

DOI

УДК 630.43

ВЫДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНОВ РЕК НА ЛОКАЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕННОМ УРОВНЕ

© 2018 г.

А.С. Плотникова, А.О. Харитонова*Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН**Россия, 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32, стр. 14*E-mail: alexandra@ifi.rssi.ru

Поступила в редакцию 30.08.2018 г.

Бассейновая концепция природопользования применяется в различных исследованиях по экологическому мониторингу наземных экосистем. Цель настоящего исследования – выделение границ бассейнов рек на территории Печоро-Илычского заповедника и его окрестностей - Курьинского и Якшинского участков лесничеств. Исходными данными для выделения границ бассейнов рек на исследуемую территорию являлись цифровые модели рельефа (ЦМР) ASTER GDEM Version 2, GMTED2010 и данные гидрографической сети масштаба 1 : 1 000 000, находящиеся в свободном доступе. Обработка и анализ исходных данных выполнялись в двух геоинформационных системах: программных продуктах SAGA GIS и ArcGIS Desktop. Настоящее исследование подразумевало проведение подготовки данных ЦМР и выделение границ бассейнов рек на территорию исследования. Подготовка данных ЦМР включала приведение размера пиксела цифровых моделей рельефа к единому значению, заполнение локальных понижений и определение направления потока. Выделение границ бассейнов рек выполнено двумя способами с помощью инструментов «Basin» и «Watershed» модуля «Spatial Analyst» геоинформационной системы ArcGIS Desktop. Анализ полученных результатов показал, что инструмент «Basin» выделяет только границы бассейнов крупных рек – Печоры и Илыча. Для построения границ бассейнов не только крупных, но и малых рек подходит инструмент «Watershed» с использованием растровых данных о точках устьев.

Ключевые слова: *бассейновый анализ, ГИС анализ, ЦМР, Печоро-Илычский заповедник*

Как известно, одним из наиболее удачных способов пространственной организации географических систем является бассейновый, который дополняет ландшафтную организацию объектов и явлений, усиливая их латеральную и парагенетическую связанность (Симонов, Симонова, 2003). Элементарной ячейкой организации территории при таком подходе является речной бассейн, под которым понимается часть земной поверхности с прилегающей к ней толщей почв и грунтов, откуда происходит сток поверхностных и подземных вод в отдельную реку или речную систему (Географический энциклопедический словарь, 1988).

Различные вопросы бассейновой концепции природопользования отражены в работах отечественных исследователей – Трофимова А.М. (Трофимов и др., 2009), Кузьменко Я.В. (Кузьменко и др., 2012), Лисецкого Ф.Н. (Лисецкий и др., 2014), Милькова Ф.Н. (Мильков, 1981), Смольянинова В.М. (Смольянинов и др., 2007), Методические подходы... (2010) и других. Авторы отмечают природные закономерности бассейна реки как геосистемы, в частности, свойства целостности, уникальности, иерархичности, устойчивости и саморегулирования. Функциональная целостность бассейнов обуславливается существующими вертикальными и горизонтальными связями, а также балансом между ними. Мильков Ф.Н. рассматривает бассейн реки как парадинамическую систему с активным обменом вещества и энергии, образуемую сочетанием морфологических, климатических, почвенных и гидрологических условий (Мильков, 1981). В работе (Смольянинов и др., 2007) рассмотрено свойство однопоточных потоков вещества и энергии в пределах бассейна реки, что делает речной бассейн идеальным объектом мониторинга природной среды.

Доводы в пользу рациональности проведения экологического мониторинга на бассейновом уровне приведены в исследовании (Лисецкий и др., 2014). Авторы отмечают внутреннюю функциональную целостную замкнутость миграционных потоков поверхностного и внутриводосборного стока вод, растворенных и твердых веществ, а также объективные естественные границы бассейнов. В исследовании Кузьменко с соавторами (Кузьменко и др., 2012) бассейны рек выступают наиболее объективной и естественной основой организации рационального природопользования. Обращается внимание на объективность и относительную простоту выделения границ бассейнов, что повышает репрезентативность территориальных единиц (Трофимов и др., 2009). Кроме того, бассейновая концепция природопользования позволяет использовать бассейны как топологическую единицу при последовательном переходе от локального к региональному и национальному уровням исследования.

