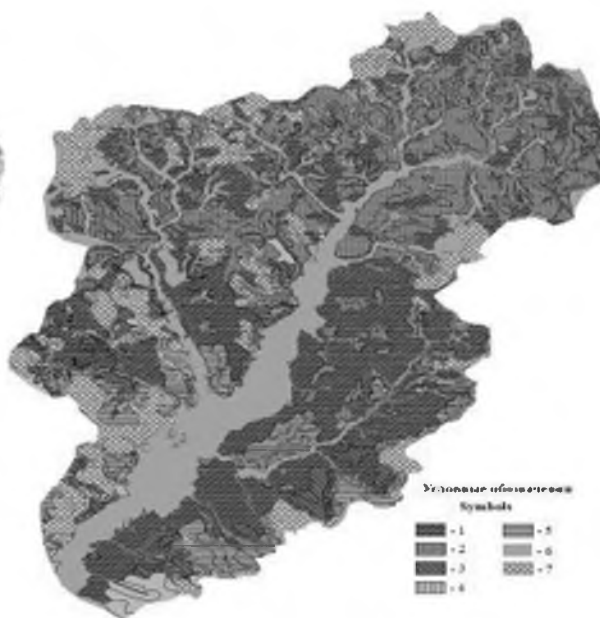


Рис. 6. Почвенная карта бассейна р. Ворсклица: 1 – чернозем выщелоченный; 2 – чернозем типичный; 3 – чернозем оподзоленный; 4 – серая лесная; 5 – темно серая лесная; 6 – почвы гидроморфного ряда; 7 – леса

Fig. 6. Soils map Vorsklitsa river basin: 1 – Chernozems Luvic; 2 – Chernozems Haplic; 3 – Chernozems Luvic; 4, 5 – Greyzems Haplic; 6 – soils of hydromorphic series; 7 – forests

