



УДК 528.92: 631.11

А.И. ПАВЛОВА, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
В.К. КАЛИЧКИН*, доктор сельскохозяйственных наук, первый заместитель директора

*Сибирский научно-исследовательский институт земледелия и химизации сельского хозяйства
СФНЦА РАН,*

**Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН*

630501, Россия, Новосибирская область, пос. Краснообск

e-mail: annstab@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОМОРФОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РЕЛЬЕФА ПРИ СОЗДАНИИ БАЗЫ ДАННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

При создании базы ГИС сельскохозяйственных земель на примере территории Омской области использован геоморфометрический анализ рельефа. Основными источниками информации об особенностях рельефа служили топографические карты масштабов 1 : 100 000 и 1 : 50 000. Методом интерполирования ANUDEM создана топологически корректная цифровая модель рельефа (ЦМР). ЦМР содержит соответствующие карты на изучаемую территорию: гипсометрическую, карты крутизны и экспозиции склонов, карты плановой, профильной, общей кривизны земной поверхности, кумулятивного стока. Рассчитаны геоморфометрические параметры, характеризующие интенсивность протекания эрозионных процессов (индекс SPI) и увлажнение территории (индекс TWI). Полученные геоморфометрические параметры рельефа использованы при создании базы данных ГИС сельскохозяйственных земель. По архитектуре база данных представляет собой совокупность реляционных таблиц, соединенных между собой связями «один-ко-многим». Систематизацию сведений о рельефе осуществляли в базе данных ГИС по отношению к элементарным поверхностям рельефа. Элементарные поверхности рельефа обладают общностью свойств распределения потоков вещества и энергии по земной поверхности, поскольку выделены с учетом характерных линий и точек перегиба в рельефе. В структуре таблицы элементарных поверхностей рельефа определены поля, включающие количественное и качественное описание геоморфометрических параметров, сведения о типе почв, рыхлых почвообразующих породах, глубине залегания грунтовых вод. Уникальный идентификатор, соответствующий номеру элементарной поверхности на карте, использован для возможности осуществления запросов к атрибутивным данным таблиц.

Ключевые слова: ГИС, база данных, сельскохозяйственные земли, геоморфометрический анализ рельефа, топографический индекс влажности TWI, индекс мощности линейной эрозии SPI.

Для агроэкологической оценки земель сельскохозяйственного назначения необходимо учитывать климатические, геоморфологические, почвенные и иные сведения. В обособлении и формировании геосистем различного ранга ведущая роль принадлежит рельефу. Изменение его в пространстве и во времени оказывает влияние на микроклиматические условия, сток поверхностных вод, развитие эрозионных процессов и др. [1, 2]. При оценке рельефа наиболее широко используется его морфологическое описание, связанное с выделением типов рельефа и его отдельных форм. Существующее многообразие форм рельефа осложняет процесс исследований.

Развитие современных информационных технологий обработки данных способствует формализованному описанию и выделению форм и элементов земной поверхности, представлению исходной информации о рельефе в удобной для моделирования форме. Наибольшее развитие геоморфометрия получила за рубежом [3–5]. Практическое приложение геоморфометрии связано с важнейшей моделирующей функцией ГИС – созданием и анализом цифровых моделей рельефа (ЦМР), количественным описанием параметров рельефа в процессе изучения геоморфологических условий территории исследования [5].

Цель работы – использовать геоморфометрический анализ рельефа при создании базы данных сельскохозяйственных земель.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Территория объекта исследований площадью 8742 км² охватывала Седельниковский административный район, часть Тарского и Муромцевского районов Омской области (географические координаты левого нижнего угла 56°23' с.ш., 74°06' в.д. и правого верхнего – 57°04' с.ш., 76°18' в.д.). Основными источниками информации служили топографические карты М 1 : 100 000 и 1 : 50 000, почвенная карта М 1 : 600 000, карта геоморфологического районирования Омской области [6]. Особая надежность топографических карт обеспечивается тем, что изображение в виде горизонталей отличается наглядностью восприятия и возможностью описания морфографических и морфометрических характеристик рельефа [6–8]. В ходе региональных исследований выбранные масштабы карт способствовали отображению плоскоравнинных открытых, а также покрытых древесной растительностью и холмистых территорий.

