

26. Кузнецова Ю.С., Беляев В.Р., Маркелов М.В., Иванова Н.Н. Анализ пространственно-временной неоднородности эрозионно-аккумулятивных процессов на пахотном склоне (часть 1) // Геоморфология. 2007. № 1. С. 71–84.
27. Кузнецова Ю.С., Беляев В.Р., Маркелов М.В., Иванова Н.Н. Анализ пространственно-временной неоднородности эрозионно-аккумулятивных процессов на пахотном склоне (часть 2) // Геоморфология. 2007. № 2. С. 60–69.
28. Ritchie J.C., McHenry J.R. Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns / J. Environ. Qual. 1990. V. 19. P. 215–233.
29. Belyaev V.R., Wallbrink P.J., Golosov V.N. et al. A comparison of methods for evaluating soil redistribution in the severely eroded Stavropol region, southern European Russia // Geomorphology. 2005. V. 65. P. 173–193.
30. Литвин Л.Ф., Голосов В.Н., Добровольская Н.Г. и др. Перераспределение ^{137}Cs процессами водной эрозии почв // Водные ресурсы. 1996. Т. 23. № 3. С. 314–319.
31. Иванова Н.Н., Голосов В.Н., Маркелов М.В. Сопоставление методов оценки интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов на обрабатываемых склонах // Почвоведение. 2000. № 7. С. 898–906.
32. Заславский М.Н. Эрозия почв. М.: Мысль, 1979. 246 с.
33. Кузнецова Ю.С., Беляев В.Р., Голосов В.Н. Влияние детальности исходной информации о рельефе на точность расчетов темпов смыва почв со склонов // Геоморфология. 2011. № 4. С. 46–57.

Московский государственный университет
 Географический факультет,
 Лаборатория наук о климате и окружающей
 среде НЦНИ Франции, Жив Сюр Иветт

Поступила в редакцию
 27.01.2012

SEDIMENT DELIVERY FROM INTERFLUVE SLOPES INTO RIVER VALLEY

V.P. BONDAREV, V.R. BELYAEV, N.N. IVANOVA, O. EVRARD

Summary

A complex approach for estimation of sediment delivery ratios is proposed. The method includes morphometric analysis of drainage basins, mathematical modelling and application of radioactive tracer. The approach effectiveness is demonstrated by analysis of drainage basin slopes of the Lokna River (Central Part of the European Russia). Morphometric data are collected, LS-factor for cultivated hillslopes is calculated and the value of potential sediment delivery from hillslopes to river valley under conditions of no-crop fallow and typical crop rotation is estimated. Morphometric mapping of the drainage basin slopes allowed determining areas with high and very high erosion potential. Application of radioactive tracer made it possible to validate the model output and formulate some ways to improve the approach.

УДК 551.4.013

© 2014 г. К.А. МАЛЬЦЕВ, О.П. ЕРМОЛАЕВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ ГРАНИЦ ВОДОСБОРОВ¹

Введение

Цифровые модели рельефа (ЦМР), в основе которых лежат регулярные координатные сетки, в настоящее время широко используются специалистами, работающими в самых разных направлениях географии и геоморфологии. Востребованность данных материалов во многом определяется все большей доступностью данных моделей, глобальностью охвата территории Земли, возможностью использовать различные уровни генерализации и оперативностью решения с их помощью различных задач, требующих количественного подхода.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Всероссийской общественной организации “Русское географическое общество” (проект № 13-05-41126-а) и РФФИ (проект № 14-05-00503).

Одной из таких задач, которую можно решать с использованием географических информационных систем (ГИС) и ЦМР, является автоматизирование построения границ водосборов (постоянных и временных водотоков). Важность ее решения определяется многообразием научных и прикладных задач, решаемых с помощью бассейнового подхода, роль которого в настоящее время только возрастает. Обусловлено это, в первую очередь, возможностью использования современных информационных технологий, доступностью цифрового рельефа и базовых гидрометеорологических параметров для всей территории планеты. Все это дает возможность исследовать природные процессы и явления на различных уровнях генерализации с использованием ГИС. Содержательной основой любой ГИС являются операционно-территориальные единицы (ОТЕ) пространственного анализа. При бассейновом подходе в качестве ОТЕ, разумеется, выступает бассейновая геосистема различного порядка. Порядок водосбора задает требуемый уровень генерализации, а также задает требования к детальности и сомасштабности интегрируемых в создаваемую ГИС данных. Применение бассейнового подхода по вполне понятным причинам затруднено лишь в обширных равнинных районах полупустынь и пустынь умеренного и тропического поясов Земли, а также в областях покровного оледенения.

