

УДК 528.931:004.9

© Р.В. Пермяков



ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГЕОГРАФО-КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАЧ (ПО МАТЕРИАЛАМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ)

Принято считать, что географическая информационная система (ГИС) представляет собой аппаратно-программный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координированных данных, интеграцию информации и знаний о территории для их эффективного использования при решении научных и прикладных задач, связанных с анализом, моделированием, прогнозированием и управлением окружающей средой и территориальной организацией общества [1].

Важнейшим источником оперативной информации о природной среде для тематических слоев ГИС являются материалы дистанционного зондирования. При решении различных географо-картографических задач эффективному применению данных дистанционного зондирования (ДДЗ) в сочетании с ГИС способствуют геоинформационные технологии, составляющие необходимую основу инструментария ГИС-пакетов.

Все более очевидной становится эффективность совместного использования картографических и аэрокосмических материалов в географических исследованиях. Для карт и снимков могут быть применены близкие приемы картометрической обработки, извлечения морфометрической и статистической информации, создания цифровых моделей. В работе приводятся примеры использования различных аэро- и космических снимков, полученных при содействии Геопортала МГУ имени М.В. Ломоносова и ЗАО «Фирма «Ракурс», для решения картографическими методами задач гражданского строительства, сельского и водного хозяйства.

Цифровые модели рельефа (ЦМР), представляя собой способ структурного описания такой базовой части географического пространства, как рельеф, приобретают первостепенное значение при решении географо-картографических задач. В создании ЦМР, равно как и в их использовании для

научно-исследовательских и практических целей, важная роль принадлежит аналитическим методам, основанным на технологии цифровой фотограмметрии [4].

Применение цифровых фотограмметрических систем (ЦФС) для создания ЦМР по ДДЗ уже достаточно давно и успешно себя зарекомендовало. ЦФС представляют собой набор программных и аппаратных средств, предназначенных для аналитической обработки данных космической и аэрофотосъемки. Извлечение из них данных о рельефе с использованием специальных средств стереообработки может производиться как в автоматическом, так и в ручном режиме [2].

На основе составленных таким образом ЦМР с помощью инструментария ГИС-пакетов можно получить важные геометрические, морфометрические, гидрологические и иные характеристики рельефа в каждой точке пространства с заданной точностью [11].

Расчет геометрических параметров рельефа подразумевает вычисление объема его форм и площади реальной поверхности, а также площади проекции рельефа на плоскость. К морфометрическим параметрам рельефа принято относить углы наклона и экспозицию склонов, плановую и профильную кривизну поверхности. Гидрологические параметры включают в себя направление, линии и аккумуляцию стока, а также речную сеть и водосборные бассейны. К прочим параметрам рельефа можно отнести параметры видимости: взаимную видимость двух точек и панорамный обзор из одной точки.

Гидрологические свойства рельефа могут успешно применяться во многих исследованиях, ориентированных как на хозяйственное освоение водных ресурсов, так и на прогноз негативных последствий от их использования. В связи с этим особую роль при обработке ЦМР средствами ГИС-пакетов играет геоинформационное моделирование гидрографической сети, водосборных бассейнов и

областей затопления. Создаваемые модели в свою очередь дают необходимую основу для построения более сложных карт: наводнений и экологической опасности горных водохранилищ.

Геоинформационное моделирование речных бассейнов – наиболее востребованная область практического применения ЦМР. Без него в последнее время не обходится ни одно гидрологическое и геоморфологическое исследование.

Технология выделения по ЦМР гидрографической сети и речных бассейнов опробована на примере территории Швейцарии в окрестностях города Вальдкирх. В результате моделирования водотоков в ГИС-пакете ArcGIS и визуального стереодешифрирования в ЦФС PHOTOMOD снимков на соответствующую территорию создана карта гидрографической сети. На основе данных о локализации и порядке водотоков и речных бассейнов построена карта водосборных бассейнов. Главным преимуществом процедуры моделирования по сравнению с визуальным стереодешифрированием стала автоматизация процесса и как следствие – меньшее время его выполнения [3].

В условиях обострения ситуации с наводнениями и другими явлениями природного характера в России и мире особую значимость приобретают

обоснованность и своевременность принятия управленческих решений. Органы исполнительной власти могут оперативно получать результаты геоинформационного моделирования наводнений по материалам дистанционного зондирования. Разработанная методика такого моделирования опробована на примере наводнения на Дальнем Востоке в августе 2013 года. Задача реализована по ЦМР с размером ячейки 5 м, созданной в результате использования полуавтоматических способов построения в ЦФС PHOTOMOD. Статистические данные ежесуточных измерений уровня воды на гидропостах Благовещенска взяты из официальных источников Росгидромета по Дальневосточному федеральному округу, ГУ МЧС по Амурской области и электронной базы данных гидрологических расчетов.