Архитектура разработанной базы данных (БД) сельскохозяйственных земель представляет совокупность реляционных таблиц, соединенных между собой связями «один-ко-многим». Для разработки схемы БД использована СУБД Microsoft Access 2013, для практической реализации в геоинформационной системе – полнофункциональная ГИС ArcGIS 10.

Совокупность информации о территории хранится в растровой и векторной моделях данных ГИС. Растровая модель включает сканированные картографические материалы; ЦМР в виде GRID-модели; созданные морфометрические карты рельефа: гипсометрическую; карты экспозиции склонов, углов наклона рельефа; карты плановой, профильной, общей кривизны поверхности, кумулятивного стока, топографического индекса влажности TWI (Topographic Wetness Index), индекса мощности эрозии SPI (Stream Power Index). Топографический индекс влажности TWI использован для выделения и характеристики увлажненных участков, связанных с кумулятивным поверхностным стоком территории местного водосбора [3, 5]. Индекс мощности эрозии SPI применен для характеристики на изучаемой территории степени развития эрозионных процессов, способности накопления осадочных пород [3, 5].

Систематизацию сведений о рельефе территории производили по отношению к элементарным поверхностям рельефа (ЭП). Согласно методу морфодинамического анализа, изложенному в работах А.Н. Ласточкина [9, 10], ЭП представляют собой морфологически однородные образования,

ограниченные между собой гребнями и перегибами в рельефе. Сочетание ЭП позволяет изучить и отобразить на карте сложный рельеф. Элементарные поверхности, выделенные на морфологической основе, обладают общностью свойств распределения потоков вещества по поверхности. Для выделения ЭП структурными линиями служили гребневые и килевые линии с экстремальными значениями высот в виде функции плановых координат; линии выпуклых и вогнутых перегибов с нулевыми значениями первой производной и максимальными значениями – второй; морфоизографы с нулевыми значениями плановой кривизны. Характерными точками являлись места наибольших повышений или понижений в рельефе территории, вершины седловин, отметки урезов водной поверхности.

Векторная модель данных представляет собой слои ГИС с соответствующими таблицами атрибутивных данных: цифровой топографической картой, ЦМР в векторной форме, картой геоморфологического районирования территории и элементарных поверхностей рельефа. Цифровая топографическая карта включает информацию об объектах топографии изучаемой территории: населенных пунктах, древесной растительности, объектах гидрографии и др. ЦМР содержит информацию о рельефе земной поверхности в виде горизонталей, отметок точек земной поверхности, форм рельефа. Карта геоморфологического районирования включает информацию о геоморфологических областях и районах [6].

Для создания ЦМР в виде GRID-модели использован метод интерполирования ANUDEM [11–13], относящийся к локальному адаптивному интерполятору. Особенность метода заключается в интерполировании поверхности по точкам, наиболее точно описывающих особенности поверхностного стока и дренажной сети территории [11–13]. Исходные данные для цифрового моделирования рельефа получены с топографических карт двух масштабов – 1 : 100 000 и 1 : 50 000. В соответствии с этим на основе работ [7, 8, 14] при моделировании размер ячейки GRID-модели установлен равным 100 м. В ходе моделирования использованы различные типы данных, в том числе сведения об отметках урезов водных поверхностей, тальвегов, границ оврагов, дорог и др. Это повысило точность построения ЦМР. На рис. 1 показан фрагмент ЦМР, созданный этим методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

ЦМР служила основой для определения геоморфометрических параметров рельефа и создания тематических карт: гипсометрической; карт крутизны и экспозиции склонов, направления кумулятивного стока; карт плановой, профильной и общей кривизны поверхности. На рис. 2 отображен фрагмент гипсометрической карты рельефа территории водосборного бассейна, расположенного в междуречье рек Иртыш, Тара и Уй. Изучаемая территория характеризуется перепадом высот от 48 до 154 м, средняя отметка при этом составляет 110 м, стандартное отклонение – 23 м. Наиболее пониженные участки рельефа приурочены к поймам рек, лощинам, речным долинам, повышенные – к водораздельным равнинам.