Целью настоящего исследования является выделение границ бассейнов рек на территории Печоро-Илычского заповедника и его окрестностей – Курьинского и Якшинского участков лесничеств (рис. 1).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

На исследуемую территорию, которая расположена севернее 60° с.ш., набор свободных цифровых моделей рельефа (ЦМР) ограничен, а для доступных – характерны искажения и пропуски значений. Глобальные цифровые модели рельефа, находящиеся на сегодняшний день в свободном доступе, позволяют получить информацию о рельефе исследуемой территории, при этом необходимая точность данных должна зависеть от

целей исследования (Минеев и др., 2015). Создание ЦМР «вручную» на основе топографических карт позволяет достичь большей точности ЦМР по сравнению с глобальными моделями, однако требует значительных временных затрат. В данной работе не требуется расчет точных морфометрических показателей, поэтому для достижения цели исследования было решено использовать глобальную ЦМР, находящуюся в свободном доступе.

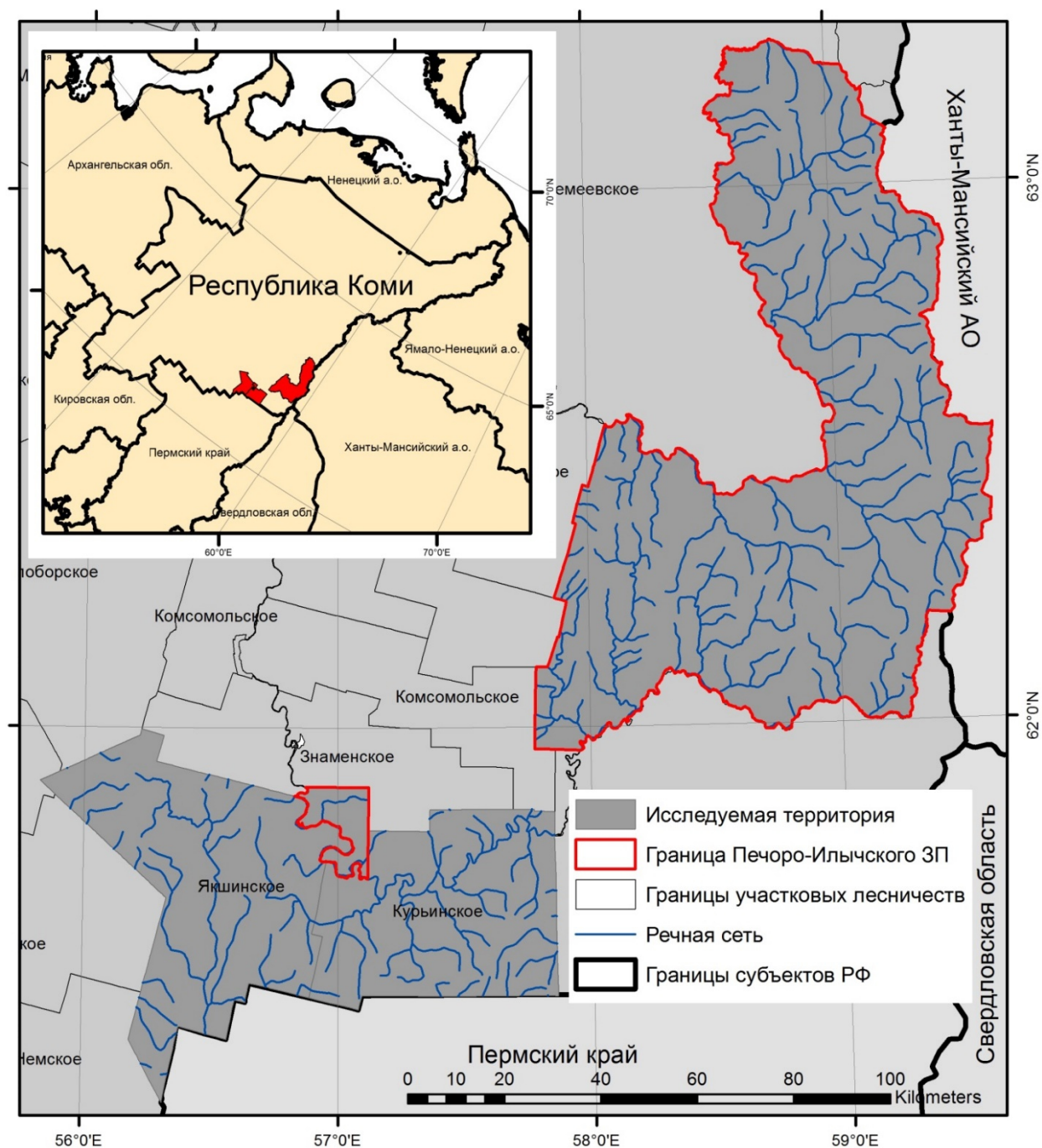


Рисунок 1. Район исследования: территория Печоро-Илычского заповедника, Курьинского и Якшинского участковых лесничеств

В настоящее время существует множество ЦМР, предоставляемых бесплатно или на коммерческой основе, различающихся как охватом территории, так и точностью данных: GMTED2010, ASTER GDEM2, SRTM C-band, SRTM X-band, SPOT DEM, Next Map, NextMap World 30, TanDEM-X Global DEM, World 3D Topographic Data и другие. Однако среди перечисленных ЦМР в свободном доступе распространяются лишь GMTED2010, ASTER GDEM2, SRTM C-band, SRTM X-band. Отметим также, что область исследований расположена между 61-64⁰ с.ш. Из доступных моделей территорию исследования охватывают лишь GMTED2010 и ASTER GDEM. ЦМР ASTER GDEM имеет более высокую точность по сравнению с GMTED2010, однако для первой модели характерны пропуски значений, в связи с чем является целесообразным совместное использование данных двух моделей рельефа.

