

Вестник Московского университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 1946 г.

Серия 5

ГЕОГРАФИЯ

№ 3 • 2014 • МАЙ — ИЮНЬ

Издательство Московского университета

Выходит один раз в два месяца

СОДЕРЖАНИЕ

Теория и методология

- Янина Т.А., Сорокин В.М., Безродных Ю.П., Романюк Б.Ф.
Гирканский этап в плейстоценовой истории Каспийского моря 3

География и экология

- Корбут В.В., Цекина М.В. Виртуальные маршруты в экологическом про-
свещении 10

Методы географических исследований

- Зырянов А.И. Систематизация туристских таксонов 16
Торопов П.А., Шестакова А.А. Тестирование мезомасштабной модели
(WRF) для задачи прогноза новороссийской боры 23
Ляшенко Е.В. Влияние новых форм организации пассажирских перевозок
между Москвой и Санкт-Петербургом на их транспортную доступность 30
Балдина Е.А., Грищенко М.Ю. Методика дешифрирования разновре-
менных космических снимков в тепловом инфракрасном диапазоне 35
Малыгин И.В. Методика прогноза образования ледовых заторов на реках на
основе теории распознавания образов 43

Региональные исследования

- Кравцова В.И., Михайлов В.Н. Дельта Замбези и ее изменения под воз-
действием водохранилищ 48
Дубовик В.О. Оценка транспортной доступности городов Уругвая и Боливии . . . 57
Иванов М.М., Краснов С.Ф., Беяев В.Р., Сафаров Х.Н. Оценка
скорости плоскостного смыва на малом водосборе в предгорной зоне Карате-
гинского хребта (Центральный Таджикистан) 64

Юбилеи

- Юбилей Нины Ивановны Глушанковой. 72
85-летие Юрия Фирсовича Книжникова 72

Новые книги

- Малхазова С.М. Фундаментальное издание “Атлас-книга Воронежской
области” 74

CONTENTS

Theory and methodology

- Yanina T.A., Sorokin V.M., Bezrodnykh Yu.P., Romanyuk B.F. The
Girkan stage in the Pleistocene history of the Caspian Sea 3

Geography and ecology

- Korbut V.V., Tsekina M.V. Virtual tours in the environmental education 10

Methods of geographical studies

- Zyryanov A.I. Systematization of tourist classification units 16
Toropov P.A., Shestakova A.A. Testing of the WRF model for forecasting the
Novorossiysk bora 23
Lyashenko E.V. New organization of passenger communication between Moscow
and St.-Petersburg and its impact on their transport accessibility 30
Baldina E.A., Grishchenko M.Yu. Interpretation of multi-temporal space
imagery in thermal infrared band 35
Malygin I.V. Forecasting of ice clogging in rivers using the theory of image recognition . . 43

Regional studies

- Kravtsova V.I., Mikhailov V.N. The Zambezi River delta and its changes due
to reservoir construction 48
Dubovik V.O. Evaluation of transport accessibility of Uruguayan and Bolivian towns . . 57
Ivanov M.M., Krasnov S.F., Belyaev V.R., Safarov Kh.N. Evaluation
of sheet erosion rates within a small catchment area in the Karateginsky Ridge
piedmont area (Central Tadzhikistan) 64

Jubilees

- Jubilee of Nina Ivanovna Glushankova 72
To the 85th birthday of Yuri Firsovich Knizhnikov 72

New books

- Malkhazova S.M. Fundamental publication "Atlas-book of the Voronezh oblast". . . . 74

ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

УДК 551.79

Т.А. Янина¹, В.М. Сорокин², Ю.П. Безродных³, Б.Ф. Романюк⁴ГИРКАНСКИЙ ЭТАП В ПЛЕЙСТОЦЕНОВОЙ ИСТОРИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ⁵

На основе анализа керна морских скважин, пробуренных в Северном Каспии, предложено решение спорного вопроса о гирканском бассейне Каспийского моря. Материалы сейсмоакустического профилирования толщи четвертичных отложений Северного Каспия на структуре Широкая, а также литологический, биостратиграфический, палинологический и геохронологический анализ керна скважин глубиной до 100 м показали, что между четко выраженными горизонтами регрессивных осадков (черноярским и ательским) залегает сложно построенная толща каспийских отложений мощностью до 28 м. Она представлена осадочными комплексами позднехазарского и гирканского трансгрессивных бассейнов, охарактеризованными разным фаунистическим составом.

Позднехазарский комплекс включает *Didacna surachanica* (руководящий позднехазарский вид), *D. naliykini*, *D. ovatocrassa*, *D. cf. subcatillus*, разнообразные монодакны, дрейссены, гастроподы. В составе дидакн гирканского комплекса преобладают *Didacna subcatillus*, встречаются *D. cristata*, *D. parallella*, а также редкие позднехазарские виды. Для обоих комплексов характерно присутствие пресноводного вида *Corbicula fluminalis*. Позднехазарский комплекс осадков характеризует условия мелководного и умеренно глубоководного трансгрессивного бассейна. Развитие в Прикаспии травянистых ассоциаций полупустынного типа и почти полное отсутствие лесных сообществ свидетельствуют об аридном климате эпохи.

Гирканские отложения отвечают трансгрессии с более высоким уровнем. Увеличение в растительном покрове доли древесных пород, а также заметное присутствие наряду с ксерофитами разнотравья указывает на некоторое похолодание и увлажнение климата. Присутствие в осадках бассейнов вида *Corbicula fluminalis* свидетельствует о тепловодности Северного Каспия и влиянии пресных вод в районе структуры Широкая.

Исследования подтвердили представления Г.И. Попова о существовании в позднеплейстоценовой истории Каспийского моря гирканского трансгрессивного бассейна, развивавшегося после позднехазарского бассейна и отделенного глубокой ательской регрессией от хвалынской трансгрессии. Гирканский трансгрессивный бассейн развивался в теплую микулинскую эпоху, его максимальный уровень и сток вод по Манычу отвечали переходному этапу от микулинского межледниковья к валдайской холодной эпохе.

Ключевые слова: Каспий, поздний плейстоцен, сейсмоакустическое профилирование, морские скважины, литология, малакофауна, палинология, геохронология, гирканский бассейн.

Введение. Статья Г.И. Горецкого с названием “О гирканском этапе в истории Прикаспия” [5] была опубликована в 1957 г. В ней на основании биостратиграфического анализа кернового материала скважин, пробуренных в Манычской долине и на северо-западе Прикаспия рядом производственных организаций (Гидропроект, Всесоюзный гидрогеологический трест, Волго-Донское геологическое управление), в долине Западного Маныча были установлены гирканские слои, которые указанный автор сопоставил с верхнехазарскими отложениями Прикаспия. Гирканские слои, отвечающие трансгрессии с фауной хвалынского типа,

но предшествовавшей максимальной хвалынской трансгрессии Каспийского бассейна, на основании этих же материалов были описаны в Северном Прикаспии и долине Восточного Маныча Г.И. Поповым [10, 11] в качестве третьего, наиболее низкого горизонта хвалынских отложений. Наличие мощной толщи ательских субаэральных осадков, отделяющих гирканские отложения от хвалынских, в дальнейшем привело Г.И. Попова [12, 13] к заключению о самостоятельной крупной трансгрессии Каспия — гирканской, следы которой не обнаружены в других областях региона. Характерные черты ее малакофаунистического

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория новейших отложений и палеогеографии плейстоцена, заведующая, докт. геогр. н.; e-mail: didacna@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра литологии и морской геологии, профессор, докт. геол.-минерал. н.; e-mail: vsorok@rambler.ru

³ АО “Моринжгеология”, Латвия, Рига, гл. геолог, канд. геол.-минерал. н.; e-mail: paleo@inbox.ru

⁴ АО “Моринжгеология”, Латвия, Рига, вед. геолог, канд. геол.-минерал. н.; e-mail: paleo@inbox.ru

⁵ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 13-05-00242, 14-05-00227).

облика — преобладание в составе дидакн *Didacna cristata*, *D. subcatillus*, *D. hyrcana*, присутствие тепловодного пресноводного вида *Corbicula fluminalis*.

С резкой критикой позиции Г.И. Попова выступили Ю.М. Васильев и П.В. Федоров [4, 18], В.К. Шкатова [19, 20], А.А. Свиточ с соавторами [15—17]. Основное возражение заключалось в том, что гирканские слои нижней Волги — лишь опресненная фация верхнехазарских отложений, в которой группа *Didacna trigonoides* занимает господствующее положение, тогда как *D. surachanica* крайне редки и представлены угнетенными формами. Согласно выводам А.А. Свиточа с соавторами [15—17], за гирканскую Г.И. Попов принял хазарскую малакофауну разного возраста (как ранне-, так и позднехазарскую), отложения с которой занимают разное положение в плейстоценовых разрезах нижней Волги. Большинство исследователей приняли точку зрения П.В. Федорова, согласно которой отождествляются верхнехазарский и гирканский горизонты в стратиграфической схеме каспийского плейстоцена. Л.А. Невеской [26] сообщество моллюсков из гирканских отложений, систематически описанное Г.И. Поповым [13], включено в состав хвалынской фауны. По представлениям Т.А. Яниной [22, 23], позднехазарская и гирканская фауны представляют собой два разновозрастных комплекса позднехазарской малакофауны, из которых более поздний (гирканский) характеризует сильноопресненные условия второй стадии позднехазарской трансгрессии.

В последние годы в связи с нефтепоисковыми работами на акватории Северного Каспия получены новые качественные сейсмоакустические данные и

пробурено много инженерно-геологических скважин, материалы которых позволяют вернуться к проблеме существования самостоятельного гирканского этапа в плейстоценовой истории Каспия.

Постановка проблемы. В нашу задачу входило на основе анализа керн морских скважин, пробуренных в Северном Каспии, предложить решение спорного вопроса о гирканском бассейне Каспийского моря.

Материалы и методы исследований. В основе работы лежат новейшие материалы изучения осадочных комплексов верхней части четвертичной толщи на структуре Широкая (рис. 1) в Северном Каспии. В этом районе в ходе инженерно-геологических изысканий в большом объеме проведено сейсмоакустическое профилирование, выполненное одновременно в двухчастотном режиме с использованием источников “бумер” и “спаркер”, а также статическое зондирование и бурение скважин глубиной до 100 м. В результате получены материалы, характеризующие строение и весьма тонкую стратификацию разреза отложений. Керн скважин изучен литологическим, био-стратиграфическим (малакофауна), палинологическим и геохронологическим методами. Радиоуглеродные датировки получены сцинтилляционным методом (лаборатории Московского и Санкт-Петербургского государственных университетов) и AMS-методом (Lawrence Livermore National Laboratory, США). Наряду с литологическим составом и органическими остатками признаками фациально-динамических обстановок служат типы слоистости, отчетливо зафиксированные на сейсмоакустических разрезах. В данных о механических свойствах грунтов отражены степень консолидации и типы вто-

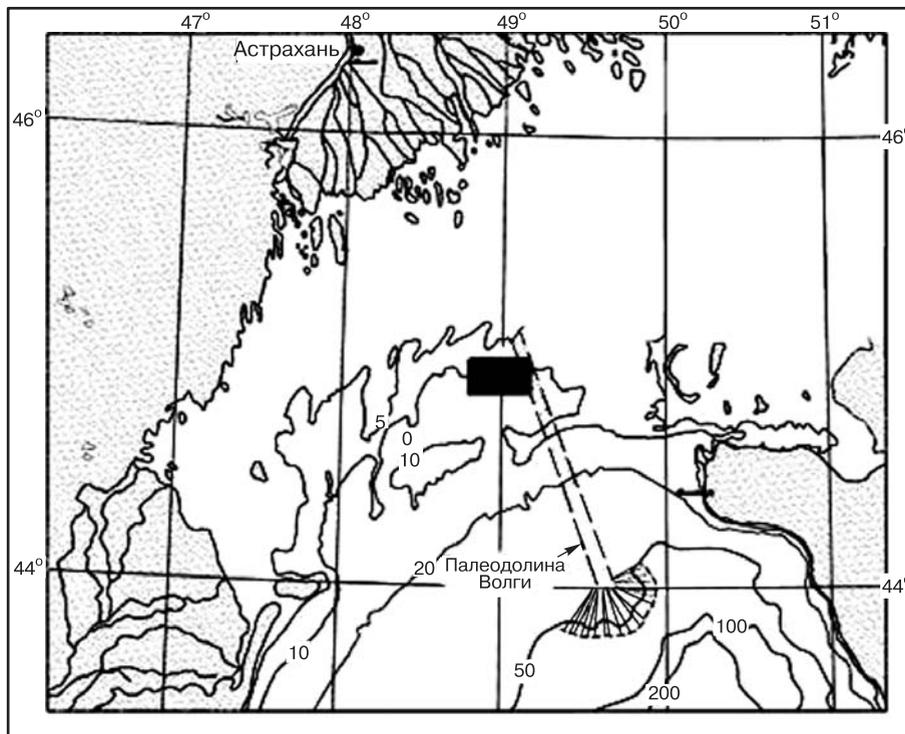


Рис. 1. Местоположение площади Широкая в Северном Каспии

ричных преобразований осадков, в том числе преобразований, происходивших в субаэральной среде в периоды регрессий.

Результаты исследований и их обсуждение. Анализ сейсмоакустических профилей, фрагмент одного из них приведен на рис. 2, показал, что толщина осадочных отложений характеризуется неоднородными акустическими свойствами. В ней выделяются пачки с разной выраженностью волновой картины. Установлено 6 отчетливых отражающих горизонтов (ОГ), имеющих региональное распространение. Сопоставление с разрезами скважин показало, что эти горизонты отражают границы разновозрастных отложений. Строение разреза верхней части осадочной толщи на исследованной площади по материалам геотехнических работ и результатам литологического и биостратиграфического изучения керна отображено на рис. 3. В строении керна между двумя четко выраженными горизонтами регрессивных осадков — черной (chr) и ательской (at) — залегает сложнопостроенная толща каспийских отложений мощностью до 28 м. Она достаточно отчетливо выделяется на сейсмоакустических записях в виде пакета конформных отражающих поверхностей между отражающими горизонтами ОГ-6 и ОГ-4 (рис. 2).

Нижний регрессивный горизонт (черной) представлен песчано-глинистыми осадками с включением растительных остатков и признаками преобразования в субаэральной среде. Над ним с размывом залегает пачка песка мощностью до 2 м, обогащенная раковинным материалом. В его составе присутствуют *Didacna surachanica*, *D. nalivkini*, обломки или мелкие формы *Didacna cf. subcatillus*, *D. ovatocrassa*, разнообразные монодакны, дрейссены, а также гастроподы. Первые два вида — характерные представители позднехазарской фауны Каспия, *Didacna surachanica* — руководящий вид. Выше по разрезу эта пачка сменяется песчанистой глиной мощностью до 4 м, переходящей в мощную 10-метровую толщу мелкозернистого песка с прослойками глины. Осадки содержат редкие раковины, чаще обломки каридид указанного выше состава, а также дрейссены; в средней части песчаной толщи встречаются раковины пресноводных родов *Viviparus* и *Valvata*.

У кровли этой толщи повсеместно обособляется слой песчано-раковинного состава мощностью около 1 м, включающий прослойки сцементированного карбоната песчано-раковинного грунта. В составе малакофауны отмечены *Didacna surachanica*, *D. nalivkini*, *D. cristata*, многочисленные монодакны, дрейссены и гастроподы. Западнее рассматриваемого района в этом слое в совместном залегании присутствуют многочисленные раковины пресноводного вида *Corbicula fluminalis* и каспийского вида *Didacna nalivkini*. В палинологическом спектре этого слоя (определения выполнены Н.О. Рыбаковой, за что авторы ей искренне признательны) пыльца древесных пород (%) составляет 1,8; пыльца травянистых растений 85,5; споры 12,7. В группе древесных обнаружено только пыльцевое

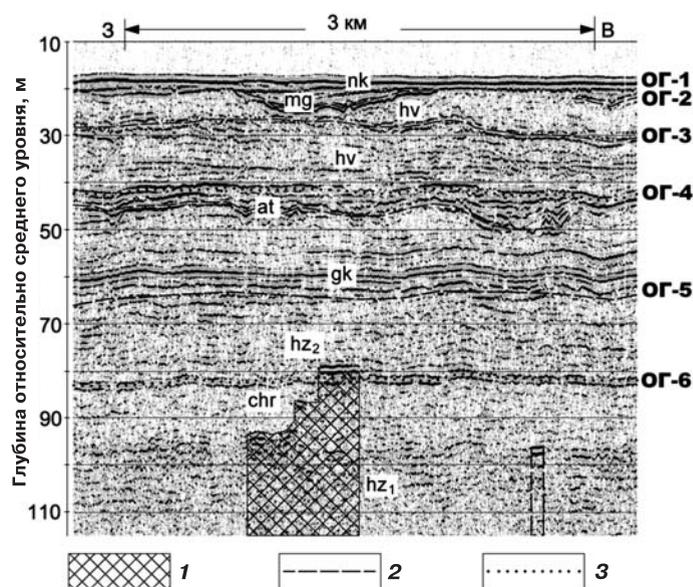


Рис. 2. Сейсмоакустический разрез (с источником “спаркер”) на одном из участков: 1 — сейсмоакустические аномалии, обусловленные скоплениями газа; 2 — отражающие горизонты на границах седиментационных комплексов; 3 — отражающие поверхности внутри седиментационных комплексов на границах литофациальных типов отложений

зерно *Betula*. Травянистые растения представлены (%) пыльцой *Artemisia* 9, *Chenopodiaceae* 54,5; *Gramineae* 1,8; *Compositae* 1,8; *Ranunculaceae* 16,3 и др. Группу спор составляют *Briales* (9%) и *Sphagnum* (3,7%).

Верхняя часть разреза сложена довольно однородной плотной глиной мощностью более 10 м, содержащей прослойки и линзы песчано-раковинного материала. Немногочисленные раковины отмечаются в виде тонких послойных скоплений. Среди них преобладают *Dreissena rostriformis distincta*, встречаются *Dr. caspia*, *Didacna umbonata*. В верхней части среди дидакн преобладают *D. subcatillus*, встречаются *D. cristata*, мелкие *D. parallella*. Фаунистический состав характерен для выделенного Г.И. Поповым [13] в Северном Прикаспии гирканского горизонта. Палиноспектр средней части толщи характеризуется следующим составом: пыльца древесных пород — 23%, пыльца травянистых пород — 54, споры — 23%. В группе пыльцы древесных пород пыльца *Pinus* sp. составляет 11%, пыльца *Betula* — 9, *Alnus* — 1, *Corylus* — 2%. Основная масса пыльцы травянистых растений (%) представлена *Chenopodiaceae* (39), *Gramineae* (5), *Artemisia* (3), 7% приходится на пыльцу разнотравья (лютиковые, сложноцветные и др.). Споры принадлежат зеленым мхам (*Bryales*, 17%), сфагновым мхам (*Sphagnum*, 4%) и многожиковым папоротникам (*Polypodiaceae*, 2%).

