ISSN 1561-7793

Вестник
Томского государственного университета

№ 363 **Октябрь** **2012**

- ФИЛОЛОГИЯ
- ФИЛОСОФИЯ, СОЦИОЛОГИЯ, ПОЛИТОЛОГИЯ
- КУЛЬТУРОЛОГИЯ
- ИСТОРИЯ
- ПРАВО
- ЭКОНОМИКА
- ПСИХОЛОГИЯ И ПЕДАГОГИКА
- НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Томский государственный университет
2012

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ
ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Майер Г.В., д-р физ.-мат. наук, проф. (председатель); **Дунаевский Г.Е.**, д-р техн. наук, проф. (зам. председателя); **Ревушкин А.С.**, д-р биол. наук, проф. (зам. председателя); **Катунин Д.А.**, канд. филол. наук, доц. (отв. секретарь); **Берцун В.Н.**, канд. физ.-мат. наук, доц.; **Воробьёв С.Н.**, канд. биол. наук, ст. науч. сотр.; **Гага В.А.**, д-р экон. наук, проф.; **Галажинский Э.В.**, д-р психол. наук, проф.; **Глазунов А.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Голиков В.И.**, канд. ист. наук, доц.; **Горцев А.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Гураль С.К.**, д-р пед. наук, проф.; **Демешкина Т.А.**, д-р филол. наук, проф.; **Демин В.В.**, канд. физ.-мат. наук, доц.; **Ершов Ю.М.**, канд. филол. наук, доц.; **Зиновьев В.П.**, д-р ист. наук, проф.; **Канов В.И.**, д-р экон. наук, проф.; **Кузнецов В.М.**, канд. физ.-мат. наук, доц.; **Кулижский С.П.**, д-р биол. наук, проф.; **Парначёв В.П.**, д-р геол.-минерал. наук, проф.; **Портнова Т.С.**, канд. физ.-мат. наук, доц., директор Издательства НТЛ; **Потекаев А.И.**, д-р физ.-мат. наук, проф.; **Прозументов Л.М.**, д-р юрид. наук, проф.; **Прозументова Г.Н.**, д-р пед. наук, проф.; **Пчелинцев О.А.**, зав. редакционно-издательским отделом ТГУ; **Рыкун А.Ю.**, д-р социол. наук, доц.; **Сахарова З.Е.**, канд. экон. наук, доц.; **Слижов Ю.Г.**, канд. хим. наук., доц.; **Сумарокова В.С.**, директор Издательства ТГУ; **Сущенко С.П.**, д-р техн. наук, проф.; **Тарасенко Ф.П.**, д-р техн. наук, проф.; **Татьянин Г.М.**, канд. геол.-минерал. наук, доц.; **Унгер Ф.Г.**, д-р хим. наук, проф.; **Уткин В.А.**, д-р юрид. наук, проф.; **Черняк Э.И.**, д-р ист. наук, проф.; **Шилько В.Г.**, д-р пед. наук, проф.; **Шрагер Э.Р.**, д-р техн. наук, проф.

НАУЧНАЯ РЕДАКЦИЯ ВЫПУСКА

Галажинский Э.В., д-р психол. наук, проф.; **Демешкина Т.А.**, д-р филол. наук, проф.; **Зиновьев В.П.**, д-р ист. наук, проф.; **Канов В.И.**, д-р экон. наук, проф.; **Кулижский С.П.**, д-р биол. наук, проф.; **Парначёв В.П.**, д-р геол.-минер. наук, проф.; **Прозументов Л.М.**, д-р юрид. наук, проф.; **Прозументова Г.Н.**, д-р пед. наук, проф.; **Черняк Э.И.**, д-р ист. наук, проф.; **Шилько В.Г.**, д-р пед. наук, проф.

Журнал «Вестник Томского государственного университета»
включён в «Перечень российских рецензируемых научных журналов,
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты
диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук»
(http://vak.ed.gov.ru/ru/help_desk/list/)

ВЕСТНИК ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
№ 363 Октябрь 2012

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 911.2

А.А. Ерофеев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ БАССЕЙНОВЫХ ГЕОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (на примере бассейнов малых рек Томска и его окрестностей)

Исследования проведены в рамках гранта «Оценка экологических рисков при освоении инвестиционно-привлекательных территорий» в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.» (ГК № П742 от 20 мая 2010 г.).