Крутизна склонов оказывает определяющее влияние на формирование поверхностного стока и степень развития эрозионных процессов. Создана карта углов наклона рельефа, на которой выделение земель по категориям

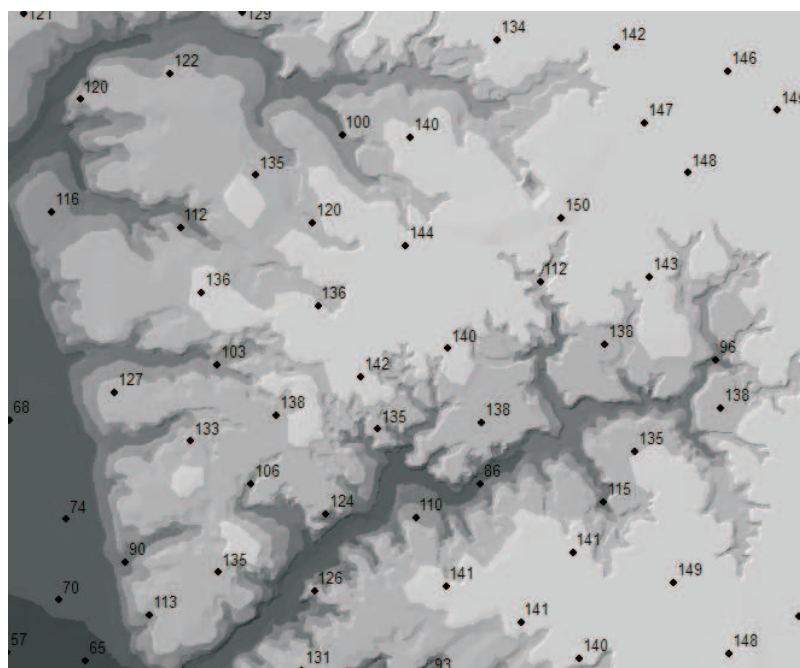


Рис. 1. ЦМР, созданная методом ANUDEM:
124 – высоты точек земной поверхности, м

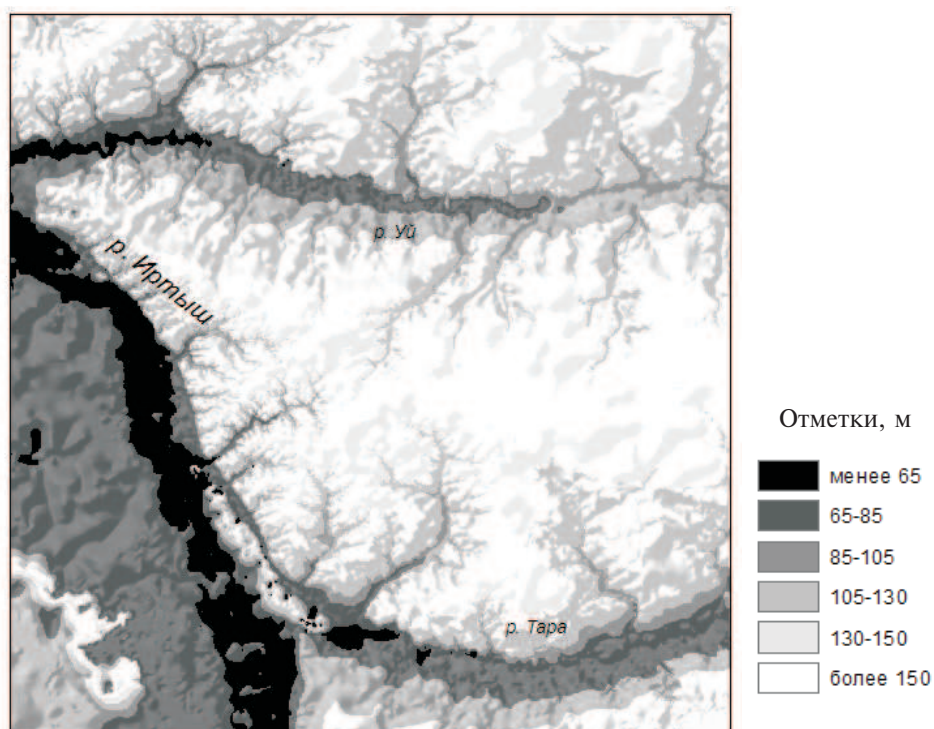


Рис. 2. Гипсометрическая карта рельефа

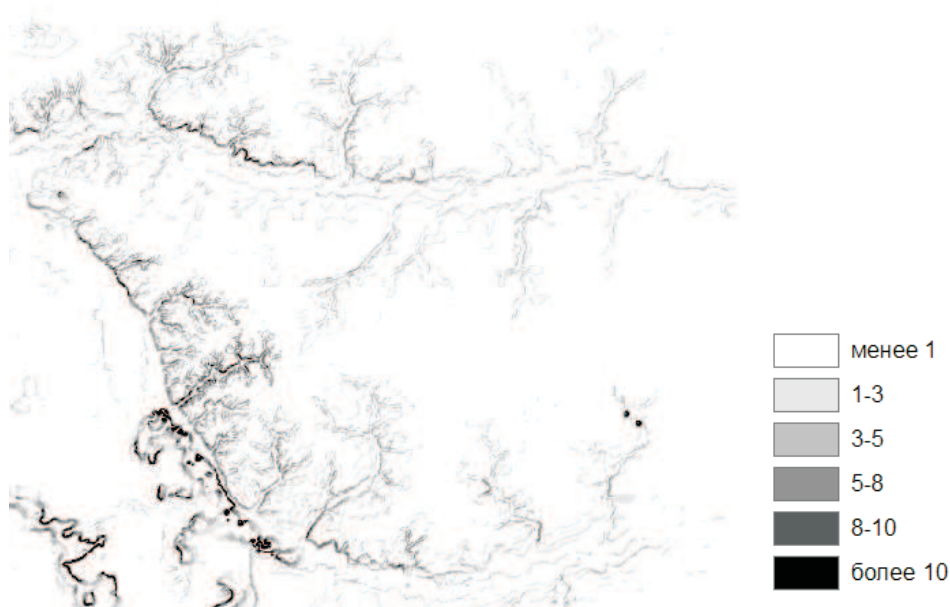


Рис. 3. Карта углов наклона рельефа, град.

склонов осуществляли согласно методическим указаниям [15] (рис. 3). Определено, что распределение земель по типам склонов неравномерное, большая часть занята плоскими водоразделами с углами наклона рельефа менее 1° (83,0 %). Очень пологие склоны (с крутизной ската 1–2°) и пологие (2–3°) встречаются на 11,9 % территории, слабопокатые с углами 3–5° распределены на 3,5 %, покатые с углами 5–8° занимают 1,3 %. Сильнопокатые склоны (8–10°), крутые (более 8°) и очень крутые (более 15°) в совокупности занимают незначительную часть – 0,3 % площади территории. Средние значения углов наклона рельефа изучаемой территории составляют менее 1°, стандартное отклонение не превышает 0,5° (табл. 1).