На основе условных значений и фактических данных о ежесуточном изменении уровня воды в реке Амур в ГИС-пакете Global Mapper смоделированы границы областей затопления. С целью приблизительной оценки материального ущерба с помощью оверлейного функционала ArcGIS рассчитано число строений, оказавшихся в зоне затопления при том или ином уровне воды в реке Амур. Их количество установлено отдельно для российской и китайской территории. В результате созданы «Карта наводнения

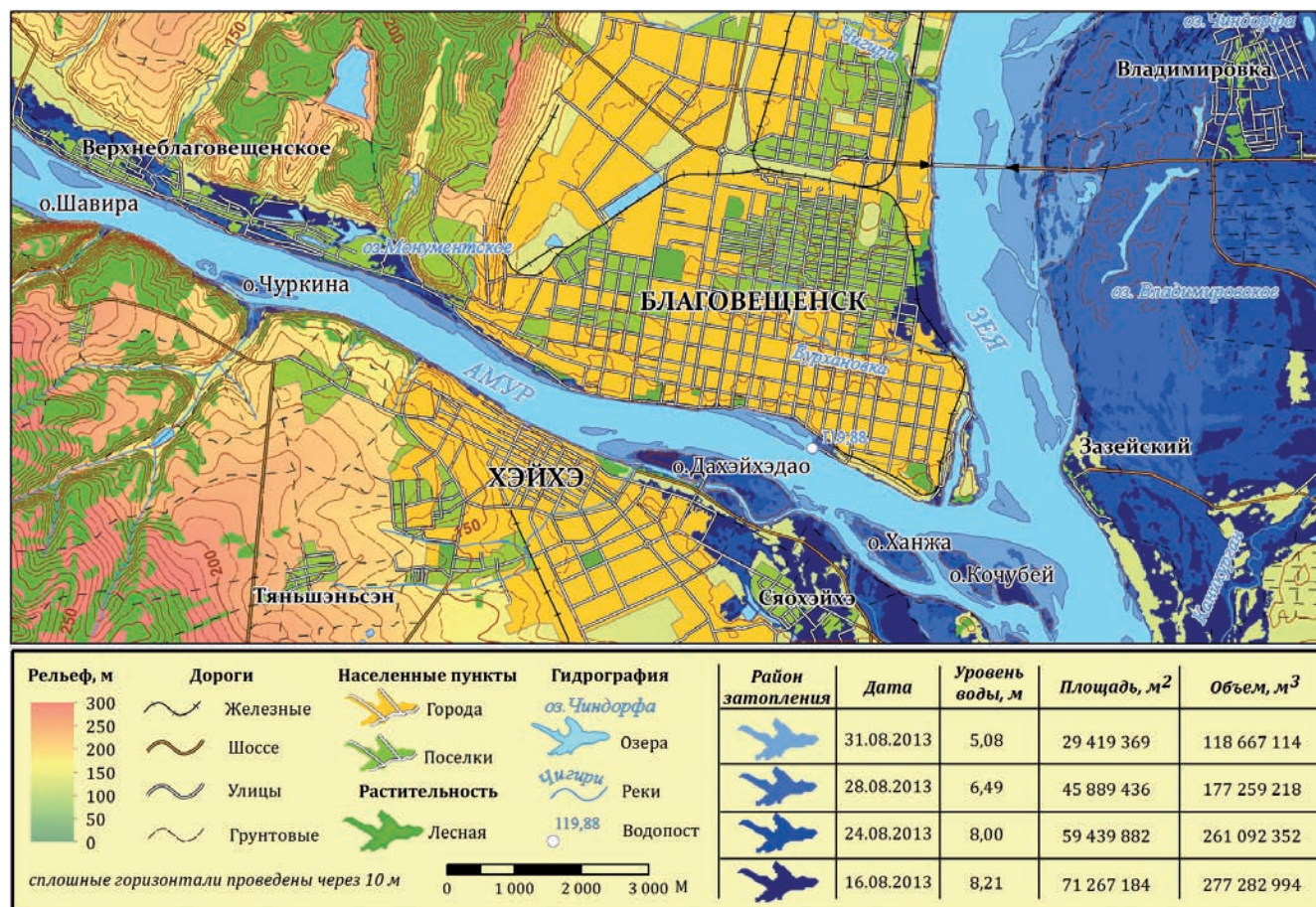


Рис. 1. Карта наводнения на р. Амур в окрестностях города Благовещенска (16.08-31.08.2013 г.)