Для гидролого-геоморфологического моделирования, решения прогнозных задач изменения твердого и жидкого стока рек необходимо создание единой геопрограммной базы данных на бассейны рек России. В первую очередь, безусловно, требуется создание векторной карты границ речных систем разного порядка. “Ручными” технологиями в силу обширности территории России, огромного количества водотоков и информационной разобщенности ведомств, занимающихся водными ресурсами, подобную карту сделать так и не удалось. Эта задача может быть решена только при использовании современных информационных технологий.

В настоящее время в Казанском федеральном университете проводятся исследования, которые являются продолжением работ по изучению глобального стока наносов, начатых еще в середине 1970-х гг. А.П. Дедковым и В.И. Мозжериным [1]. Главная цель этих работ на текущем этапе заключается в создании специализированной ГИС глобального уровня “Сток взвешенных наносов в речных бассейнах Земли” для количественной оценки и пространственно-временного геоморфологического анализа систем эрозии и экзогенного рельефообразования на Земле [2].

Постановка задачи

Определение границ водосборов рек для последующей привязки к ним данных, полученных с режимной сети, лучше всего вести от точек расположения гидрографических постов. Одним из главных критериев при выборе ЦМР для построения границ водосборов от гидрографических постов рек России является отсутствие артефактных западин в модели рельефа. Поэтому необходимо использовать такие ЦМР, в которых присутствуют лишь реально существующие на местности отрицательные формы рельефа.

В то же время исследователи часто лишены возможности выбора ЦМР, отвечающих требованиям решаемых ими задач. Реально приходится использовать те модели, к которым есть открытый доступ, а не те, которые действительно нужны. В особенности это актуально, когда речь идет об исследовании больших территорий (континентов или их частей). Так, например, в настоящее время в общем доступе в сети Интернет существует лишь две модели рельефа, представляющие рельеф суши всех областей Земли и соответствующие масштабу нашего исследования: “GTOPO30” (более детальная) и “ETOPO5” (менее детальная). Кроме них существуют также модель “SRTM”, которая на порядок более детальная, нежели модель “GTOPO30”, а также модель ASTER GDEM2, которая еще детальнее модели “SRTM”. Однако существенным недостатком модели “SRTM” с учетом географического положения России является отображение рельефа суши Земли в диапазоне от 60° с. ш. до 58° ю. ш. Модели ASTER GDEM2 при-

сути свои недостатки. Во-первых, она имеет слишком высокое разрешение, что очень сильно увеличивает расчетное время, делая невозможным определение границ больших водосборов в автоматическом режиме. Во-вторых, в модели ASTER GDEM2 есть существенные погрешности в определении отметок высот на территориях, покрытых лесами и населенными пунктами. Таким образом, из перечисленных четырех моделей использование модели “ГТОРО30” для создания границ водосборов речной сети России, на наш взгляд, является наиболее оправданным как с точки зрения глобального покрытия территории, так и принятого уровня генерализации.

В то же время эта модель также имеет свои недостатки. В частности, в ней присутствуют артефакты в виде отрицательных форм рельефа, которые являются ложными участками перехвата жидкого и твердого стока, а, следовательно, существенно искажают конфигурацию и площади водосборов. Поэтому при автоматизированной технологии выделения границ бассейнов рек такие объекты необходимо идентифицировать и удалить [3–5]. С подобной проблемой сталкивались многие исследователи, в частности, сотрудники Кубанского и Пермского госуниверситетов [6, 7]. Наиболее простой и быстрый способ устранения артефактов западин – удаление всех западин в рельефе (реальных и ошибочных). Здесь стоит особо оговориться, что удаление локальных западин в модели рельефа гидрологически присоединяет последние к территории водосбора, внутри которого они находятся, тем самым, увеличивая его площадь.

Для решения задачи тотального удаления локальных западин был предложен ряд методик. Их можно разбить на несколько групп: 1) алгоритмы заполнения западин [8–11]; 2) алгоритмы разрушения границ депрессий в направлении линий поверхностного стока [12–15], 3) комбинированные методики, сочетающие два выше перечисленных алгоритма [16, 17].