Верхний регрессивный горизонт (ательский) сложен смесью песчаного и глинистого материала, содержащего растительные остатки, а также прослойки черного торфоподобного материала, что свидетельствует о континентальном генезисе. Этот материал заполняет ложбинообразные понижения глубиной от 2 до 6 м в толще подстилающих слоев и содержит

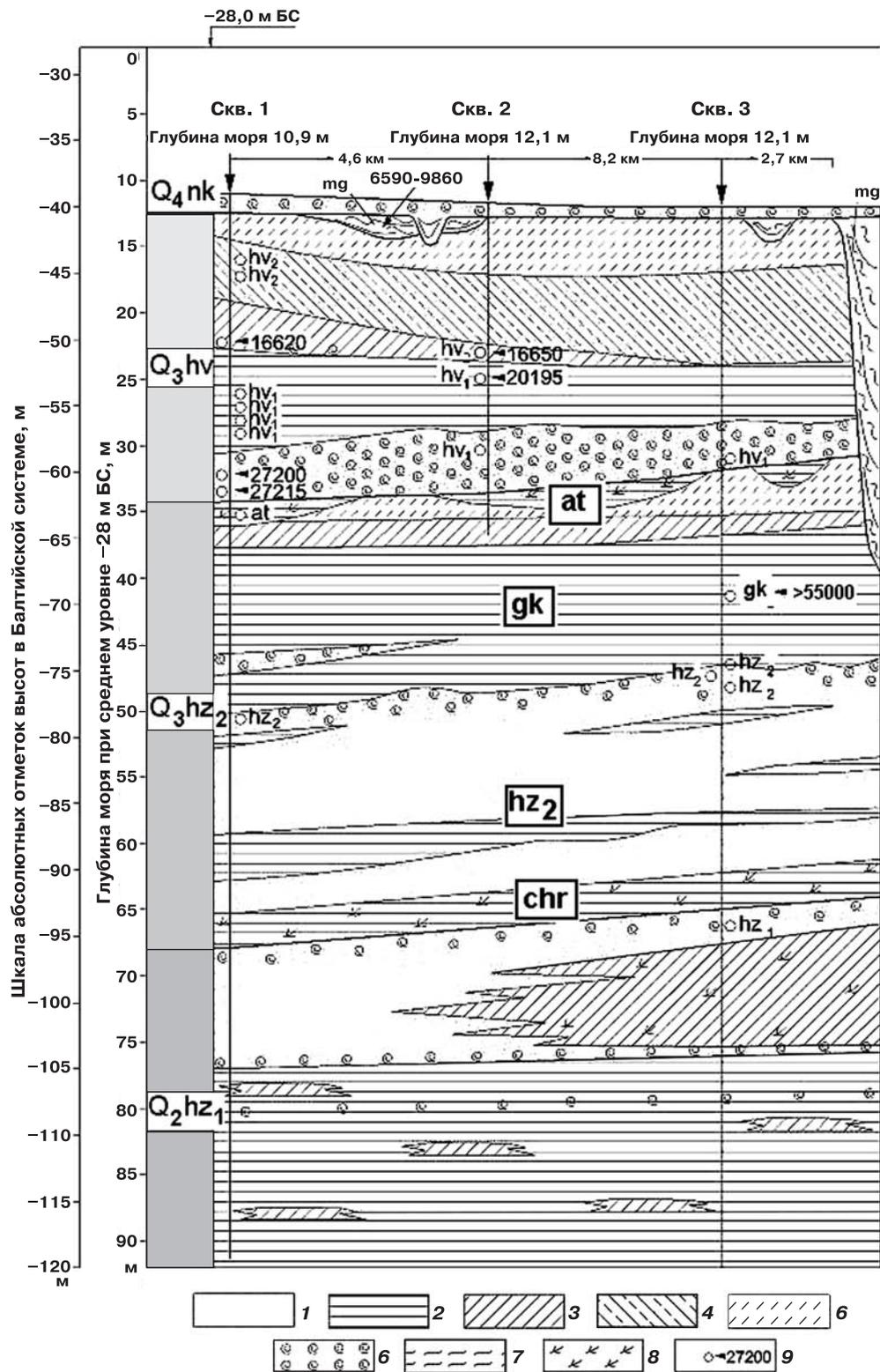


Рис. 3. Строение и корреляция верхнечетвертичных отложений, вскрытых скважинами на площади Широтная в Северном Каспии: 1–8 – состав отложений: 1 – песок, 2 – плотная глина, 3 – мягкий суглинок/глина, 4 – переслаивание глинистых и песчаных отложений, 5 – супесь, 6 – ракушка и раковинный детрит, 7 – комплекс заполнения мангышлакских палеопонижений и палеодолины Волги, 8 – остатки растительности; 9 – радиоуглеродные датировки отложений.

Стратиграфические индексы: Q₄ – голоцен, Q₃ – верхний плейстоцен, Q₂ – средний плейстоцен; горизонты и подгоризонты: nk – новокаспийский, mg – мангышлакский, hv – хвалынский (hv₁ – нижний, hv₂ – верхний), at – ательский, gk – гирканский, hz₂ – верхнехазарский, chr – чернорарский, hz₁ – нижнехазарский; кружками возле линий скважин отмечены точки, где определен состав моллюсков

лишь детрит и редкие мелкие обломки пресноводных моллюсков родов *Unio* и *Limnea*. На сейсмоакустических записях в кровле горизонта местами выделяются замкнутые палеопонижения, для него также характерны признаки преобразования отложений в субаэральной среде (трещины усыхания, уплотнение грунтов).

На основе строения разреза можно сделать заключение об отраженном в нем палеогеографическом развитии Северного Каспия. Ярко выраженный горизонт регрессивных осадков, подстилающий верхнехазарскую толщу, свидетельствует о значительном понижении уровня и отступании раннехазарского бассейна из Северо-Каспийской котловины. Накопление осадков основания верхнехазарского комплекса происходило на начальной стадии трансгрессии в мелководно-морских (базальный песчано-раковинный слой) и умеренно глубоководных (залегающие выше песчаные глины) условиях. Состав малакофауны и крупные толстостворчатые раковины дидакн свидетельствуют о тепловодности бассейна и сравнительно высокой для Северного Каспия солености. Смена глинистых осадков песчаными, включающими раковины пресноводных видов, указывает на понижение уровня позднехазарского бассейна и увеличение количества пресных вод с суши. Присутствие в слое довольно многочисленных представителей теплолюбивого пресноводного вида *Corbicula fluminalis* свидетельствует о развитии бассейна в теплых условиях межледниковья. Прослойки сцементированного карбонатом песчано-раковинного грунта в кровле слоя подтверждают существование в эпоху их образования прибрежно-мелководных условий тепловодного бассейна. Об аридном климате свидетельствует развитие в Прикаспии травянистых ассоциаций полупустынного типа и почти полное отсутствие лесных сообществ.

Накопление умеренно глубоководных глин перекрывающего слоя связано с условиями трансгрессивного бассейна с максимальным для рассматриваемого периода уровнем, существовавшего, судя по мощности отложений, весьма длительное время. Этот бассейн мы рассматриваем как гирканский. Его фаунистический облик определяется совместным нахождением “хвалыноподобной” фауны *Didacna subcatillus*, *D. cristata*, *D. cf. parallella* и редких представителей позднехазарской фауны. Характерно обилие слабосоленоватых каспийских видов родов *Monodacna*, *Hupanic*, *Dreissena*, на соседних площадях присутствуют пресноводные *Corbicula fluminalis*, что свидетельствует об опресненности и тепловодности этого каспийского бассейна. Гирканская трансгрессия, судя по составу отложений, по размерам превосходила позднехазарскую. Увеличение (до 25%) в палиноспектрах пыльцы древесных пород, а также заметное присутствие наряду с ксерофитами пыльцы разнотравья указывает на некоторое похолодание и увлажнение климата. Датирование AMS-радиоуглеродным методом показало возраст древнее 55 тыс. лет (предполагаемый геологический возраст выходит за рамки возможностей радиоуглеродного метода).

С периодом ательской регрессии и освобождения района от морских вод связано формирование на территории нынешнего Северного Каспия наземноводных ландшафтов.

Таким образом, анализ материалов бурения морских скважин подтверждает вывод Г.И. Попова [12, 13] о существовании в позднеплейстоценовой истории Каспийского моря гирканского трансгрессивного бассейна, развивавшегося после позднехазарского бассейна и отделенного глубокой ательской регрессией от хвалынской трансгрессии.

Анализируя материал, приводимый в опубликованных работах, можно обнаружить в нем “следы” гирканского бассейна. Так, Л.А. Невеская [8, 9] в составе нижнехвалынских отложений Западной Туркмении выделяет два горизонта, разделенные резким угловым несогласием. Верхний горизонт, включающий характерные виды хвалынской фауны (*Didacna ebersini*, *D. parallella*, *D. praetrigonoides*), по ее мнению, отвечает максимуму хвалынской трансгрессии. В нижнем горизонте ею определены *Didacna subcatillus*, *D. praetrigonoides* (к этому виду Л.А. Невеская относит и *D. cristata*), *D. umbonata*, *D. pallasi* и *Corbicula fluminalis* — виды, характеризующие гирканскую фауну и представляющие палеоценозы опресненного тепловодного бассейна. Ю.М. Васильев и П.В. Федоров [4] также отмечали, что Л.А. Невеская отнесла к хвалынскому ярусу осадки, залегающие стратиграфически ниже хвалынских (“в общепринятом понимании”). От позднехазарских с многочисленными *Didacna nalivekini* и *D. surachanica* они отделены стратиграфическим перерывом, выраженным отложениями с пресноводными моллюсками.

Очевидно, к гирканскому бассейну относятся и отложения с *Didacna cf. praetrigonoides*, *D. aff. parallella*, известные по материалам бурения на Терско-Кумской равнине как переходные от хазарского яруса к хвалынскому [7]. Для них также характерно обилие дрейссен и присутствие *Corbicula fluminalis*.

Судя по строению плейстоценовых отложений Маныча, гирканский бассейн образовывал глубокий залив в Манычской долине, куда со стороны Азово-Черноморского бассейна ингрессировала карангатская трансгрессия. Сложное соотношение (переслаивание) гирканских и карангатских отложений [13], а также перекрытие карангатских осадков на протяжении всей долины слоем гирканских отложений доказывает частичную одновременность этих трансгрессивных событий, а также сток гирканских вод в Черноморскую котловину вслед за понижением уровня карангатского бассейна. Известно, что карангатская трансгрессия Черного моря есть результат межледниковой (микулинской) трансгрессии Мирового океана (морская изотопная стадия МИС-5). Серией торий-урановых датировок возраст карангатской эпохи оценен в 140—70 тыс. лет [1, 3, 6]. Возраст максимальной фазы трансгрессии определен Х.А. Арслановым [24] в 115—95 тыс. лет. После этого карангатский бассейн развивался на более низких отметках,

постепенно “освободив” Манычскую долину для гирканского пролива. Этому не противоречит определение времени позднехазарского трансгрессивного этапа в 127—122 тыс. лет [26] при датировании всей позднехазарской эпохи в 127—76 тыс. лет [2, 14, 21, 25].

Необходимо отметить, что климатическая эпоха, отвечающая подстадиям МИС-5d—5a (117—75 тыс. лет), характеризуется весьма своеобразными климатическими условиями — чередованием похолоданий и потеплений, во время которых уровень океана оставался ниже современного. В последние годы это дало основание многим исследователям отнести указанный интервал к валдайской ледниковой эпохе, хотя часть специалистов остались на прежних позициях и включают его в состав микулинского межледниковья. Материалы по палеогеографии Каспия показывают, что оба каспийских трансгрессивных бассейна, относящиеся к стадии МИС-5 (позднехазарский и гирканский), были тепловодными. Ландшафтно-климатические условия Северного Прикаспия в позднехазарский этап его развития были аридными полупустынными; гирканский этап отличался некоторым похолоданием и увлажнением климата, но, судя по палинологическим материалам, он был аналогичен эпохе максимума новокаспийской трансгрессии голоцена (межледниковью). Похолодание в переходный этап к валдайской ледниковой эпохе “поддержало” трансгрессивное развитие Каспия и сток его вод в регрессирующий карангатский бассейн. В холодных и сухих условиях эпохи максимального развития оледенения (МИС-4) Каспий регрессировал.

Выводы:

— материалы сейсмоакустического профилирования толщи четвертичных отложений Северного Каспия на структуре Широкая, а также литологический, биостратиграфический, палинологический и геохронологический анализ керн скважин глубиной до 100 м показали, что между четко выраженными горизонтами регрессивных осадков (черноярским и ательским)

залегает сложнопостроенная толща каспийских отложений мощностью до 28 м. Она представлена осадочными комплексами двух трансгрессивных бассейнов — позднехазарского и гирканского, охарактеризованными разным фаунистическим составом;

— позднехазарский комплекс включает *Didacna surachanica* (руководящий позднехазарский вид), *D. nallivkini*, *D. ovatocrassa*, *D. cf. subcatillus*, разнообразные монодакны, дрейссены, гастроподы. В составе дидакн гирканского комплекса преобладают *Didacna subcatillus*, встречаются *D. cristata*, *D. parallella*, а также редкие позднехазарские виды. Для обоих комплексов характерно присутствие пресноводного вида *Corbicula fluminalis*;

— позднехазарский комплекс осадков характеризует условия мелководного и умеренно глубоководного трансгрессивного бассейна. Развитие в Прикаспии травянистых ассоциаций полупустынного типа и почти полное отсутствие лесных сообществ свидетельствуют об аридном климате эпохи. Гирканские отложения отвечают трансгрессии с более высоким уровнем. Увеличение в растительном покрове доли древесных пород, а также заметное присутствие наряду с ксерофитами разнотравья указывает на некоторое похолодание и увлажнение климата. Присутствие в осадках бассейнов вида *Corbicula fluminalis* свидетельствует о тепловодности Северного Каспия и влиянии пресных вод в районе структуры Широкая;

— наши исследования подтверждают представление Г.И. Попова о существовании в позднеплейстоценовой истории Каспийского моря гирканского трансгрессивного бассейна, развивавшегося после позднехазарского бассейна и отделенного глубокой ательской регрессией от хвалынской трансгрессии;

— гирканский трансгрессивный бассейн развивался в теплую микулинскую эпоху, его максимальный уровень и сток вод по Манычу отвечали переходному этапу от микулинского межледниковья к валдайской холодной эпохе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арсланов Х.А., Герасимова С.А., Измайлов Я.А. О возрасте голоценовых и верхнеплейстоценовых отложений черноморского побережья Кавказа и Керченско-Таманского района // Бюлл. Комис. по изуч. четверт. периода. 1975. № 44. С. 107—110.
2. Арсланов Х.А., Герасимова С.А., Леонтьев О.К. и др. О возрасте плейстоценовых и голоценовых отложений Каспийского моря (по данным радиоуглеродных и урано-иониевых методов датирования) // Бюлл. Комис. по изуч. четверт. периода. 1978. № 48. С. 39—48.
3. Балабанов И.П., Измайлов Я.А. Новое обобщение данных по хронологии позднего плейстоцена и голоцена Азово-Черноморского бассейна // Геохронология четвертичного периода. М.: Наука, 1989. С. 42.
4. Васильев Ю.М., Федоров П.В. О стратиграфическом положении верхнехазарских отложений Нижнего Поволжья в единой шкале Каспийской области // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1965. № 12. С. 1843—1851.
5. Горецкий Г.И. О гирканском этапе в истории Прикаспия // Новости нефтяной техники. 1957. № 6. С. 3—5.
6. Динамика ландшафтных компонентов и внутренних морских бассейнов Северной Евразии за последние 130 000 лет. М.: ГЕОС, 2002. 232 с.
7. Ильинский С.М. Каспийские отложения восточной части Северо-Кавказской низменности // Геология СССР. Т. IX, ч. 1. М.: Недра, 1947. С. 320—335.
8. Невеская Л.А. К биостратиграфии морских четвертичных отложений Туркмении // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1956. Т. 31, № 3. С. 65—80.
9. Невеская Л.А. Четвертичные морские моллюски Туркмении. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 82 с.
10. Попов Г.И. Сравнительная стратиграфия четвертичных отложений Манычского пролива, Каспия и Эвксина // Тр. Комис. по изуч. четверт. периода. 1957. Т. 13. С. 65—73.
11. Попов Г.И. Корреляция черноморских и каспийских четвертичных отложений // Мат-лы Всесоюз. совещ.

по изуч. четверт. периода. М.: Изд-во АН СССР, 1961. Т. 2. С. 483—490.

12. Попов Г.И. Гирканская трансгрессия в Северном Прикаспии // Бюлл. Комис. по изуч. четверт. периода. 1967. Т. 33. С. 77—86.

13. Попов Г.И. Плейстоцен Черноморско-Каспийских проливов. М.: Наука, 1983. 216 с.

14. Рычагов Г.И. Плейстоценовая история Каспийского моря. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 267 с.

15. Свиточ А.А., Селиванов А.О., Янина Т.А. Палеогеографические события плейстоцена Понто-Каспия и Средиземноморья (материалы по реконструкции и корреляции). М.: Россельхозакадемия, 1998. 288 с.

16. Свиточ А.А., Янина Т.А. Четвертичные отложения побережий Каспийского моря. М.: Россельхозакадемия, 1997. 267 с.

17. Свиточ А.А., Янина Т.А., Братанова О.Н. Биостратиграфия морского плейстоцена Нижнего Поволжья // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1997. № 2. С. 55—61.

18. Федоров П.В. Плейстоцен Понто-Каспия. М.: Наука, 1978. 165 с.

19. Шкатова В.К. Стратиграфия плейстоценовых отложений низовьев рек Волги и Урала и их корреляция: Автореф. канд. дисс. Л., 1975. 25 с.

20. Шкатова В.К. Палеогеографическая реконструкция и хронология позднеплейстоценовых бассейнов Каспия // Квартер-2005. Сыктывкар: Геопринт, 2005. С. 463—466.

21. Шкатова В.К., Арсланов Х.А., Шадрухин А.В., Шлюков А.И. Стратиграфия хвалынских и хазарских отложений нижнего течения р. Волги и их возраст по радиоизотопным данным // Бюлл. Комис. по изуч. четверт. периода. 1991. № 59. С. 110—121.

22. Янина Т.А. Бассейны Понто-Каспия в плейстоцене (палеогеографический анализ моллюсков рода *Didacna* Eichwald) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2006. № 3. С. 32—39.

23. Янина Т.А. Неоплейстоцен Понто-Каспия: биостратиграфия, палеогеография, корреляция. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2012. 264 с.

24. Arslanov Kh.A. Late Pleistocene geochronology of European Russia // Radiocarbon. 1993. Vol. 35, N 3. P. 421—427.

25. Dolukhanov P.M., Chepalyga A.L., Shkatova V.K., Lavrentiev N.V. Late Quaternary Caspian: sea levels, environments and human settlement // Open Geography J. 2009. N 2. P. 1—15.

26. Nevesskaja L.A. History of Genus *Didacna* (Bivalvia: Cardiidae) // Paleontol. J. 2007. Vol. 41, N 9. P. 861—949.

Поступила в редакцию
06.02.2014

T.A. Yanina, V.M. Sorokin, Yu.P. Bezrodnykh, B.F. Romanyuk

THE GIRKAN STAGE IN THE PLEISTOCENE HISTORY OF THE CASPIAN SEA

Materials of seismo-acoustic profiling of Quaternary deposits within the Shirotnaya structure of the Northern Caspian Sea region are presented, as well as the results of lithological, biostratigraphical, pollen and geochronological analyses of drill samples to the depth of 100 m. A complex stratum of Caspian sediments up to 28 m thick lies between well-defined layers of regression sediments (Chernoyar and Atelsk). The stratum includes deposits of two transgression basins, i.e. Late Khazar and Girkan, with different faunal complexes. The Late Khazar complex is characteristic of a shallow to moderately deep transgression basin. Presence of semi-desert grass associations and almost total absence of forest communities speak for the arid climate of that epoch. The Girkan sediments are typical to a higher transgression. Larger percentage of tree species and presence of both xerophytes and herbs indicate a certain climate cooling and humidification. Finding of *Corbicula fluminalis* in basin sediments speaks to the higher temperature of the North Caspian Sea and the influence of fresh water within the Shirotnaya structure.

The results of the study confirm G.I. Popov's ideas of the Girkan transgression during the Late Pleistocene evolution of the Caspian Sea. The Girkan basin was formed during the warm Mikulin epoch and its highest level and the largest water discharge through the Manych River dated to the transition stage between the Mikulin interglacial epoch and the Valdai Ice Age.

Key words: Late Khazar and Girkan sedimentation complexes, North Caspian Sea.

ГЕОГРАФИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 502.11+338.48-6:502/504(470.21)

В.В. Корбут¹, М.В. Цекина²

ВИРТУАЛЬНЫЕ МАРШРУТЫ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ПРОСВЕЩЕНИИ

Предложена инновационная концепция виртуальных экологических троп как наиболее мягкий вариант экологического туризма, а также подготовка к экскурсиям в ООПТ. Это особенно актуально в условиях труднодоступных и легкоранимых экосистем. Виртуальные экологические тропы, основанные на современных технологиях сбора, обработки и хранения информации, могут стать важным этапом экологизации мировоззрения.