Итак, исходными данными для выделения границ бассейнов рек на исследуемую территорию являлись цифровые модели рельефа ASTER GDEM Version 2 (Aster..., 2016) и GMTED2010 (Global..., 2015), а также данные гидрографической сети масштаба 1 : 1 000 000 (Топографическая основа..., 2014), находящиеся в свободном доступе.

Подготовка данных ЦМР и выделение границ бассейнов рек на территорию исследования осуществлялись в двух геоинформационных системах: SAGA GIS и ArcGIS Desktop. Выбор нескольких ГИС обусловлен неким преимуществом программы SAGA GIS перед ArcGIS Desktop в обработке и анализе цифровых моделей рельефа, однако дальнейшая работа с большим объемом данных оказалась удобнее и менее затратной по времени в системе ArcGIS Desktop. В программе ArcGIS работать с ЦМР позволяет модуль Spatial Analyst, в SAGA GIS – Terrain Analysis.

Подготовка данных ЦМР включает: приведение размера пиксела цифровых моделей рельефа к единому значению, заполнение локальных понижений, определение направления потока. Для совместного анализа цифровых моделей рельефа ASTER GDEM V.2 и GMTED2010 необходимо привести размер пиксела к единому значению. Пространственное разрешение ASTER GDEM V.2 составляет 30 метров или 1 угловая секунда, GMTED2010 – 225 м или 7,5 угловых секунд. Для приведения размера пиксела цифровых моделей рельефа к единому значению в 30 м был использован инструмент «Resampling» в SAGA GIS. Далее с помощью инструмента «Patching» SAGA GIS недостающие значения ASTER GDEM V.2 были заполнены значениями GMTED2010. Дальнейшая обработка данных ЦМР осуществлялась в ArcGIS Desktop.