Тотальное удаление депрессий оправдано в разных случаях, и одним из них является большее количество “ложных” депрессий модели по сравнению с реально существующими [18]. Например, часть ЦМР “ГТОРО30”, представляющая рельеф Европейской территории России, в основном соответствует этому условию. Поэтому тотальное удаление локальных западин тем или иным стандартным методом на этапе подготовки рельефа здесь оправданно. Ошибки определения границ водосборов по модели, подготовленной таким способом для данного региона России, не превышают в среднем 15%. Необходимо уточнить, что для оценки ошибок автоматизированного выделения границ водосборов использовались данные по площадям водосборов, приведенные в опубликованных материалах [19–21]. Такой процент ошибок, на наш взгляд, – достаточно хороший результат, поскольку границы построенных в автоматическом режиме водосборов хорошо визуальным образом совпадают с границами водосборов, построенных вручную по картам м-ба 1:100 000 (рис. 1).

Однако вышеупомянутый подход тотального удаления локальных западин, отличающийся зарекомендовавшим себя на территории ЕТР, дает большие ошибки при выделении водосборов в условиях пластовых равнин Западной Сибири. Для этого региона ошибки в площадях водосборов при автоматизированном создании их границ в среднем составляли 45%, а максимальные – превышали 100%. Причем, данная ошибка всегда была положительной. То есть, площадь водосбора, определяемая в автоматическом режиме после создания границ бассейна реки, была всегда больше, чем приведенная в “Государственном водном кадастре” [22–24]. Мы предположили, что значительное увеличение площади при автоматизированном проведении границ бассейна происходит за счет учета огромного количества (десятки и сотни) локальных областей внутри-бассейнового стока (озерно-болотный комплекс) на фоне очень уплощенного рельефа Западной Сибири. Многочисленные локальные западины, расположенные внутри речного бассейна, перехватывают поверхностный сток, который не доходит до самой реки. Поэтому данные территории нельзя включать в общую площадь водосбора рек, что происходит при тотальном автоматизированном удалении замкнутых депрессий. Ло-

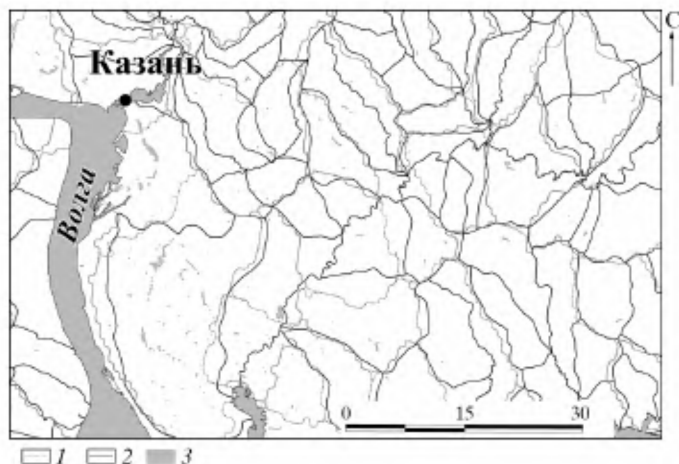


Рис. 1. Сопоставление границ водосборов, полученных в ручном и автоматическом режимах

Границы бассейнов, построенные: 1 – автоматически по ЦМР подготовленной стандартно, 2 – вручную по топографическим картам; 3 – озера и водохранилища

кальные западины вместе с жидким стоком перехватывают и твердые наносы, которые не попадают в русло основной реки и, соответственно, не регистрируются на

гидропостах. Кроме того, они имеют собственную водосборную площадь. Следовательно, при выделении границ бассейнов рек по ЦМР в этом регионе России мы должны учитывать только эрозионно-активную водосборную площадь, исключив из нее многочисленные области внутреннего стока. Для этого мы предлагаем методику, суть которой заключается в коррекции исходной модели рельефа с использованием дополнительной информации о положении водных объектов на векторной карте. Ключевой задачей методики, на наш взгляд, является создание модели рельефа, на которой присутствуют только локальные западины, соответствующие водоемам без связи с руслом постоянной гидросети с гидропостом.