Определены геоморфометрические параметры, характеризующие кривизну земной поверхности в плановом положении и профиле, и созданы соответствующие карты. Анализ результатов полученной ЦМР (1 650 777 ячеек) показал, что диапазон изменения значений плановой и профильной кривиз-

Таблица 1

Геоморфометрические параметры рельефа

Отклонение	H, м	Кривизна поверхности			Угол наклона, град.	Экспозиция, град.
		C _{plan}	C _{prof}	C		
Минимальное	47,53	–0,73	–0,41	–1,31	0	0
Максимальное	154,08	0,35	0,68	0,55	18,52	360
Среднее	110,03	–0,003	–0,002	–0,003	0,13	218,03
Стандартное	23,07	0,004	0,006	0,008	0,48	101,82

П р и м е ч а н и е. H – высота, м; кривизна поверхности: C_{plan} – плановая; C_{prof} – профильная; C – общая.

ны поверхности на изучаемой территории незначительный, средние значения и стандартное отклонение кривизны близки к нулю (см. табл. 1).

На основании полученных результатов создана карта пластики рельефа в растровом виде с выделением плоских, выпуклых и вогнутых поверхностей способом классификации на естественные интервалы (рис. 4) [16]. Вогнутые участки характеризуются отрицательной плановой кривизной от $-0,734$ до $-0,028$, плоские описываются кривизной поверхности в интервале от $-0,028$ до $0,009$, выпуклые имеют положительную кривизну от $0,009$ до $0,349$.