Ключевые слова: экологический туризм, экотропа, экопросвещение, экотон, цифровые технологии, литораль, топонимика, биота.

Введение. В докладе “Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года” [5] определены стратегия и основные задачи в сфере охраны окружающей среды, механизмы их реализации при модернизации экономики, инструменты инновационного развития. Обеспечение устойчивого, экологически ориентированного роста экономики невозможно без сохранения биологического разнообразия и природных ресурсов, необходимых для реализации права человека на благоприятную окружающую среду.

В настоящее время встает проблема интенсификации формирования экологически ответственного мировоззрения и экологической культуры через развитие экологического образования и воспитания [7], особенно в форме экологического туризма. Прямые контакты с природными объектами в познавательных целях лучше всего проводить на территории особо охраняемых природных территорий в виде экологических маршрутов и троп [1, 6]. Интенсивное использование природно-культурных объектов в целях экологического образования не всегда возможно (сезонность, погода и т.п.), а повышенная нагрузка на геосистемы приводит к их нарушению и даже необратимому разрушению [1, 6, 7]. Для смягчения этих воздействий, а также для формирования экологического мышления экскурсантов мы предлагаем использовать виртуальные экологические тропы. В нашем представлении это демонстрация цифровых фотоматериалов в сопровождении тематического рассказа экскурсовода.

Постановка проблемы. Цель работы — разработка концепции виртуальных экологических маршрутов и троп в качестве начального этапа ознакомления со сложными природно-культурными объектами, явлениями и процессами, что необходимо для формирования экологической культуры.

Материалы и методы исследований. Наблюдения проведены на побережье Белого моря в кутовой части Кандалакшской губы (Кандалакшский государственный природный заповедник, экскурсионно-туристическая зона, кордон Лувеньга, 67°06' с.ш., 32°42' в.д.). Основное место работ — Лувеньгская губа в устье р. Нижняя Лувеньга, создающая значительное опреснение морской воды. Губа отгорожена от моря группой небольших островов. Уровень воды в приливном цикле в месте работ (экскурсионно-туристическая зона) составляет до 2,8 м, при этом обнажается 0,5—1 км² литорали [3]. Акватория Белого моря, дельта р. Лувеньга, островные шхеры Кандалакшского берега создают живописный пейзаж, особо ценный с точки зрения рекреации и экологического туризма.

Литорали Кандалакшской губы различаются по облику, ширине и строению — скальные, сглаженные ледником “бараньи лбы”, гряды (“косы”) валунов, гравийные или песчано-илистые пляжи. Граница осушки окаймлена поясом валунов вследствие взаимодействия припайных льдов и приливно-отливных течений, мористее находится отливный пляж или склон. В кутовых частях губ значительная часть береговой зоны занята литоральными лугами, переходящими в песчано-илистые пляжи шириной до нескольких сотен метров. В зависимости от фазы Луны вода Белого моря дважды в сутки поднимается до 2—3 м и спадает до 0,6—0,0 м. Продолжительность прилива на 1,5—2,0 ч меньше, чем отлива. В акватории Кандалакшской губы расположено множество поросших лесом больших и малых островов, присутствуют мелкие безлесные “луды”, каменистые отмели — корги, заливаемые водой в прилив, и огромные камни — баклыши.

Хозяйственная деятельность на окружающей территории в течение нескольких столетий создавала

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра биогеографии, ст. науч. с., канд. биол. н.; e-mail: vadimkorb@yandex.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра рекреационной географии и туризма, науч. с.; e-mail: mtsekina@list.ru

природно-культурные ландшафты. В XVI в. упоминаются сѣмужья тоня и солеварни Лувеньги, поглощавшие огромное количество топлива, на протяжении XVIII—XX вв. в окружающей тайге проводили массовые промышленные рубки леса. Лес сводили на многих островах, используя их как пастбища. В 1960—1970 гг. был построен пгт Лувеньга на 2000 жителей, молочная ферма на 1,5—2 тыс. коров, создана соответствующая аграрная инфраструктура — поля, хранилища, дороги и т.п.

Экологическая тропа (реальная и виртуальная) предложена в устьевой части реки и охватывает поверхность литорали от приморского луга до сублиторали. В качестве обязательных компонентов виртуальной экотропы мы считаем необходимым использовать исторические сведения, “Летописи природы заповедника”, данные дистанционного зондирования, опросы местного населения.

Демонстрационные материалы — цифровые фотографии (автор В.В. Корбут) в окрестностях кордона Лувеньга в ходе наблюдений в 2004—2013 гг. выполнены в разных условиях (погода, время суток, фаза прилива и т.д.) и режимах фотосъемки, в том числе макросъемка. Дискретная форма подачи материала позволяет экскурсантам сосредоточить внимание на детальном рассмотрении сложных географических и биологических объектов и процессов, увидеть их мир, отраженный в подобранных сериях фотографий, в которых показаны природные процессы и явления, позволяющие сформировать последовательность образов вне рамок временной шкалы.

Основные объекты показа — изменения облика литорали в зависимости от фазы прилива, климатической сезонности и при разной погоде; биологические объекты — растения, морские беспозвоночные и позвоночные животные (черви, моллюски, ракообразные, рыбы, птицы).

Важная составляющая виртуальной экологической тропы — разнообразные проявления деятельности человека в условиях Субарктики. Наиболее ярко это проявляется в словах и словосочетаниях из местных диалектов и говоров (саамских, карельских и поморских), отражающих исторически сложившиеся представления о природных объектах и/или процессах [4]. Часть из них вошла в международную научную терминологию.

Весь демонстрационный материал сгруппирован в банк данных, состоящий из нескольких блоков, включающих модули, которые содержат цифровые фотографии природных явлений и объектов, их текстовое сопровождение (таблица). Блок представляет собой комплекс модулей, объединенных общей темой; модуль — элементарную единицу хранения цифровых фото- и текстовых материалов, используемых для компоновки виртуальных экотроп. Число модулей в блоках варьирует в зависимости от тематики создаваемых троп. Например, блок “Геоморфологические особенности” составлен из модулей “Микро-рельеф”, “Береговые процессы”, “Формы окружаю-

щего рельефа” и т.п. Предлагаемая схема не абсолютно жесткая, это позволяет создавать новые темы и дополнять их новыми блоками и модулями.

Состав блоков и модулей для создания виртуальных экологических троп “Беломорье”

Блоки	Модули	Содержание модуля	Уровень модуля
Литораль	A	Общегеографические сведения	Карты, схемы, космические снимки
	B	Приливно-отливные процессы	Разные фазы цикла воды
	C	Гипсометрические уровни литорали	Литоральные луга, сублитораль, супралитораль
	D	Описание (облик) литорали	Микро- и мезорельеф
	E	Динамизм облика литорали	Отмели, ванны, ручьи
Растительный и животный мир	F	Растения	Водоросли, лишайники, сосудистые растения
		Животные	Беспозвоночные, позвоночные
Культурно-историческое наследие	J	Культурные ландшафты и природопользование	Исторические и природные аспекты, топонимика

Результаты исследований и их обсуждение. В качестве примера приведем фрагменты виртуальной экологической тропы “Растительность и животное население литорали Белого моря”.

Начало рассказа в рамках демонстрации тропы связано с геоморфологическими, ландшафтными и культурными особенностями, необходимыми для формирования образа данной территории (выделенный курсивом текст соответствует устному рассказу экскурсовода, сопровождающего показ визуального материала):

“Литораль (“береговой, прибрежный”) — природный экотон, зона перехода между материком и морем, непрерывно меняющая облик (рис. 1, 2). Экотоны — специфические пространства между различными сообществами и системами, в которых активно протекают географические и экологические процессы [2], что делает их особенно сложными для восприятия, но весьма интересными и значимыми для целей экологического просвещения и образования, воспитания и формирования экологической культуры.

Берега Кандалакисского залива несколько тысяч лет, с конца последнего оледенения, испытывают быстрое тектоническое поднятие. Кандалакисская губа фиордово-шхерная, вдоль берега много больших и малых островов, луд и корг. Изрезанность берегов дополнена мелким дроблением литорали — вознутостью береговой



Рис. 1. Верховодье (полный прилив)



Рис. 2. Уронные воды, литоральные ручьи

линии длиной несколько десятков и сотен метров, их ограничивают скальные выходы или мысы из грубообломочного материала, участки, созданные приливно-отливными течениями и волнами.

У нижней границы осушки присутствует валунный пояс, сформированный припайными льдами и приливом, мористее — отливный пляж, или склон. В кутовых частях губ литоральные луга постепенно переходят в плоскую глинистую осушку шириной до нескольких сотен метров”.

Литораль в качестве геоморфологического объекта интересна непрерывной динамикой микрорельефа на фоне статичных форм мезо- и макрорельефа на разных уровнях (супралитораль, sublитораль и т.д.), связанной с фазами лунного цикла. Эти процессы ока-

зывают огромное, хотя и не сразу заметное влияние на биоту литорали.

Геоморфологические особенности литоралей Белого моря подчеркнуты в народных говорах, в частности в поморской говоре [3]: “*Баклыш, корга, луда, коса и другие элементы рельефа местное население издавна использует в качестве навигационных знаков, многие из них вошли в современные навигационные карты. Подобное отражение тесной связи человека и природы при освоении Крайнего Севера является важнейшим компонентом экологического воспитания*”.

По мере “продвижения” по виртуальной тропе внимание экскурсантов обращено на представителей биоты разных уровней экологической пирамиды сообществ литорали начиная с бурых водорослей, рас-

тущих на скалах и камнях в нижней части приливно-отливной зоны: “у водорослей нет листьев, корней и стеблей, их заменяет таллом или слоевище. Поморы называют их турá, а камни, покрытые водорослями — турницами. Все, что нужно для них, — морская или солоноватая вода, солнце и субстрат для крепления.

В самой верхней части литорали (супралитораль) мы встречаем высшие цветковые растения, выдерживающие регулярные длительные увлажнения и обсыхания, повышенную соленость воды. Это “солянки” — невысокие травы с мощными корнями, корневищами или луковичками с запасом питательных веществ. Среди них морские растения: подорожник *Plantago maritima*, триостренник *Triglochin maritima* и солончаковая (или морская) астра *Aster tripolium* (рис. 3), опыление у которой может проходить на воздухе (насекомыми) или плавающей в воде пылью”.

Литораль населена множеством животных, для показа выбраны некоторые ключевые объекты, на примере которых можно объяснить особенности экологической пирамиды природного экотона, — морские черви, моллюски, ракообразные, рыбы и птицы:

“Один из обычных обитателей верхних слоев песчано-илистых грунтов — многощетинковый морской червь-пескожил *Arenicola marina* (рис. 4). Пескожилы образуют поселения разной величины, существенно меняя микрорельеф литорали. Поглощая сырой грунт, они создают на поверхности воронку, а выброшенные из кишечника шнуры песка со слизью формируют песчаные холмики”.

Среди разных групп беломорских моллюсков особое внимание уделено массовым группам (видам) двустворчатых, прежде всего хорошо известным мидиям *Mytilus edulis*: “Моллюски-фильтраторы живут в скоплениях разной величины, образуя во многих местах сублиторали сплошной покров. Их личинки плавают в толще воды, молодые мидии длиной 1–2 см хорошо передвигаются по субстрату, а взрослые малоподвижны.



Рис. 3. Солончаковая астра

Некоторые моллюски зарываются в грунт песчаных отмелей на 30–40 см, выпуская наружу одну или две гибкие и подвижные трубки-сифоны, как это делает *Mya arenaria*.

Рачки-балаюсы, усконогие раки из подотряда морских желудей *Balanomorpha*, строят небольшие известковые белые домики в виде усеченного конуса из шести пластинок, четыре из них подвижные и плотно закрыты при осушении. Личинки свободно плавают, а в домиках на спине лежат взрослые особи, выставив между пластинками ножки и ритмично взмахивая ими, рачок загоняет в домик воду с пищевыми частицами.



Рис. 4. Выбросы червя-пескожила

В воде заметны шустрые подвижные рачки-бокoplавы из семейства Gammaridae. Во время отлива они укрываются в камнях литорали и фукусах (бурых водорослях), в прилив плавают в толще воды, поедая детрит и охотясь на мелких животных.

По опресненным литоральным лужам и ручьям держатся стайки подвижных мальков колюшки из семейства Gasterosteidae (колюшкообразные) и камбалы разных видов из семейства Pleuronectidae (камбаловые).

*Трофические ресурсы литорали привлекают птиц многих видов, способных эффективно использовать экотопы, это кулики-сороки *Haematopus ostralegus*, чайка сизая (*Larus canus*) и серебристая (*Larus argentatus*) [1]. При высокой воде птицы рассаживаются по лудам, коргам и баклышам, по мере ухода воды перемещаются на осушенные обрастания и отмели, литоральные ручьи, где они собирают мидий и рачков-бокoplавов, по мелководьям литорали разыскивают червей и рачков или зондируют толщу грунта в поисках моллюсков.*

*Интенсивные процессы освоения Кольской Субарктики в конце XIX и первой половине XX века позволили проникнуть сюда одному из “культурных” видов орнитофауны — серой вороне (*Corvus corone cornix*) — экотонному виду лесостепной зоны Евразии. Эта птица заселила северный берег Белого моря, стала одним из обычных видов и успешно кормится на материке и на литорали”.*

Одно из противоречий экологического туризма состоит в соединении показа объектов и их деградации, и даже их утраты в ходе рекреационного использования [6, 7]. Смягчение этого конфликта (вплоть до его полного снятия) возможно за счет использования виртуальных экологических троп для предварительного ознакомления посетителей ООПТ и других территорий туристского освоения с природными и краеведческими особенностями. Виртуальную тропу можно проложить по труднопроходимым, укромным или максимально охраняемым участкам, “сжать” время природных явлений. Например, динамику приливов и отливов невозможно показать за ограниченный период маршрута в реальных природных условиях, в том числе из-за неблагоприятных погодных условий.

Полученные в ходе виртуальной экскурсии сведения соединяют природные и культурные, исторические и художественные компоненты, вызывают интерес у зрителя и слушателя [8]. Виртуальные экологические тропы не заменяют реальных маршрутов и троп, но позволяют снизить нагрузки на природные объекты туристского показа.

Важная особенность такой тропы — тематический подбор профессионально выполненных описаний и фотографий, что позволяет экскурсанту любого уровня подготовки и возраста получить общее представление (предварительные знания) об интересующем объекте или явлении. Заинтересованный пользователь может самостоятельно составлять маршрут

согласно индивидуальным запросам, руководствуясь знаниями, полученными в ходе путешествия по виртуальной тропе.

Блочно-модульный принцип дает возможность увеличить вариативность наполнения виртуально-экологических троп, сформировать новые тематические представления за счет комбинирования компонентов из отдельных модулей, формируя расширенные представления о научной и природоохранной деятельности ООПТ, принципах рационального природопользования, гибкий, эмоционально насыщенный образ окружающего мира. Все это способствует формированию общей экологической культуры, основанной на нравственных принципах рационального природопользования.

Инновационный подход к проблемам природоохранной деятельности с использованием современных информационных технологий в сфере экологического просвещения в виде виртуальных экологических троп, прежде всего в ООПТ разного ранга, способствует формированию экологического мировоззрения ускоренными темпами. Мы предлагаем применять их для любой целевой аудитории, в том числе для лиц с ограниченными физическими возможностями. Виртуальная экологическая тропа может стать мощным электронным информационным, познавательным и образовательным ресурсом.

Выводы:

— основная направленность виртуальной экотропы — экологическое воспитание и образование, что обеспечивает восприятие многообразия и сложности природной среды. Предлагаемые нами виртуальные экологические тропы не заменяют природных маршрутов и троп, а органически предваряют их, позволяя снизить нагрузки на природные объекты туристского показа, подвергающиеся различным видам антропогенного воздействия;

— блочно-модульная структура тропы позволяет наращивать или сокращать “маршрут” в зависимости от задач демонстрации, “сжать” время его прохождения, “остановить” объект или процесс показа для его детального рассмотрения или интерпретации способами научного анализа и художественной оценки;

— виртуальная экологическая тропа — начальный этап приобщения экскурсанта к восприятию сложных природных явлений, их интерпретации. Особое значение такие тропы (маршруты) приобретают для ООПТ разного ранга, даже в природно-культурных ландшафтах. Именно виртуальные тропы отражают непрерывность природного и культурного взаимодействия, подчеркивают связь и зависимость человека от природы, необходимость бережного отношения к ней.

Новизна виртуальных экологических троп состоит в том, что при последующем прохождении реального маршрута они позволяют обогатить восприятие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Забелина Н.М.* Сохранение разнообразия в национальном парке. Смоленск: Ойкумена, 2012. 176 с.
2. *Залетаев В.С.* Структурная организация экотонов в контексте управления // Экотоны в биосфере. М.: РАСХН, 1997. С. 11—29.
3. *Корбут В.В.* Кормовое поведение и рационы птиц (Charadriiformes, Passeriformes) в природных экотонных сообществах литорали Белого моря // Зоол. журн. 2012. Т. 91, № 7. С. 809—817.
4. *Мосеев И.И.* Поморская говóря: Краткий словарь поморского языка. Архангельск: Правда Севера, 2005. 372 с.
5. Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года. [Электронный ресурс] // Официальный сайт Президента России. URL: www.kremlin.ru (дата обращения: 15.09.2013).
6. *Чиждова В.П.* Рекреационные ландшафты: устойчивость, нормирование, управление. Смоленск: Ойкумена, 2011. 176 с.
7. Экотуризм на пути в Россию. Принципы, рекомендации, российский и зарубежный опыт. Тула: Гриф и К, 2002. 284 с.
8. *Tilden F.* *Interpreting Our Heritage.* Chapel Hill: The University of North Carolina Press, 1982. 119 p.

Поступила в редакцию
24.01.2014

V.V. Korbut, M.V. Tsekina

VIRTUAL TOURS IN THE ENVIRONMENTAL EDUCATION

An innovative concept of virtual ecological trails is suggested as the most environmentally-safe form of ecotourism. It is also of importance for the preparation of the visits to nature protection areas. It is particularly useful for remote areas and fragile ecosystems. Virtual ecological trails based upon the modern technologies of information collection, processing and storage could become an important stage in forming the ecological world outlook.

Key words: ecotourism, ecological trail, environmental education, ecotone, digital technologies, littoral zone, toponymy, biota.

МЕТОДЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 796.5 : 338.48

А.И. Зырянов¹

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ТУРИСТСКИХ ТАКСОНОВ

Предпринята попытка систематизации туристско-географической таксономии. Объяснены туристско-географические понятия: местечко, место, центр, зона, пояс, узел, регион. Рассмотрены особенности формирования туристских поясов. Туристские узлы предстают как ключевые элементы территориальной организации туризма. Описаны туристские узлы в России и за рубежом. Предлагается подход к формированию туристских узлов в местах крупнейших городов. Рассмотрены направления использования предлагаемой таксономической системы для туристского проектирования.

Ключевые слова: географическая таксономия территориальная организация туризма, туристский центр, туристский пояс, туристский узел, туристское проектирование.

Введение. Территориальная таксономия входит в основу географической науки. В практической туристской деятельности географическая таксономия применяется очень широко, но бессистемно, содержание многих соответствующих понятий размыто.

Географы — специалисты по туристским вопросам объясняют значение отдельных туристско-географических таксонов, таких, как центр, зона, район [1—4]. Содержание ряда подобных терминов раскрыто в пятиязычном словаре В.М. Котлякова и А.И. Комаровой [9].

Представить территориальную организацию современного туризма во всем его многообразии невозможно без относительно ясной системы географических таксонов. Систематизация туристско-географической таксономии особенно необходима при туристском проектировании, планировании туристских потоков, инфраструктурном развитии, формировании туристского сервиса.

