

УДК 528.94:004.925.8
DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-3-40-49

Создание модели речной сети для тематической карты с помощью ГИС-технологии

Оюунханд Бямба¹, Е. Л. Касьянова^{1*}

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
* e-mail: helenkass@mail.ru

Аннотация. Освещаются вопросы создания модели речной сети Монголии как основа для тематических карт с помощью ГИС-технологий. Рассмотрена характеристика речной сети Монголии, так как при построении цифровой модели необходимо передать ее густоту и строение. Цифровые модели рельефа (ЦМР) широко применяются при создании и обновлении гидрологических моделей поверхности. В качестве исходной информации для создания ЦМР Монголии используются спутниковые снимки SRTM пространственного разрешения с шагом 30×30 метров, находящиеся в открытом доступе. На основе этой ЦМР создана модель речной сети Хэнтийского аймака Монголии для тематического картографирования. Порядок развивающейся речной сети определялся методом Страхлера в ArcGIS Spatial Analyst с применением специального инструмента «Гидрология». В результате исследования создана векторная гидрографическая модель с базой данных, содержащая информацию о речных сетях. Объект исследования – речная сеть Хэнтийского аймака Монголии, относящаяся к Тихоокеанскому бассейну.

Ключевые слова: спутниковые снимки, ГИС-технология, цифровая модель рельефа, модель речной сети, тематическая карта, гидрографическая модель поверхности

Введение

В Монголии расположена одна из больших пустынь – пустыня Гоби. Несмотря на это, страна богата гидрографией – реками и озерами. Здесь насчитывается примерно 4 000 рек, общей протяженностью 67 000 км. Реки берут свое начало в горах на севере и западе страны – это Монгольский Алтай, Хангай, Хубсугул и Хэнтей. К самым крупным рекам страны относятся Селенга (600 км), Керулен (1 100 км) и Онон (300 км), протекающие через территорию Хэнтийского аймака, Халхин-гол, Кобдо и др., самая крупная из них, полноводная – Селенга. По территории Монголии проходит водораздел, разделяющий речную сеть на три бассейна: Северного Ледовитого и Тихого океанов, Центрально-Азиатский внутренний бессточный.

Центрально-Азиатский внутренний бессточный бассейн самый крупный, занимает 65,6 % площади территории страны, в нем формируется около 32 % всего речного стока.

Площадь бассейна Северного Ледовитого океана занимает 20,6 %, здесь формируется 52,1 % общего стока страны.

Наименьшая площадь у Тихоокеанского бассейна – всего 13,9 % территории страны, формирующий 15,9 % общего стока.

Истоки рек Керулен, Онон, Ульдза относятся к бассейну Тихого океана, расположены в горах Хэнтий.

В Монголии насчитывается более тысячи озер как постоянных, так и временных (пересыхающих). Самые крупные из них Убсу-нур, Хара-Ус-нур, Хиргис-нур располагаются на западе страны в котловине Больших озер, два озера Буйр-нур, Хух-нур находятся на востоке, на севере протянулось озеро Хубсугул-нур [1].

В Монголии картографирование гидрографии проводилось ручным способом, что было длительным и трудоемким процессом, поэтому стоит задача использования современной ГИС-технологии, что позволит изображать речную сеть более точно и современно.

Геоинформационное картографирование – одно из генеральных направлений развития картографии – как науки, так и производства. Геоинформатика интегрировала ряд наук, в том числе картографию, подняв их на более высокий технологический уровень [2].

Сегодня картография – наука, развивающаяся в комплексе с дистанционным зондированием Земли (ДЗЗ) и геоинформатикой. С развитием методов ДЗЗ современной науке стало доступно широкое получение геопространственных данных, что повлекло за собой совершенствование и развитие геоинформационных систем, на основе которых выполняется моделирование физико-географических процессов, происходящих на поверхности Земли [3]. Пространственные геоданные стали крупной составляющей пространственно-распределенных гидрографических моделей, позволяя учитывать ландшафтные неоднородности процессов формирования речного стока [4, 5].

Цифровую модель рельефа (ЦМР) можно использовать в качестве основы при картографировании с применением компьютерных технологий. На основе такой модели выполняются разнообразные расчеты и преобразования, автоматически строятся производные морфометрические карты [6], она широко применяется при построении гидрографических моделей, в условиях которых происходят формирование направленных потоков и интенсивность гидрографических процессов. В настоящее время одной из актуальных и прикладных задач тематической картографии Монголии, решаемых средствами ГИС-технологий, является построение модели речной сети Хэнтий аймака. Инструменты для выполнения этой задачи имеются во многих современных ГИС-пакетах.

Материалы и методы исследования

Объект исследования – Хэнтий аймак Монголии, находящийся между 46°15'00" и 49°20'00" северной широты; 108°30'00" и 112°40'00" восточной долготы. Ключевым компонентом для моделирования речной сети средствами ГИС становится ЦМР-покрытие. В качестве исходной информации для создания ЦМР используются спутниковые снимки SRTM благодаря своей открытости и возможности применения для большей части земной поверхности (особенно для той, куда трудно добраться). В ходе исследования использованы снимки SRTM (Геологическая служба

США). В 2003 г. Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA) опубликовало материалы спутниковой радиолокационной съемки Земли (Shuttle Radar Topography Mission, SRTM) в виде цифровой модели рельефа (Digital elevation model, DEM) с пространственным разрешением от 30 до 90 м. В открытом доступе опубликовались матрицы высот с шагом 30 × 30 м на всю территорию земной поверхности в виде файлов ArcGIS, и в формате Geotiff (<http://earthexplorer.usgs.gov>) [7–9].