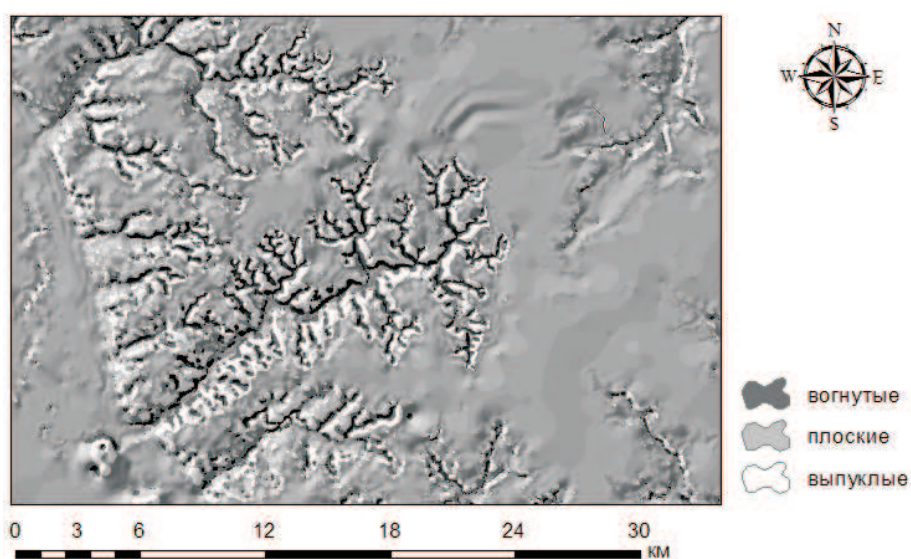


Рис. 4. Карта пластики рельефа

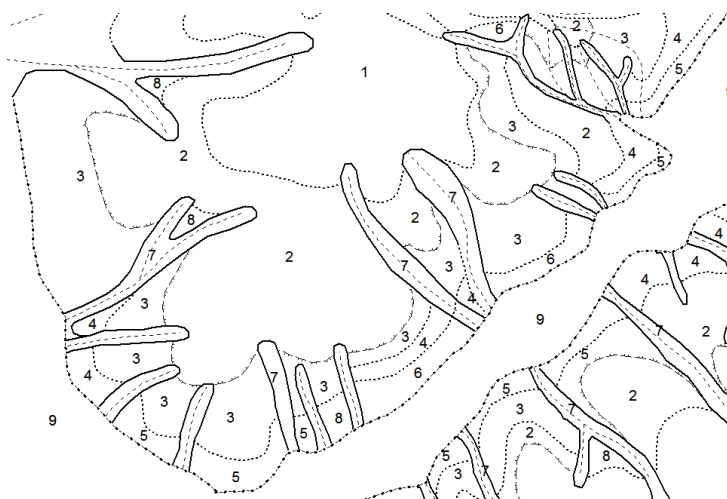


Рис. 5. Карта элементарных поверхностей рельефа:

----- талвеги долин; ----- бровки склонов;
 подшвы склонов; — морфоизографы

Для систематизации сведений о рельефе территории составлена ЭП рельефа (рис. 5). В структуре таблицы ЭП определены поля, включающие сведения о типе почв, рыхлых почвообразующих породах, глубине залегания грунтовых вод согласно почвенной карте Омской области и литературным источникам. Установлен уникальный идентификатор, соответствующий номеру ЭП для возможности осуществления запросов к атрибутивным данным таблицы (табл. 2). Геоморфометрические параметры рельефа использованы при создании БД сельскохозяйственных земель путем усреднения числового значения параметра по растровым картам.

Таким образом, выделены элементарные поверхности в виде площадных примитивов с ограничивающими их структурными линиями рельефа. Это позволило систематизировать поверхности в сходные однотипные группы по направленности и интенсивности потоков вещества и энергии: водораздельные, склоны, эрозионные и пойменные (табл. 3).