Наиболее близкой к вышеупомянутой является задача по определению реальных и артефактных западин. Определить какие западины действительно понижения рельефа, а какие артефакты можно несколькими способами. Достаточно хороший обзор данного вопроса приводится в статье [16]. В ней рассматриваются различные подходы по определению реально существующих депрессий и их артефактов: 1) согласование модели рельефа с местностью; 2) согласование модели рельефа с имеющимися в наличии топографическими картами; 3) использование методов классификации; 4) подход, основанный на экспертном мнении и эвристических правилах; 5) подходы, использующие моделирование. Наш подход можно было бы отнести ко второй группе методов, поскольку мы используем дополнительную информацию с векторной карты, однако разница заключается в том, что мы не определяем реальные или артефактные западины, а создаем их в местах положения водных объектов, у которых нет связи с гидропостом.

В качестве дополнительной информации привлекалась электронная векторная карта водоемов, разработанная предприятием РосГИСцентр Федерального агентства геодезии и картографии России.

Методика

На *первом этапе* автоматизированной методики выделения границ водосборов осуществляется растеризация электронной векторной карты водоемов (рис. 2, этап 1). Поскольку модель рельефа “ГТОРО30” представлена именно в растровом виде, а также все алгоритмы, которые мы используем, разработаны для растровой модели данных, – происходит преобразование векторной модели в растровую модель данных.

На *втором этапе* производим трансформацию ЦМР с использованием растровой модели водоемов (рис. 2, этап 2). Это необходимо для принудительного задания депрессий рельефа в местах расположения рек, озер и болот. Хотя понижения, соответствующие

Рис. 2. Принципиальная схема предлагаемой методики автоматизированной подготовки ЦМР

щие в основном крупным водным объектам присутствуют на модели рельефа “ГТОРО30”, однако на ней часто не отображены элементы рельефа, соответствующие более мелким водным объектам или они смещены относительно модели рельефа. Так, например, на модели четко просматриваются понижения, соответствующие руслу р. Омь, а оз. Большое и еще ряд озер помельче не прослеживаются.

Процесс трансформации ЦМР с использованием модели гидросети заключается в понижении значений абс. отметок высот в узлах ЦМР, помеченных как водоем. Таким узлам придаются значения высот меньше, чем на окружающих их территориях.

На *третьем этапе* выполняется операция тотального удаления локальных западин с использованием алгоритма разрушения границ депрессий в направлении линий поверхностного стока, по которому профиль, проведенный

вдоль линий тока, становится монотонно убывающим (рис. 2, этап 3). Здесь необходимо отметить, что для работы алгоритма разрушения границ депрессий используются не только направления линий поверхностного стока, находящиеся внутри депрессий, но и направления линий поверхностного стока за их границами, на основе которых можно спрогнозировать направление линий поверхностного стока из депрессии. Результатом является тотальное удаление всех бессточных областей. Данная операция была произведена в программе “TAS” [18].

На *четвертом этапе* вычисляются направления потоков (рис. 2, этап 4). В качестве исходных данных используется модель рельефа без локальных западин, полученная на предыдущем этапе.



На *пятом* этапе необходимо провести отбор водоемов, не имеющих гидравлической связи с руслом главной реки (рис. 2, этап 5). Алгоритм данной процедуры довольно прост. Для его осуществления нам нужна регулярная растровая сетка с направлениями потоков, полученная на этапе 4, и регулярная растровая сетка гидросети. Кроме этого, в качестве исходной информации нужно знать положение точки, которая является замыкающим створом данного водосбора. Алгоритм заключается в том, что из каждого узла регулярной сетки, помеченного как водный объект, перемещаемся в направлении, указанном во второй регулярной сетке (направлений потоков) до тех пор, пока не придем в узел сетки, являющийся замыкающим гидропостом, либо приходим в узел сетки, не являющейся водным объектом. Если в результате вышеописанных процедур мы доходим до заданной точки гидропоста, то помечаем эти узлы сетки гидросети одним кодом. Если мы доходим до узла регулярной сетки, который не является гидросетью, то помечаем такие водные объекты другим кодом. В результате у нас обособляются элементы гидросети, не связанные постоянным водотоком с точкой положения гидропоста. Эта информация в дальнейшем используется для прерывания направлений линий потоков в бессточных областях и построения границ водосборов с учетом бессточных областей.

Наконец, на *шестом*, последнем этапе (рис. 2, этап 6), происходит коррекция модели рельефа, полученной на этапе 3. Для этого используется растровая модель водоемов, не имеющих гидравлической связи с руслом реки (полученная на этапе 5), на которой находится гидрографический пост. Коррекция заключается в понижении значений абсолютной отметки в этих местах с созданием искусственной замкнутой депрессии. Результатом этой процедуры является появление бессточных областей там, где это нужно.