В 2000 г. академик, профессор Института географии и геоэкологии академии наук Монголии Д. Амарсайхан определил следующие оптимальные варианты масштабов для создания тематических карт по спутниковым снимкам (таблица). В результате оптимальным разрешением для тематических карт принято 20–25 пикселей на 1 см, при минимальном 14–15 пикселей [10, 11].

Оптимальные масштабы для создания тематических карт по спутниковым снимкам

Спутники	Масштаб
MODIS [250 м]	1 : 500 000 и меньше
Landsat TM [30 м], [15 м]	1 : 200 000 и меньше
SPOT [10 м]	1 : 50 000 и меньше
SRTM DEM [30]	1 : 360 000 и меньше

В ходе выполнения гидрографического моделирования учитывается и анализируется ряд параметров процесса рельефообразования и особенностей характеристик местности, а также понятия и ключевые термины, касающиеся дренажных сетей и действий поверхностного стока [11]. Инструменты «Гидрология», включенные в модуль ArcGIS Spatial Analyst, используются для моделирования потока воды по поверхности.

Локальные понижения или вершины представляют собой небольшие ошибки, возникающие из-за пространственного разрешения используемых данных или округления чисел до ближайшего целого значения. Именно локальные понижения следует заполнить для более правильного выделения речных бассейнов и водотоков, иначе полученная дренажная сеть будет изображена с разрывами. Создаются локальные пониже-

ния инструментом Spatial Analyst/Hydrology/Fill «Заполнение», который можно использовать для определения числа локальных понижений и установления значений их глубин, а также для удаления пика – ячейки, около

которой не располагаются ячейки со значениями высот, превышающими значение высоты данной ячейки [12].

Результаты заполнения локальных понижений представлены на рис. 1.