Междуречье включает субгоризонтальные и выпуклые поверхности с углами наклона рельефа менее 1° , вогнутые седловины. Седловины со-

Таблица 2

Атрибутивные данные карты элементарных поверхностей рельефа

ID	h , м	v , град.	Почва	Глубина залегания грунтовых вод, м	Экспозиция, град.	C_{plan}	C_{prof}	TWI	SPI
121	3	0,015	B_n^{T0}	Менее 0,5	0	-0,003	-0,002	5,8	0,8
10	5	0,023	П	Более 6	359	0,0004	0,0001	1,6	1,5
5	20	3,267	П	Более 6	168	0,256	0,524	0,9	5,4
10	22	5,864	P_d	Более 6	193	0,022	0,613	2,6	6,3
22	5	0,018	B_b^{T1}	Менее 0,5	0	-0,002	-0,004	4,3	0,5

Примечание. h – глубина базиса эрозии, м; v – угол наклона рельефа, град.; B_n^{T0} – болотные низинные торьянисто- и торфяно-глеевые; B_b^{T1} – болотные верховые на мелких и средних торфах; П – подзолистые почвы; P_d – дерново-подзолистые.

Таблица 3

Типы поверхностей рельефа

Тип поверхностей	Элементарные поверхности	Номер*
Водораздельные	Выпуклые	2
	Субгоризонтальные	1
	Седловины вогнутые	10
Склоны	Очень пологие (угол наклона рельефа $1-2^\circ$) и пологие ($2-3^\circ$)	3
	Слабопокатые ($3-5^\circ$)	4
	Покатые ($5-8^\circ$)	5
	Сильнопокатые ($8-10^\circ$), крутые ($10-15^\circ$) и очень крутые (более 15°)	6
Эрозионные	Водосборные понижения	7
	Лощины, ложбины	8
Пойменные	Поймы рек, речные террасы	9

* Номер соответствует рис. 5.

единяют плоские участки междуречий и плавно переходят в водосборы ложин. Почвообразующими породами служат озерно-болотные верхне-четвертичные и современные отложения, представленные глинами и тяжелыми суглинками с мергелем, сапропелем, минеральными красками. Глубина залегания грунтовых вод менее 0,5 м. Здесь формируются болотные верховые и низинные почвы часто с мощными торфами [17, 18].

Склоны отличаются большим разнообразием по форме, крутизне и экспозиции. Пологие и очень пологие склоны плавно соединяются с водоразделами; плоские и слабовыпуклые в продольном профиле склоны имеют углы наклона 1–3°; сильнопокатые террасированы и характеризуются крутизной более 8°. В большинстве случаев склоны ориентированы с северо-запада на юго-восток в перпендикулярном направлении к речным долинам. Поверхности склонов осложнены ложинами, ложбинами и выраженными в рельефе водосборными понижениями. Основными почвообразующими породами служат лессовидные суглинки, которые при нагрузке дают просадку и легко размываются водными потоками. Распространены преимущественно подзолистые и дерново-подзолистые почвы [17, 18].

Поймы рек распространены на озерных и озерно-аллювиальных отложениях ниже-среднечетвертичного возраста с покровными тонкозернистыми песками, реже супесями. Почвенный покров составляют аллювиальные лугово-болотные почвы [18, 19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная база данных сельскохозяйственных земель включает совокупность информации о территории в растровой и векторной моделях данных ГИС ArcGIS 10. Использование геоморфометрического анализа при создании БД позволило вычислить основные параметры, характеризующие рельеф по крутизне и экспозиции склонов, кривизне поверхности, кумулятивному стоку. Вычислены показатели, отражающие увлажнение территории и степень развития эрозионных процессов в виде топографического индекса влажности TWI и индекса мощности эрозии SPI. Это позволило систематизировать сведения о рельефе по отношению к элементарным поверхностям, обладающим общностью свойств распределения вещества и потоков по земной поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Танасиенко А.А.** Специфика эрозии почв в Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – 175 с.
2. **Рейнгард Я.Р.** Деградация почв экосистем юга Западной Сибири. – Омск, Лодзь (Польша), 2009. – 634 с.
3. **Geomorphometry: Concepts, Software, Applications** / by editing Tomislav Hengl. Hannes I., Reuter. – 2009. – 765 p.
4. **Florunsky I.** Digital Terrain Analysis in soil science and geology. – Elsevier, 2012. – 379 p.
5. **Wilson J.P.** Terrain Analysis: Principles and Applications, 2000. – 520 p.
6. **Павлова А.И., Каличкин В.К.** Использование материалов космической съемки и ГИС для геоморфологического районирования территории // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2009. – № 11. – С. 5–14.
7. **Самсонов Т.** Мультимасштабное картографирование рельефа. Общегеографические и гипсометрические карты. – Saarbrücken: OLAP Lambert Academic Publishing, 2011. – 208 с.