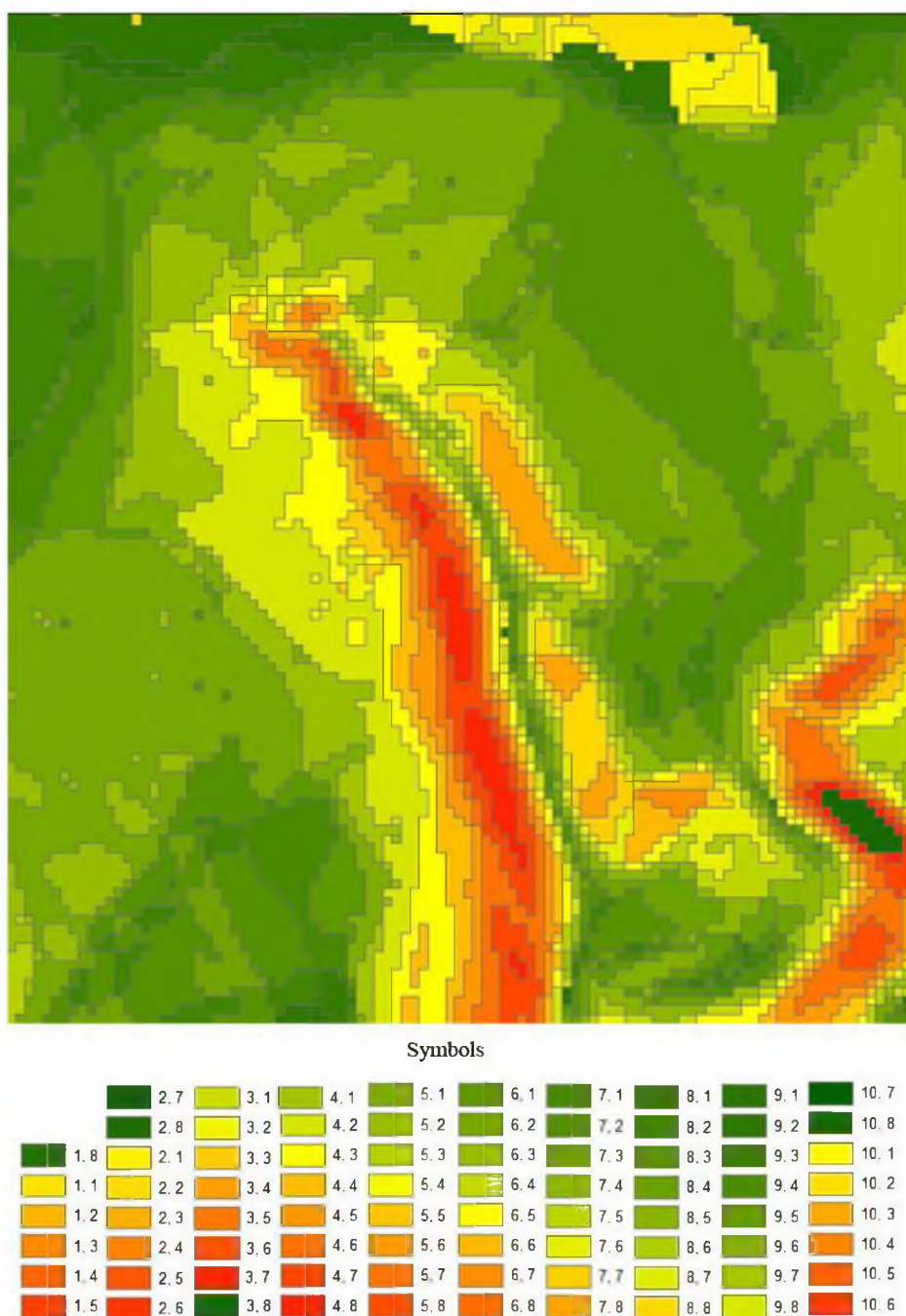


Рис. 7. Фрагмент карты, содержащий атрибутивную информацию по уклонам и экспозиции склонов (масштаб 1:50 000)

Fig. 7. The map containing attribute information on slope angles and slope aspects (scale 1:50 000)

Для расчета критерия χ^2 построены таблицы сопряженности тематических карт северной, южной, восточной, западной, северо-восточной, юго-восточной, юго-западной и северо-западной экспозиций. Так как распределение χ^2 , вычисленное при наличии в некоторых классах слишком малых частот, не является точным, то при расчете критерия χ^2 рекомендовано [Fisher, 1954] производить группировку материала так, чтобы в отдельных классах было не менее пяти измерений. С учетом этого нами сформирована корреляционная решетка для расчета сопряженности ареалов смытых и несмытых почв с таксонами объединенной карты экспозиции и крутизны склонов. Один из примеров решетки представлен в таблице 1, данные которой имеют вид матрицы, в клетках которой указаны частоты попадания в соответствующие градации сопрягаемых признаков изучаемых таксонов двух сравниваемых карт (объединенной карты экспозиции и крутизны склонов, а также почвенной карты).