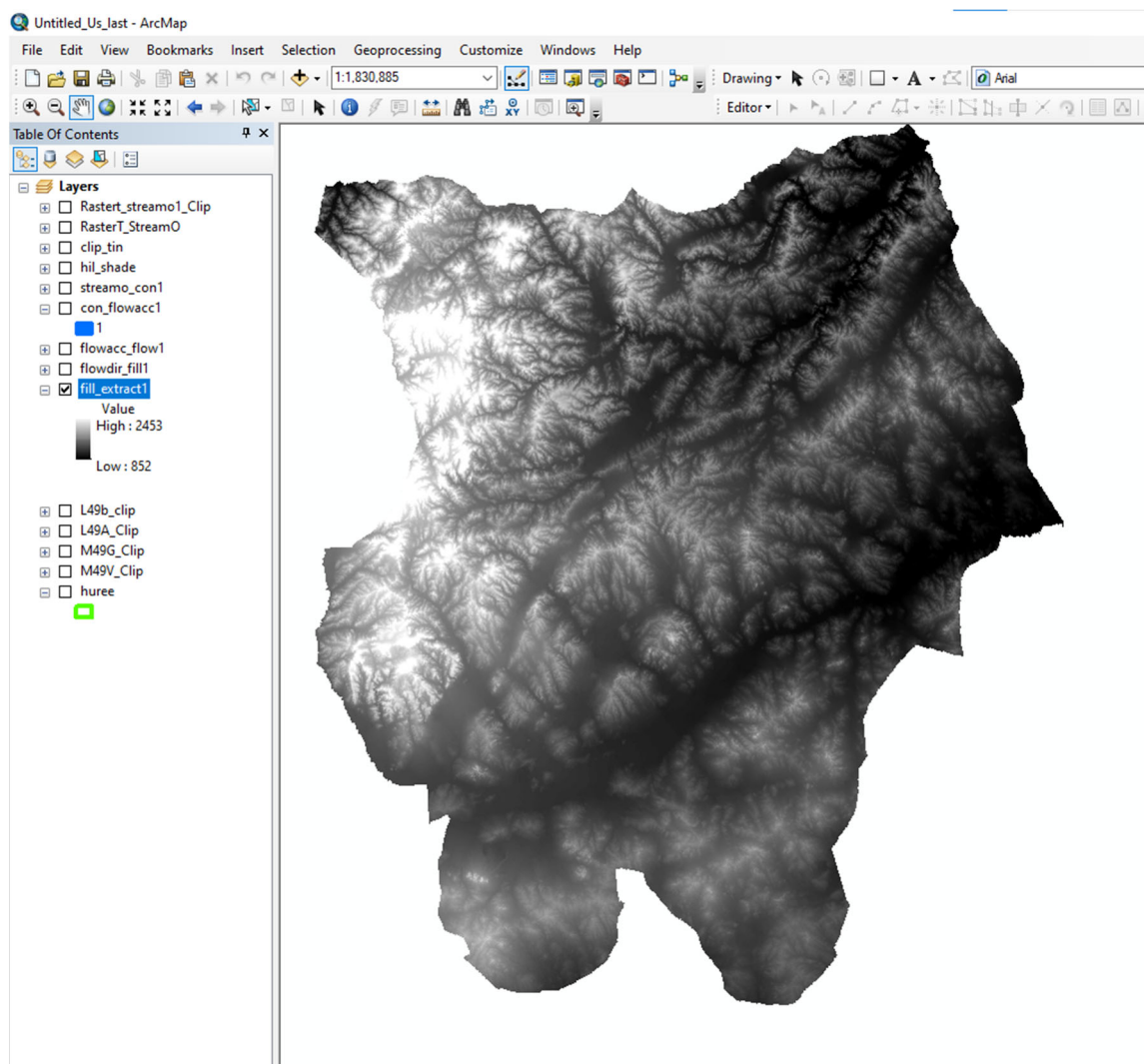


Рис. 1. Цифровая модель рельефа после заполнения локальных понижений

Полученную ЦМР после заполнения локальных понижений используем для расчета направлений стока. Инструмент Spatial Analyst/Hydrology/Flow Direction «Направление стока» позволяет определить направления стока из каждой ячейки растрового слоя, способствуя получению различных гидрологических характеристик земной поверхности. При использовании инструмента обычно создается целочисленный растровый слой со значениями, которые располагаются в диапазоне от 1 до 255 (рис. 2).

Применяя растровое покрытие направлений стока, в каждой ячейке растра вычисляется суммарный сток, который расположен вниз по склону [2]. Считается, что ячейка обладает неопределенным направлением стока в том случае, если ее значение в растре не равно 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 или 128. Данная задача решается инструментом Spatial Analyst/Hydrology/Flow Accumulation «Суммарный сток», результаты представлены на рис. 3 [13, 14].