Постановка проблемы. Среди общих географических терминов, которые употребляются для обозначения территорий, где активно протекают туристские процессы, в разной степени применяются следующие: “туристское место” (“местечко”), “туристская деревня”, “туристский город”, “туристский центр”, “туристская зона”, “туристский район” (“регион”) и др. Каждое из них употребляется чаще всего без связи с другими родственными понятиями, в их содержание вкладывается, как правило, общегеографический смысл. Именно отсутствие или слабость специально-туристского наполнения содержания понятий создает бессистемность их использования. На наш взгляд, требуется более строгий подход к классификации туристско-географических таксонов с учетом туристской технологии.

Цель статьи — представление нового подхода к систематизации туристских территорий и его применения для задач туристского проектирования.

Материалы и методы исследований. Рассмотрим известные и новые понятия, выстроив их в некую систему. В основу классификации территорий, кроме собственно географического содержания, должны входить ключевые представления о туристских процессах, с учетом продолжительности пребывания посетителя в данном месте, процессов формирования дестинации, конфигурации маршрутов и их востребованности и пр. Такой подход позволит создать классификацию, пригодную для прикладных задач разнообразного туристского проектирования. Опишем элементарные категории.

Туристское местечко — это конкретный объект туристского интереса (например, водопад Жигалан на Северном Урале), объект экскурсионного показа и посещения (Кунгурская ледяная пещера), объект туристской инфраструктуры (горнолыжный комплекс “Такман” на Среднем Урале). Туристское местечко — небольшая территория, привлекающая туристов или экскурсантов. Эту территорию можно увидеть всю с одного места или в условиях закрытого или сильно-пересеченного ландшафта обойти пешком в течение одного дня или даже одного-двух часов. Пребывание на этой территории, как правило, непродолжительно. Таким образом, туристское местечко — это такая туристская территория, которая требует для знакомства с ней времени, измеряемого несколькими часами, если речь идет о маршрутном путешествии. При стационарной рекреации (сельский или событийный туризм и т.д.) здесь возможно и более длительное пребывание. К туристским местечкам можно отнести туристские деревни и туристские села. Туристское местечко (своеобразный синоним или территориаль-

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет, географический факультет, кафедра туризма, декан, заведующий каф., докт. геогр. н., доцент; e-mail: ziryaynov@psu.ru

ная проекция туристского объекта) занимает небольшую территорию, чаще до 1 км², имеет узкий туристский профиль. Как правило, речь идет об одном или двух видах туризма, если трактовать термин “вид туризма” расширенно (активный, деловой и т.д.). Так, урочище “Каменный Город” специализируется на природно-экскурсионном, экологическом туризме, а комплекс “Такман” — на зимней рекреации.

Поскольку туристские местечки представляют собой географические объекты, часто посещаемые с туристскими и экскурсионными целями, их можно найти почти в каждом муниципальном районе.

Туристское место — это территория с туристской специализацией, включающая несколько объектов туристского интереса, где пребывание логично в течение одного или двух дней. Туристским местом можно считать малый исторический город, активно посещаемый приезжими (например, Чердынь). К туристским местам можно отнести и средний по размерам привлекательный город (например, Кунгур), и даже большой город (Соликамск), если не предусматривается длительное пребывание. Этот принцип действует для туров в форме путешествий. Таким образом, курортный городок попадет в категорию туристского места, несмотря на то что отдыхающие проводят там много дней, сам же курортный городок для путешествия интересен на один-два дня. Если же число объектов туристского интереса в городе и его ближайшем окружении настолько велико и они так известны, что требуют более длительного пребывания, то такие территории должны попасть в более крупную категорию и считаться туристскими центрами. Туристское место может служить дестинацией для путешествий выходного дня. Таким образом, туристским местом может быть небольшой исторический или курортный городок или иной географический объект. Одним из основных критериев при отнесении к этой категории следует считать длительность среднего пребывания посетителя. Туристское место на порядок (или 2 порядка) масштабнее туристского местечка. Здесь развито не менее трех видов туризма. Туристское место — территория концентрации туристских объектов, примеры туристских мест можно найти в каждом субъекте РФ.

Туристский центр — это крупный город с большим туристским движением или город с туристско-рекреационной специализацией мирового масштаба, с особенно привлекательными природными ресурсами или плотным культурно-событийным рядом. Туристскими центрами можно, например, считать Рим, Париж, Прагу, Москву, Великий Новгород, Венецию, Сочи. Пермь можно отнести к туристским центрам только в период проведения фестиваля “Белые ночи”. Таким образом, этот уровень может достигаться временно теми городами, которые относятся к обычным промышленным, и лишь в короткие периоды их посещают не только с деловыми целями, но и в связи с уникальным культурным мероприятием.

Туристский центр — место, на которое можно потратить несколько дней путешествия. Туристский центр может служить дальней дестинацией для недельного путешествия. Туристский центр имеет размеры, на порядок превышающие размеры туристского места, а его туристская специализация гораздо шире и включает не менее пяти видов туризма.

Туристский центр наполнен туристскими объектами и даже туристскими местами, которые сопутствуют им и входят в их состав. Так, Рига со множеством туристских объектов как туристский центр включает и Юрмалу как туристское место.

Поскольку туристский центр — это крупный город с хорошо выраженной туристской функцией, а также значительный город с мировой экскурсионной известностью или рекреационной ценностью, то он есть далеко не в каждом субъекте РФ. В пределах же федерального округа хотя бы один туристский центр есть. В Северо-Западном округе это Санкт-Петербург, в Приволжском — Казань, в Уральском — Екатеринбург, в Сибирском — Иркутск и т.д.

Чтобы подчеркнуть различия в категориях туристских территорий, приведем некоторые примеры. Так, в Эстонии к категории туристского местечка следует отнести водопад Ягала, к туристскому месту — г. Пярну, к туристскому центру — Таллин, в Латвии к туристскому местечку можно отнести замок Турайда на Гауйе, к туристскому месту — г. Цесис, а к туристскому центру — Ригу.

Категории туристское местечко, туристское место и туристский центр разномасштабны, тем не менее они характеризуются одним формальным свойством: картографически они компактны, часто обозначаются на картах точечными знаками. Следующие категории еще крупнее, при этом картографически не точечные, а площадные. Они чаще всего некомпактны, могут быть вытянуты, иметь сложную форму.

Туристская зона — территория, включающая многие туристские местечки, места или центры с относительно общей туристско-рекреационной специализацией, имеющая значительную площадь, представляющая собой географически единое целое и отличающаяся интенсивным туристским движением. В туристской зоне ярко проявлен туристский профиль на фоне крупного региона или даже всей страны. Внутри зоны почти нет значительных вкраплений ареалов с нетуристской специализацией. Это туристско-рекреационный ареал высокого (межрегионального, международного) значения. Туристские зоны, как и рассмотренные ранее туристские территории, по-видимому, могут иметь разное значение и туристскую посещаемость. Яркими примерами туристских зон можно считать испанские Коста-Браво, Коста-дель-Соль и др. На Южном берегу Крыма выделяются Ялтинско-Алуштинская и Судакско-Коктебельская зоны. На Урале среди других туристских зон можно выделить зону р. Чусовая с ее сплавными притоками Усьвой и Койвой [8]. Туристские зоны, как правило, —

места длительного туристского пребывания, районы, где проходит основная часть туристского маршрута.

Туристский пояс — это крупная и вытянутая территория, где туристская специализация совмещена с другим хозяйственным профилированием; состоит из совокупности туристских зон и других туристских территорий, образующих единую географическую линию, имеет большие размеры, хорошо заметные на карте мира. Туристский пояс часто имеет глобальное значение, охватывает территории многих регионов или стран. К туристским поясам можно отнести Альпы, Большой Кавказ, долину Дуная, побережье Испании от Барселоны до Кадиса, хр. Сьерра-Невада в Калифорнии. Туристский пояс, в отличие от зоны, представляет собой чередование туристских и нетуристских территорий, но благодаря сходным природными условиям, единой туристской видовой специализации и маршрутной связанности выделяется как единая туристская территория.

Туристские пояса формируются, когда туристские зоны выстраиваются в одну ленту. Эта лента соответствует какому-либо географическому линейному или поясному объекту или популярному туристскому маршруту. Пояса формируются при единой географической определенности, инфраструктурной системности и сохранении многих общих условий. Туристские пояса можно выделить вдоль морских побережий (побережье Черного и Азовского морей), на группах морских островов (острова Эгейского моря), вдоль судоходных рек (по Волге), в горах (Карпаты). Повидимому, можно выделять пояса и вдоль известных туристских маршрутов, например Золотое кольцо.

Туристские пояса могут находиться в пределах одной страны. Так, можно выделить пояс побережий Италии, пояс Канарских островов, пояс Балеарских островов, пояс норвежских фиордов. Чаще пояса формируются на территориях разных стран, например пояса Пиренеев и Альп.

Туристские пояса гор охватывают те горные системы, части которых хорошо посещаемы туристами. Туристские зоны горного пояса, как правило, пространственно дисперсны и связаны между собой опосредованно, но единство горной страны, ее известность в туристском мире и привлекательность “нехоженных” частей позволяют рассматривать пояс как единую туристскую территорию.

Туристским поясом, сложившимся в горах, можно считать хр. Сьерра-Невада в Калифорнии. Пояс следующих один за другим национальных парков и прочих разнообразных типов охраняемых природных территорий — яркое свидетельство туристского использования. Туристским поясом можно считать и Скандинавские горы в Южной и Центральной Норвегии от Ставангера до Тронхейма. Этот пояс сложился на основе и фиордов и гор.

Если попытаться определить, какие физико-географические или социально-географические критерии лежат в основе тех или иных туристских территорий,

то это можно сделать лишь условно, поскольку для туризма интересна “любая география”. Так, туристское местечко и туристское место могут иметь как природно-географическое, так и экономико-географическое содержание. Туристский центр — это прежде всего социально-географический объект. В выделении туристской зоны действуют и те и другие факторы. Туристский пояс в подавляющем большинстве случаев имеет физико-географическую определенность.

Туристский пояс — наибольшая по размерам туристская территория мира. При этом можно, по-видимому, выделять как небольшие пояса, так и большие, составленные из нескольких меньших. Например, побережья Средиземного, Черного и Азовского морей можно в некотором смысле рассматривать как единый большой пояс, состоящий из меньших туристских поясов, побережий отдельных морей.

Понятие о туристском поясе как обширной территории страны или группы стран важно при планировании территориальной организации туризма страны. Это позволяет выделить главные перспективные туристские пространства и выработать туристскую политику в масштабах страны. Так как туристский пояс — крупная территория, ее туристские ресурсы и возможности логичнее продвигать на международном уровне. Они лучше других территорий заметны в туристской среде как единые географические объекты и туристские дестинации.

Например, Уральский туристский пояс сложился вдоль Уральских гор в России. В Казахстане он не выражен, несмотря на то что горные хребты протягиваются и по территории этой страны. Пояс представляет собой последовательную серию сформировавшихся туристских зон, между которыми находятся нетуристские участки [8]. К туристским зонам Уральского пояса можно отнести на Полярном Урале зону озер Хадата—Юган—Лор, на Приполярном Урале зону г. Манарага и р. Косья, на Северном Урале зону г. Конжаковский Камень, на Среднем Урале зону р. Серьга и мест, связанных с творчеством Бажова, на Южном Урале зону хр. Таганай, а также другие территории. Уральский туристский пояс имеет разнообразную туристскую специализацию, но горный характер местности задает активный вектор туризму (спортивный, самодельный, экологический). Развитая система расселения, крупные промышленные города, разнообразие национальностей — факторы развития видов туризма культурной направленности (познавательного, этнического, делового, событийного).

Туристский пояс гор Южной Сибири сформировался на пространстве от Алтая до Забайкалья. В пределах пояса сложилось много туристских зон. Так, на Алтае можно выделить зону Телецкого озера, на Западном Саяне — зону хр. Ергаки, на Восточном Саяне — зону Тункинских гольцов, на Хамар-Дабане — зону р. Слюдянка, на Байкале — зону р. Листвянка и бухты Песчаной, в Северном Забайкалье — зону хр. Кодар. Горы Южной Сибири, по-видимому, сле-

дует рассматривать как сложный туристский пояс, состоящий из меньших по размеру поясов. Так, Восточный Саян можно считать поясом.

Туристские пояса отражают туристскую географию в глобальном ракурсе. Благодаря выделению поясов можно понять территориальную организацию туризма крупной страны в целом, определить перспективные участки межрегионального туристского сотрудничества.

Области, расположенные на стыках поясов, можно назвать туристскими узлами. Это самостоятельная категория туристских территорий.

Туристский узел — место стыка, наложения, сближения туристских поясов. Это наиболее потенциально емкие туристские территории мира. Туристские узлы — доминанты всей системы мирового туризма, ключевые элементы географии туризма, напряженные точки мирового туристского движения, наиболее яркие дестинации среди большой территории, отмеченные выдающимися туристскими событиями, интереснейшими туристскими проектами:

— туристскими узлами можно считать места стыка приморских и горных туристских поясов в том случае, когда горная система касается побережья. К таким узлам относятся район Сочи, где горы Большого Кавказа выходят к берегу Черного моря; район Французской и Итальянской Ривьер, где Альпы доходят до Средиземного моря; район Барселоны и Коста Браво, где туристский пояс Пиренеев смыкается с туристским поясом испанского и французского побережий;

— туристские узлы можно выделить внутри материка в местах стыка разных по туристским ресурсам и специализации поясов: район Иркутска и южной оконечности Байкала, где туристский пояс оз. Байкал смыкается с поясами Хамар-Дабана и Восточного Саяна;

— туристские узлы формируются на стыке пояса побережья и пояса островов, например район Майами, где близко расположены туристский пояс приатлантических побережий и пояса Антильских и Багамских островов;

— узлом можно считать то место, где рядом расположены привлекательные горы и судоходная река,

например Вена и Зальцбург, где Дунай течет вблизи Альп;

— узлы могут формироваться на туристски освоенной территории, сложной по характеру береговой линии, с островами и полуостровами, например Афины, где стыкуются туристские пояса эгейского побережья Балкан, коринфско-ионического побережья Балкан, Пелопоннеса и островов Эгейского моря;

— к узлам, кроме того, можно отнести места схождения приморских туристских поясов с внутриконтинентальными, озерными и возвышенными территориями, прежде всего с культурно-историческим профилем, например Санкт-Петербург находится на сложном стыке приморского пояса восточного побережья Балтийского моря, пояса Карельского перешейка и Южной Финляндии, пояса Карелии, а также примыкающей с юга туристски значимой территории Пскова—Новгорода и Валдая.

Таким образом, туристский пояс — это территория, имеющая линейное простираие, выраженная физико-географически и задающая линейный сюжет маршрутного планирования. Пример с Псковом, Новгородом и Валдаем свидетельствует о том, что можно выделять и иной тип туристской территории, имеющей большие размеры, но не обладающей линейностью и физико-географическим единством. Вероятно, такую территорию следует назвать туристским пространством или туристским регионом.

Туристский регион — область с компактной формой и элементами туристской специализации, способная быть самостоятельной туристской дестинацией. Размеры туристского региона достигают нескольких сотен тысяч квадратных километров. Туристский регион может проявляться вблизи крупного города — генератора больших туристских потоков. Вокруг Москвы, как центра туристского узла, расположены следующие крупные туристские территории: туристский пояс Золотого кольца, туристский регион Валдая и Верхневолжья, туристский Среднерусский регион.

Таким образом, туристским узлом можно считать территорию крупнейшего города с сильной туристской функцией, вокруг которого выделяются явные туристские регионы и сложились туристские пояса

Характеристики туристско-географических таксонов

Характеристика, таксон	Картируемая форма	Размеры, км ²	Минимальное число комплексных видов туризма	Продолжительность пребывания
Туристское местечко	Точечная	<1	1—2	До 24 ч
Туристское место	— " —	1—100	3—4	1—2 дня
Туристский центр	— " —	100—1000	≥5	До недели
Туристская зона	Линейно-площадная	1000—10 000	≥5	Более недели
Туристский пояс	То же	>10 000	≥5	— " —
Туристский узел	Компактно-площадная	>10 000	≥5	— " —
Туристский регион	То же	>100 000	≥5	— " —

культурно-исторического значения на основании известнейшего туристского маршрута.

В таблице систематизированы некоторые характеристики туристско-географических таксонов по формальным и содержательным критериям. Разделение туристских территорий на типы, с одной стороны, позволяет лучше понять складывающуюся территориальную организацию туризма в разных странах, а с другой — полезно для туристского проектирования.

Результаты исследований и их обсуждения. Крупный город расположен обычно на ключевой позиции с точки зрения территориальной организации туризма. Сам крупный город, будучи туристским местом, находится обычно в туристской зоне, в туристском поясе или даже в узле, положение в туристском узле является ключевым и выгодным в контексте туристского трафика. Поэтому формирование узла — это та задача, которая может стоять перед крупным городом. Рассмотрим это на примере Перми.

Пермь не имеет стабильного круглогодичного туристского посещения, ее можно считать туристским местом лишь в некоторые периоды в связи с большими туристскими событийными мероприятиями. Положение в Уральском туристском поясе дает этому городу ряд преимуществ, которые заключаются в природных туристских ресурсах, близости к динамичным городам Большого Урала и наследия горнозаводской цивилизации. Положение в пределах туристского пояса будет иметь ключевое значение, если сформируется туристский узел.

В Перми есть зачатки туристского узла, что, видимо, определяется ее положением на стыке Волжского бассейна и Урала — полноводная и судоходная Кама и Уральские горы с их богатыми недрами. Кама и Волга многие годы были популярными туристскими путями, сейчас это менее активные маршруты. Речное направление на юго-запад от Перми с промышленными и историческими городами можно будет считать туристским поясом, если целенаправленно развивать это направление как дестинацию. Кроме того, можно обратить внимание на северо-западное, но пока неактивное направление от Перми — это Коми-Пермяцкий округ, север Удмуртии, Кировская область и Республика Коми. Происходящее улучшение транспортной доступности в этом направлении позволяет предположить увеличение туристского потока и возможности формирования туристского региона на северо-западе от Перми. Коми-Пермяцкий округ уже сейчас выделяется в регионе туристской специализацией на гастрономическом профиле. Таким образом, чтобы Пермь оказалась в туристском узле и заняла выигрышную позицию в территориальной организации туризма, следует работать в таких направлениях:

— прилагать усилия к тому, чтобы Урал проявлялся как единый туристский пояс, т.е. появились общепермские популярные туристские маршруты, воз-

росло межрегиональное туристское взаимодействие, чтобы в осевой части Уральских гор лучше позиционировалось природное наследие через систему заповедников, национальных и природных парков; создать Большую уральскую тропу и т.д.;

— работать по формированию Волго-Камского или Камского туристского пояса, т.е. увеличить круизно-речной туристский поток, сделать туристскими города на Каме и Волге, способствовать развитию речного транспорта, любых транспортных путей в юго-западном направлении, создавать систему туристских маршрутов в направлении Нижнекамья, Удмуртии, Татарстана, городов Поволжья, это же касается и развития транспортных и туристских связей с местностями вверх по Каме от Перми;

— способствовать формированию привлекательной для туризма территории на северо-востоке от Перми, выявлять новые туристские объекты, развивать инфраструктуру, создавать новые турпродукты, особое внимание уделять развитию этнического, событийного, экологического, природно ориентированного туризма.

Рассмотрим возможности формирования туристского узла на примере Самары. Город является туристским центром, но как на его основе сформировать Самарский туристский узел, поскольку самая предпочтительная позиция города с точки зрения туристских потоков — его положение в туристском узле. Определим, в каких туристских поясах расположена Самара. Единственный туристский пояс, в который она вписывается, — пояс Волги с речным круизным движением и автомобильно-железнодорожными связями между волжскими городами. Этот пояс четко проявлялся как туристский до конца XX в. Его роль стала уменьшаться в связи с сокращением речных перевозок, но пространство вдоль Волги пока можно характеризовать как туристский пояс.