Операция по заполнению локальных понижений является необходимой для устранения мелких дефектов цифровой модели рельефа ASTER GDEM V.2, возникших из-за разрешения данных или округления возвышений до ближайшего целочисленного

значения (Tarboton et al., 1991). Необходимость заполнения локальных понижений объясняется требованием создания непрерывного растрового слоя направлений потока, который будет создаваться далее. Заполнение локальных понижений было выполнено с помощью инструмента «Fill» в ArcGIS Desktop. В рамках операции по определению направления потока инструмент «Flow Direction» создает непрерывный растровый слой, содержащий направление наибольшего уменьшения высоты для каждой ячейки. Подробно операция по определению направления потока описана в статье (Плотникова и др., 2017).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Модуль «Spatial Analyst» геоинформационной системы ArcGIS Desktop содержит два инструмента, позволяющих определить водосборные области, – «Basin» и «Watershed». Как известно, границы бассейнов рек проходят по водоразделам, распределяющим сток по склонам. Операция построения водосборных бассейнов «Basin» определяет границы водоразделов в рамках окна анализа. Анализируется растровый слой с направлением потока на предмет нахождения связанных ячеек, принадлежащих к одной и той же водосборной области. Водосборные бассейны создаются путем размещения точек устьев по краям окна анализа и локальных понижений. Далее определяется область выше каждой точки устья, из которой осуществляется сток в эту точку. В результате создается растровый слой водосборных бассейнов.

Результаты построения границ бассейнов рек инструментом «Basin» по ЦМР ASTER GDEM VERSION 2 представлены на рисунке 2. При совмещении построенных границ бассейнов рек с гидрографической сетью видно, что инструментом «Basin» выделяются только границы бассейнов крупных рек – Печоры и Илыча.

Как и инструмент «Basin», модуль «Watershed» позволяет определить водосборную область, с использованием вычисленного ранее раstra направления потока. В отличие от инструмента «Basin» для работы «Watershed» необходим отдельный файл точек устьев, представленный в растровом или векторном формате. Были созданы точки устьев в виде набора растровых данных путем растеризации гидрографической сети (Топографическая основа..., 2014). Отметим также, что данный инструмент позволяет использовать точки устьев, выделенные пользователем «вручную» на основе гидрографической сети с последующей их привязкой инструментом «Snap Pour Point», который корректирует положение точек устьев, привязав их к ячейкам с высоким суммарным стоком, однако данный способ целесообразно применять на небольших участках исследования. Водосборная область инструментом «Watershed» определяется выше точек устьев, как и

при работе инструмента «Basin». В результате построения водосборов инструментом «Watershed» были получены границы бассейнов не только крупных, но и малых рек (рис. 3).