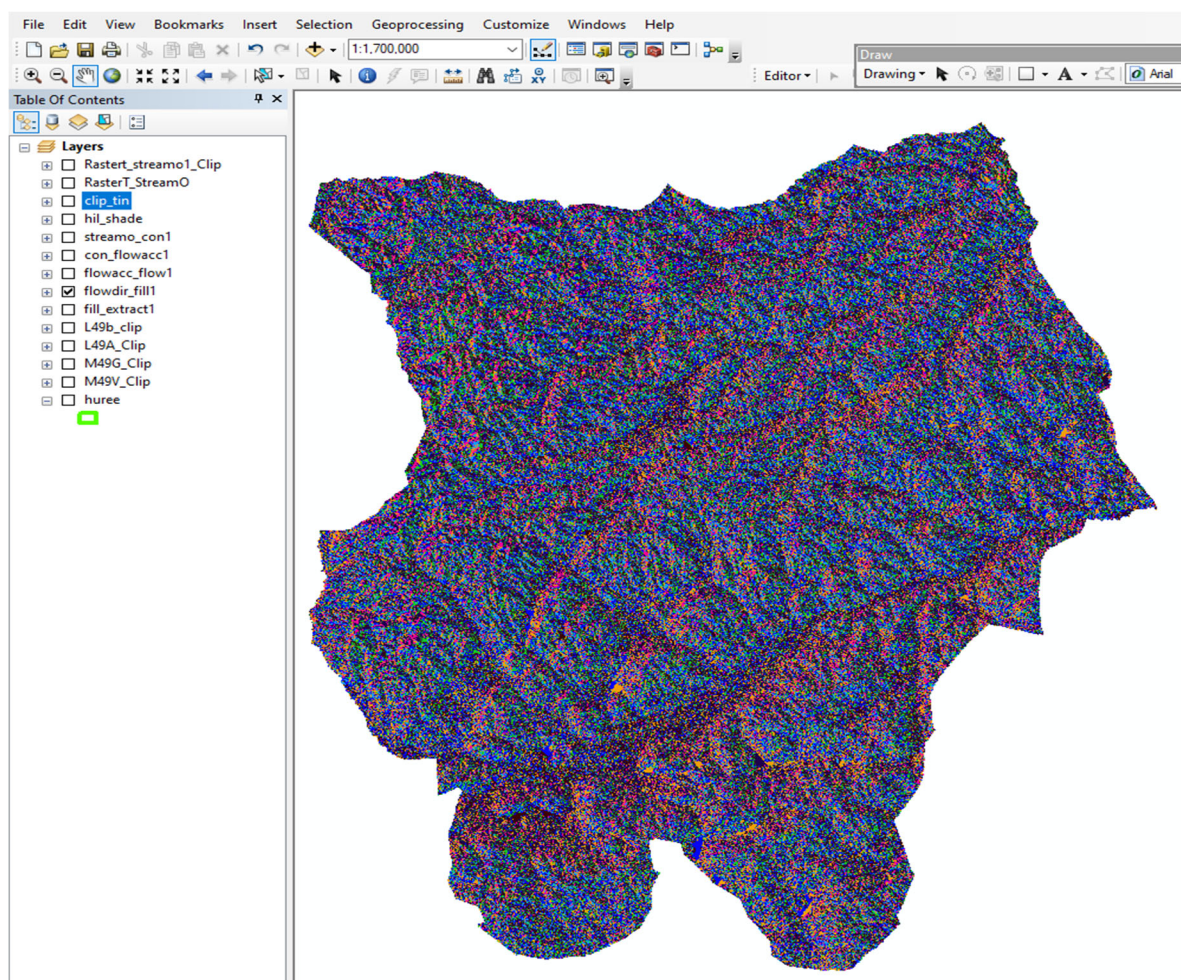


Рис. 2. Растровое покрытие направлений стока, рассчитанное по ЦМР

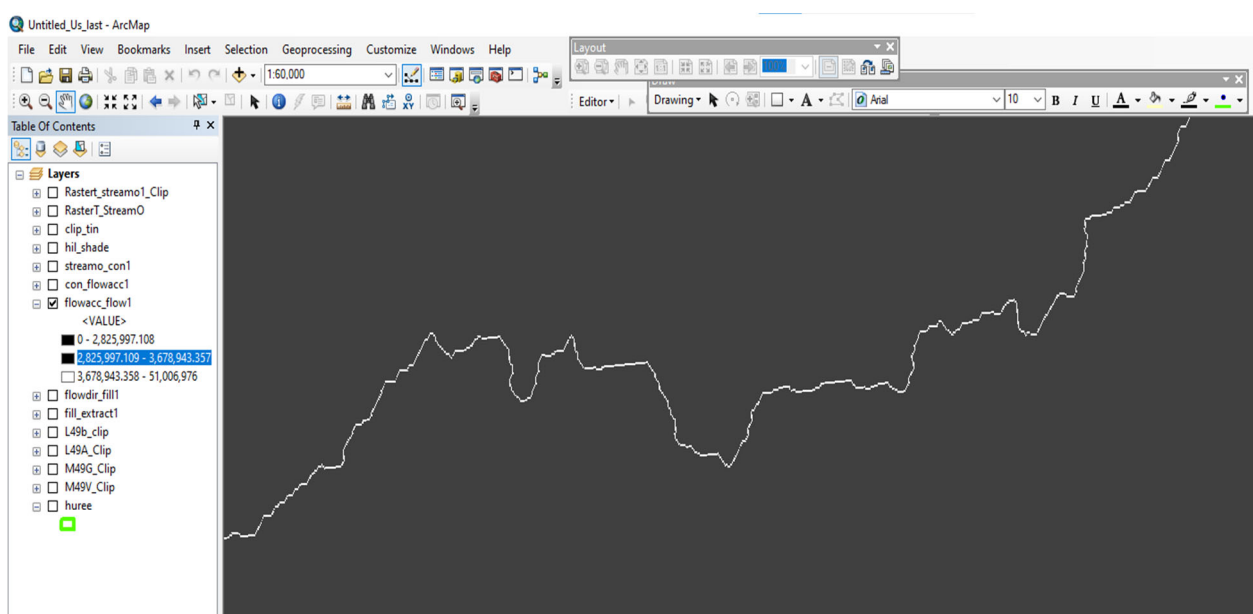


Рис. 3. Растровое покрытие площадей стока, выраженных через число пикселей, рассчитанное по ЦМР

Сети водотоков выделяются из ЦМР с использованием выходных данных инструмента «Суммарный сток», при этом применяется пороговое значение с инструментом «Условие (Con)» или «Установить ноль (Set Null)». Вели-

чина порогового значения для идентификации водотоков будет аналогична верхнему течению малых рек и ручьев. Максимальные значения кумулятивного стока заложены в ячейки, соответствующие руслам крупных рек (рис. 4).

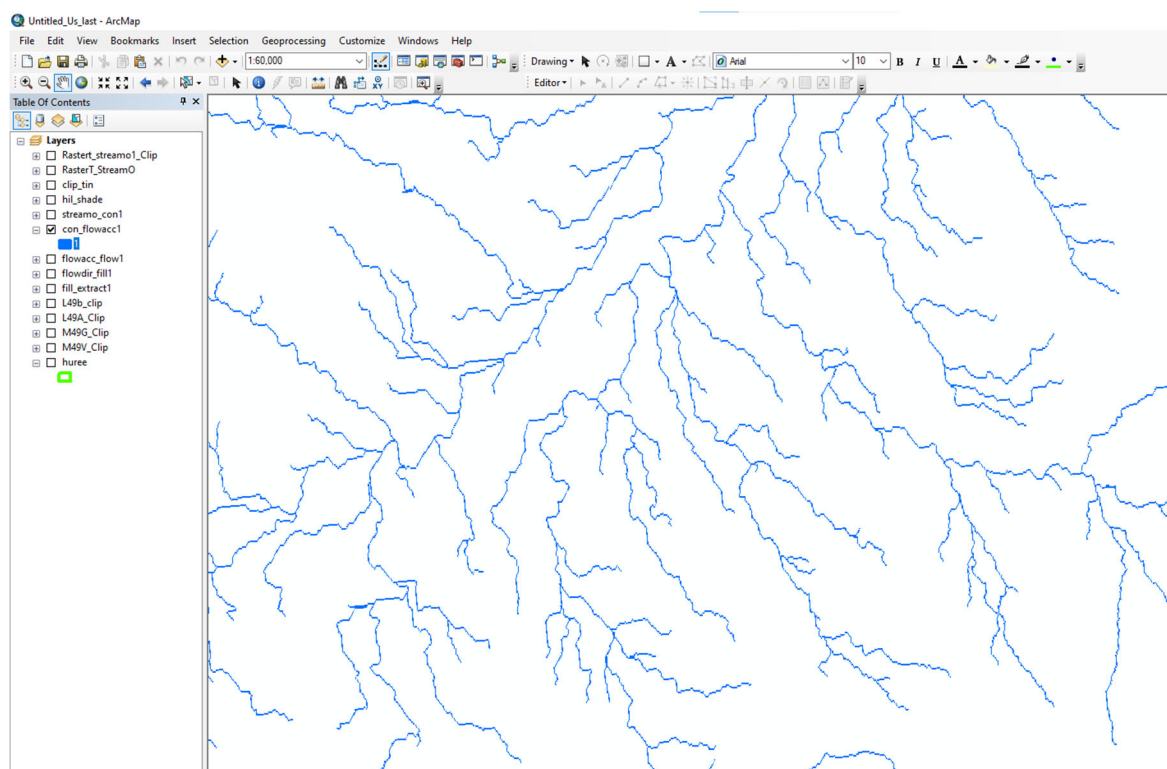


Рис. 4. Максимальные значения кумулятивного стока

Порядок водотоков определяется и классифицируется по количеству притоков рек. Водотоки, входящие в расчлененную растровую модель, классифицируются в соответствии с наиболее общепринятыми нисходящими порядковыми классификациями по методам Страхлера (1957) и Шреве (1966) [12].