на р. Амур в окрестностях города Благовещенска (16.08-31.08.2013 г.)» (см. рис. 1) и «Карта условного наводнения катастрофического класса опасности на р. Амур в окрестностях города Благовещенска».

По карте видно, что в период максимального уровня воды в реке Амур затопленными полностью стали китайские острова Чуркина, Дахэйхэдао, Ханжа и Кочубей [6]. Под водой оказалось более 140 китайских и 450 российских жилых и нежилых домов – практически все левобережье реки Зея, включая поселки Владимировка и Зазейский. Серьезно пострадала прибрежная часть поселков Верхнеблаговещенское и Сяохэнхэ, а также набережная Благовещенска и его портовая зона на реке Зея. Площадь затопления на 16 августа 2013 г. составила более 70 млн м², а объем сконцентрированной в нем воды – более 270 млн м³ [6].

Оперативность принятия управленческих решений требуется не только во время стихийных бедствий природного характера. Экологическая безопасность объектов гидроэнергетики в силу активной хозяйственной деятельности человека находится под постоянной угрозой. В связи с этим нормализация экологической обстановки нуждается в своевременном и обоснованном прогнозе развития ситуации, немаловажную роль в котором играет использование возможностей ГИС.

Методика геоинформационного моделирования экологической опасности горных водохранилищ опробована на примере Спандарянского водохранилища в Армении. Принято считать, что наиболее существенное влияние на изменение объема водохранилища, масштаб его хозяйственного использования и ущерб инфраструктуре в случае возможного затопления оказывают высота плотины и площадь поверхности водохранилища. В ходе апробации методики были рассмотрены сценарии, показывающие затопление территории после искусственного увеличения высоты плотины на 10, 50 и 75 м, соответственно. Кроме того, рассчитаны последствия чрезвычайной ситуации, вызванной возможным прорывом плотины.

Моделирование затопления территории реализовано средствами ГИС-пакета ArcGIS. Рассчитаны площади затопления территории и объемы воды в результате постепенного увеличения высоты дамбы на стадии проектирования водохранилища.

Количественные показатели объема воды в водохранилище при том или ином инженерном решении позволяют оценить масштабы последствий в случае возможного прорыва плотины. Рассматривая в качестве одного из основных последствий от увеличения высоты дамбы возможное подтопление автодороги, очевидно, что

при ее проектировании следовало разработать альтернативные маршруты.

Кроме того, средствами ArcGIS рассчитана зона катастрофического затопления местности в результате возможной чрезвычайной ситуации – прорыва плотины. В результате моделирования построена «Карта экологической опасности Спандарянского водохранилища» (см. рис. 2), из которой видно, что на участке между плотинной и селом Спандарян долина реки Воротан представляет собой узкий и глубокий каньон. Поэтому в этой части нижнего бьефа Спандарянского водохранилища территория не подвержена катастрофическому затоплению.

На участке между селом Спандарян и мостом через реку на трассе Шагат-Ангехакот долина реки Воротан постепенно расширяется и переходит на открытое, относительно плоское пространство перед Шамским водохранилищем, образуя зону вероятного катастрофического затопления, в которую полностью попадает село Шагат с численностью населения, по приблизительным оценкам, 300-500 человек, а также юго-западная часть села Ангехакот с численностью населения 100-200 человек. При наличии современной и актуальной базы данных количественно появляется возможность оценить и другие последствия. Так, под водой могут оказаться более 150 огнестойких и 50 неогнестойких строений, участок дороги М13 между Ангехакотом и Шагатом, а также сельскохозяйственные земли общей площадью 611 550 м².

Учет морфометрических показателей играет важную роль и при проектировании гражданских объектов. Особое внимание следует обратить на создание транспортной инфраструктуры и возможности ее дальнейшего развития. На протяжении последних 30 лет в России активно развивается газотранспортная отрасль. Результаты оценки современных тенденций в ее развитии указывают на то, что в ближайшем будущем следует ожидать всплеска активности в сфере строительства новых трубопроводных систем. Стоимость изысканий и строительства подобных объектов чрезвычайно высока.

В связи с этим особый интерес представляют методы автоматизированного моделирования оптимального расположения трассы трубопровода. Методика реализована на примере провинций Сюник и Вайоцдзор в Армении, а также на примере Краснодарского края.