Положение в пределах пояса еще не означает положение в узле, нужно, чтобы город был расположен на пересечении поясов или в окружении сформировавшихся туристских районов. Явный туристский район в окружении Самары — Башкирия и почти весь Южный Урал. Все больше развивается и претендует на роль туристского района Татарстан. Других сложившихся туристских районов на относительно близком расстоянии от Самары нет. Туристский район может оформиться в Саратовской области, а также в Приволжском и Среднерусском регионах.

Таким образом, чтобы сформировать собственный туристский узел вокруг Самары, необходимо целенаправленно развивать Поволжский туристский пояс и несколько самобытных туристских районов в мезоокружении Самары. Кроме того, в этом случае синхронное туристское развитие соседних регионов не будет создавать конкуренцию с Самарой, а, наоборот, будет способствовать ее выходу на центральные позиции в территориальной организации туризма.

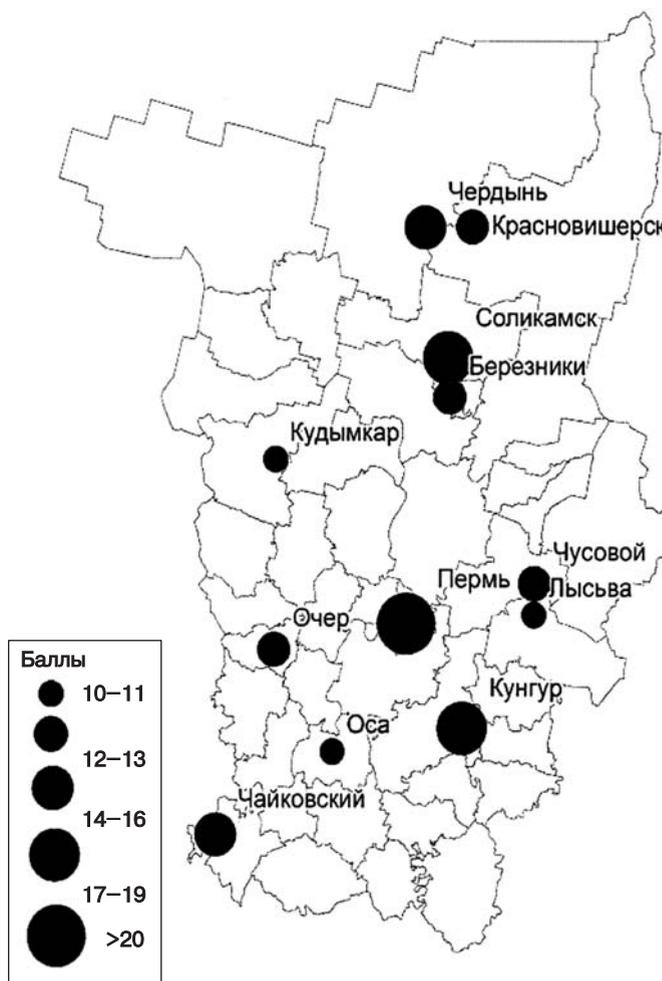
Таким образом, можно сделать вывод, что соседние регионы не должны конкурировать в туризме, им нужно дополнять друг друга. Это особенно ясно при рассмотрении формирования туристского узла на основе крупного города: он должен находиться в окружении самобытных и полноценно развитых туристских районов.

Туристско-географическая таксономия дает лучшие ориентиры при стратегическом планировании туристского развития малых и средних городов. Рассмотрим это на примере Пермского края. На рисунке показана оценка городов края как туристских точек роста по базовым факторам. К таким факторам отнесены те, которые действуют длительное время и способствуют туристскому развитию города [5]. Наибольшие баллы имеют те города, которые обладают наилучшими возможностями туристского развития. Если нет сомнений в том, что города Кунгур и Соликамск относятся к категории туристского места, то следующие по возможностям города Чердынь и Чайковский к туристским местам можно отнести с определенными оговорками. Это свидетельствует о том, что при целенаправленной работе города могут вполне закрепиться в региональной организации туризма края на уровне туристских мест. Следующие по возможностям города (Красновишерск, Березники, Чусовой и Очер) попасть в категорию туристского места могут, но для этого нужно приложить большие усилия. При этом Кунгур и Соликамск могут поставить стратегическую цель — выйти на уровень туристских центров и работать в этом направлении.

Изучение видов туристских территорий, их классификации, своеобразной иерархии, географии и процессов обновления дает новые возможности в развитии теории туризма, в ведении туристского бизнеса и в территориальном планировании.

Выводы:

- без системы географических таксонов невозможно понять современную территориальную организацию туризма, эта система должна быть сформирована с учетом туристской технологии;
- критериями туристско-географической таксономии служат размеры и конфигурация территории, туристская видовая специализация и продолжительность пребывания посетителей;
- предлагаемый ряд туристско-географических таксонов иерархичен, при этом “туристское местечко” отражает начальный уровень, а “туристский узел” —



Оценка факторов туристского развития городов Пермского края

верхний и выполняет главную роль в территориальной организации туризма;

- знание таксономического уровня конкретной туристской территории позволит проектировать ее развитие таким образом, чтобы выйти на новое качество, на более высокий таксономический уровень, например, туристское местечко можно преобразовать в туристское место, а последнее — в туристский центр;
- центральные позиции в территориальной организации туризма занимают туристские узлы, поэтому одной из задач туристского развития крупного города может быть выход на этот таксономический уровень.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бредихин А.В. Рекреационно-геоморфологические системы. Смоленск; М.: Ойкумена, 2010. 329 с.
2. География туризма: Учебник / Под ред. А.Ю. Александровой. М.: КНОРУС, 2009. 592 с.
3. Дунец А.Н. Туристско-рекреационные комплексы горного региона. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. 201 с.
4. Ердавлетов С.Р. География туризма: история, теория, методы, практика. Алматы, 2000. 336 с.

5. Зырянов А.И. Теоретические аспекты географии туризма. Пермь, 2013. 158 с.
6. Зырянов А.И., Королев А.Ю. Туристское районирование горных территорий // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2009. С. 19–25.
7. Зырянов А.И., Мышлявцева С.Э. Технология развития туризма в новом районе // Региональные исследования. 2011. № 4 (34). С. 49–56.

8. *Зырянов А.И., Мышлявцева С.Э.* Туристские кластеры и доминанты (на примере Пермского края) // Изв. РАН. Сер. геогр. 2012. № 2. С. 15–22.

9. *Котляков В.М., Комарова А.И.* Туризм: природа — культура — путешествия. Русский (с краткими дефиниция-

ми), английский, французский, испанский, немецкий. М.: Изд. дом “Кодекс”, 2013. 672 с.

Поступила в редакцию
06.12.2012

A.I. Zyryanov

SYSTEMATIZATION OF TOURIST CLASSIFICATION UNITS

The article deals with an attempt to systematize tourist-geographical classification units. Tourist-geographical terms, such as small place, place, center, zone, belt, node and region, are commented. Specific features of the tourist belts formation are discussed. Tourist nodes are described as key elements of the territorial organization of tourism both for Russia and foreign countries. Principles of tourist nodes formation in large towns are suggested. Possible applications of the classification system under discussion for tourism design are analyzed.

Key words: geographical taxonomy, territorial organization of tourism, tourist center, tourist belt, tourist node, tourism design.

УДК 551.509

П.А.Торопов¹, А.А. Шестакова²**ТЕСТИРОВАНИЕ МЕЗОМАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ (WRF) ДЛЯ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗА НОВОРОССИЙСКОЙ БОРЫ³**

Исследована возможность использования мезомасштабной негидростатической версии модели WRF-ARW для прогноза новороссийской боры. Выполнено 8 численных экспериментов с разными граничными и начальными условиями, параметризациями физических процессов и разрешением расчетной сетки. Большой объем натуральных данных, полученных в ходе экспедиционных исследований новороссийской боры, позволил выполнить достаточно детальные оценки результатов моделирования. На основе этих оценок обоснован подбор оптимальной конфигурации модели для численного моделирования новороссийской боры.

Ключевые слова: черноморское побережье Кавказа, новороссийская бора, мезомасштабные процессы, мезомасштабная модель WRF-ARW, параметризации, ветры подветренных склонов.

Введение. Интерес к новороссийской боре определяется ее исключительной опасностью. Это явление часто сопровождается ураганным ветром и сильным морозом, что нередко становится причиной крупного ущерба и человеческих жертв на Черноморском побережье Кавказа. Бора, как правило, наблюдается в холодное полугодие, в период с октября по апрель, и связана с ультраполярными вторжениями на юг европейской территории России. Горизонтальный масштаб явления составляет несколько десятков километров, вертикальный — несколько сотен метров [3]. В статье [10] дан обзор всех работ по исследованию физического механизма возникновения боры. На сегодняшний день большинство исследователей относят бору к разновидности “ветров подветренных склонов” (downslope windstorms). Такие ветры наблюдаются во многих районах мира, наиболее изучены адриатическая бора [9, 10] и ветры на восточных склонах Скалистых гор (Боулдер, США) [11, 12, 15].

Постановка проблемы. Среди актуальных работ, так или иначе посвященных моделированию новороссийской боры, отметим статьи [1, 4, 20]. Однако в перечисленных работах отсутствует детальная оценка результатов моделирования по большой выборке натуральных данных, не обоснованы результаты выбора той или иной конфигурации модели, нет детального анализа физических механизмов возникновения явления. Нами изучение новороссийской боры проводится на основе большого объема измерений, проведенных в ходе экспедиции кафедры метеорологии и климатологии МГУ в 2012 г., что позволяет детально оценить качество прогноза этого явления с помощью модели WRF-ARW. При этом решена задача подбора оптимальной конфигурации модели для воспроизведения новороссийской боры.

Материалы и методы исследований. Описание данных наблюдений. Рассмотрен случай сильной новороссийской боры, которая наблюдалась 26—28 января 2012 г. На рис. 1 показана сеть станций, которые использовались для оценки моделирования боры. Массив данных включал:

1) данные регулярных наблюдений на станциях Росгидромета (Крымск, Геленджик, Новороссийск), которые представляют собой стандартные стационарные наблюдения с дискретностью 3 ч. на высоте 2 м над поверхностью. Скорость ветра измеряется на уровне 10 м и осредняется за 10 мин.;

2) данные портовой службы Новороссийского порта (сеть из 5 действующих ветровых датчиков, размещенных по всему побережью Цемесской бухты (рис. 1), измерения проводятся с дискретностью 2 мин., высота измерений 10 м);

3) данные наблюдательной сети, созданной в зимней экспедиции научного студенческого общества (НСО) кафедры метеорологии и климатологии. Эти экспедиции проводятся ежегодно с 2005 г. 26 января—5 февраля на базе Южного отделения ИО РАН имени Ширшова в Геленджике. Наблюдательная сеть в 2012 г. состояла из автоматических метеостанций “Davis Vantage Pro”, частота наблюдений — 5 мин.

Изучение боры затруднительно без данных о вертикальной структуре потока с наветренной стороны хребта, т.е. натекающего потока [7, 8, 19]. Поскольку аэрологические наблюдения в области исследований отсутствуют, нами привлечены данные реанализа MERRA. Горизонтальное разрешение этих данных составляет $2/3^\circ$ по широте и $1/2^\circ$ по долготе, что, конечно, слишком грубо для задач, связанных с оценкой моделирования такого локального и пространственно неоднородного явления, как бора. Тем не менее

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: tormet@inbox.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, студент; e-mail: anilkrokodil@mail.ru

³ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-05-31508).

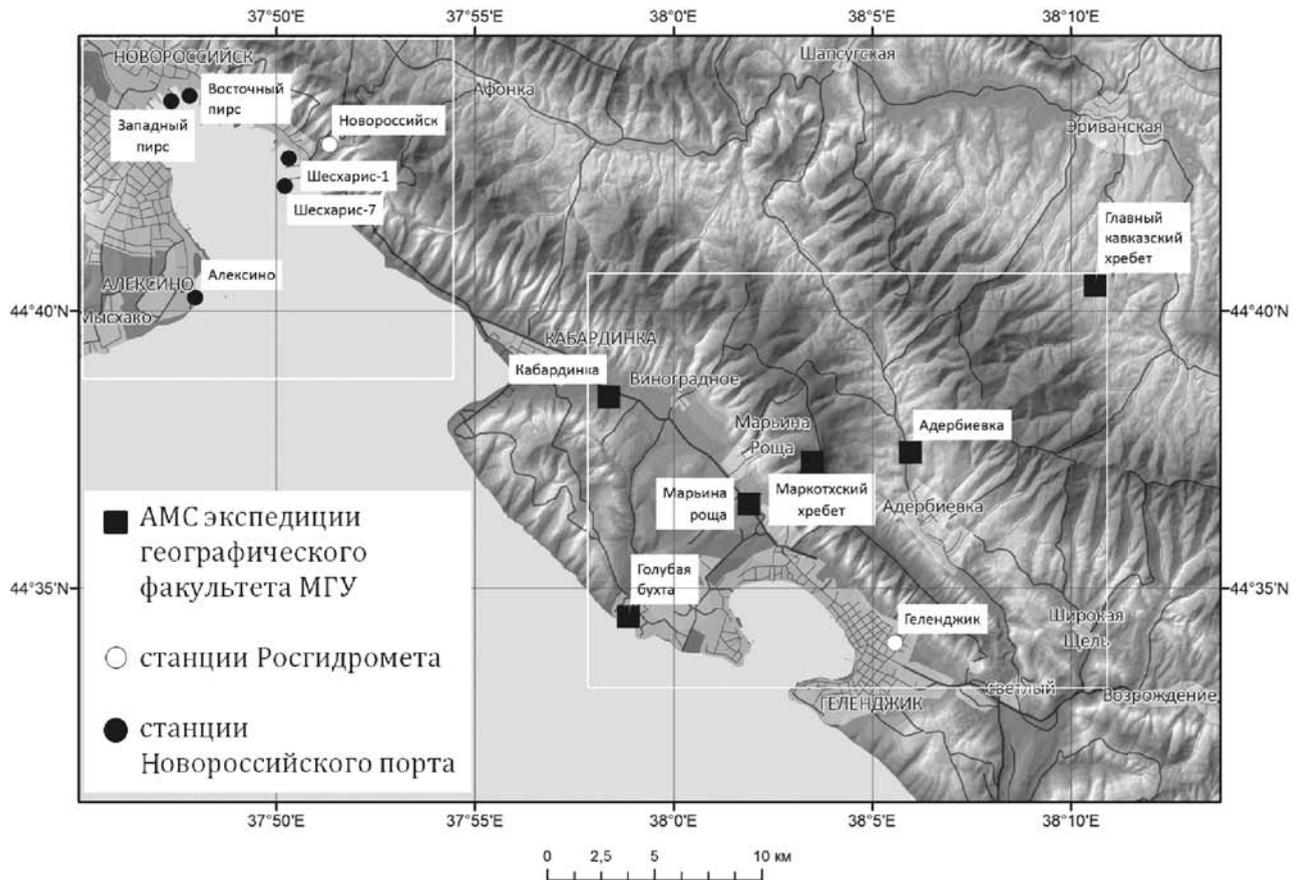


Рис. 1. Точки станций сети Росгидромета, ветровой сети новороссийского порта и автоматические метеостанции (АМС) экспедиции географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

использование этих данных можно считать правомерным, так как натекающий поток в случае новороссийской боры не возмущен горными препятствиями и относительно однороден. Для сравнения с результатами моделирования выбрана точка, расположенная далеко от боковых границ расчетной области и на удалении около 50 км от наветренной стороны Кавказского хребта.

Бора 27 января 2012 г. возникла на фоне ультраполярного вторжения на южной периферии обширного антициклона с центром над северной частью Западной Сибири; давление в центре антициклона превышало 1060 гПа. Средняя по всем подветренным станциям скорость ветра во время боры составила 14 м/с, максимальные значения средней скорости наблюдались непосредственно у подножия подветренного склона — на станциях в Новороссийском порту (до 35 м/с) и станции «Марьина Роща» (до 25 м/с).

Натекающий поток имел во время боры следующую структуру: нижний, нейтрально стратифицированный слой до высоты 350 м, слой приподнятой инверсии 400—1500 м, выше тропосфера имеет слабо неустойчивую стратификацию. Причина образования инверсии, вероятно, заключается в оседании воздуха в антициклоне. На профиле скорости ветра хорошо видно два максимума — на высоте 1 км, в слое инвер-

сии (низкотропосферное струйное течение, образующееся, согласно одной из гипотез [5], в результате незагущающихся инерционных колебаний), и на уровне тропопаузы, соответствующий струйному течению.

Методика оценок численного прогноза по модели WRF-ARW. Точность прогноза моделью WRF-ARW скорости ветра во время боры оценивалась по таким количественным статистическим характеристикам, как коэффициент корреляции с натурными данными, средняя абсолютная ошибка, максимальная ошибка, среднеквадратичное отклонение (СКО) для каждой станции. В табл. 1, 2 указаны перечисленные параметры, осредненные по всем станциям. Кроме того, выполнен качественный анализ эмпирической функции распределения ошибок «прогноза», пространственного распределения скорости ветра, временного хода скорости ветра на разных станциях по данным наблюдений и по результатам моделирования, воспроизведение моделью вертикальных профилей температуры и скорости ветра путем сравнения с профилями реанализа MERRA.

Результаты моделирования предварительно билинейно интерполировались из узлов расчетной сетки в точки станций или в точку, для которой проводилась оценка моделирования профилей скорости ветра и температуры.

Таблица 1

Краткие характеристики проведенных численных экспериментов*

Начальное время	Номер эксперимента	Пространственное разрешение	Порядок адвекции	Параметризации		Начальные данные
				Пограничный слой	Микрофизика облаков	
26 января 2012 г. 00:00	1	1 км	4-й	BouLac	Thompson	Реанализ FNL 1° × 1°
	2	2 км	4-й	MYNN	WSM 6-class	
	3	2 км	6-й	MYNN	WSM 6-class	
	4	1 км	2-й	MYNN	WSM 6-class	
	5	1 км	4-й	MYNN	WSM 6-class	
	6	1 км	6-й	MYNN	WSM 6-class	
	7	1 км	4-й	MYNN	Thompson	
26 января 2012 г. 12:00	8	1 км	4-й	MYNN	Thompson	Прогноз GFS 0,5° × 0,5°

* Полу жирным шрифтом выделены характеристики эксперимента, который наиболее удачно воспроизвел явление новороссийской боры.

Таблица 2

Статистические характеристики успешности “прогноза”, осредненные по всем станциям, для численных экспериментов, указанных в табл. 1

Параметр	Номер эксперимента							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Коэффициент корреляции (мода)	0,4 (30)*	0,5 (30)	0,6 (35)	0,4 (35)	0,4 (35)	0,6 (20)	0,4 (30)	0,4 (20)
Средняя абсолютная ошибка, м/с	7,5	5,4	5,7	5,4	5,3	5,6	5,3	5,6
Максимальная ошибка, м/с	18,1	14,4	14	14,9	14,9	14,7	14,5	14,4

* В скобках — вероятность данного значения, %.

Следует отметить, что значения ошибок моделирования, осредненных для всех станций и приведенных в табл. 2, — репрезентативный показатель качества моделирования, так как распределение ошибок нормальное, а среднее стремится к математическому ожиданию величины. Этого нельзя сказать о значениях коэффициента корреляции, которые необходимо изучать для каждой станции, их осреднение не вполне правомерно, поэтому в табл. 2 приведены модальные (наиболее повторяемые) значения.

Описание численных экспериментов. Для изучения новороссийской боры кроме данных наблюдений использована мезомасштабная негидростатическая модель WRF-ARW (США). Первый численный эксперимент по моделированию этого явления с помощью указанной модели описан в работах [4, 20], он проводился для случая боры 27 января 2012 г. Однако точность “прогноза”⁴ скорости ветра оказалась низкой, поэтому нами были рассмотрены другие параметры, которые могли бы улучшить “прогноз”.

Среди основных факторов, влияющих на точность воспроизведения полей метеорологических величин во время боры, рассмотренных нами, а также в других исследованиях [11, 16], отметим горизонтальное разрешение модели, порядок дискретизации

адвективных членов, параметризацию микрофизики облаков, параметризацию турбулентности и пограничного слоя атмосферы.