Результаты

Предлагаемая методика подготовки цифровых моделей рельефа для задачи построения границ речных водосборов существенно уменьшает ошибки при создании геопространственной базы данных на речные бассейны, существующие в условиях низменных равнин (рис. 3). В первую очередь об этом свидетельствует существенное (до приемлемых значений) уменьшение ошибки в площадях бассейнов рек, выделенных по стандартной методике и с использованием предлагаемых нами процедур. Так, например, различия в площадях бассейна р. Иртыш по гидропосту в г. Омске следующие: рассчитанная площадь водосбора без учета бессточных областей – 670 тыс. км²; рассчитанная площадь водосбора с учетом бессточных областей (предлагаемая методика) – 367 тыс. км². Площадь этого бассейна по данным “Государственного Водного Кадастра” (там она определялась вручную по картам м-ба 1:500000) составляет 337 тыс. км². Таким образом, предлагаемая методика коррекции цифровой модели позволила сократить ошибку определения границ бассейна для данного гидрологического поста с 97 до 9%. Кроме этого, были проведены аналогичные расчеты еще

Ошибки определения водосборных площадей по ЦМР, подготовленным с использованием различных методик

Река/гидропост	Кадастровая площадь, км ²	Площадь по ЦМР 1, км ²	Ошибки определения площадей по ЦМР 1, %	Площадь по ЦМР 2, км ²	Ошибки определения площадей по ЦМР 2, %
Иртыш/Омск	337 000	667 000	97	367 000	8.9
Иртыш/Тобольск	969 000	1 584 310	63	900 000	7.1
Северная Сосьва/Сосьва	65 200	65 800	0.9	62 900	3.5
Обь/Белогорье	2 165 000	2 871 212	32.6	1 824 940	15.7

Примечание. ЦМР 1 – модель, подготовленная стандартно, ЦМР 2 – с использованием предлагаемой методики.