В настоящее время газ в Армению поступает по двум газопроводам: Моздок–Тбилиси–Ереван и Тебриз–Мегри. Первый из них, проходя по территории Грузии, характеризуется высоким уровнем аварийности и подверженности политической конъюнктуре. Второй – представляет собой 140-километровое ответвление газопроводной системы

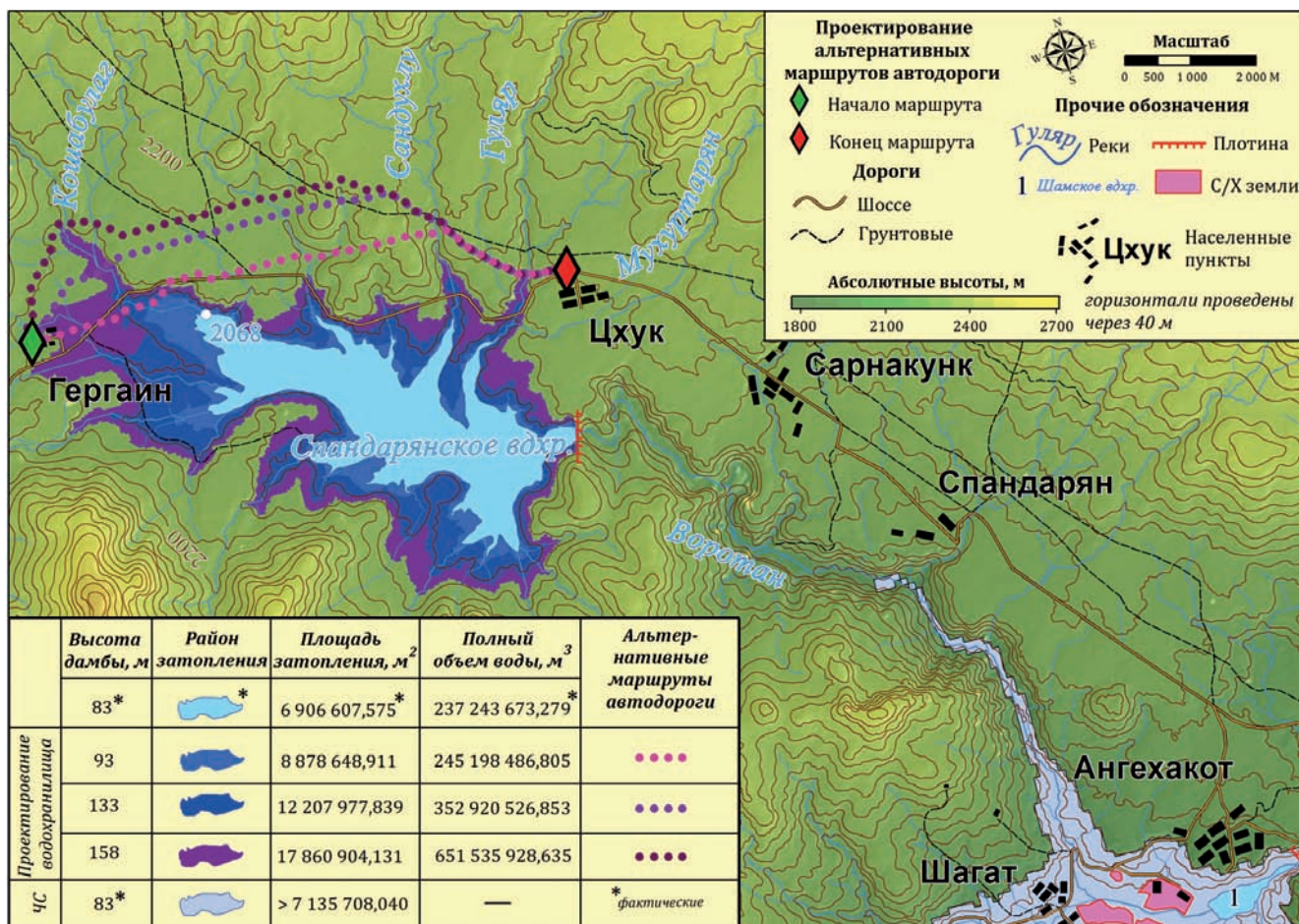


Рис. 2. Карта экологической опасности Спандарянского водохранилища (Армения)

Ирана и заканчивается в городе Мегри, на юго-западе Армении [10]. Таким образом, строительство трассы трубопровода целесообразно рекомендовать на территории провинций Сюник и Вайоцдзор.

Под оптимальным расположением маршрута строительства понимается такое положение трассы трубопровода, которое сопряжено с наименьшими экономическими, экологическими и временными затратами. Планирование маршрута трубопровода основано на расчете кратчайшего расстояния между начальной и конечной точками строительства с учетом местных параметров крутизны склонов и положением уже существующих объектов инфраструктуры.