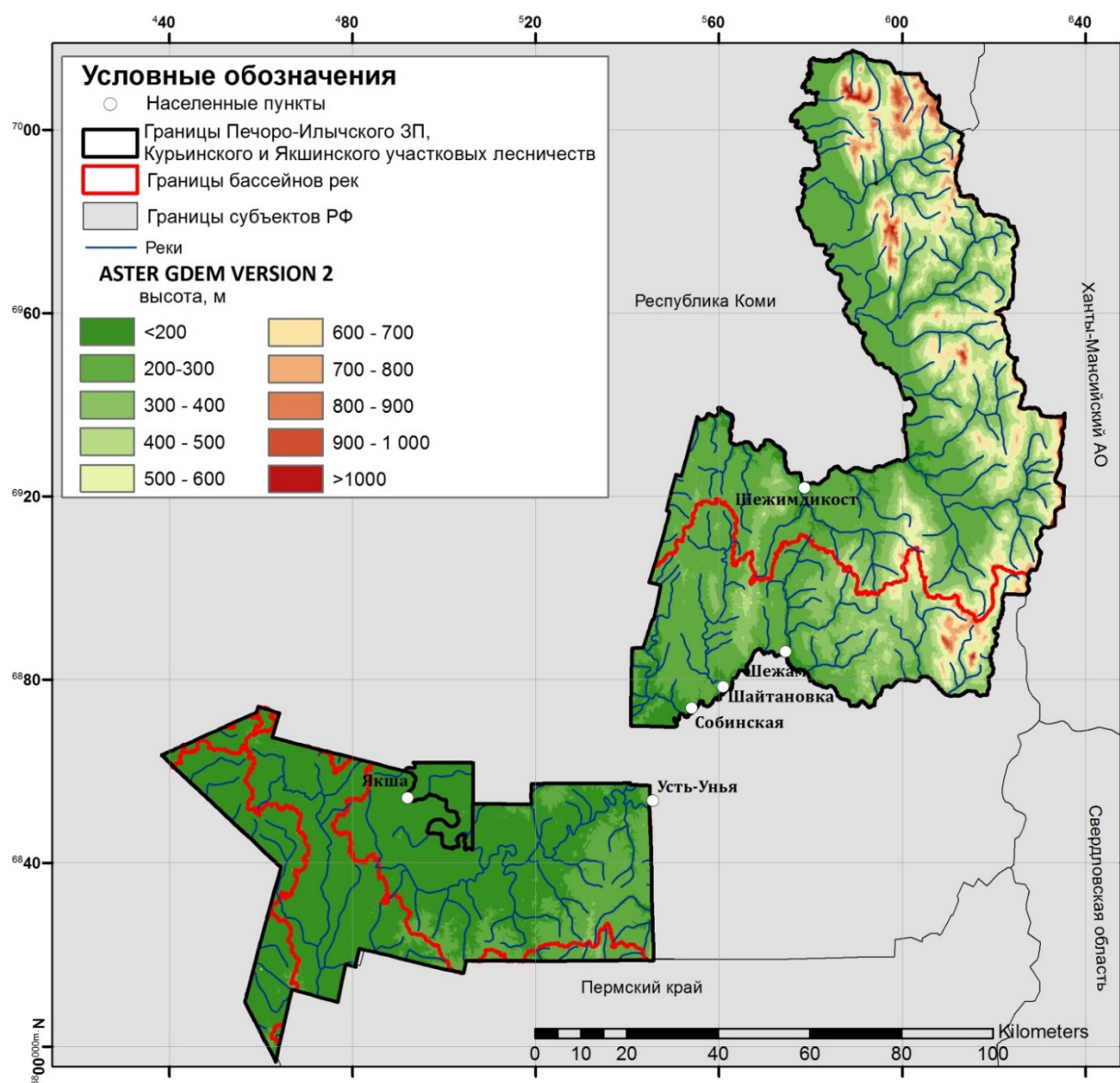


Рисунок 2. Границы бассейнов рек, выделенные инструментом «Basin»

Полученные границы водосборных бассейнов малых рек в дальнейшем будут использованы в рамках комплексного исследования пожарных режимов лесных экосистем локального пространственного уровня. На основе границ бассейнов рек будут выделены минимальные учетные пространственные единицы картографирования пожарных режимов.

Работа выполнена при финансовой поддержке фонда РФФИ (проект № 17-05-00300).