8. **Новаковский Б.А., Прасолов С.В., Прасолова А.И.** Цифровые модели рельефа реальных и абстрактных геополей. – М.: Научный мир, 2003. – 64 с.
9. **Ласточкин А.Н.** Морфологическая основа систематики и картографирования контролируемых рельефом компонентов ландшафта // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1991. – № 3. – С. 7–18.
10. **Ласточкин А.Н.** Системно-морфологическое основание наук о Земле (геотопология, структурная география и общая теория геосистем). – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2002. – 762 с.
11. **McCoy J., Johnston K., Kopp Steve et al.** Using ArcGIS Spatial Analyst. – ESRI Press. Redland CA (USA). – 2001. – 232 p.
12. **Hutchinson M.F., Gallant J.C.** Digital elevation models and representation of terrain shape J.P. Wilson and J.C. Gallant (eds) / Terrain Analysis. John Wiley & Sons. – New York, 2000. – P. 29–50.
13. **Tan Q., Xu X.** Comparative Analysis of Spatial Interpolation methods: an experimental study // Sensors & Transducers. – 2014. – Vol. 165, Issue 2. – P. 155–163.
14. **Hegl T.** Hiding the right pixel size // Computers and Geosciences. – 2006. – Vol. 32 (9). – P. 1283–1298.
15. **Агроэкологическая** оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: метод. руководство. – М.: Росинформагротех, 2005. – 784 с.
16. **Jenks George F.** The Data Model Concept in Statistical Mapping // International Yearbook of Cartography. – 1967. – N 7. – P. 186–190.
17. **Архипов С.А.** Этап формирования современного рельефа. Четвертичный период // Западно-Сибирская равнина. – М.: Наука, 1970. – С. 66–203.
18. **Прудникова В.М., Рейнгард Я.Р.** Почвообразующие породы Омской области // Почвы Западной Сибири, их мелиорация и эффективность удобрений. – Омск, 1980. – С. 3–8.

Поступила в редакцию 19.09.2016

**A.I. PAVLOVA, Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher,
V.K. KALICHKIN*, Doctor of Science in Agriculture, First Deputy Director**

*Siberian Research Institute of Soil Management and Chemicalization
of Agriculture, SFSCA RAS*

**Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies, Russian Academy of Sciences*

Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia

e-mail: annstab@mail.ru

USING THE GEOMORPHOMETRIC ANALYSIS OF A RELIEF FOR CREATING A DATABASE OF FARMLANDS

The geomorphometric analysis of a relief was used to create a GIS database of farmlands by way of example of Omsk Region. The main sources of information on relief features were M 1:100000 and 1:50000 topographic maps. By the method of interpolating ANUDEM was developed a topologically correct digital model of a relief (DEM). The DEM contains the appropriate cards for the territory studied: hypsometric card; maps of the steepness and exposure of slopes; maps of plan, profile and general curvatures of the earth surface; cumulative runoff. The geomorphometric parameters characterizing the intensity of erosion processes (SPI index) and moistening of the territory (TWI index) were calculated. These geomorphometric parameters were used for the creation of the GIS database of farmlands. In terms of architecture, the database is a set of relational tables connected among themselves by “one-to-many” communications. Systematization of information on the relief was carried out in the GIS database with respect to the elementary surface topography. Elementary surfaces of the relief possess common properties of distribution of substance and energy flows over the earth surface, as they are selected taking into account characteristic lines and contrary flexure points in the relief. In the structure of the table of elementary surfaces of the relief, the fields that include quantitative and qualitative descriptions of geomorphometric parameters; data on soil types, free soil strata and the groundwater depth are defined. The unique identifier corresponding to the number of the elementary surface is used for implementing requests to attribute data of the tables.

Keywords: GIS, database, farmlands, geomorphometric analysis, relief, topographic wetness index, stream power index.