Строительство магистральных газопроводов 1 класса, условным диаметром 800-1000 мм, запрещено на расстоянии менее чем 250 м от автомобильных дорог и населенных пунктов [9]. С учетом этих ограничений вокруг данных объектов построены буферные зоны соответствующего размера. Используя инструмент стоимостного расстояния (Cost Distance) модуля ArcGIS Spatial Analyst, на основе поверхности углов наклона построены стоимостные поверхности расстояния и направления для начальной точки маршрута. Оптимальное расположение трассы трубопровода рассчитано исходя из значений данных

поверхностей с учетом положения конечной точки строительства. Результатом моделирования стала «Карта морфометрического оптимума строительства трассы трубопровода» [5].

Геоинформационное моделирование оптимального расположения трассы трубопровода реализовано по схожей методике и для Крымского района Краснодарского края. В качестве объекта планирования использовался региональный газопровод 2 класса, условным диаметром 300 мм и менее. Сооружение такого объекта запрещено на расстоянии менее, чем 75 м от автомобильных и железных дорог и населенных пунктов [9]. С учетом этого вокруг дорог средствами ArcGIS построены буферные зоны соответствующего размера. Кроме того, в связи с наличием в тестовом районе значительных площадей, занятых лесной растительностью, рассчитаны 2 альтернативные трассы строительства трубопровода: без рубки деревьев и после рубки деревьев. Сделано это для учета экологической составляющей при обосновании выбора трассы. Результатом моделирования стала «Карта строительства региональных трубопроводов» (см. рис. 3).

Геоинформационная обработка ЦМР, полученных по материалам дистанционного зондирования,



Рис. 3. Карта строительства региональных трубопроводов

находит широкое применение для решения задач сельского хозяйства. Оценка опасности почвенной эрозии чрезвычайно важна при планировании мероприятий по отведению земель для сельскохозяйственных целей. Применение морфометрических ограничений, полученных на основе ЦМР, к пространственной локализации анализируемых почв позволяет нормировать критерии выделения градаций их смывости и эрозионной опасности. Методика расчета морфометрического фактора подверженности почв смыванию и геоморфологического фактора опасности почвенной эрозии опробована на примере территории Швейцарии в окрестностях города Вальдкирх.

Основным морфометрическим фактором подверженности почв смыванию являются углы наклона. Сначала по ЦМР средствами ArcGIS построены водосборные бассейны. Затем для каждого из них с помощью инструмента зональной статистики (Zonal Statistic) рассчитано среднее значение углов наклона. На основе естественных границ гистограммы распределения полученные зоны были разделены на 5 классов: слабосмытые (с углами наклона $< 3,0^\circ$), среднесмытые ($3,0-5,0^\circ$), весьма сильносмытые ($5,0-7,0^\circ$), сильносмытые ($7,0-9,0^\circ$) и очень сильносмытые почвы ($> 9,0^\circ$). В процессе классификации учитывалась терминология и результаты исследований Г.П. Сурмача, касающиеся взаимосвязи между степенью смывости почв и крутизной склонов [8].

В результате моделирования построена «Карта морфометрического фактора подверженности

почв смыванию» (см. рис. 4). Отнесение почв в пределах водосборных бассейнов к тому или иному классу смывости зависит как от крутизны склонов, так и от площади водосборов. Почвы с наибольшей степенью смывости расположены либо по бровкам надпойменных террас, характеризующимся значительными углами наклона, либо в пределах самой возвышенной юго-восточной части картографируемой территории.

Геоморфологический фактор опасности почвенной эрозии, по сути, является продолжением и закономерным развитием показателя смывости. Эмпирическая формула, предложенная Г.П. Сурмачом для выявления геоморфологического фактора (K) опасности эрозии серых лесных почв Владимирского ополья, задействует такие геометрические параметры, как угол наклона (S , в градусах) и длина склона (L , в метрах): $K = L^{0,5} \cdot S^{1,3}$ [8]. Длиной склона условно можно считать длину линии стока. Используя инструмент ArcHydro «Трассирование линии стока» (Flow Path Tracing), на основе ЦМР, границ речных бассейнов и положения водотоков для каждого водосбора в полуавтоматическом режиме определены линии стока и посчитаны их длины. На основе естественных границ гистограммы распределения геоморфологического фактора все речные бассейны были разделены на 5 классов эрозионной опасности: 1 класс ($K > 3,0$), 2 класс ($2,0-3,0$), 3 класс ($1,0-2,0$), 4 класс ($0,5-1,0$) и 5 класс ($< 0,5$). В процессе классификации учитывались результаты исследований А.Л. Иванова и М.С. Кузнецова, касающиеся выделения классов опасности эрозии серых лесных почв



Рис. 4. Карта морфометрического фактора подверженности почв смыванию

в зависимости от значений геоморфологического фактора [7]. В результате моделирования построена «Карта геоморфологического фактора опасности почвенной эрозии» (см. рис. 5).