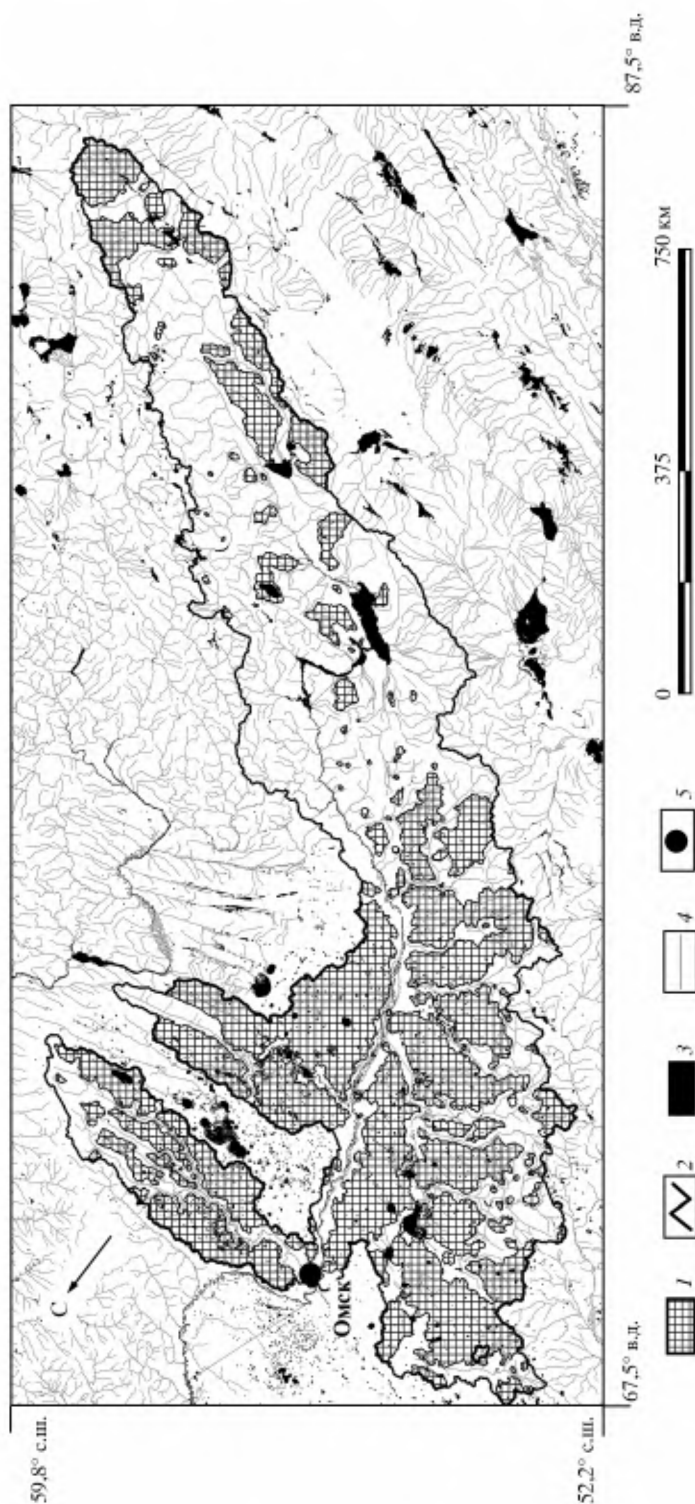


Рис. 3. Границы водосборов гидрологического поста р. Иртыш в г. Омске, построенных по ЦМР, подготовленным по двум разным методикам
 1 – территория, исключенные из водосбора после обработки ЦМР по предлагаемой методике, 2 – граница водосбора, построенная по ЦМР, подготовленной стандартно, 3 – озера и болота, 4 – реки, 5 – гидропост

для четырех гидрологических постов (таблица), основная площадь водосбора которых расположена в сходных условиях рельефа. Из анализа таблицы видно, что в трех из четырех случаев при использовании предлагаемой нами методики происходит существенное сокращение ошибок определения площади водосбора. Таким образом, предлагаемая методика подготовки цифровых моделей рельефа будет использована для построения геопространственной базы данных на речные бассейны территории Западной Сибири и на другие регионы Земли, имеющие такой же морфогенетический тип рельефа. Результаты работ интегрируются в две специализированные ГИС: “Речные бассейны России” и “Сток взвешенных наносов в речных бассейнах Земли” [25–28].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дедков А.П., Мозжерин В.И. Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во КазГУ, 1984. 264 с.
2. Ермолаев О.П., Мальцев К.А. Создание геопространственной базы данных на бассейновые геосистемы России // XXV пленарное межвуз. координац. совещ. по проблеме эрозийных, русловых и устьевых процессов (Астрахань, 12–14 октября 2010 г.). Доклады и краткие сообщения. Астрахань: АГУ, 2010. С. 132–133.
3. Burrough P.A., McDonnell R.A. Principles of geographical information systems: spatial information systems and geostatistics. NY.: Oxford University Press, 1998. P. 333.
4. Hengl T., Hannes I.R. Developments in soil science // Geomorphometry: concepts, software, applications. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, V. 33. 2009. P. 535.
5. Wilson J.P., Gallant J.C. Terrain Analysis: Principles and Applications. New York: John Wiley and Sons, 2000. P. 479.
6. Погорелов А.В., Думит Ж.А. Рельеф бассейна р. Кубани: морфологический анализ. М.: ГЕОС, 2009. 2008 с.
7. Калинин В.Г., Пьянков С.В. Применение геоинформационных технологий в гидрологических исследованиях. Пермь: ООО “Алекс-Пресс”, 2010. 217 с.
8. Band L.E. Topographic partition of watersheds with digital elevation models // Water Research. 1986. № 22 (1). P. 15–24.
9. Jenson S.K., Domingue J.O. Extraction topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1988. № 54 (11). P. 1593–1600.
10. Martz L.W., de Jong E. CATCH: a FORTRAN program for measuring catchment area from digital elevation models // Computers & Geosciences. 1988. № 14 (5). P. 627–640.
11. Moore I.D., Grayson R.B., Ladson A.R. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications // Hydrological Processes. 1991. № 5. P. 3–30.
12. Lindsey J.B., Creed I.F. Removal artifact depression from digital elevation model: toward a minimum impact approach // Hydrological Processes. 2005. № 19. P. 3113–3126.
13. Martz L.W., Garbrecht J. An outlet breaching algorithm for the treatment of closed depressions in a raster DEM // Computers & Geosciences. 1999. № 25 (7). P. 835–844.
14. Martz L.W., Garbrecht J. Treatment of flat areas and depressions in automated drainage analysis of raster digital elevation models // Hydrological Processes. 1998. № 12 (6). P. 843–855.
15. Rieger W. A phenomenon-based approach to upslope contributing area and depressions in DEMs // Hydrological Processes. 1998. № 12. P. 857–872.
16. Lindsay J.B., Creed I.F. Distinguishing actual and artefact depressions in digital elevation data // Computers & Geosciences. 2006. № 32 (8). P. 1192–1204.
17. Martz L.W., Garbrecht J. Automated recognition of valley lines and drainage networks from grid digital elevation models: a review and a new method—comment // Journ. of Hydrology. 1995. № 167(5). P. 393–396.
18. Lindsay J.B. The terrain analysis system: a tool for hydrogeomorphic applications // Hydrological Processes. 2005. № 19(5). P. 1123–1130.
19. Государственный водный кадастр: основные гидрологические характеристики. Л.: Гидрометеониздат, 1979. Т. 10. 483 с.
20. Государственный водный кадастр: основные гидрологические характеристики. Л.: Гидрометеониздат, 1978. Т. 2. 670 с.
21. Государственный водный кадастр: ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши. Архангельск: Госкомитет СССР по гидрометеорологии, 1990. Т. 1(28). 328 с.