Горизонтальное разрешение модели. Исходя из соображений масштабов явления горизонтальный шаг сетки модели не должен превышать 10 км, а для удовлетворительного разрешения рельефа местности в исследуемом районе шаг сетки не должен превышать 1—2 км. Были реализованы две серии численных экспериментов — с шагом 1 и 2 км, число вертикальных уровней выбрано равным 40 (из них 15 — в пределах пограничного слоя), что вполне соответствует пространственной изменчивости явления.

Порядок дискретизации адвективных членов. Влияние порядка адвекции (здесь и далее под порядком адвекции понимается порядок дискретизации адвективных членов в системе уравнений движения) на результат моделирования подробно исследовано в работе [15]. В настройках модели WRF-ARW V3.4.1. адвекция импульса, скаляров и геопотенциала может осуществляться от 2-го до 6-го порядка точности пространственной дискретизации [18]. Нами реализованы три серии экспериментов: со 2, 4 и 6-м порядком адвекции.

⁴ Слово “прогноз” в кавычках, так как во всех экспериментах (кроме одного) в качестве начальных и граничных условий служили данные реанализа FNL, а не прогноз по модели GFS.

Параметризация микрофизики облаков. В работе [16] исследовано влияние разных схем параметризаций микрофизических процессов в облаках на прогноз ветров подветренных склонов. На основе результатов, полученных в [16], был сделан вывод о необходимости использовать схемы WSM 6 и Томпсона в качестве наиболее полных и сложных. Кроме того, схема Томпсона признана лучшей при прогнозе подветренной бури в работе [16].

Параметризация турбулентности и пограничного слоя атмосферы. Численные эксперименты проводились с использованием замыкания 1-го порядка Смагоринского (двумерное). Эксперименты с трехмерным турбулентным замыканием требуют больших затрат времени и высокого пространственного разрешения (<1 км); такие замыкания подходят для LES-моделирования. С другой стороны, К-модель, основанная на постоянстве коэффициента диффузии, слишком упрощенная. В двумерном замыкании Смагоринского часть уравнений решается явно (для двумерной диффузии), а часть (для вертикальной диффузии) параметризуется. Выполнены две серии экспериментов с параметризациями пограничного слоя BouLac (Bougeault и Lacarrere, 1989) и MYNN (схема Меллора—Ямады уровня 2.5). Обе схемы основаны на уравнениях для турбулентной кинетической энергии. Подробнее со схемами параметризации турбулентности, которые используются в модели WRF-ARW, можно ознакомиться, например, в [17].

Таким образом, на основе опыта многочисленных исследований по выбору параметризаций в задачах численного моделирования ветров подветренных

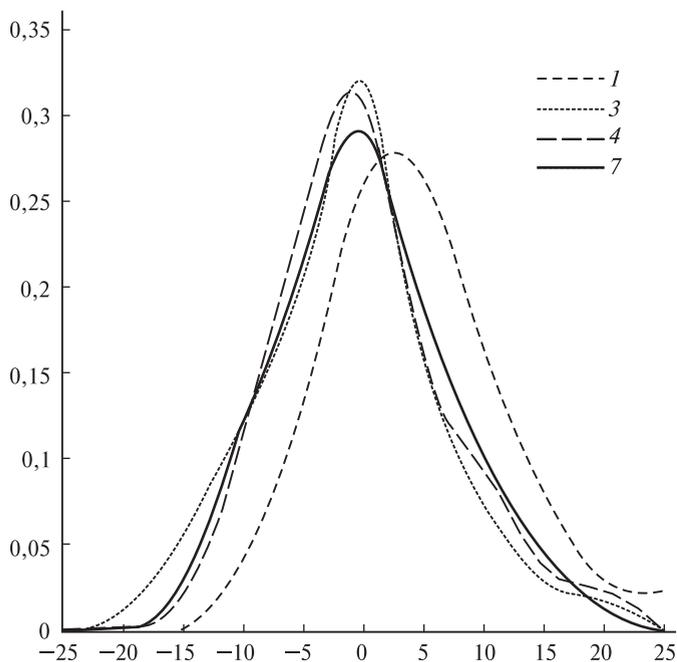


Рис. 2. Распределение ошибок «прогноза» скорости ветра (разность значений скорости ветра по данным наблюдений и по результатам моделирования) для нескольких экспериментов на всех станциях (пунктир); 1, 3, 4, 7 — номера экспериментов (см. табл. 1)

склонов, а также из логических соображений нами выполнен ряд численных экспериментов (табл. 1) для формирования окончательной конфигурации модели WRF-ARW [13, 18] для задач, связанных с исследованием новороссийской боры.

В качестве начальных и граничных условий использованы глобальные поля реанализа FNL модели GFS $1^\circ \times 1^\circ$ с временным разрешением 6 ч. [6]. Фактически все численные эксперименты в рамках нашей работы проводились по схеме усвоения 4DVAR. Один эксперимент (№ 8, табл. 1) проведен с усвоением в качестве граничных условий не реанализа, а прогноза GFS [14].

В качестве тестового выбран случай 27 января 2012 г. Все эксперименты (кроме № 1 и 8) осуществлялись на ПК INTEL (4 процессора). Эксперимент № 1 реализовывался на СК ALTIX (64 процессора) в Гидрометцентре РФ, № 8 — на ПК AMD (8 процессоров).

Результаты исследований и их обсуждение. Некоторые результаты экспериментов представлены на рис. 2, 3 и в табл. 2. Распределение ошибок для экспериментов № 2 и 3 оказалось схожим (так как порядок адвекции, как будет показано ниже, слабо влияет на результаты моделирования новороссийской боры), поэтому на рис. 2 представлен только эксперимент № 3; аналогично для экспериментов № 4, 5 и 6 (представлен эксперимент № 4), а также № 7 и 8 (представлен эксперимент № 7). На рис. 3 ход скорости ветра по экспериментам № 2—6 слабо отличается (что свидетельствует также о незначительном влиянии выбора шага сетки между 1 и 2 км на результат моделирования), поэтому представлен лишь эксперимент № 4. В результате анализа численных экспериментов и их сравнения с натурными данными по вышеописанной методике получены следующие результаты:

— уменьшение шага сетки с 2 до 1 км дает незначительное, но статистически значимое улучшение прогноза скорости ветра — на 2 м/с (результат осреднения ошибок по данным 13 станций в пределах изучаемой области, рис. 1, табл. 2). Вместе с тем результаты эксперимента № 1 (с пространственным шагом 2 км) характеризуются более реалистичной временной изменчивостью скорости ветра во время боры (рис. 3), чем результаты эксперимента № 4 (с пространственным шагом 1 км). Так, среднеквадратичное отклонение скорости ветра по результатам эксперимента № 4 для точек Маркотхский хребет и Крымск составляет 1,5—2,5 м/с, что хорошо согласуется с натурными данными (рис. 3), в то время как СКО по результатам эксперимента № 4 в 2 раза больше — от 3 до 5 м/с. На подветренном склоне, характеризуемом точкой Восточный пирс, наблюдаются самые большие значения скорости ветра и вместе с тем самая значительная ее временная изменчивость (СКО составляет 7,5 м/с), что объясняется большой неоднородностью ветрового потока во время боры, связанной с периодическими «сбросами» масс холодного плотного воздуха, опрокидыванием подветренных волн, формированием под-

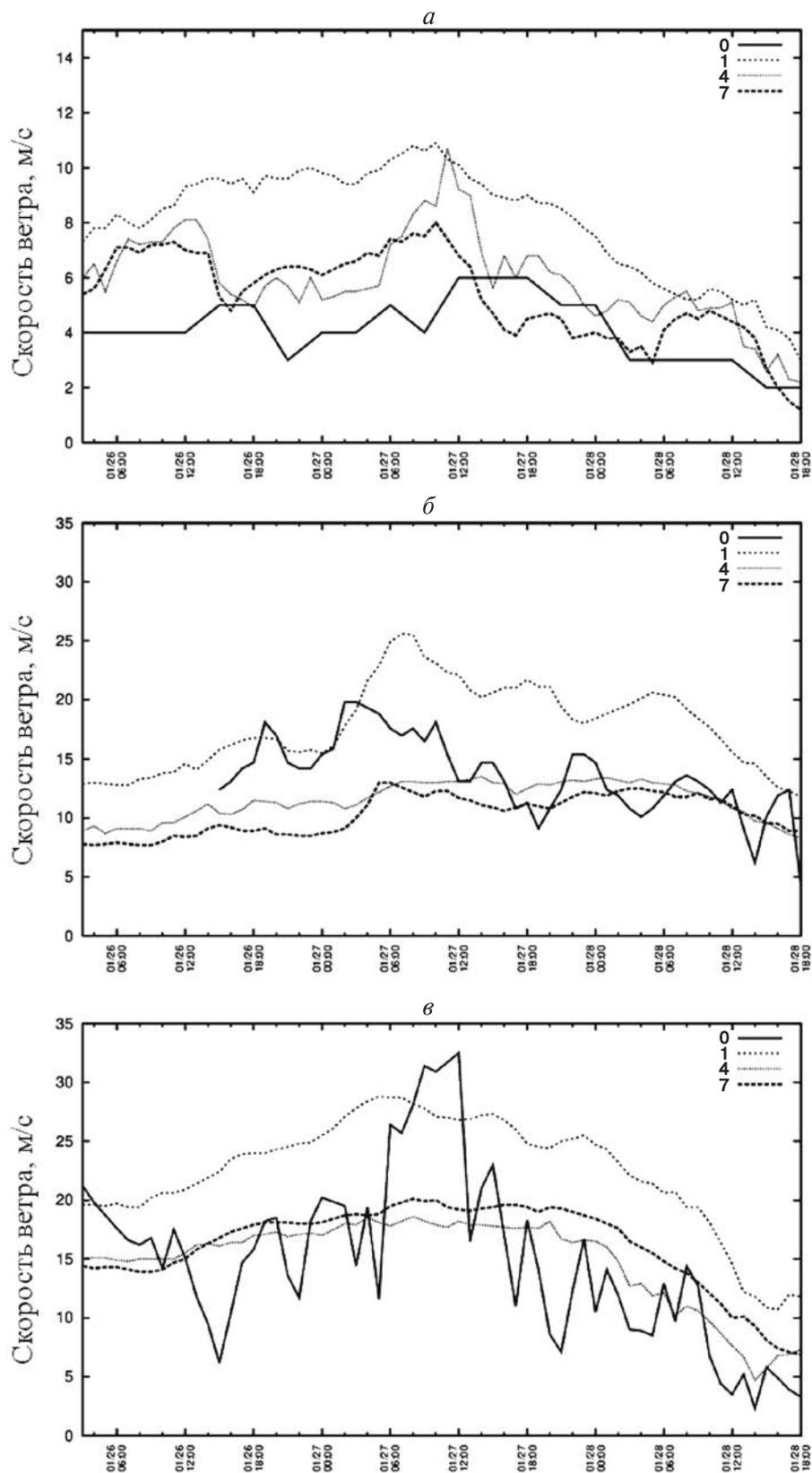


Рис. 3. Скорость ветра 26—28 января 2012 г. на станциях: *a* — Крымск, *б* — Маркотхский хребет, *в* — Восточный пирс по данным наблюдений (сплошная линия, или “0”) и по результатам моделирования (пунктир); 1, 4, 7 — номера экспериментов (см. табл. 1)

ветренного ротора и т.д. Ни один из численных экспериментов не воспроизвел эту изменчивость.

Таким образом, только высокое горизонтальное разрешение модельной сетки не позволяет достигнуть решительного успеха в численном прогнозе такого явления, как бора. Именно поэтому наряду с подбором пространственного разрешения эксперимента рассматривалось влияние параметризаций планетарного пограничного слоя, микрофизики облаков и дискретизации адвективных членов;

— оказалось, что порядок дискретизации адвективных членов мало влияет на величину приземной скорости ветра. Вместе с тем вертикальная структура при расчетах с адвекцией 2-го порядка существенно отличается от таковой при адвекции 4-го и 6-го порядка (вплоть до того, что при адвекции 2-го порядка ветер с высотой меняет направление с северного на южное). Адвекция 4- и 6-го порядка дает результаты, в большей степени соответствующие фактическим данным. Это объясняется в общем случае тем, что чем выше порядок численной схемы, описывающей перенос импульса, тем точнее будет восстановлено трехмерное поле скорости. В пределах пограничного слоя атмосферы влияние этого эффекта размывается на фоне вклада более весомых факторов, таких, как параметризация турбулентного обмена, фазовые переходы влаги (при боре они осуществляются в пределах пограничного слоя). По всей видимости, этим и объясняется отсутствие влияния порядка адвекции на величину приземной скорости ветра и, наоборот, ощутимое влияние на скорость ветра в свободной атмосфере, что отражается на изменении профиля ветра;

— влияние параметризаций микрофизики облаков на “прогноз” приземной скорости ветра невелико, хотя эксперименты со схемой Томпсона (№ 7) на большинстве станций дают несколько лучшие результаты, чем со схемой WSM6 (№ 2—6) (рис. 3). Однако это улучшение (в среднем на 0,5—1 м/с) нельзя считать статистически значимым. Вместе с тем преждевременно делать вывод о малой роли схемы параметризации микрофизики облаков, в частности принимая во внимание данные работы [16], в которой показано, что подветренные бури в Скалистых горах воспроизводятся ощутимо лучше при использовании параметризации Томпсона. Скорее всего, для выяснения роли параметризации микрофизики облаков недостаточно использовать результаты воспроизведения одного случая боры. В частности, “неуспех” выявления параметризации мог быть связан с тем, что в случае боры 26—28 января 2012 г. воздух, перетекающий через хребты, был далек от состояния насыщения, вал фоновых облаков не образовывался либо был выражен слабо (что подтверждается результатами визуальных наблюдений облачности в экспедиции НСО кафедры метеорологии МГУ). Конденсация водяного пара над горными хребтами, судя по всему, оказалась незначительной и по результатам численных экспериментов. Таким образом, не проявилось влияние параметризации микрофизики облаков;

— влияние параметризаций пограничного слоя атмосферы на прогноз приземной скорости ветра, напротив, велико, средняя ошибка при использовании схемы MYNN уменьшилась почти в 1,5 раза, максимальная — в 1,2, а СКО — в 1,3 раза по сравнению со схемой BouLac. Этот результат имеет четкое физическое обоснование. Бора — явление, которое развивается в пограничном слое, поэтому схема его параметризации может играть ключевую роль при моделировании процесса. Схема MYNN — одна из наиболее детальных и развитых, поэтому улучшение результатов прогноза неудивительно (хотя априори не очевидно, необходимы численные эксперименты, которые и были выполнены нами);

— результаты эксперимента с усвоением в качестве граничных условий прогностической информации GFS практически не отличаются от результатов эксперимента с усвоением данных реанализа FNL (табл. 2). Подчеркнем, что в общем случае прогностические поля метеорологических величин содержат больше ошибок, чем такие же поля данных реанализа. Полученный результат позволяет надеяться на успешность оперативного прогноза новороссийской боры;

— для всех численных экспериментов эмпирическая функция распределения ошибок скорости ветра близка к нормальной (рис. 2). Почти для всех экспериментов ошибка модели распределена от -5 до 5 м/с с вероятностью 70%, а мода приходится на 0 м/с (кроме эксперимента № 1), что свидетельствует об отсутствии систематических ошибок численного моделирования боры.

По итогам сравнения была выбрана наилучшая конфигурация, соответствующая численному эксперименту № 7, т.е. шаг сетки 1 км, порядок адвективных членов 4, параметризация микрофизики Томпсона и пограничного слоя атмосферы MYNN, которая дает “прогноз” скорости ветра в среднем в 1,5 раза, а на некоторых станциях (например, в Геленджике) в 3 раза более точный, чем рассчитанный с конфигурацией “по умолчанию” (эксперимент № 1).

Выводы:

— из всех исследованных параметризаций модели наибольшее влияние на результат численного моделирования боры оказывает параметризация пограничного слоя атмосферы и турбулентности, что свидетельствует о чувствительности явления к описанию пограничного слоя;

— различия между экспериментами с усвоением в качестве граничных и начальных условий реанализа и прогноза глобальной модели невелики, что в будущем позволит применять прогноз WRF в оперативной практике, используя результаты прогноза в прикладных целях (для расчета рисков, ветровых нагрузок, морского волнения, обледенения судов и т.д.);

— оценки точности прогноза скорости ветра во всех экспериментах в точках метеостанций показали, что ошибки модели с вероятностью 70% находятся в пределах ± 5 м/с. Такие значения ошибок соответствуют интервалу допусков [2] в прогнозе скорости

ветра на сутки (прогноз дается обычно в интервале 5 м/с, а допустимой ошибкой считаются отклонения от минимальной и максимальной границы интервала на ± 2 м/с). Таким образом, результаты воспроизведения скорости ветра при боре моделью WRF-ARW можно считать удовлетворительными. Однако нельзя забывать, что максимальные значения ошибок в точках станций могут превышать 15 м/с с вероятностью 1—3%. Также следует отметить, что в данном случае речь идет о прогнозе в конкретных точках в орографически сложном районе. В среднем для расчетной области величина ошибки составляет 4—5 м/с, т.е. прогноз можно считать успешным;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ефимов В.В., Барабанов В.С.* Моделирование новороссийской боры // *Метеорология и гидрология*. 2013. Т. 38, № 3. С. 171—176.
2. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2009. 62 с.
3. Новороссийская бора / Под ред. А.М. Гусева // *Тр. МГИАН СССР*. 1959. Т. 14. 355 с.
4. *Торопов П.А., Мысленков С.А., Самсонов Т.Е.* Численное моделирование новороссийской боры и связанного с ней ветрового волнения // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География*. 2013. № 2. С. 38—46.
5. *Andreas E.L., Claffey K.J., Makshas A.P.* Low-level atmospheric jets and inversions over the western Weddell sea // *Boundary-Layer Meteorology*. 2000. Vol. 97. P. 459—486.
6. CISL Research Data Archive. URL: <http://rda.ucar.edu/> (дата обращения: 15.05.2013).
7. *Durran D.R.* Another look at downslope windstorms. Part I: The development of analogs to supercritical flow in an infinitely deep, continuously stratified fluid // *J. Atmos. Sci.* 1986. Vol. 43, N 21. P. 2527—2543.
8. *Durran D.R., Klemp J.B.* Another look at downslope windstorms. Part II: Nonlinear amplification beneath wave-overturning layers // *J. Atmos. Sci.* 1987. Vol. 44, N 22. P. 3402—3412.
9. *Gohm A., Mayor G.J.* Numerical and observational case-study of a deep Adriatic bora // *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 2005. Vol. 131. P. 1363—1392.
10. *Grisogono B., Belusic D.* A review of recent advances in understanding the meso- and microscale properties of the severe Bora winds // *Tellus*. 2009. Vol. 61A, N 1. P. 1—16.
11. *Jiang Q., Doyle J.D., Smith R.B.* Interaction between trapped waves and boundary layers // *J. Atmos. Sci.* 2006. Vol. 63. P. 617—633.
12. *Klemp J.B., Lilly D.K.* The dynamics of wave-induced downslope winds // *J. Atmos. Sci.* 1975. Vol. 32. P. 320—339.
13. Mesoscale&Microscale Meteorology. URL: <http://www.mmm.ucar.edu> (дата обращения: 14.07.2013).
14. NOAA National Operational Model Archive & Distribution System. URL: <http://nomads.ncdc.noaa.gov/data.php> (дата обращения: 10.09.2013).
15. *Reinecke P.A.* Mountain waves and downslope winds: Forecasts, Predictability, and Data Assimilation: Doctor of Philosophy. University of Washington, 2008. 131 p.
16. *Rögnvaldsson Ó., Bao J.W., Ágústsson H.* et al. Downslope windstorm in Iceland — WRF/MM5 model comparison // *Atmos. Chem. Phys.* 2011. Vol. 11. P. 103—120.
17. *Shin H.H., Hong S.-Y.* Intercomparison of planetary boundary-layer parametrizations in the WRF model for a single Day from CASES-99 // *Boundary-Layer Meteorol.* 2011. Vol. 139. P. 261—281.
18. *Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J.* et al. A Description of the Advanced Research WRF Version 3 NCAR // Mesoscale and Microscale Meteorology Division, National Center for Atmospheric Res. Boulder, Colorado, USA, 2008. 113 p.
19. *Smith C.M., Skillingstad E.D.* Investigation of upstream boundary layer influence on mountain wave breaking and lee wave rotors using a large eddy simulation // *J. Atmos. Sci.* 2009. Vol. 66. P. 3147—3164.
20. *Toropov P.A., Myslenkov S.A., Shestakova A.A.* Numerical simulation of Novorossiysk bora and related waves using the WRF-ARW and SWAN models // *Russ. J. Earth. Sci.* 2012. Vol. 12. P. 1—7.