Помимо смытости и эрозионной опасности почв, на урожайность сельскохозяйственных культур значительное влияние оказывает климатический фактор, в частности, суммарная солнечная радиация. Методика геоинформационного моделирования суммарной солнечной радиации опробована на примере территории Армении в окрестностях города Джермук.

Общее представление об обеспеченности территории солнечной радиацией дает карта экспозиции склонов. Принято считать, что склоны южной и восточной экспозиции получают больше солнечной энергии, чем склоны, ориентированные на север или запад. Однако это лишь первое приближение действительного распределения радиации. Фактически это функция от целого ряда топографических и климатических параметров: экспозиции склонов и углов

наклона, отражательной способности местности и прозрачности атмосферы, высотного положения соседних ячеек и географической широты территории. Учесть все многообразие факторов, влияющих на распределение солнечной радиации, позволяет геоинформационная обработка ЦМР с помощью инструмента Area Solar Radiation ГИС-пакета ArcGIS.

По итогам вычислений классификация абсолютных значений суммарной годовой солнечной радиации проведена по 5 интервалам методом естественных границ: 1800-3400 кВт/м², 3400-3700 кВт/м², 3700-4000 кВт/м², 4000-4300 кВт/м² и 4300-4800 кВт/м². Для выявления детального распределения инсоляции в течение года выбрано 4 тестовых пункта, равномерно распределенных по территории картографирования: населенные пункты Спандарян, Гергаин и Джермук, а также вершина горы Большой Карахач. По данным, полученным в каждом из них с помощью функции точечной солнечной радиации (Points Solar Radiation), в графическом редакторе Adobe Illustrator построены графики ее годового