22. Государственный водный кадастр: основные гидрологические характеристики. Л.: Гидрометеиздат, 1980. Т. 15. 248 с.
23. Государственный водный кадастр: основные гидрологические характеристики. Л.: Гидрометеиздат, 1979. Т. 15. 488 с.
24. Государственный водный кадастр: ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Архангельск: Госкомитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, 1984. Т. 1. 542 с.
25. *Yermolaev O.P.* Assessment of the Suspended Sediment Yield in the Rivers' Basin of the Russian Plain // *World Applied Sci. Journ.* 2013. № 27 (5). P. 626–631.
26. *Yermolaev O.P., Maltsev K.A., Mozherin V.V., Mozherin V.I.* Global geoinformation system "Suspended sediment yield in the river basins of the Earth" // *Gomorphology*. 2012. № 2. P. 50–58.
27. *Maltsev K., Yermolaev O., Mozherin V.* Mapping and spatial analysis of suspended sediment yields from the Russian Plain // *IAHS-AISH Publication*. 2012. V. 356. P. 251–258.
28. *Yermolaev O., Avvakumova A.* Cartographic-geoinformational estimation of spatiotemporal erosion dynamics of arable soils in forest-steppe landscapes of the Russian Plan // *IAHS-AISH Publication*. 2012. V. 356. P. 332–337.

Казанский федеральный университет

Поступила в редакцию
21.02.2012

USING DEMS FOR AUTOMATIC PLOTTING OF CATCHMENTS

K.A. MAL'TSEV, O.P. YERMOLAYEV

Summary

The authors suggest the method for digital elevation models (DEMs) compiling aimed to plotting the boundaries of the drainage catchments for the lowland relief (West Siberia as an example). The proposed method allows to take into account the local contemporary depressions – traps of the suspended sediment yield and surface runoff. In the result the higher precision of the basins boundaries pattern is obtained. In this method additional information from the topographic maps is used. The DEM compiled with the use of the suggested method helps to significantly increase the accuracy of the West Siberian catchments' automatic plotting.

УДК 551.4.012→551.435.04

© 2014 г. Х.Н. САФАРОВ, М.В. МАРКЕЛОВ, В.Н. ГОЛОСОВ, Б. ВОЛЬФГРАММ

ОЦЕНКА ТЕМПОВ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАНОСОВ НА СКЛОНАХ МАЛОГО ВОДОСБОРА ЛЁССОВОГО ПОЯСА ТАДЖИКИСТАНА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОЦЕЗИЕВОГО МЕТОДА¹

Постановка проблемы

Особенностью развития эрозионных процессов в горах является существенная зависимость от состава почвообразующих пород, повторяемости стокоформирующих событий, особенностей температурного режима в сочетании с изменениями влажности грунта и специфики освоения склоновых земель. Так, например, многовековая история сельскохозяйственного освоения гор Средиземноморья привела к значительной деградации земель, что способствовало образованию обширных массивов бедлендов [1–3]. Современные темпы эрозионных процессов в этом регионе, выявленные на основе использования различных методов, также достигают значительных величин [4–5], но

¹ Работа выполнена в рамках деятельности Швейцарского национального исследовательского центра (NCCR) Север-Юг "Партнерство для смягчения последствий климатических изменений" при поддержке Швейцарского агентства для развития и сотрудничества и институтов-участников программы.