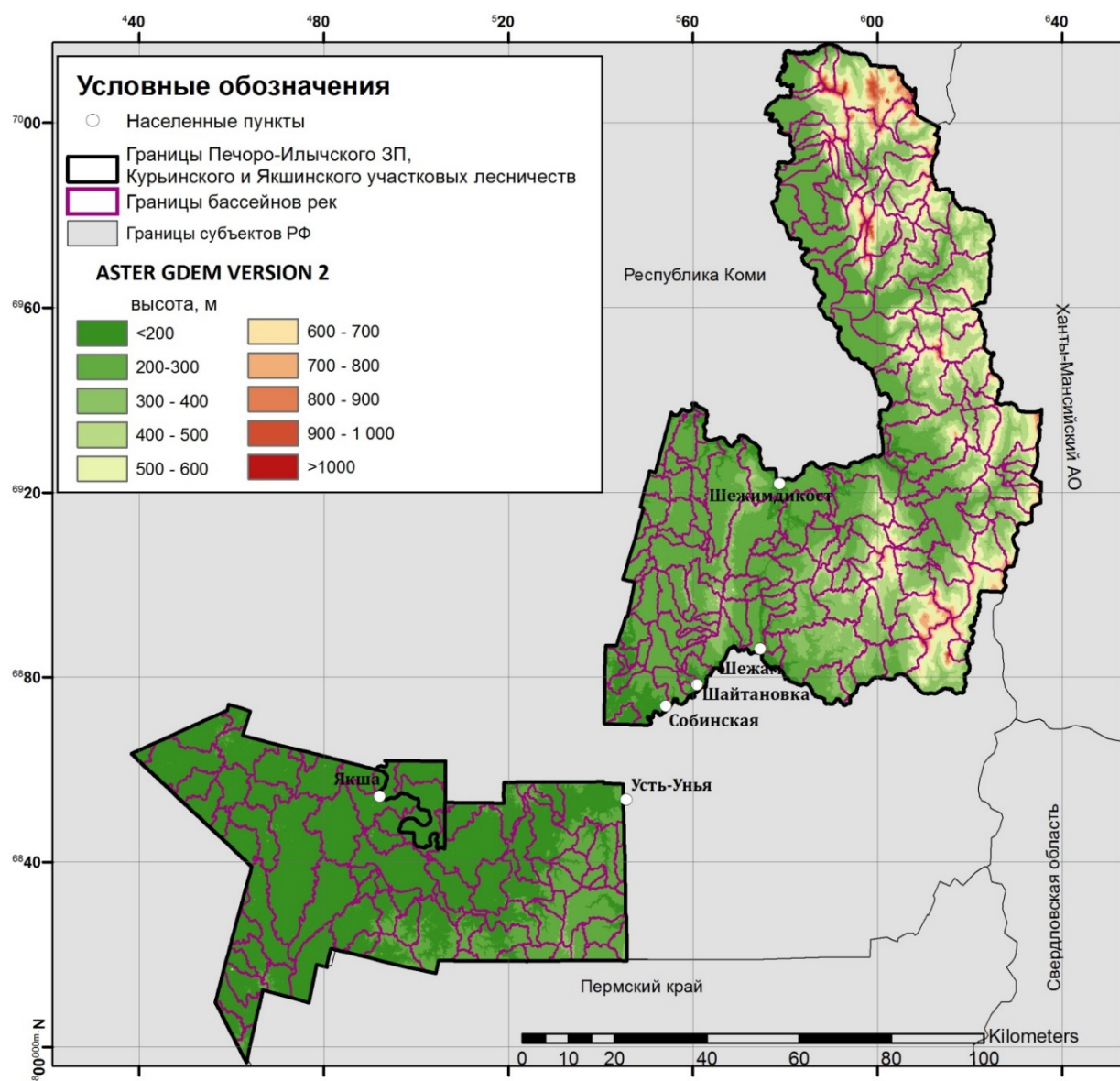


Рисунок 3. Границы бассейнов рек, выделенные инструментом «Watershed»

ЛИТЕРАТУРА

Географический энциклопедический словарь. Понятия и термины / Под ред. Трешникова А.Ф. Москва: Советская Энциклопедия, 1988. 253 с.

Кузьменко Я.В., Лисецкий Ф.Н., Нарожная А.Г. Применение бассейновой концепции природопользования для почво-водоохранного обустройства агроландшафтов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1 (9). С. 2432-2435.

Лисецкий Ф.Н., Григорьева О.И., Кириленко Ж.А. Научное сопровождение бассейновой организации природопользования в Белгородской области // Двадцать девятое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных,

русловых и устьевых процессов. Москва: Межвузовский научно-координационный совет по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ, 2014. С. 106-107.

Методические подходы к экологической оценке лесного покрова в бассейне малой реки / Алейников А.А., Бахмет О.Н., Бобровский М.В., Браславская Т.Ю., Евстигнеев О.И., Жирин В.М., Заугольнова Л.Б., Камаев И.О., Князева С.В., Кравченко Т.В., Луговая Д.В., Лукина Н.В., Лямцев Н.И., Новаковский А.Б., Орлова М.А., Рыбалов Л.Б., Смирнова О.В., Тихонова Е.В., Торопова Н.А., Эйдлинка С.П. и др. Москва: ООО “Товарищество научных изданий КМК”, 2010. 383 с.