При определении порядка по методу Страхлера всем сегментам водотоков, где отсутствуют притоки, приписывается единица, и они рассматриваются как водотоки первого порядка. Порядок водотоков возрастает, если водотоки с одинаковым порядком пересекаются. Таким образом, после слияния сегментов первого и второго порядка результирующий водоток будет по-прежнему водотоком второго порядка, но не третьего (рис. 5).

По методу Шреве, как и по методу Страхлера, все внешние связи наделяются порядком 1. Однако, для всех внутренних связей

в этом методе порядки аддитивны. Например, при пересечении двух связей первого порядка создается связь второго порядка, при пересечении связи первого и второго порядков создается связь третьего порядка, а при пересечении связи второго и третьего порядка образуется связь четвертого порядка (рис. 6).

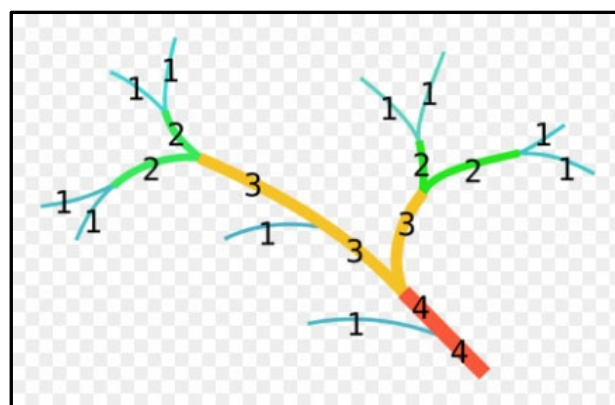


Рис. 5. Метод Страхлера

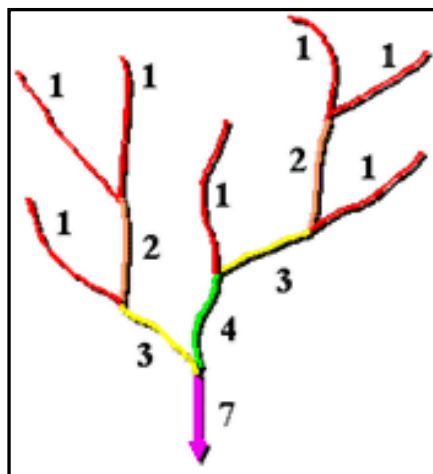


Рис. 6. Метод Шреве

Из перечисленных выше методов определения порядка речных сетей в данном исследовании используется метод Страхлера, который выполняется инструментом Spatial Analyst / Hydrology / Stream order «Порядок водотоков». Именно он определяет порядковые характеристики сегментов расчлененной растровой модели речной сети (рис. 7) [15, 16].

Векторизация растровой речной сети выполняется для обеспечения различных задач, включая создание баз гидрографических данных табличных форматов и многих функций обработки сети, вычисления различных морфометрических параметров. Преобразование происходит из набора соседствующих растровых сегментов в сеть векторных объектов типа Polyline и выполняется инструментом Spatial Analyst / Hydrology / Stream to Feature (рис. 8).