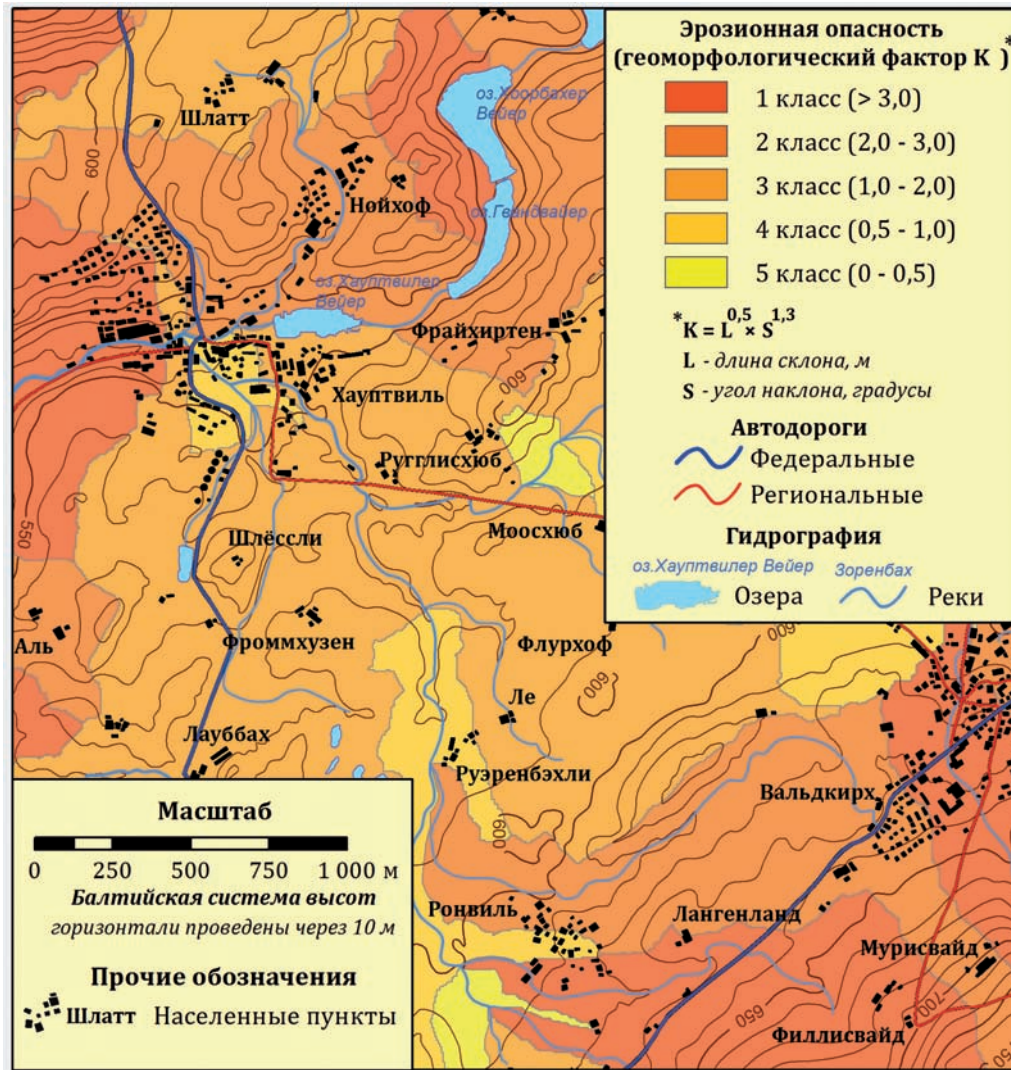


Рис. 5. Карта геоморфологического фактора опасности почвенной эрозии

хода по месяцам. В результате построена «Карта суммарной солнечной радиации» (см. рис. 6).

Активное внедрение материалов дистанционного зондирования в научные исследования на основе использования геоинформационных технологий значительно способствовало расширению спектра решаемых географо-картографических задач. Аналитическая обработка стереопар различных аэро- и космических снимков позволила автоматизировать процесс построения ЦМР – одного из основных источников данных для геоинформационного моделирования. По сравнению с топографическими картами, данные о рельефе на которых генерализованы и с течением времени имеют свойство устаревать, ЦМР, создаваемые методами цифровой фотограмметрии, отличаются оперативностью построения и более высокими показателями плановой и высотной точности. Таким образом, синтез цифровых фотограмметрических и геоинформационных технологий позволяет оптимизировать решение многих прикладных задач географии, связанных с использованием ЦМР.

Геоинформационное моделирование гидрографической сети, водосборных бассейнов, наводнений, экологической опасности горных водохранилищ; планирование оптимального расположения трассы трубопроводов; геоинформационное моделирование подверженности почв смыванию и опасности почвенной эрозии, расчет суммарной солнечной радиации – лишь небольшой перечень возможностей применения геоинформационных технологий при решении географо-картографических задач.

Результаты получены в рамках работ по гранту Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (НШ – 2248.2014.5)

Ключевые слова: цифровые модели рельефа, геоинформационное моделирование, цифровые фотограмметрические системы, данные дистанционного зондирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геоинформатика : учеб. для студ. вузов / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др. ; под ред.