Мильков Ф.Н. Бассейн реки как парадинамическая ландшафтная система и вопросы природопользования // География и природные ресурсы. 1981. № 4. С. 11-17.

Минеев А.Л., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Полякова Е.В. Подготовка цифровой модели рельефа для исследования экзогенных процессов северных территорий Российской Федерации // Пространство и Время. 2015. № 3 (21). С. 278-291.

Плотникова А.С., Еришов Д.В., Харитонова А.О. Использование ГИС-технологий при картографировании пожарных режимов лесных экосистем Печоро-Илычского заповедника // Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. От идеи до внедрения. Сборник материалов II междунар. Науч-практ. конф.: 8-10 ноября 2017 г. Санкт-Петербург: Политехника, 2017. С. 464-470.

Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю. Речной бассейн и бассейновая организация географической оболочки / Эрозия почв и русловые процессы: Сб. статей, М, 2003. Вып. 14. С. 7-32.

Смолянинов В.М., Дегтярев С.Д., Щербинина С.В. Эколого-гидрологическая оценка состояния речных водосборов Воронежской области: Монография. Воронеж: Истоки, 2007. 133 с.

Топографическая основа VMap0. 2014. URL: <http://gis-lab.info/qa/vmap0-about.html> (дата обращения 12 июля 2018).

Трофимов А.М., Рубцов В.А., Ермолаев О.П. Региональный экологический анализ: учебное пособие. Казань: Бриг. 2009. 260 с.

Aster global digital elevation model (GDEM). 2016. URL: <http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/index.html> (дата обращения 7 июня 2018).

Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010). 2015. URL: <https://lta.cr.usgs.gov/GMTED2010> (дата обращения 1 июня 2018).

Tarboton D. G., Bras R. L., Rodriguez-Iturbe I. // On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data, *Hydrological Processes*. 1991. Vol. 5. No. 1. P. 81-100.

REFERENCES

Aleinikov A.A., Bakhmet O.N., Bobrovskii M.V., Braslavskaya T.Yu., Evstigneev O.I., Zhirin V.M., Zaugol'nova L.B., Kamaev I.O., Knyazeva S.V., Kravchenko T.V., Lugovaya D.V., Lukina N.V., Lyamtsev N.I., Novakovskii A.B., Orlova M.A., Rybalov L.B., Smirnova O.V., Tikhonova E.V., Toropova N.A., Eidlina S.P. et al. *Metodicheskie podkhody k ekologicheskoi otsenke lesnogo pokrova v basseine maloi reki* (Methodical approaches to the environmental assessment of forest cover in the basin of a small river), Moscow: KMK Scientific Press Ltd., 2010, 383 p.

Geograficheskij jenciklopedicheskij slovar'. Ponjatija i terminy (Geographical encyclopedic dictionary. Concepts and terms), Moscow: Sovetskaja Jenciklopedija, 1988, 253 p.

<http://gis-lab.info/qa/vmap0-about.html>, (2018, 12 July).

<http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/index.html>, (2018, 7 June).

<https://lta.cr.usgs.gov/GMTED2010>, (2018, 1 June).

Kuz'menko Ja.V., Liseckij F.N., Narozhnaja A.G. Primenenie bassejnovoj koncepcii prirodopol'zovanija dlja pochvovodoohrannogo obustrojstva agrolandshaftov (Application the basin concept of environmental management for soil-water safety arrangement of agrolandscapes), *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, 2012, Vol. 14. No. 1 (9), pp. 2432-2435.

Liseckij F.N., Grigor'eva O.I., Kirilenko Zh.A. Nauchnoe soprovozhdenie bassejnovoj organizacii prirodopol'zovanija v Belgorodskoj oblasti (Scientific support of the basin organization of nature management in the Belgorod region), *Dvadcat' devjatoe plenarnoe mezhvuzovskoe koordinacionnoe soveshhanie po probleme jerozionnyh, ruslovyh i ust'evykh processov* (Twenty-ninth Plenary Interuniversity Coordination Meeting on Erosion, Channel and Wellhead Processes), Moscow: Interuniversity Scientific Coordination Council about the Erosion Problem, Channel and Wellhead Processes at MSU, 2014, pp. 106-107.