Рассматривается подход к решению проблемы определения структуры бассейновых геосистем на основе разработанной методики ландшафтной дифференциации. Предложен алгоритм ландшафтного картографирования на основе геоинформационного моделирования. В пределах изучаемых частей бассейнов малых рек Ушайки и Самуськи проведено моделирование рельефа для нахождения закономерностей распределения морфометрических величин по отношению к сложившейся ландшафтной структуре территории. Экспериментальным способом установлена высокая значимость ключевых морфометрических величин для объективизации проведения границ геосистем.

Ключевые слова: ландшафтная структура; бассейновые геосистемы; геоинформационное моделирование; малые реки.

В последние годы в физической географии всё более заметную роль при осуществлении как теоретических, так и прикладных исследований занимает геоинформационное моделирование (ГМ). В классических трудах учёных-географов нет единого определения понятия «модель». Однако большинство из трактовок основано на общеизвестном определении В.А. Штоффа: «Под моделью понимается такая мысленно представляемая или материализованная система, которая, отображая или воспроизводя объект исследования, способна замещать его так, что её изучение даёт нам новую информацию об объекте» [1].

В настоящее время геоинформатика рассматривается как интегратор многих наук и технологий, оперирующих пространственными данными, что даёт основание выделять особый вид пространственного моделирования как геоинформационное.

Для решения физико-географических задач ГМ позволяет проводить математическое моделирование как компонентного состава геосистем (распространение растительности по рельефу, механический состав почвенного покрова и т.д.), так и процессов функционирования (времени добегания поверхностных стоков, распределения доз инсоляции и т.д.), решать задачи создания сети ландшафтно-экологического мониторинга, в существенной степени улучшить прогноз гидрологических процессов, особенно в условиях дефицита информации, характерного для отдалённых таёжных районов.

Для достижения высокого уровня обобщения при построении модели требуется высокое качество априорной (косвенной) информации, а также измерений, полученных при полевых исследованиях. В любом случае ценность ГМ для физической географии значительно возрастает в результате верификации модельных показателей и величин с реальными количественными измерениями в пределах геосистем (скорости стекания поверхностных стоков, величин размыва пород, минерализации и др.). В случае же с использованием априорных моделей (полученных на основе морфометрического анализа цифровых моделей рельефа (ЦМР), данных дистанционного зондирования, георадарного зондирования и др.) важным этапом становится сравнительный анализ полученных результатов с использованием общенаучных статистических методов прямой и косвенной аналогии по ключевым параметрам исследуемых объектов.

В качестве территории исследования в работе рассматриваются часть бассейна р. Ушайки (8 км по течению от устья) и р. Самуськи (15 км по течению от устья), сравнительный анализ ландшафтной структуры которых представляет научный интерес вследствие нахождения бассейнов в пределах одной Нижнетомской природной провинции, а также сопоставимости ряда их гидрологических характеристик (площадь водосбора, длина основного русла и др.). Северные и западные границы речных бассейнов определены морфометрическим показателем «площадь сбора» на основе структурно-гидрологического анализа ЦМР. Южные и восточные границы бассейнов проводились по границам имеющихся в наличии крупномасштабных карт и топопланов.

При определении структуры бассейновых геосистем ГМ было использовано как в качестве составной части ландшафтного картографирования (ЛК), так и в качестве самостоятельных моделей распределения ключевых морфометрических величин (МВ).

Разработанный подход ЛК на основе ГМ заключался в сочетании как традиционных приёмов и способов, так и во внедрении в процесс картографирования технологических элементов, основанных на строгих математических алгоритмах, значительно увеличивающих объективность проведения границ геосистем.

В самом процессе ЛК выделялись 2 последовательных блока – геоинформационный и полевой (рис. 1). Геоинформационное картографирование геосистем включало этапы первичной обработки данных, анализа картографических материалов и космических снимков, формирования единой базы геоданных (БГД), а также углубленного морфометрического анализа на основе ЦМР. В результате все векторные слои были переведены в единую БГД, в которую были добавлены таблицы распределения эмпирических показателей для моделирования, таблицы описаний точек полевых наблюдений.