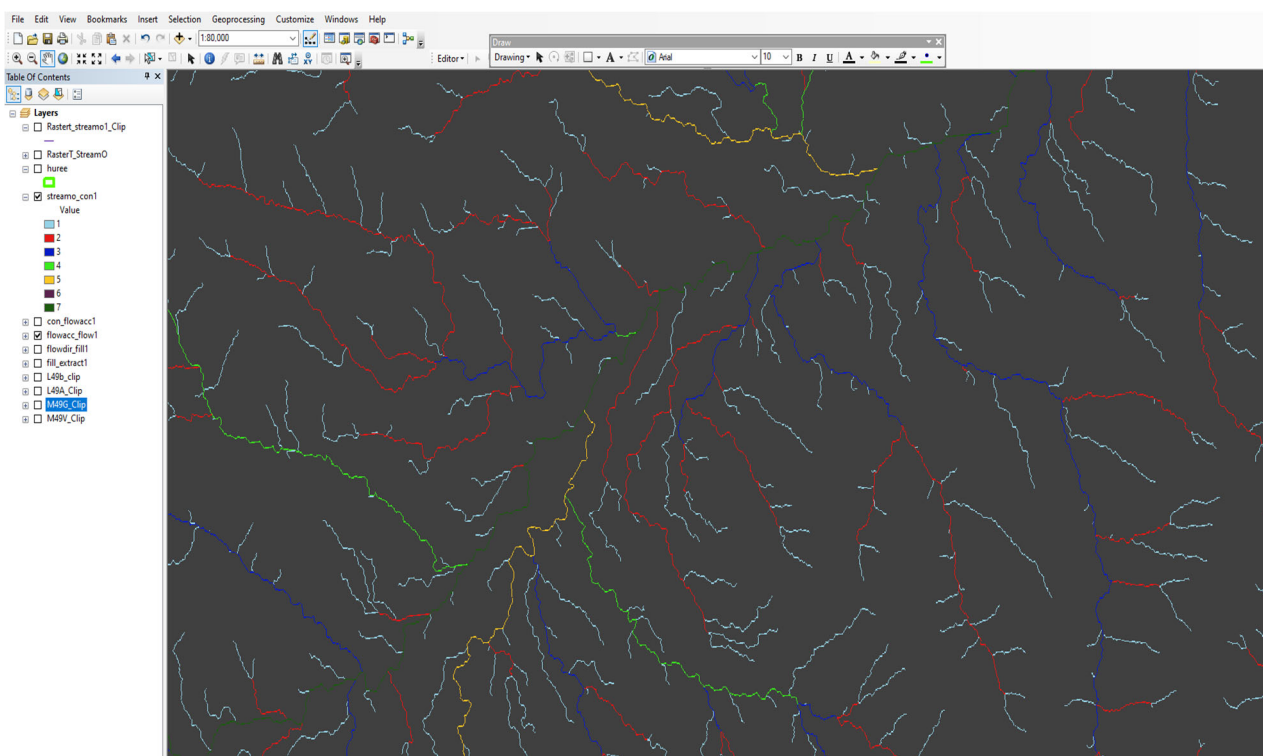


Рис. 7. Полученная растровая модель гидрографической сети с порядковой классификацией сегментов

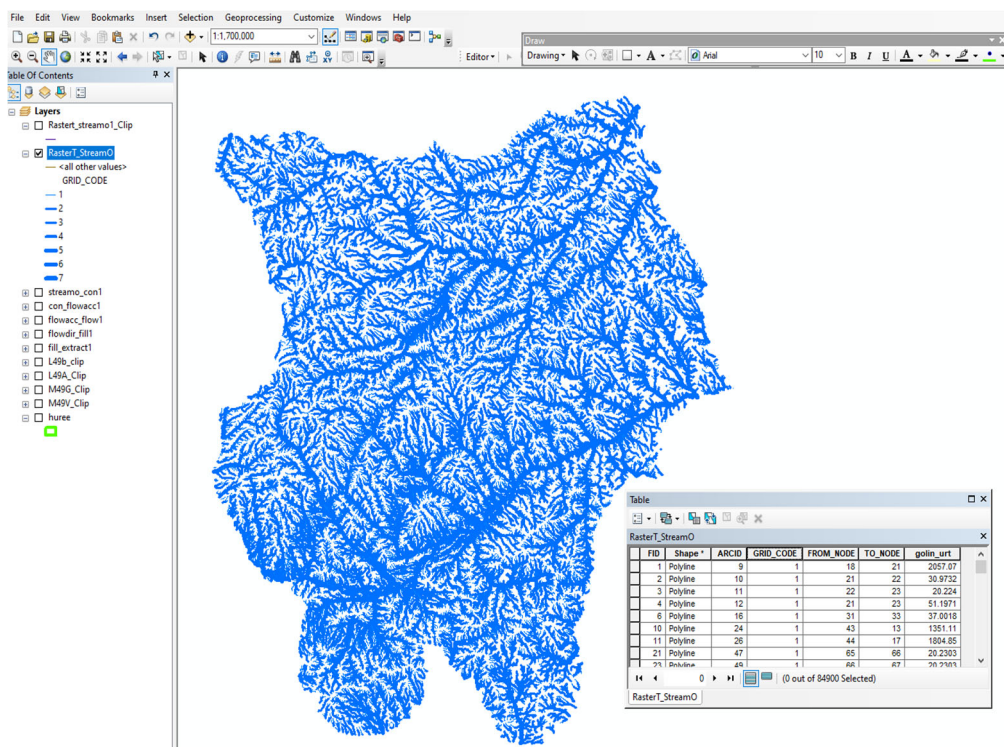


Рис. 8. Порядок речной сети в векторном виде

Результаты

В результате создания речной сети по ЦМР для тематических карт получается точная, информативная и наглядная модель гидрографии (рис. 9) [17].