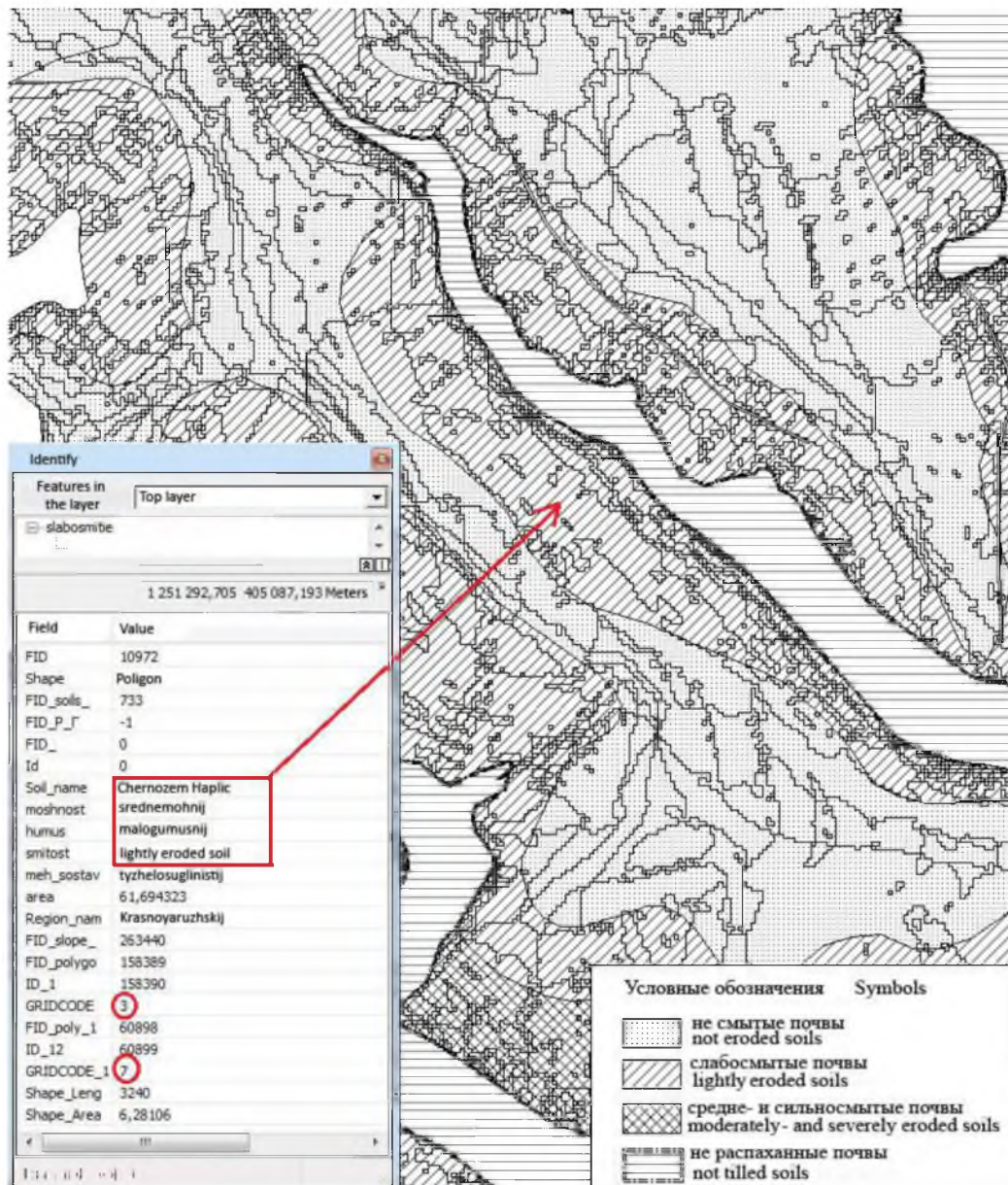


Рис. 8. Фрагмент карты, содержащей объединенную атрибутивную информацию по почвам в бассейне реки Ворсклица (масштаб 1:12 000)

Fig. 8. The map containing a combined attribute information on soils in the Vorsklitsa river basin (scale 1:12 000)

Таблица 1
Table 1

Схема корреляционной решетки для расчета сопряженности площадей (га) смытых и несмытых почв на склонах северной экспозиции
The scheme of correlation array to calculate contingency areas (ha) of eroded and not eroded soils Northern slope aspects

		Признаки X_i градации ¹						$\Sigma(X_{i0})$
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	
Признаки Y_j градации	Y_{Y1}	943.85	2255.59	232.85	67.98	26.95	20.20	3576.72
	Y_{Y2}	68.29	1206.79	570.10	334.05	122.66	67.95	2497.20
	$\Sigma(Y_{0j})$	1014.40	3500.27	842.41	424.62	167.45	99.88	6224.97

Примечание: X_1 – уклоны от 0° до 1°, X_2 – уклоны от 1° до 3°, X_3 – уклоны от 3° до 5°, X_4 – уклоны от 5° до 7°, X_5 – уклоны от 7° до 9°, X_6 – уклоны более 9°, X_{i0} – суммы частот по столбцам, Y_1 – несмытые почвы, Y_2 – смытые почвы, Y_{0j} – суммы частот по строкам.



Порядок расчетов.

Для обеспечения надежности получаемых результатов расчет показателя непараметрической корреляции проводили тремя способами, используя анализ сопряженных типологических карт смывости почв в пределах бассейна р. Ворсклица и единой карты, включающей ячейки крутизны и экспозиции склонов.

Вычисление параметра χ^2 по способу, предложенному Г. Брандом и Дж. Снедекором [Fisher, 1954], проводили по формуле:

$$\chi^2 = \frac{1}{p'q'} \times (\sum(ap) - np') \quad (1)$$

где p – отношение пар фактических численностей (a и a'), p' – отношение итогов, соответствующих фактическим численностям (n и n'), $q'=1-p'$.

Наряду с этим вычисление χ^2 осуществляли по формуле К. Пирсона [Fisher, 1954]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{lx} \sum_{j=1}^{ly} \frac{\left(n_{ij} - \frac{n_{io} \times n_{oj}}{n_{oo}}\right)^2}{\frac{n_{io} \times n_{oj}}{n_{oo}}} \quad (2)$$

где l_x и l_y – число градаций категорированных признаков x и y соответственно, n_{ij} – частоты попадания географических таксонов в градации i и j одновременно, n_{io} и n_{oj} – суммы частот по строкам и столбцам, n_{oo} – объем выборки.