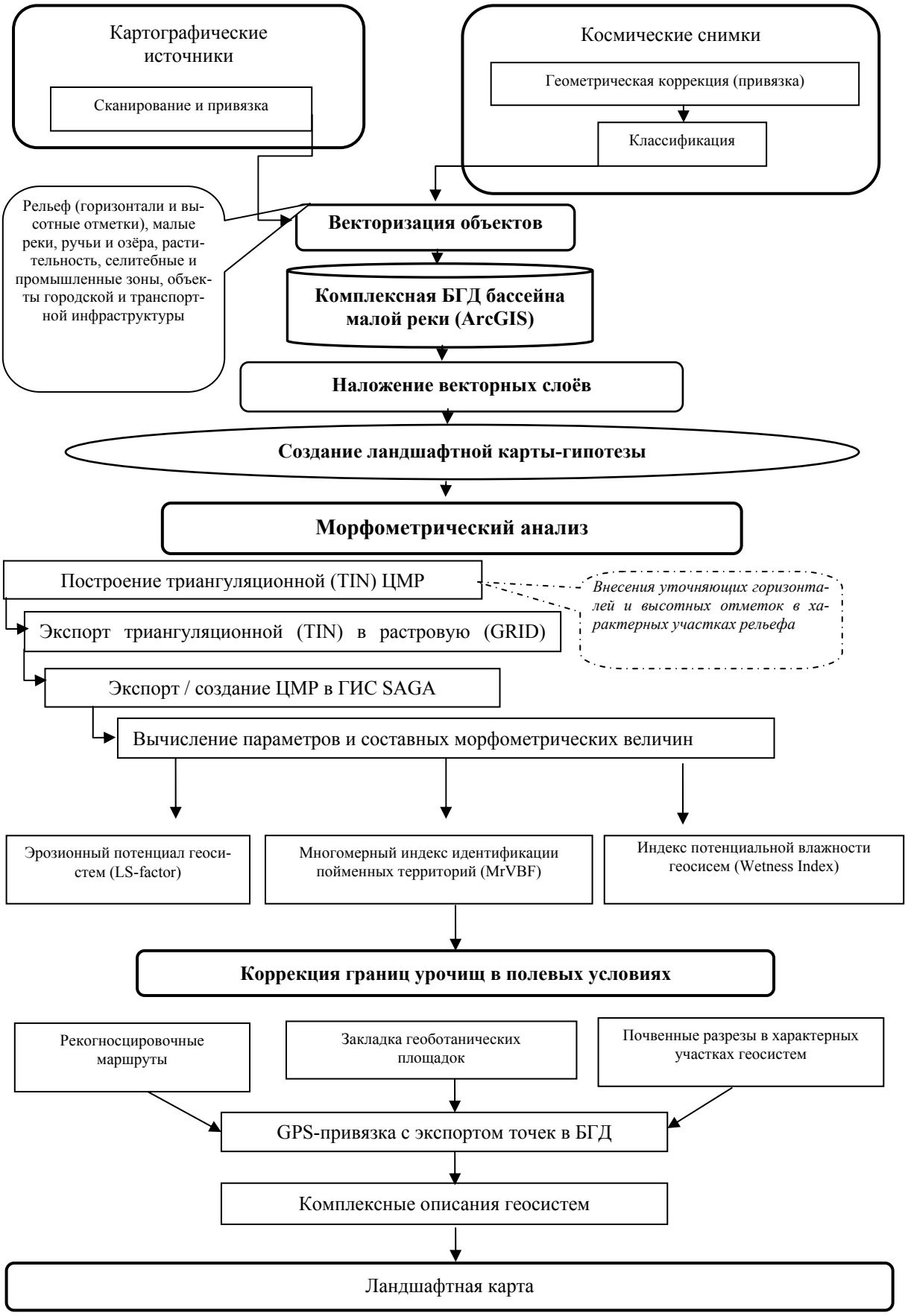


Рис. 1. Логическая схема ландшафтного картографирования на основе геоинформационного моделирования

Использование БГД позволило объединить источники ГМ единой системой связей, правил топологии и проекции, а для выполнения дальнейшего морфометрического анализа и статистической обработки данных из единой

БГД объекты экспортировались в форматы данных специализированных ГИС-пакетов SAGA, MapWindow, FracDim и др.

Наиболее функциональным на сегодняшний день методом ГМ с точки зрения определения структуры и функционирования бассейновых геосистем является морфометрический метод [2]. Морфометрический анализ бассейнов рек Ушайки и Самуськи включал в себя этап создания ЦМР, а также этап статистического анализа распределения ключевых МВ в пределах бассейнов на основе формализованных вычислительных процедур модулей ГИС SAGA.

ЦМР бассейнов рек Ушайки и Самуськи создавались при помощи модуля ГИС-пакета ArcGIS «3D Analyst» методом триангуляции Делоне [3], а для использования всей полноты возможностей ГМ в дальнейшем ЦМР из триангуляционного формата данных TIN экспортировалась в формат регулярных высот GRID.