Mil'kov F.N. Bassejn reki kak paradinamicheskaja landshaftnaja sistema i voprosy prirodopol'zovanija (River basin as a paradyamic landscape system and nature management issues), *Geografija i prirodnye resursy*, 1981, No. 4, pp. 11-17.

Mineev, A.L., Kutinov, Ju.G., Chistova, Z.B., Poljakova, E.V. Podgotovka cifrovoj modeli rel'efa dlja issledovanija jekzogennyh processov severnyh territorij Rossijskoj Federacii (Preparation of a digital elevation model for the study of exogenous processes in the northern territories of the Russian Federation), *Prostranstvo i Vremja*, 2015, No. 3(21), pp. 278-291.

Plotnikova A.S., Ershov D.V., Kharitonova A.O. Ispol'zovanie GIS-tehnologij pri kartografirovanii pozharnyh rezhimov lesnyh jekosistem Pechoro-Ilychskogo zapovednika (Gis Technologies Application for Forest Fire Regimes Mapping Over Pechora Natural Reserve), *II*

Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Geodeziya, kartografiya, geoinformatika i kadastry. Ot idei do vnedreniya" (II International Conference on Applied Science "Geodesy, Cartography, Geoinformatics and Cadastre. From idea to application"), Saint Petersburg, 8-10 November, 2017, Saint Petersburg: Politehnika, 2017, pp. 464-470.

Simonov Ju.G., Simonova T.Ju. Rechnoj bassejn i bassejnovaja organizacija geograficheskoy obolochki (River basin and basin organization of the geographical shell), In: Jerozija pochv i ruslovyje process (Soil erosion and channel processes), Moscow, 2003, Issue 14, pp. 7-32.

Smol'janinov V.M., Degtjarev S.D., Shherbinina S.V. *Jekologo-gidrologicheskaja ocenka sostojanija rechnyh vodosborov Voronezhskoj oblasti* (Ecological-hydrological assessment of the Voronezh Region river basins state), Voronezh: Istoki, 2007, 133 p.

Tarboton D.G., Bras R.L., Rodriguez-Iturbe I., On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data, *Hydrological Processes*, 1991, Vol. 5, No. 1, pp. 81-100.

Trofimov A.M., Rubcov V.A., Ermolaev O.P. *Regional'nyj jekologicheskij analiz* (Regional environmental analysis), Kazan: Brig, 2009, 260 p.

THE IDENTIFICATION OF DRAINAGE BASINS BORDERS AT LOCAL SPATIAL SCALE

A.S. Plotnikova, A.O. Kharitonova

¹*Center for Forest Ecology and Productivity of the RAS*

Profsoyuznaya st. 84/32 bldg. 14, Moscow, 117997, Russia

E-mail: alexandra@ifi.rssi.ru

Received 30 August 2018

The purpose of this study is to identify the drainage basins borders in the study area of the Pechora natural reserve and its environs – the Kuryinsky and Yakshinsky forest districts. The input data for the identification of drainage basins borders of the study area were freely available ASTER GDEM Version 2, GMTED2010 and the hydrographic network data of 1: 1 000 000 scale. The processing and analysis of the input data was carried out using two geoinformation systems: SAGA GIS and ArcGIS Desktop. This study implied the preparation of DEM data and the identification of drainage basins borders on the study area. The preparation of DEM data included harmonization of DEMs spatial resolution, the filling of local depressions and flow direction calculation. The identification of drainage basins borders is carried out in two ways using the "Basin" and "Watershed" tools of the "Spatial Analyst" module of the geographic information system ArcGIS Desktop. The analysis of the results indicated that "Basin" tool allocates only the boundaries of the large rivers basins - Pechora and Ilych. To identify the drainage basins borders of not only large, but small rivers, the "Watershed" tool is suitable if complemented with raster data on the points of the mouth.

Key words: *basin analysis, GIS technologies, DEM, Pechora natural reserve*

Рецензент: к.б.н. Медведева М.А.