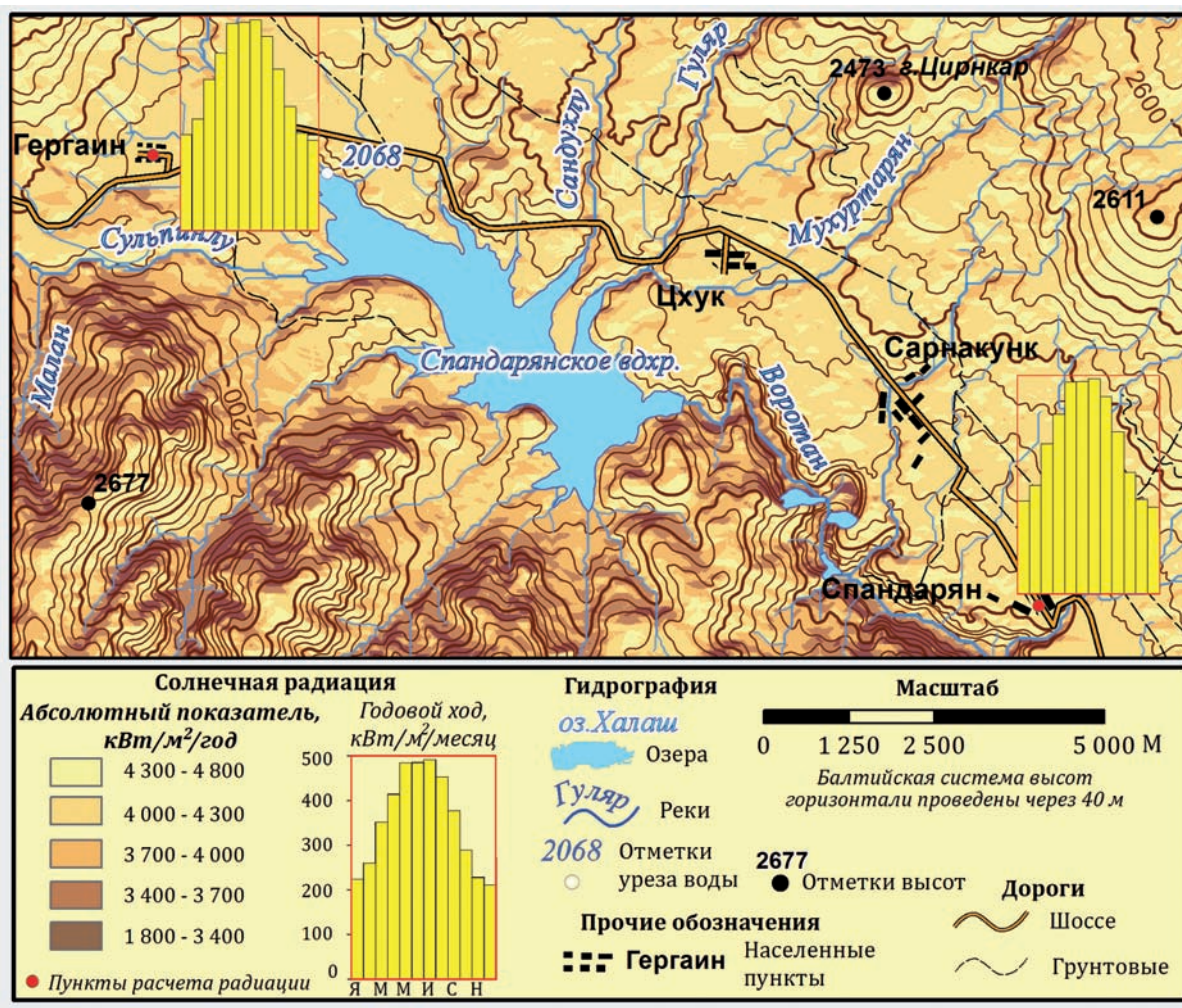


Рис. 6. Карта суммарной солнечной радиации (Джермук, Армения)

В.С. Тикунова. – М. : Издательский центр «Академия», 2005. – 480 с.

2. Новаковский Б.А., Прасолова А.И., Волкова И.С., Пермяков Р.В. Геоинформационное обеспечение моделирования рельефа с использованием цифровых фотограмметрических станций // Геоинформатика. – 2011. – № 4. – С. 42-48.

3. Новаковский Б.А., Прасолова А.И., Пермяков Р.В. Геоинформационное моделирование речных бассейнов с применением цифровой фотограмметрической системы PHOTOMOD // Геодезия и картография. – 2012. – № 1. – С. 29-34.

4. Новаковский Б.А., Прасолова А.И., Каргашин П.Е., Пермяков Р.В. Цифровые модели рельефа в тематическом картографировании // Современная географическая картография : сборник. Сер. к 80-летию кафедры картографии и геоинформатики / под ред. И.К. Лурье и В.И. Кравцовой. – М., 2012. – С. 36-48.

5. Новаковский Б.А., Пермяков Р.В., Каргашин П.Е. PHOTOMOD и тематическое картографирование // Геодезия и картография. – 2012. – № 10. – С. 33-39.

6. Новаковский Б.А., Прасолова А.И., Пермяков Р.В. Геоинформационное моделирование наводнений с применением фотограмметрических технологий // Там же. – 2013. – № 11. – С. 35-39.

7. Иванов А.Л., Кузнецов М.С. и др. Закономерности распространения эродированных серых лесных почв и овражной эрозии в угодьях Владимирского ополья и их рациональное использование // Эрозия почв и русловые процессы. – Вып. 14 / науч. ред. Р.С. Чалов. – М., 2004. – С. 63-75.

8. Сурмач Г.П. Рельефообразование, формирование лесостепи, современная эрозия и противоэрозионные мероприятия. Волгоград : Агропромиздат, 1992. – 175 с.

9. Магистральные трубопроводы : СНиП 2.05.06-85.

10. Газопровод раздора [Электронный ресурс] // Официальный сайт армянской газеты «Ноев ковчег». – 2011. – Март. – № 5. – URL: <http://noev-kovcheg.ru/mag/2011-05/2437.html> (дата обращения: 05.06.2012).

11. Li Z.L., Zhu Q., Gold C. Digital Terrain Modeling : Principles and Methodology. – CRC Press, 2005. – 318 p.