Для автоматизированного выделения и уточнения полевых измерений территорий, потенциально соответствующих поймам рек, использовался Multi-Resolution Valley Bottom Flatness (MRVBF) [4], для определения механизмов увлажнения территории – Wetness index [5], для определения эрозионного потенциала геосистем – LS-factor [6].

Многомерный индекс идентификации пойм, или Multi-Resolution Valley Bottom Flatness (MRVBF), – комплексный морфометрический показатель, позволяющий дифференцировать территорию речного бассейна по степени осадконакопительных свойств и применяемый в основном для уточнения границ пойменных территорий.

J.C. Gallant и T.I. Dowling [4] отмечали, что в основе вычислительных алгоритмов MRVBF лежат несколько известных природных законов. Так, между склонами речных долин и поймами существует значительное различие в гидрологических процессах. Почвенный слой на склонах речных долин менее мощный, чем в пойме. На склонах преобладает режим эрозии и транспортировки, тогда как в поймах преобладает осадконакопление с постоянной аккумуляцией.

Исходя из проведённого моделирования, в большинстве случаев границы пойменных территорий, определённые параметром MRVBF, соответствуют данным полевого крупномасштабного ЛК. Расхождение результатов моделирования наблюдается в пределах геосистем бассейна р. Ушайки, расположенных на граничных участках поймы и первой надпойменной террасы и находящихся под сильным антропогенным прессом (например, геосистемы на искусственно выположенных склонах, занятых объектами инфраструктуры, садовыми участками и т.д.). Наиболее точное совпадение результатов моделирования затопляемых территорий при помощи MRVBF с данными традиционного ЛК наблюдается в преимущественно естественных геосистемах бассейна р. Самуськи.

Процессы увлажнения геосистем определялись при помощи индекса потенциальной влажности (Wetness Index), на практике обозначающего потенциальную влажность водосбора [7], или катенарные условия ландшафта [5], и относимого к так называемым «эффективным гидрологическим характеристикам водосборов».

Большие значения этого индекса соответствуют аккумуляции влаги, повышенному ее содержанию в почве, что, в свою очередь, влияет на другие ландшафтные характеристики (микроклимат, водный баланс, экологические условия местопроизрастаний). Ряд исследований включает данный индекс в число показателей, используемых для прогноза почвенных характеристик. Так, согласно исследованиям П. Гесслера и А. Мура, данная модель в среднем предсказывает 65% пространственной вариации почвенных характеристик [5].

Эрозионный потенциал рельефа геосистем оценивался составным индексом LS-factor, разработанным А. Муром и Дж. Бёрчем на основе единиц теории силы [6]. Для определения LS используется выражение из усовершенствованного Универсального уравнения потерь почвы [8]. Рассчитанные согласно данному уравнению объемы эрозии представляют собой ландшафтно-экологический показатель, имеющий важное значение при планировании землепользования, организации охраны земель и водных объектов, предсказания местоположения эрозионной сети и т.д. В нашем же случае индекс напрямую коррелирует с уклоном геосистем и свидетельствует о наибольшей интенсивности поверхностных стоков с конкретной территории. Для определения реальных объемов смыва величина LS должна быть соотнесена с показателями, характеризующими другие факторы эрозии (осадки, почву, растительность и т.д.).

В ходе обобщённого статистического анализа оценивались показатели абсолютной и относительной высоты, математического ожидания (среднее), а также среднеквадратичного отклонения (табл. 1).

Таблица 1

Распределение статистических показателей ключевых морфометрических величин в пределах изучаемых частей бассейнов рек Ушайки и Самуськи

Малая река	МВ	min	max	Относит. показатель	Ср. квадр. откл.	Среднее
Ушайка	Высота	68,72	185	101,24	20,24	101,7
	WI	4	21	17	3,24	11,85
	LS	0,06	7775,62	7775,56	6,13	36,87
	MRVBF	0	5,96	5,96	1,41	1,73
Самуська	Высота	69, 98	171,21	116,28	21,92	113,42
	WI	7	23	16	3,13	16,19
	LS	0	863,27	863,27	3,05	0,83
	MRVBF	0	7,98	7,98	2,11	3,88

К примеру, сравнение минимальных высот речных бассейнов показывает приуроченность территории к единой речной системе более крупного водотока. Относительные высоты могут свидетельствовать о степени расчленённости территории бассейна. Среднее (математическое ожидание) позволяет отра-

зить существенные различия в распределении МВ в пределах различных геосистем, выявить как явные, так и скрытые закономерности в структуре их распределения.