Расчет средней сопряженности признаков (ϕ^2), представляющей собой величину χ^2 в расчете на одну выборку, осуществляли по формуле Пирсона [Шмидт, 1984]:

$$\chi^2 = n \times \phi^2 = n \times \frac{\sum(f_{xy})^2}{f_x f_y} - 1 \quad (3)$$

где n – объем выборки, f_{xy} – эмпирически сопряженные частоты, f_x и f_y – суммарные частоты классов для признаков x и y .

Итоговые значения параметра χ^2 , рассчитанные тремя указанными способами по формулам 1–3, отображены в таблице 2.

Таблица 2
Table 2

Значения показателей сопряженности, основанные на использовании метода χ^2
Values of contingency based on the χ^2 – method

Способы вычисления χ^2	Значения χ^2 для разноориентированных склонов ²							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
H. Brandt and G. Snedecor	1327.84	1325.00	1085.58	1163.86	1428.26	1643.57	1313.44	1324.18
K. Pearson, R. Fisher	1335.55	1333.61	1094.47	1164.36	1428.26	1647.8	1320.64	1333.98
K. Pearson	1331.37	1338.92	1094.47	1164.36	1428.26	1647.8	1320.64	1333.98

Примечание: С – северная, СВ – северо-восточная, В – восточная, ЮВ – юго-восточная, ЮЗ – юго-западная, З – западная, СЗ – северо-западная экспозиции.

Note: С – North, СВ – North-East, В – East, ЮВ – South East, ЮЗ – South West, З – West, СЗ – North West slope aspects.

Рассчитанные значения χ^2 показывают их близкое сходство для отдельно взятых тематических карт северной, южной, восточной, западной, северо-восточной, юго-восточной, юго-западной и северо-западной экспозиций, что свидетельствует о достоверности выполненных расчетов.

Достоверность связи, рассчитанная по формулам 1–3, проверена с помощью коэффициента контингенции К. Пирсона (С) и коэффициента А.А. Чупрова (Т):

$$C = \sqrt{\frac{\chi^2}{n + \chi^2}} \quad (4)$$

$$T = \sqrt{\frac{\chi^2}{n \times \sqrt{(kx-1) \times (ky-1)}}} \quad (5)$$



где k_x и k_y – число классов признаков x и y .

Вычисленные по формулам 4 и 5 значения коэффициентов Пирсона $C=0.49$ и Чупрова $T=0.28$ подтверждают достоверность связи между двумя категоризованными признаками значений типологических карт.

Поскольку рассчитанные значения χ^2 превышают критические, следует предполагать, что эмпирическое распределение признаков, использованных в работе градаций, не подчиняется нормальному закону распределения и, соответственно, отклонение вариант от нормального закона распределения указывает на влияние какого-либо другого фактора на статистическую совокупность [Fisher, 1954].

Влияние учтенных (n^2_x) и неучтенных (n^2_z) факторов установлено с помощью дисперсионного анализа по формулам:

$$n^2_x = \frac{S^2_x}{S^2_y}, \quad (6)$$

$$n^2_z = \frac{S^2_z}{S^2_y}, \quad (7)$$

где S^2_x – факториальная сумма квадратов отклонений, S^2_z – остаточная сумма квадратов отклонений, S^2_y – общая сумма квадратов отклонений.

В результате расчетов получены следующие оценки: $n^2_x=0.62$, $n^2_z=0.38$. Следовательно, учитываемые факторы крутизны и экспозиции склонов ответственны на 62% изменчивости результативного признака (площадей несмытых и смытых почв в пределах пахотных земель бассейна), тогда как на долю неучтенных в анализе факторов приходится 38%. Достоверность влияния фактора крутизны и экспозиции подтверждена с помощью критерия Фишера [Шмидт, 1984]:

$$F = \frac{\sigma^2_x}{\sigma^2_z}, \quad (8)$$

где σ^2_x , σ^2_z – факториальная и остаточная дисперсии, как меры соответствующих типов изменчивости признака в дисперсионном комплексе.

Полученное значение критерия Фишера $F=10.18$ выше стандартного значения, следовательно, достоверно подтверждается влияние крутизны и экспозиции склонов на закономерности пространственного распространения почв различной степени смытости в агроландшафтах.