Поступила в редакцию
17.12.2013

Р.А. Торопов, А.А. Шестакова

TESTING OF THE WRF MODEL FOR FORECASTING THE NOVOROSIYSK BORA

Possible application of a mesoscale non-hydrostatic version of the WRF-ARW model for forecasting the Novorossiysk bora is analyzed. Eight numerical experiments were carried out with different boundary and initial conditions, parameters of physical processes and resolution of computational grid. Large amount of data collected during field investigations of the Novorossiysk bora allowed thorough verification of the modeling results. Optimum configuration of the model for numerical modeling of the Novorossiysk bora was suggested basing on the evaluation.

Key words: the Caucasian coast of the Black Sea, the Novorossiysk bora, mesoscale processes, mesoscale WRF-ARW model, parametrization, downslope windstorms.

УДК 911.3:33 625.025.2 656.032

Е.В. Ляшенко¹

ВЛИЯНИЕ НОВЫХ ФОРМ ОРГАНИЗАЦИИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК МЕЖДУ МОСКВОЙ И САНКТ-ПЕТЕРБУРГОМ НА ИХ ТРАНСПОРТНУЮ ДОСТУПНОСТЬ

На примере связей между Санкт-Петербургом и Москвой рассмотрено изменение транспортной доступности, связанное с вводом новых типов сообщения — “бюджетных” авиаперевозок и скоростного железнодорожного сообщения. Коридор связей между Санкт-Петербургом и Москвой самый загруженный в России. В связи с этим ввод новых типов сообщений не только не снизил поток на традиционных видах транспорта, но и стал причиной увеличения совокупного потока пассажиров и снижения средневзвешенного времени в пути на 12,6%, причем показатель тарифной доступности связей Москвы с Санкт-Петербургом снизился для автобусного и воздушного сообщения. Отмечено его повышение для железнодорожного сообщения в плацкартном вагоне, а также сопоставимые значения индекса тарифной доступности для авиационного и скоростного железнодорожного сообщения.

Анализ изменения физической доступности пригородных связей продемонстрировал, что ввод скоростного сообщения между Москвой и Санкт-Петербургом повлиял на пригородное сообщение. При этом изменения затронули разные зоны. Так, для пригородного сообщения Санкт-Петербургского железнодорожного узла максимальное ухудшение доступности наблюдается в ближней зоне (до 110 км вдоль магистрали). Для пригородного сообщения Московского железнодорожного узла с вводом скоростного железнодорожного сообщения ухудшение транспортной доступности наблюдается в дальнем поясе пригородного сообщения.

Ключевые слова: транспортная доступность, железнодорожный транспорт, тарифы, география транспорта, “бюджетные” авиаперевозки, Москва, Санкт-Петербург.

Введение. Несмотря на отсутствие в 2000-х гг. радикальных изменений пространственной структуры на пассажирском транспорте, транспортная доступность территории России для населения на отдельных участках транспортной сети претерпела существенные изменения. Они коснулись прежде всего связи Москвы и Санкт-Петербурга, которые могут быть рассмотрены как первый этап более кардинального изменения территориальной организации пассажирских перевозок в России. В связи с этим актуален анализ изменений организации транспортного сообщения между Москвой и Санкт-Петербургом в 2000-х и начале 2010-х гг. и их влияния на транспортную доступность для населения двух российских столиц и территорий, расположенных в этом транспортном коридоре.

Постановка проблемы. Изучение транспортной доступности важно при научном обосновании ряда планировочных задач. В большей степени это проявляется в европейской практике. В отечественной практике таких работ на региональном уровне немного. Среди них можно отметить работы советского времени, в которых освещались вопросы временной транспортной доступности пассажирского сообщения, рассчитывалась оптимальная удаленность мест приложения труда и центров города [2, 13]. Особо надо отметить работы В.Н. Бугроменко, в которых проводятся расчеты возможности маневрирования пассажир-

скими и грузовыми связями [1]. Позже появлялись лишь отдельные исследования, выполненные географами и сопряженные с изменениями транспортной системы страны [4]. Анализом и оценкой доступности с акцентом на ее тарифную составляющую в этот период занимались в основном экономисты [5, 7]. Таким образом, в настоящее время существует явный пробел в географических исследованиях такой важной проблемы, как оценка транспортной доступности различных территорий и городов и ее важнейших составляющих — тарифной и временной доступности для населения России.

В качестве объекта исследования выбран транспортный коридор, соединяющий Москву и Санкт-Петербург. Несмотря на очевидную уникальность региона, одним из первых столкнувшегося со значительными изменениями транспортной системы, исследований влияния изменений на транспортную доступность практически нет. В связи с этим целью исследования стала оценка изменения транспортной доступности двух столиц и отдельных районов прилегающих областей в ходе развития транспортной инфраструктуры, изменения тарифов на транспортные услуги и доли затрат на транспортные расходы в доходах населения в 2000-е гг.

Материалы и методы исследования. Источниками информации для исследования послужили данные Росстата, а также официальные отчеты деятельности

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экономической и социальной географии России, аспирантка; e-mail: elvilva@gmail.com

“бюджетных” (лоукост) авиакомпаний, ОАО “РЖД” и собранная автором статьи тарифная база за 2009—2013 гг., которая включает информацию о тарифах на авиаперевозки по всем связям Москвы с региональными центрами, имеющими прямое авиасообщение, и информацию о тарифах на авиаперелеты из крупнейших аэропортов страны в региональные центры. Помимо статистического анализа и метода “ключей” применялся также метод экспертных оценок.

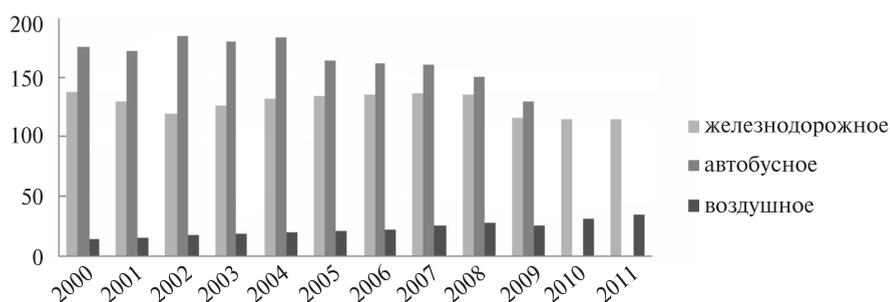
В рамках исследования учитывалось железнодорожное и авиационное сообщение. Перевозки личным автотранспортом и автобусное сообщение автор не рассматривала по двум причинам: первая — незначительный относительно других видов транспорта объем перевозок на средние расстояния (200—700 км); вторая — недостаток или полное отсутствие какой-либо статистической информации по перевозкам пассажиров этими видами транспорта.

Транспортная доступность — это затраты времени, средств, энергии на транспортное сообщение между пунктами. Абсолютная доступность оценивается расстоянием и затратами (например, абсолютная стоимостная доступность населенных пунктов равна стоимости проезда между этими пунктами). Относительная доступность представляет собой отношение абсолютной доступности к значениям распределения какого-либо параметра (например, времени, расстояния, дохода и т.д.). Автор использовала относительные показатели, так как они позволяют сравнивать отдельные территории между собой.

Результаты исследований и их обсуждение. Изменение организации пассажирских перевозок. На фоне общего снижения роли железнодорожного и автобусного сообщения на территории России наблюдается рост авиаперевозок внутри страны. При этом он пока не компенсирует снижения перевозок населения другими видами общественного транспорта.

Для коридора Москва — С.-Петербург, как и для России в целом, характерно увеличение доли воздушного сообщения в пассажирских перевозках (рисунок). При этом заметный спад объема железнодорожных перевозок не наблюдается; этим связь двух столиц сильно отличается от остальной России. С одной стороны, это связано с традиционно интенсивным пассажиропотоком, а с другой — с улучшающимися условиями перевозок в сторону более комфортного, надежного и скоростного железнодорожного сообщения.

Кроме этого увеличилась *временная доступность* каждого города. При расчете средневзвешенных показателей времени в пути оказалось, что эти изменения привели к сокращению средневзвешенного времени в пути на час². Если принять усредненную



Динамика междугородних перевозок пассажиров транспортом общего пользования (млн человек), по [10–12]

продолжительность поездки равной 8 ч., то с вводом 6 поездов “Сапсан” в дополнение к уже существовавшему “Невскому экспрессу” (время в пути от 3 ч. 45 мин. до 4 ч.), вес которых в пропускной способности составляет 24%, то сокращение среднего времени по направлению Москва — Санкт-Петербург составит с 8 до 7 ч. В связи с этим можно говорить о все еще высокой доле ночных поездов в сообщении между столицами, но наблюдается тенденция к снижению временной доступности.

Изменение пассажиропотока. При сравнении размеров пассажиропотока в 2010 г. и в 2009 г. по направлению Москва — С.-Петербург оказалось, что объем перевозок скоростным железнодорожным сообщением за год его существования в новом формате достиг объема авиационных перевозок между столицами в 2009 г. (1,7 млн пассажиров). При этом наблюдалось увеличение числа пассажиров авиатранспорта на этом направлении (с 1,7 млн в 2009 г. до 2,2 млн пассажиров в 2010 г.). Таким образом, в условиях растущего спроса на услуги перевозок в транспортном коридоре Москва — С.-Петербург вместо переключения пассажиров с одного вида транспорта на другой наблюдается рост перевозок как в скоростном железнодорожном, так и в авиационном сообщении. Это говорит о ненасыщенности спроса на перевозки между Москвой и С.-Петербургом.

При анализе уровня *тарифной доступности* в работе [8] предложено использовать разработанный показатель индекса тарифной доступности (ИТД), который позволяет проследить динамические изменения тарифной доступности по направлению Москва — С.-Петербург. Он рассчитывается по формуле

$$Index = 100 \cdot \frac{\sum T_i}{I - LW}$$

где I — доход, LW — прожиточный минимум, T — тариф.

Этот показатель отражает отношение потенциальных затрат на транспорт к доходам населения за вычетом оплаты базовых расходов, таких как питание, здравоохранение, ЖКХ и другие обязательные платежи (далее используется термин “свободные доходы”

² Рассчитано автором по расписанию железнодорожного сообщения Москва — Санкт-Петербург.

для обозначения доходов за вычетом обязательных платежей). В качестве критерия суммы выплаты используется величина прожиточного минимума, это наиболее подходящая единица, регулярно рассчитываемая статистикой на региональном уровне. Этот показатель позволяет количественно измерить доступность места разными видами транспорта, учесть их связь с региональными различиями в доходах населения и их динамику.

В табл. 1 представлены расчеты индекса тарифной доступности для направления Москва — С.-Петербург, учитывающие тарифы для разных видов транспорта. Источником информации для расчетов послужили данные Росстата и база данных по тарифам, собранная автором.

Из данных табл. 1 видно, что за прошедшие 3 года увеличился уровень тарифной доступности Москвы и С.-Петербурга авиационным транспортом, о чем свидетельствует уменьшение показателя ИТД. Снижение показателя с 16 до 8 в случае доступности для жителей Москвы означает, что в 2009 г. стоимость полета в Санкт-Петербург составляла 16% от свободных доходов, а в 2012 г. — 8%, т.е. снизилась в 2 раза, сократилась и стоимость проезда автобусным сообщением. На железнодорожном транспорте уровень тарифной доступности между двумя столицами снизился, что выражается в увеличении удельного индекса стоимости билета. Это связано как с вводом более дорогих (но в то же время более скоростных) видов сообщения, так и с увеличением стоимости проезда в плацкартном вагоне, что не покрыло прирост доходов населения ни одной из столиц. Последнее, как показывают приведенные расчеты, характерно для всей страны. Пока не изучен вопрос предела приемлемого значения показателя индекса тарифной доступности.

В связи с тем что сообщение между Москвой и С.-Петербургом часто используется для деловых поездок, некорректно говорить о повышении удельной стоимости поездки как о негативном явлении. Временной промежуток, на базе которого проводятся сравнения, не позволяет однозначно выявить воздействие введения скоростного транспорта на авиасообщение и на общую подвижность населения. Тем не

менее, несмотря на более высокие тарифы, для пассажиров значим фактор времени. Это отражают высокие значения показателя загрузки поездов “Сапсан” и увеличение темпа прироста пассажирских перевозок этим видом транспорта.

При разделении пассажиров на несколько социальных страт можно для каждой из них определить те изменения, с которыми столкнулась конкретная социальная группа на направлении Москва — С.-Петербург. Автор выделяет 3 группы (хотя можно выделить больше), каждого пассажира можно в зависимости от обстоятельств отнести к разным группам. Критерием отбора стали мнения экспертов и представления автора о важности временной и/или тарифной составляющей для тех или иных страт пассажиров и о раз- мере потока каждой из них:

1) *любители ночных поездов* — это пассажиры, для которых важно добраться без дополнительных затрат; они готовы тратить на поездку до 8–9 ч. Для этой группы удельная тарифная доступность снизилась незначительно (показатель ИТД вырос на 1–2 процентных пункта как для жителей Москвы, так и для жителей С.-Петербурга), при этом не изменилась ни временная доступность, ни значения комфорта поездки;

2) *ограниченные по времени* — это пассажиры, которые используют либо авиа-, либо скоростное железнодорожное сообщение; для них менее значим фактор тарифа, им важнее как можно быстрее добраться до пункта назначения. К ним можно отнести тех, кто часто совершает поездки в один из городов в выходные дни либо в командировки. Для этой группы пассажиров произошли кардинальные изменения в выборе способа перемещения: расширился выбор, увеличилась доступность авиационного транспорта. Скоростное железнодорожное сообщение при этом сопоставимо по затратам, но в ряде случаев это более быстрый и меньше зависимый от внешних условий (например, погодных) вид сообщения;

3) *смешанный тип*, к нему относятся пассажиры, которые в зависимости от случая могут выбрать либо поезд (как скоростной, так и ночной), либо самолет. У них появился больший выбор, при этом повышение

Таблица 1

Значения индекса тарифной доступности для жителей Москвы и Санкт-Петербурга (составлена автором)

Транспортные средства	Класс комфорта (для поезда)	Значение индекса для жителей Москвы, %		Значение индекса для жителей Санкт-Петербурга, %	
		2009 г.	2012 г.	2009 г.	2012 г.
Поезд	Плацкарт	2	3	3	5
	Купе	н/д	5	н/д	9
	“Сапсан”	н/д	7	н/д	12
Самолет		16	8	21	14
Автобус		6	3	8	6

удельной стоимости железнодорожного сообщения не привело к ее выравниванию с более дорогим авиационным сообщением.

Говоря о роли нового вида сообщения (скоростное железнодорожное сообщение) и ранее действовавшего “бюджетного” авиасообщения на средних и дальних расстояниях, необходимо отметить положительные изменения, например предложение относительно современных способов передвижения, пользующихся популярностью у жителей столиц, о чем свидетельствует высокая заполненность скоростных поездов³. Среди отрицательных моментов можно отметить высокий тариф, который как для направления Москва — С.-Петербург, так и для остальных регионов может быть нивелирован гибкой тарифной политикой на скоростное сообщение. Относительно авиационного сообщения отмечается, что вхождение на рынок бюджетных авиаперевозок привело к увеличению подвижности населения (авиакомпании были нацелены на привлечение населения, которое ранее не пользовалось воздушным транспортом из-за высокой стоимости) при условиях большей финансовой доступности услуг и относительного сокращения времени в пути. Вхождение на рынок дискаунтеров привело (даже после закрытия ряда авиакомпаний) к уменьшению стоимости авиаперевозок для населения, о чем свидетельствуют значительно снизившиеся значения ИТД.

Изменение транспортной доступности пригородного сообщения. Принято считать, что введение скоростного сообщения на линии Москва — С.-Петербург негативно повлияло на сообщение соседних областей и пригородов со столицами. Автором проведено сравнение расписания электропоездов до 2009 г. с расписанием 2012 г. с целью выявления различий. Сравнение расписаний проводилось для участков Москва — Тверь, Тверь — Бологое и Лихославль — Тверь (табл. 2).

При сравнении числа пригородных электропоездов выявлено, что в наибольшей степени сократилась регулярность сообщения с внутренними районами Тверской области. Таким образом, максимально ущемленными оказываются те, кто совершает поездки из Москвы в более отдаленные части области (в летнее время значительную долю из них составляют дачники).

Для пригородной зоны С.-Петербурга выполнено аналогичное сравнение расписания движения пригородных электропоездов до крупнейших региональных центров и до дальних станций (“дальних дач”). Оказалось, что снижение регулярности перевозок произошло на ближних расстояниях, например на участке С.-Петербург — Чудово (110 км), в то время как регулярность сообщения на участке С.-Петербург — Малая Вишера (175 км) изменилась незначительно (табл. 3).

Таким образом, в сообщении с Москвой в наиболее невыгодном положении оказались дальние дачники и жители отдаленных районов Тверской области, расположенных вдоль железнодорожной магистрали; в случае с С.-Петербургом в большей степени лишились возможности перемещаться с прежней регулярностью те, кто имеет дачные участки или проживает на расстоянии не более 110 км от С.-Петербурга.

Используя опыт введения скоростного сообщения на отдельных участках, для дальнейшей социально ориентированной модернизации транспортной системы России необходимо применять комплексный подход к решению проблемы интеграции скоростного сообщения в существующую инфраструктуру и оценивать степень влияния этой интеграции на разные категории населения. Как показывают примеры Тверской и Новгородской областей, улучшения транспортной доступности территории, особенно дачных районов, можно было бы достичь за счет дополнения электропоездов автобусным сообщением на конечных пунктах или в крупных пересадочных пунктах.

Таблица 2

Число пригородных электропоездов на отдельных участках магистрали Москва — Санкт-Петербург (составлена автором)

	Расписание 2008 г.	Расписание 2012 г.
Москва — Тверь	18 электропоездов	16 электропоездов
Тверь — Бологое	9 электропоездов, в том числе ранние утром и поздние вечером	5 электропоездов в выходной день (в будни 7 с ранними и поздними поездами)
Лихославль — Тверь	13 электропоездов	13 электропоездов

Таблица 3

Число пригородных электропоездов Санкт-Петербургского железнодорожного узла*

	Расписание 2008 г.	Расписание 2012 г.
С.-Петербург — Малая Вишера	8 электропоездов	7 электричек
С.-Петербург — Чудово	16 электропоездов	12 электропоездов (в выходные дни)

* Составлено автором на основе интернет-источников.

³ По официальной статистике РЖД, заполняемость “Сапсана” в период с 2009 по 2012 г. составляла 84% (http://speedrail.ru/scm_in_russia/peregrine/).