Среднеквадратичное отклонение показывает рассеивание значений МВ относительно её среднего показателя, что также может способствовать определению особенностей структуры геосистем.

В результате проведения ГМ была определена ландшафтная структура, состоящая из набора урочищ и фаций. Статистический анализ распределения МВ позволил выявить ряд закономерностей. Так, количество фациальных единиц в бассейне р. Ушайки составило 6243, объединённых в 374 уникальных вида. В бассейне р. Самуськи 6987 и 732 уникальных вида (табл. 2). Несмотря на значительное преобладание в площадном охвате изучаемой территории бассейна Самуськи над бассейном Ушайки (4,5 раза), такие показатели можно обосновать несколькими технологическими и ландшафтно-морфологическими причинами. Среди технологических основной причиной является более низкое разрешение ЦМР на территорию бассейна р. Самуськи (10 м) и вызванная такой причиной меньшая детальность описания рельефа, а следовательно и меньшая дробность геосистем.

Ландшафтно-морфологические причины связаны с большей расчлененностью рельефа бассейна р. Ушайки, склоны которого прорезают многочисленные ручьи, овраги и промоины, в отличие от бассейна р. Самуськи, где проявления экзогенных процессов такого рода распространены в меньшей степени. Кроме того, значительное влияние на дробность геосистем оказывает антропогенное преобразование бассейна р. Ушайки.

Таблица 2

Некоторые параметры ЦМР и количественные характеристики, полученные в результате ГМ бассейнов рек Ушайки и Самуськи

Бассейн реки	Ушайка	Самуська
Масштаб картографической основы	1:10 000	1:25 000
Размер пикселя, м	5	10
Изучаемая площадь речного бассейна, км²	33,88	155,72
Количество урочищ	1168	693
Количество видов урочищ	65	126
Количество фаций	6243	6987
Количество видов фаций	374	732

Таким образом была разработана методика определения структуры бассейновых геосистем на основе материалов традиционного ЛК с применением ГМ. Сравнительный анализ распределения ключевых МВ подтвердил высокую значимость для ландшафтной дифференциации индекса потенциальной влажности (Wetness index). Как и предполагалось ранее, показатели потенциального увлажнения геосистем бассейна р. Самуськи значительно выше, чем в бассейне р. Ушайки как по диапазону значений, так и по другим важным статистическим показателям, например среднему. В свою очередь, такие свойства рельефа бассейна р. Самуськи непосредственным образом влияют на активное распространение процессов заболачивания и подтопления территории.

Включение в процесс ЛК ряда МВ позволило значительно объективизировать процесс проведения границ геосистем. Так, в результате сравнения модели MRVBF с материалами полевого ЛК удалось установить высокий уровень соответствия границ пойменных геосистем. Показатели же эрозионного потенциала рельефа геосистем, определенные индексом LS-factor, в большинстве случаев напрямую коррелируют с углами наклонов поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Штофф В.А.* Моделирование в философии. М., 1966. С. 19.
2. *Сысуев В.В.* Моделирование геофизической дифференциации геосистем // Функционирование и современное состояние ландшафтов. М. : Городец, 2004. С. 48–71.
3. *Хромых В.В., Хромых О.В.* Цифровые модели рельефа : учеб. пособие. Томск : Изд-во НТЛ, 2011. С. 25.
4. *Gallant J.C., Dowling T.I.* A multiresolution index of valley bottom flatness for mapping depositional areas // Water Resources Research. 2003. № 39 (12). P. 1347.
5. *Gessler P.E., Moore I.D., McKenzie N.J., Ryan P.J.* Soil landscape modelling and spatial prediction of soil attributes // Int. J. Geogr. Inf. Syst. 1995. Vol. 9. P. 421–432.
6. *Moore I.D., Burch G.J.* Modeling erosion and deposition: Topographic effects // Transactions ASAE. 1986. № 29. P. 1624–1640.
7. *Beven K.J., Kirkby M.J.* A physically based, variable contributing area model of basin hydrology // Hydrological Sciences Bulletin. 1979. Vol. 24, № 1.
8. *Moore I.D., Wilson J.P.* Length-slope factors for RUSLE: Simplified method of estimation // Soil Science Society of America Journal. 1992. Vol. 50. P. 1294–1298.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 4 июля 2012 г.