Обнадеживающие возможности ГИС-анализа для выявления почвенно-геоморфологических связей определяют перспективы создания карт-гипотез в целях корректировки почвенных карт любого масштабного ряда, особенно в связи с необходимостью актуализации данных об эродированности почвенного покрова. Востребованность этой задачи подтверждают результаты обработки материалов дистанционного зондирования Земли [Лисецкий, Марциневская, 2009]: по прогнозным оценкам в Белгородской области площадь сильноосмытых почв увеличилась за 30 лет на 18 тыс. га (до 170 тыс. га), а общая эродированность почвенного покрова области за этот период возросла на 6% (до 60%).

Разработка высокотехнологичных методик агроландшафтной дифференциации территории водосборов с акцентом на их почвоводоохранное обустройство и агроэкологической типизация земель позволит эффективно решить задачу функциональной реорганизации всей сельской местности и внедрения ресурсосберегающего и экологически ориентированного землепользования, как это предусмотрено концепцией бассейнового природопользования [Лисецкий, Панин, 2013].

Выводы

1. Методами математического анализа установлена тесная связь между тематическими слоями карт (крутизны, экспозиции склонов и почвенного покрова). Гипотеза о статистической независимости категоризованных признаков отвергнута на уровне значимости 1%, ввиду того, что расчетное значение χ^2 превышает его критическое значение.

2. Выявлено отношение учтенных и неучтенных факторов на статистическую совокупность связи между картографируемыми явлениями, достоверность которых доказана с помощью критерия Фишера.

3. Полученные результаты подтверждают, что улучшение качества подготовки информации, в частности подтвержденное математическими методами, позволяет с необходимой точностью проводить геосистемный анализ территории.

4. Возможности ГИС-анализа для выявления почвенно-геоморфологических связей определяют перспективы эффективной корректировки крупномасштабных почвенных матери-

алов, особенно в связи с необходимостью актуализации данных об эродированности почвенного покрова в районах активного проявления водно-эрозионного процесса.

Список литературы References

1. Андерсон В.Н. 1990. Методические указания студентов-географов по курсам «Основы геоинформатики», «Геоинформационные системы», «Методика географических исследований». Часть I. Алгоритмы и программы и программы обработки географических данных на программируемых микрокалькуляторах. Одесса, ОГУ, 66.
Anderson V.N. 1990. Metodicheskie ukazanija studentov-geografov po kursam «Osnovy geoinformatiki», «Geoinformacionnye sistemy», «Metodika geograficheskikh issledovanij» Chast' I. Algoritmy i programmy i programmy obrabotki geograficheskikh dannyh na programmiruemym mikrokal'kuljatorah [Methodical instructions students geographers courses on «Fundamentals of Geoinformatics», «Geographic Information Systems», «Methods of geographical research». Part I. Algorithms and programs of geographic data on programmable calculators]. Odessa, OGU, 66. (in Russian)
2. Антимонов Н.А. 1959. Природа Белгородской области. Белгородское книжное издательство, 238.
Antimonov N.A. 1959. Priroda Belgorodskoj oblasti [Nature of the Belgorod region]. Belgorodskoe knizhnoe izdatel'stvo, 238. (in Russian)
3. Благовещенский Ю.Н., Дмитриев Е.А., Самсонова В.П. 1986. Применение непараметрических методов в почвоведении. М., Изд-во Моск. ун-та, 99.
Blagoveshhenskij Ju.N., Dmitriev E.A., Samsonova V.P. 1986. Primenenie neparametricheskikh metodov v pochvovedenii [Use of nonparametric methods in soil science]. Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta, 99. (in Russian)
4. Благовещенский Ю.Н., Самсонова В.П., Дмитриев Е.А. 1987. Непараметрические методы в почвенных исследованиях. М., Наука, 96.
Blagoveshhenskij Ju.N., Samsonova V.P., Dmitriev E.A. 1987. Neparametricheskie metody v pochvennyh issledovanijah [Nonparametric methods in soil studies]. Moscow, Nauka, 96. (in Russian)
5. Волков С.Н. 2001. Землеустройство. Т. 4. Экономико-математические методы и модели. М., Колос, 696.
Volkov S.N. 2001. Zemleustrojstvo. T. 4. Jekonomiko-matematicheskie metody i modeli [Economical and mathematical methods and models]. M., Kolos, 696. (in Russian)
6. Девдариани А.С. 1967. Математический анализ в геоморфологии. М., Недра, 156.
Devdariani A.S. 1967. Matematicheskij analiz v geomorfologii [Mathematical analysis in geomorphology]. Moscow, Nedra, 156. (in Russian)
7. Дмитриев Е.А. 1995. Математическая статистика в почвоведении. М., Изд-во МГУ, 320.
Dmitriev E.A. 1995. Matematicheskaja statistika v pochvovedenii [Mathematical statistics in Soil]. Moscow, Izd-vo MGU, 320. (in Russian)
8. Доспехов Б.А. 1985. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки исследований). М., Агрпромиздат, 651.
Dospëhov B.A. 1985. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoj obrabotki issledovanij) [The methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research)]. Moscow, Agropromizdat, 651. (in Russian)
9. Зайцев Г.Н. 1973. Методика биометрических расчётов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М., Наука, 256.
Zajcev G.N. 1973. Metodika biometricheskikh raschjotov. Matematicheskaja statistika v jeksperimental'noj botanike [The methodology of biometric calculations. Mathematical Statistics in Experimental Botany]. Moscow, Nauka, 256. (in Russian)
10. Каратаев Г.И. 1992. Геоморфология и математика. Минск, Нав и тэх, 108.
Karataev G.I. 1992. Geomorfologija i matematika [Geomorphology and mathematics]. Minsk, Nav i tjech, 108. (in Russian)
11. Лисецкий Ф.Н., Марциневская Л.В. 2009. Оценка развития линейной эрозии и эродированности почв по результатам аэрофотосъемки. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, 10: 39–43.
Lisetskij F.N., Martsinevskaja L.V. 2009. The evaluation of linear erosion and erosion soils as a result of aerial photography. Zemleustrojstvo, kadastr i monitoring zemel [Land management, cadastre and land monitoring], 10: 39–43. (in Russian)
12. Лисецкий Ф.Н., Панин А.Г. 2013. Бассейновая концепция природопользования на сельских территориях Белгородской области. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 1: 48–51.
Lisetskij F.N., Panin A.G. 2013. The basin concept of nature in the rural areas of the Belgorod region. Vestnik Rossijskoj akademii sel'skohozjajstvennyh nauk [Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences], 1: 48–51. (in Russian)
13. Пузаченко Ю.Г. 2004. Математические методы в экологических и географических исследованиях. М., Издательский центр «Академия», 416.
Puzachenko Ju.G. 2004. Matematicheskie metody v jekologicheskikh i geograficheskikh issledovanijah [Mathematical methods in ecological and geographical studies]. Moscow, Izdatel'skij centr «Akademija», 416. (in Russian)
14. Стативка И.М. 1985. Экономико-математические методы и моделирование в землеустройстве. Ч. I. Харьков, Харьк. с.-х. ин-т им. В.В. Докучаева, 102.