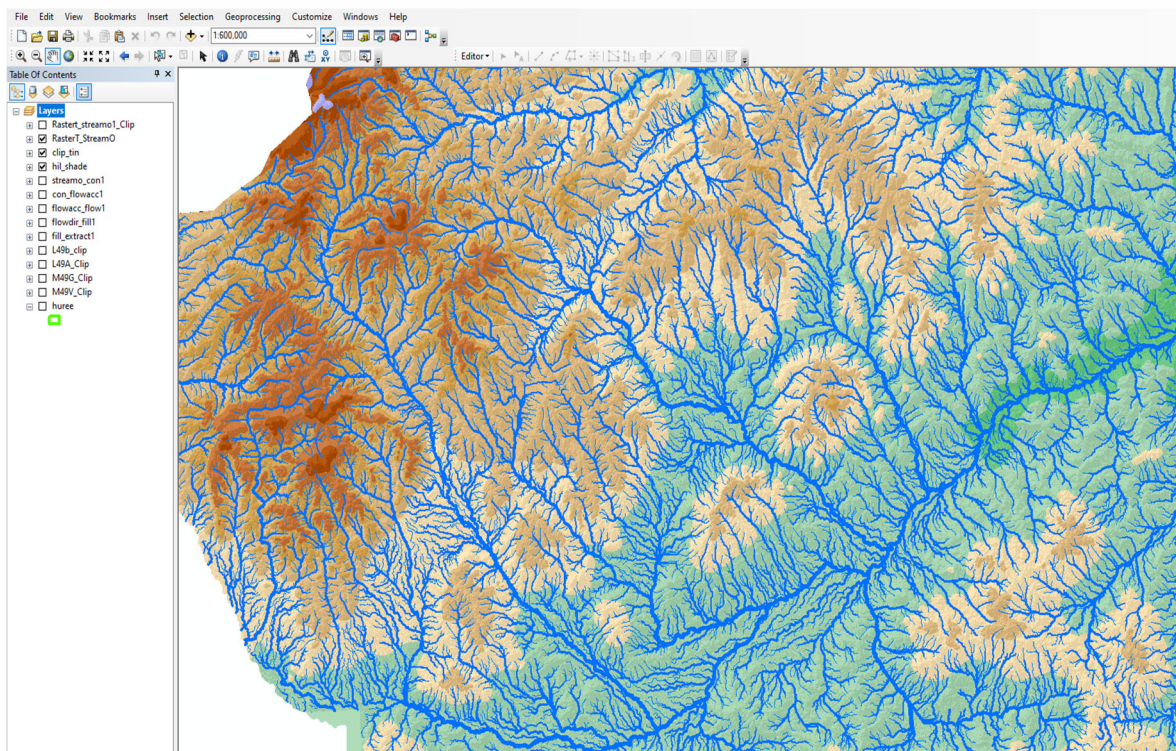


Рис. 9. Векторная модель речной сети Хэнтийского аймака Монголии с ЦМР

Заклучение

Используя набор инструментов «Гидрология», из дополнительного модуля ArcGIS Spatial Analyst, реализуется вышеприведенный алгоритм и впервые создана модель речной сети территории Хэнтийского аймака Монголии с высокой точностью [17]. Использование этой модели позволяет:

- облегчить процесс составления карт и автоматизировать его;
- оперативно и точно разрабатывать модели речной сети для определенного региона;
- создавать базу данных с содержанием информации о речных сетях в табличном виде;
- возможность проведения анализа речной сети (вида, густоты, поверхностного стока и т. д.) территории;

– своевременно предотвращать возможные чрезвычайные ситуации и эффективно решать задачи по их устранению;

- обеспечить туристов необходимой информацией о рельефе и речной сети;
- использовать подробную информацию о речной сети Хэнтийского аймака для развития сельского хозяйства в данном районе.

Данная методика исследования принесет определенный прогресс в развитие картографии Монголии. Рекомендуется включить ее в учебную программу подготовки специалистов-картографов в университетах. Необходимо представить методику исследования и сотрудничать с администрацией и специалистами по туризму Хэнтийского аймака, который в последние годы интенсивно развивает исторический туризм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цэнгэл Т., Даваа Г. Гидрология. – Уланбатор, 2010. – 268 с.
2. Министерство природы, окружающей среды и туризма и Офис Монголии Всемирного фонда защиты природы : Отчет о картировании водно-болотных угодий и пойм вдоль рек и озер в Монголии –Уланбатор, 2018. –№ 7. – С. 42–48.
3. Берлянт А. М. Картография : учебник для вузов. – М., 2001. – 112 с.
4. Юмчмаа Г., Эрдэнэсүх С., Даваадорж Д. и др. Землеведение. – Уланбатор, 2019. – 319 с.
5. Аш Е. В. Общие принципы и методика создания карты береговых морфосистем на основе анализа картографических источников информации // Геодезия и картография. – 2014. – № 7. – С. 20–26.
6. Батчулуун Е., Навчаа Т. Surface and Subsurface water of Mongolia. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/341372522_Mongol_orny_gadargyn_ba_gazar_doorh_us_Surface_and_Subsurface_water_of_Mongolia (дата обращения 24.11.2021).
7. Demarmels S., Spiess E., Schenkel R., Heitzler M., Flitter H. Thematic cartography [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.gitta.info>.
8. Djokic D. Hydrologic and Hydraulic modeling with ArcGIS – Ersi.com [Electronic resource]. – Mode of access: https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc15/tech-workshops/tw_382-228.pdf.
9. Khatami S., Khazaei B. Benefits of GIS application in Hydrological Modeling: a Brief Summary [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/292263816_Benefits_of_GIS_Application_in_Hydrological_Modeling_A_Brief_Summary.
10. Амарсайхан Д., Ганзориг М., Адъяасүрэн Ц., Саандарь М. Принципы дистанционного зондирования земли и геоинформационной системы. – Уланбатор, 2002. – 30 с.
11. Амарсайхан Д. Современные географические информационные системы и принципы дистанционного зондирования. – Уланбатор, 2019. –262 с.
12. Курс практических занятий для аспирантов «Анализ речных систем с использованием цифровых моделей рельефа». – М. : Институт водных проблем РАН, 2020. – 20 с.
13. Справочные данные ArcGIS Desktop [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.5/tools/spatialanalyst-toolbox/an-overview-of-the-hydrology-tools.htm> (дата обращения 9.03.2021).
14. Stream order from a DEM [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.youtube.com/watch?v=NrBUd_cFXxc&t=64s (дата обращения 23.03.2021).
15. STREAM ORDER Using ArcGIS Strahler Metod – 2019 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.youtube.com/watch?v=Pm1huJYGL-s&t=41s> (дата обращения 23.03.2021).
16. Stream order Using ArcGis /2019/. [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.youtube.com/watch?v=joz_TTeL-IY&t=9s (дата обращения 4.08.2021).
17. Оюунханд Бямба, Касьянова Е. Л. Использование ДЗЗ и ГИС при создании географических основ для тематических карт // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 5 – С. 119–125.