Stativka I.M. 1985. Jekonomiko-matematicheskie metody i modelirovanie v zemleustrojstve. Ch. I [Economic and mathematical methods and modeling in land management. Part 1]. Kharkiv, Har'kovskij sel'sko-hozjajstvennyj institut imeni V.V. Dokuchaeva, 102.

15. Тикунов В.С. 1997. Моделирование в картографии. М., Изд-во МГУ, 405.

Tikunov V.S. 1997. Modelirovanie v kartografii [Modelling in cartography]. Moscow, Izdatelstvo Moskovskogo Gosudarstvennogo Universiteta, 405. (in Russian)

16. Чертко Н.К. 1987. Математические методы в физической географии. Мн., «Университетское», 151.

Chertko N.K. 1987. Matematicheskie metody v fizicheskoj geografii [Mathematical methods in physical geography]. Minsk, «Universitetskoje», 151. (in Russian)

17. Шмидт В.М. 1984. Математические методы в ботанике. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 288.

Shmidt V.M. 1984. Matematicheskie metody v botanike [Mathematical methods in botany]. Leningrad, Izdatelstvo Leningradskogo universiteta, 288. (in Russian)

18. Bagdonavicius V., Levulirne R., Nikulin M.S. 2012. On chi-squares type tests and their applications in survival analysis and reliability. Записки научных семинаров ПОМИ, 408: 43–61.

Bagdonavicius V., Levulirne R., Nikulin M.S. 2012. On chi-squares type tests and their applications in survival analysis and reliability. Zapiski nauchnyh seminarov POMI [Notes of scientific seminars PDMI], 408: 43–61.

19. Boloac D.S., Jantschi L., Sestas F.A. 2011. Pearson-Fisher chi-squared statistic revisited. Informations, 2: 528–545.

20. Voinov V., Nikulin M., Balakrishnan N. 2013. Chi-squared goodness of fit test with applications. Academic press, USA, 229.

21. Fisher R. 1954. Statistical methods for research workers. Oliver and Boyd. Edinburg, UK, 267.