Об авторах

Оюунханд Бямба – аспирант кафедры картографии и геоинформатики.

Елена Леонидовна Касьянова – кандидат технических наук, доцент, кафедра картографии и геоинформатики.

Получено 01.02.2022

© Оюунханд Бямба, Е. Л. Касьянова, 2022

Creation of river network model for thematic map using GIS technology

Oyunkhand Byamba¹, E. L. Kasyanova^{1*}

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: helenkass@mail.ru

Abstract. The issues of creating a model of the Mongolian river network as a basis for thematic maps using GIS technologies are highlighted. The characteristic of the river network of Mongolia is considered, because when constructing a digital model, it is necessary to convey its density and structure. Digital relief models (DEM) are widely used in the creation and updating of hydrological models of the surface. As the initial information for the creation of the DEM of Mongolia, the satellite images of SRTM of spatial resolution with a step of 30x30 square meters, which are used, are in the public domain. On the basis of this DEM, a new model has also been created of the river-only commercial network of the Khentii district of the Aimag of outer Mongolia for thematic mapping by means of GIS technologies. The order of the river distribution network development was determined by the features of the Strahler method in ArcGIS Spatial Distribution Analyst using special tool "Hydrology". As the result of study a vector hydrographic economic model with a database containing information on river networks is created. The object of the study is the river network of the Khentii district of the Aimag of outer Mongolia, belonging to the Pacific Basin.

Keywords: satellite trade images, GIS technology features, digital relief model, of the river network system model, a thematic map

REFERENCES

1. Tsengel, T., & Davaa, G. (2010). *Gidrologiia [Hydrology]*. Ulanbator, 268 p. [in Russian].
2. Report on mapping wetlands and floodplains along Rivers and Lakes in Mongolia: No. 7 (pp. 42–48). (2018). The Ministry of Nature, Environment and Tourism and the Mongolia Office of the World Fund for Nature Protection. Ulanbator [in Russian].
3. Berlyant, A. M. (2001). *Kartografiia [Cartography]*. Moscow, 112 p. [in Russian].
4. Yumchmaa, G., Erdenesukh, S., Davaadorj, D., & et al. (2019). *Zemlevedenie [Earth science]*. Ulanbator, 319 p. [in Russian].
5. Ash, E. V. (2014). General principles and methodology for creating a map of coastal morphosystems based on the analysis of cartographic information sources. *Geodeziia i kartografiia [Geodesy and Cartography]*, 7, 20–26 [in Russian].
6. Batchuluun, E., & Navcha, T. (n. d.). Surface and Subsurface water of Mongolia. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/341372522_Mongol_orny_gadargyn_ba_gazar_doorh_us_Surface_and_Subsurface_water_of_Mongolia (accessed November 24, 2021).
7. Demarmels S., Spiess E., Schenkel R., Heitzler M., & Flitter H. (n. d.). Thematic cartography. Retrieved from <http://www.gitta.info>.
8. Djokic, D. (n. d.). Hydrologic and Hydraulic modeling with ArcGIS. Ersi.com. Retrieved from https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc15/tech-workshops/tw_382-228.pdf.
9. Khatami S., & Khazaei, B. (n. d.). Benefits of GIS application in Hydrological Modeling: a Brief Summary. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/292263816_Benefits_of_GIS_Application_in_Hydrological_Modeling_A_Brief_Summary.

10. Amarsaikhan, D., Ganzorig, M., Ad"iaasyren, Ts., & Saandar', M. (2002). *Printsipy distantsionnogo zondirovaniia zemli i geoinformatsionnoi sistemy [Principles of remote sensing of the earth and geoinformation system]*. Ulanbator, 30 p. [in Russian].
11. Amarsaikhan, D. (2019). *Sovremennye geograficheskie informatsionnye sistemy i printsipy distantsionnogo zondirovaniia [Modern geographic information systems and principles of remote sensing]*. Ulanbator, 262 p. [in Russian].
12. *Kurs prakticheskikh zaniatii dlia aspirantov: Analiz rechnykh sistem s ispol'zovaniem tsifrovykh modelei rel'efa [Course of practical exercises for postgraduate students: Analysis of river systems using digital elevation models]*. (2002). Moscow: Institute of Water Problems RAS Publ., 20 p. [in Russian].
13. ArcGISDesktop reference data. (n. d.). Retrieved from <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.5/tools/spatialanalyst-toolbox/an-overview-of-the-hydrology-tools.htm> (accessed March 09, 2021).
14. Stream order from a DEM. (n. d.). Retrieved from https://www.youtube.com/watch?v=NrBUd_cFXxc&t=64s (accessed March 23, 2021)
15. STREAM ORDER Using ArcGIS Strahler Metod (2019). Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=Pm1huJYGL-s&t=41s> (accessed March 23, 2021).
16. Stream order Using ArcGis. (2019). Retrieved from https://www.youtube.com/watch?v=joz_TTeL-IY&t=9s (accessed August 04, 2021).
17. Oyunkhand Byamba, & Kasyanova, E. L. (2021). The use of remote sensing and GIS in creating geographical bases for thematic maps. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26(5), 119–125 [in Russian].

Author details

Oyunkhand Byamba – Ph. D. Student, Department of Cartography and Geoinformatics.

Elena L. Kasyanova – Ph. D., Associate Professor, Department of Cartography and Geoinformatics.

Received 01.02.2022

© *Oyunkhand Byamba, E. L. Kasyanova, 2022*