Выводы:

— изменения транспортной доступности вызваны появлением “бюджетных” авиаперевозчиков и введением скоростного железнодорожного сообщения. Появление этих видов сообщения увеличило связность Москвы и С.-Петербурга за счет роста числа рейсов между столицами, привело к снижению удельного тарифа на авиасообщение (показатели ИТД снизились с 21 до 14 пунктов для жителей С.-Петербурга и с 16 до 8 для жителей Москвы), привело к сокращению средневзвешенного времени в пути на железнодорожном сообщении с 8 до 7 ч., т.е. на 12,5%, адаптировало современные рыночные механизмы развития транспортной отрасли, которые проявляются в том числе в формировании тарифов;

— изменился размер пассажиропотока, что связано как с потребностями населения (например, увеличился поток маятниковых мигрантов), так и с ростом предложения транспортных услуг, что также влияет на рост спроса;

— выявлены территории с максимальным сокращением физической доступности в регулярности сообщения: для пригородного сообщения Санкт-Петербургского железнодорожного узла максимальное ухудшение доступности наблюдается в ближней зоне (до 110 км вдоль магистрали), для пригородного сообщения Московского железнодорожного узла с вводом скоростного железнодорожного сообщения ухудшение транспортной доступности наблюдается в дальнем поясе пригородного сообщения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугроменко В.Н. Транспорт в территориальных системах. М.: Наука, 1987. 112 с.
2. Гольц Г.А. Транспорт и расселение. М.: Наука, 1971. 248 с.
3. Государственный комитет статистики. Показатели величины прожиточного минимума. URL: <http://www.gks.ru/gis/tables/UROV-6.htm> (дата обращения: 10.12.2012).
4. Дубовик В.О. Методы оценки транспортной доступности территории // Региональные исследования. 2013. № 4. С. 11—18.
5. Заварзин И.В. Организация речных пассажирских перевозок в регионах с ограниченной транспортной доступностью: Автореф. канд. дисс. Н. Новгород, 2012.
6. Интернет-сайт Национальной системы скоростного движения. URL: http://speedrail.ru/scm_in_russia/peregrine/ (дата обращения: 01.10.2012).
7. Куратова Э.С. Методология экономической оценки товарообменных процессов для целей совершенствования пространственной организации транспорта: Автореф. канд. дисс. М., 2010.
8. Ляшенко Е.В., Уваров А.В. Возможности формирования “бюджетных” авиаперевозок в России (на примере

Московского авиационного узла) // Территориальная организация общества и управление в регионах: Мат-лы Всеросс. науч.-практ. конф. 22—24 марта 2007 г. Ч. 1. Воронеж, 2007. С. 68—74.

9. Результаты Всероссийской переписи населения. URL: <http://www.perepis-2010.ru/> (дата обращения: 01.10.2012).

10. Транспорт в России: Стат. сб. М.: Государственный комитет Российской Федерации по статистике, 2005. 198 с.

11. Транспорт в России: Стат. сб. М.: Государственный комитет Российской Федерации по статистике, 2007. URL: http://www.gks.ru/bgd/free/B07_55/Main.htm (дата обращения: 12.10.2012).

12. Транспорт и связь в России: Стат. сб. М.: Государственный комитет Российской Федерации по статистике, 2005. 198 с. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/3e4fc4004e3423529616fe18bf0023dd (дата обращения: 12.10.2012).

13. Хауке М. О. Пригородная зона большого города. М., 1960.

Поступила в редакцию
13.06.2013

E.V. Lyashenko

NEW ORGANIZATION OF PASSENGER COMMUNICATION BETWEEN MOSCOW AND ST.-PETERSBURG AND ITS IMPACT ON THEIR TRANSPORT ACCESSIBILITY

Transformation of passenger transportation by different transport means which took place in Russia during the 2000-ies was the most pronounced for the communication between Moscow and St.-Petersburg. Therefore this could be regarded as a first stage of more profound changes in the territorial organization of passenger transportation in Russia.

The analysis of transformation of the transport accessibility for Moscow — St.-Petersburg direction allows identification of new forms of communication, i.e. low-cost air transportation and high-speed railway service, as well as the changes in passenger traffic. The latter are due to both people needs under the expanding economic exchange between the “capitals” and the increasing commuter flows and the growing offer of transportation services whipping up the demand.

Causes of the transformation and the first results in terms of the transport accessibility of the territory under study are discussed. The core of the study is the transport accessibility represented in both time and money aspects.

Key words: passenger transportation, transport accessibility, transformation, Moscow — St.-Petersburg, low-cost air transportation, railway transport, air transport.

УДК 528.873.041.3

Е.А. Балдина¹, М.Ю. Грищенко²**МЕТОДИКА ДЕШИФРИРОВАНИЯ РАЗНОВРЕМЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ В ТЕПЛОВОМ ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ³**

Космические снимки Земли в тепловом инфракрасном диапазоне относительно мало используются в географических исследованиях регионального охвата. Разработана методика дешифрирования разносезонных тепловых инфракрасных космических снимков для целей эколого-географического и ландшафтного картографирования на основе временного образа как дешифровочного признака. Исследование выполнено на примере двух территорий, для которых характерна значительная гетерогенность теплового поля, — части крупного города — промышленного центра и действующего вулкана. В качестве исходных материалов использованы разновременные снимки ТМ и ЕТМ+/Landsat (канал 10,4—12,5 мкм). Предложено два подхода к анализу снимков — выявление тепловых аномалий местности и выявление тепловой структуры местности. В результате получены карты, демонстрирующие результаты применения предлагаемой методики.

Ключевые слова: географическое дешифрирование, космические снимки, тепловой инфракрасный диапазон, разновременные снимки, Landsat.

Введение. Изображения Земли в тепловом инфракрасном диапазоне (тепловые инфракрасные снимки) — особый источник географической информации, поскольку передают относительные различия в интенсивности теплового излучения земных объектов, не воспринимаемые человеческим зрением. Наиболее существенно на интенсивность теплового излучения влияет температура поверхности, которая в значительной степени определяется собственным излучением объектов, обусловленным их способностью аккумулировать солнечную энергию, а также поступлением эндогенного тепла Земли или теплоотдачей работающих механизмов. Интенсивность излучения земных объектов определяется их физическими и химическими свойствами (цвет, влагосодержание, шероховатость поверхности и др.), особенностями биохимических процессов [16], на нее влияет состав горных пород или вид материалов (сооружения), тип почв, мощность растительного покрова, тепловое загрязнение. Тепловые изображения в значительно меньшей степени используются для дешифрирования объектов или их свойств, чем снимки Земли в других диапазонах спектра, в связи с чем представляется актуальной разработка методов извлечения именно географической информации из тепловых снимков.

Постановка проблемы. Съёмка из космоса в тепловом инфракрасном диапазоне (8—14 мкм) ведется с 1960 г., когда первые снимки такого типа были получены с космического аппарата TIROS-1. Уже в течение более 50 лет тепловые инфракрасные снимки используются для решения различных задач в науках

о Земле, в первую очередь в метеорологии [2, 15], океанологии [9, 10], тектонике [3, 4], при поиске полезных ископаемых [5, 11], вулканологии и сейсмологии [13], главным образом на уровне планеты в целом и ее крупнейших частей. В существенно меньшей степени развито использование тепловых инфракрасных космических снимков для изучения геосистем на уровне природных регионов, площадь которых не превышает 1 млн км², т.е. на том масштабном уровне, где сосредоточена большая часть исследований географической науки [8, 14]. На этом масштабном уровне распространение получили исследования тепловых островов городов [1, 17—19], опирающиеся, как правило, на данные со спутников серии Landsat, а также Terra (аппаратура MODIS и ASTER).

Материалы и методы исследований. Цель исследований — выявить возможности и разработать методику дешифрирования свойств земных объектов на снимках в тепловом инфракрасном диапазоне, представить результаты в виде картографических материалов, полезных для ландшафтных и эколого-географических исследований. Для примера выбраны две территории, где тепловое излучение служит индикатором характерных процессов, — часть крупного города — промышленного центра (Нижний Новгород) и действующий вулкан (влк Головнина на о. Кунашир) с прилегающей территорией.

На снимках в тепловом инфракрасном диапазоне фиксируется яркостная температура объектов земной поверхности, которая зависит от излучательной способности тела и его температуры в момент съёмки.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, лаборатория аэрокосмических методов, вед. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail*: baldina@geogr.msu.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, аспирант; *e-mail*: m.gri@geogr.msu.ru

³ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 13-05-41233).

Разделение этих двух компонент — сложная задача, которая решается математическими методами, как правило, с целью вычисления температуры поверхности. Используя только тепловое изображение, где уровнем яркости передается суммарная интенсивность теплового потока, можно, применяя приемы географического дешифрирования, по относительным контрастам выявить объекты и их свойства, которые формируют тепловое излучение разной интенсивности.

Учитывая сильную изменчивость теплового излучения, ее суточные и сезонные колебания, подверженность случайным изменениям, для выявления характерных теплоизлучательных свойств территории предложено использовать не один снимок, а несколько, что позволит избежать влияния случайных факторов [1]. Здесь применяется “многовременной снимок” [6] — совокупность динамического ряда сопоставимых снимков территории. Предполагается, что именно в случае анализа такой сильноизменчивой характеристики, как интенсивность теплового излучения, использование многовременного снимка, собранного из одномоментных, может быть особенно эффективным. Соединение отдельных снимков в многовременной позволяет поставить в соответствие каждой точке земной поверхности несколько значений яркости по числу исходных снимков. Этот ряд, характеризующий изменения яркости элемента изображения на всех снимках, которые составляют многовременной снимок, по аналогии со спектральным образом на многозональном снимке, назван временным образом [6]. Временной образ представляет смену состояний объекта, выраженную в изменении яркости его изображения. Его можно использовать как интегральный признак, который через информацию об изменении яркости объекта позволяет выявлять его свойства, проявляющиеся в этих изменениях.

При выборе разновременных снимков принимается во внимание, что интенсивность теплового излучения объектов, зависящая от прихода солнечной радиации, существенно меняется в течение суток, по сезонам, возможны и многолетние изменения. Суточные и сезонные изменения обладают выраженной цикличностью, в которой проявляются типичные тепловые свойства объектов. Поскольку повторная в течение одних суток тепловая инфракрасная съемка проводится только с очень низким пространственным разрешением, было решено использовать массив снимков, отражающий сезонную динамику интенсивности теплового излучения.

Важнейший этап изучения территории по тепловым инфракрасным снимкам — выбор подходящих снимков. Поскольку поток теплового излучения, регистрируемый на спутнике, существенно зависит от состояния атмосферы [12], необходимо использовать снимки без облаков, тумана и дымки. Второе важное условие — ряд снимков должен быть равномерным и охватывать все сезоны. Здесь следует отметить, что равномерность ряда снимков — понятие относитель-

ное, она может варьировать в зависимости от особенностей территории исследования. Выявлено, что в зимний период различия в интенсивности теплового излучения разных объектов как в городской среде, так и в природной весьма малы, поэтому число снимков для зимнего периода должно быть меньше, чем для летнего. Так, при исследовании районов с продолжительной зимой, например в Заполярье, общее число снимков в ряду будет меньше, чем при исследовании территории в умеренном поясе. Приходится также учитывать особенности смены сезонов и их продолжительность в разных регионах, поскольку снимки, полученные в период активной вегетации, более информативны при оценке теплового излучения растительного покрова.

В качестве основного материала для исследования подобрано 23 безоблачных снимка со спутника Landsat-7 (14 на южную часть Нижнего Новгорода и 9 на кальдере влк Головина), которые получены в период бесперебойной работы съемочной системы ETM+ с апреля 1999 г. по конец мая 2003 г., а также со спутника Landsat-5 (система TM). Использован тепловой инфракрасный канал с длиной волны 10,4—12,5 мкм, который соответствует максимуму интенсивности теплового излучения Земли. Эти снимки имеют наилучшее пространственное разрешение в тепловом инфракрасном диапазоне из имеющихся в открытом доступе — 60 и 120 м.

Методика обработки снимков. Предложены два подхода к анализу разновременных тепловых снимков — выявление устойчивых тепловых аномалий территории и дешифрирование тепловой структуры местности. Под *тепловой аномалией* здесь понимается отклонение интенсивности теплового излучения территории от фонового значения (в сторону как увеличения значений интенсивности теплового излучения, так и уменьшения), приуроченное к некоторому участку земной поверхности; под *тепловой структурой местности* — обусловленное неравномерностью теплового поля сочетание участков местности, характеризующихся разными типами сезонной динамики интенсивности теплового излучения.

Методика работы представлена на рис. 1. Первый этап — создание многовременных снимков — включает выбор подходящих изображений, их предварительную обработку и формирование многоканального снимка из разновременных. При этом отдельные снимки размещаются в порядке смены сезонов без учета года съемки исходя из того, что сезонные изменения интенсивности теплового излучения значительны, а многолетние изменения в пределах одного сезона выражены слабее. Дальнейшая методика работы зависит от цели исследования.

При выявлении *тепловых аномалий* второй этап состоит в создании синтезированных изображений — одного или нескольких вариантов синтеза разносезонных снимков, дающих наиболее контрастное изображение территории. Разным цветом здесь отображаются



Рис. 1. Схема предлагаемой методики

объекты и участки местности, имеющие разную динамику излучения за период, заданный сроками получения используемых при синтезе снимков. Выявление тепловых аномалий на этих изображениях проводится визуально, для них строятся графики временных образов, на основе которых осуществляется классификация тепловых аномалий выделенных типов. Порядок расположения в легенде карты тепловых аномалий разных типов таков: сначала даются положительные тепловые аномалии, затем отрицательные, причем внутри этих подразделений сначала даются типы тепловых аномалий, сохраняющиеся в течение наибольшего количества времени в течение года, затем те, которые сохраняются в течение меньшего промежутка времени, и т.д.

При выявлении *тепловой структуры* на втором этапе проводится кластеризация многовременного снимка методом ISODATA при разных параметрах. Из полученных вариантов с разным числом кластеров выбирается один; к критериям качества результата кластеризации относятся низкая дробность контуров, возможность подтвердить выделение тех или иных однородных участков дополнительной информацией. На этом этапе привлекаются картографические и аэрокосмические источники, данные полевых обследований; при необходимости схема кластеризации корректируется, например, путем объединения отдельных кластеров. В нашем исследовании использованы все виды дополнительной информации, включая собственные материалы полевых обследований для обоих участков. Названия полученным тепловым “зонам” следует давать на основании наиболее репрезентативных черт сезонной динамики интенсивности их теплового излучения.

Результаты исследований и их обсуждение. Полученные результаты применения предложенных подходов к дешифрированию тепловых свойств территорий рассмотрим отдельно для двух выбранных участков.

Нижний Новгород (южная часть). Река Ока разделяет выбранную территорию на две различающиеся

по природным условиям и особенностям использования части — возвышенное правобережье и низменное левобережье. Для правобережья характерны расчлененный рельеф, большая доля парковых и лесопарковых участков, малое число промышленных предприятий. Здесь присутствуют объекты, существенно отличающиеся по функциональному значению и теплоизлучательным свойствам: крупные по площади объекты рекреационного и природоохранного значения (например, крупнейший в городе лесопарк Щелоковский Хутор), значимые промышленные объекты (например, завод “Нител”), крупные жилые массивы многоэтажной (Щербинки, Мыза, район ул. Бекетова и др.) и малоэтажной (Дубенки, Сахарный Дол и др.) застройки. Кроме того, на выбранный фрагмент попадают пригородные безлесные земли (луга и поля), массивы садовых участков, небольшие населенные пункты.

Для левобережья, напротив, характерен равнинный рельеф (большая часть территории — укрепленные участки пойм Волги и Оки). Здесь находятся все крупнейшие промышленные предприятия города (в том числе ОАО “ГАЗ”, ОАО “РУМО”, завод штампов и прессформ (ЗШП) и др.), характерна высокая плотность жилой застройки — многоэтажные районы (Северный, Мончегорский, Соцгород-I, -II и др.) и малоэтажные районы (Гвоздильный, Парижской Коммуны и др.). Присутствуют небольшие объекты рекреационного назначения (Автозаводский ПКиО, парк Дубки и др.).

При выявлении тепловой структуры города на его территории выделено 7 типов структуры — “зон” (рис. 2, А). Каждому типу дано условное название, которое отражает уровень и характер динамики интенсивности теплового излучения объектов данного типа (“зоны”).

Картографические результаты дешифрирования тепловых аномалий (рис. 2, Б) представлены следующим образом. На фоновой территории выделены тепловые аномалии, проявляющиеся в разные сезоны

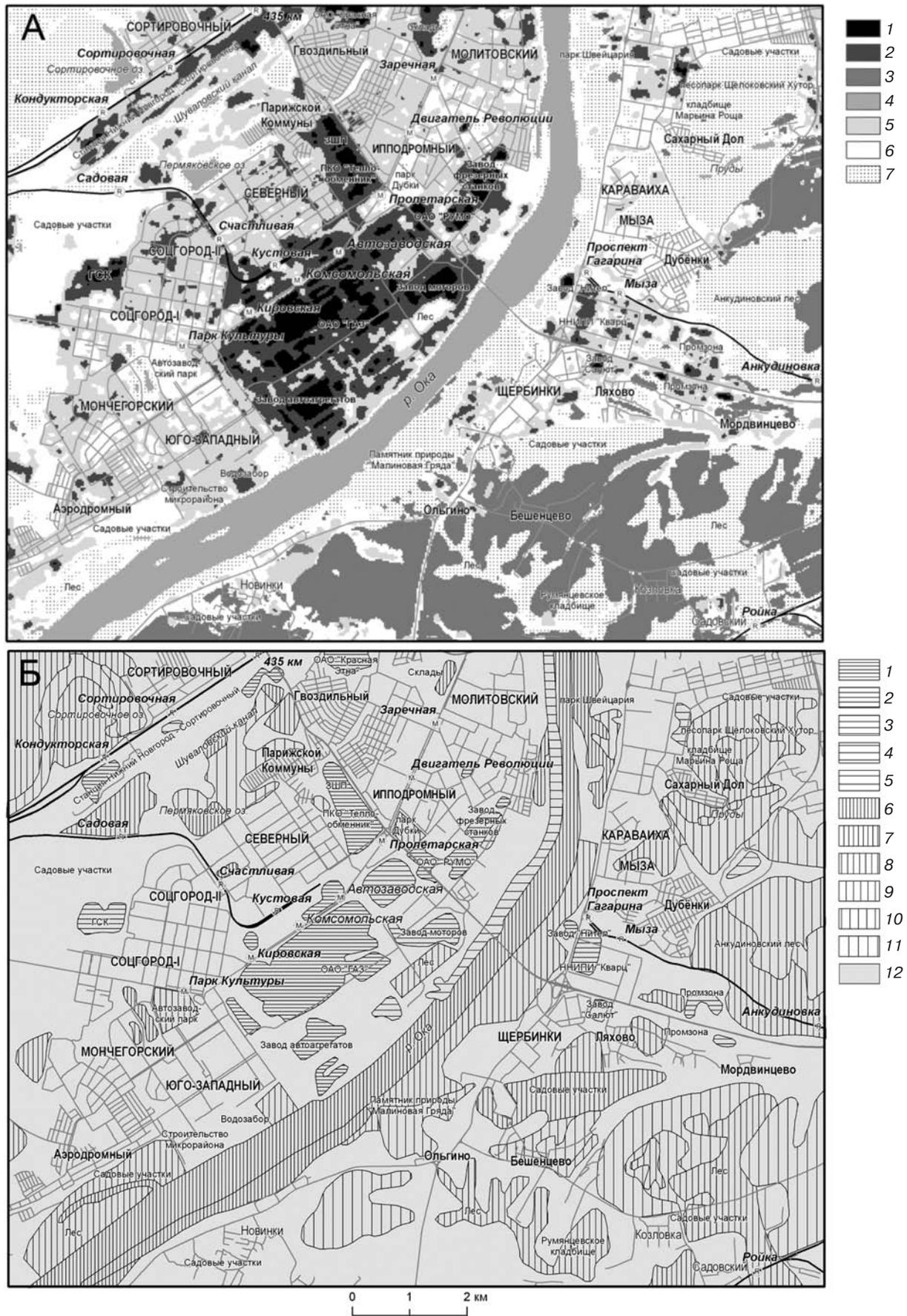


Рис. 2. Результаты дешифрирования тепловых снимков южной части Нижнего Новгорода: А — карта тепловой структуры (названия зон даны на основании наиболее репрезентативных черт сезонной динамики интенсивности их теплового излучения): 1 — зоны экстре-

года, приведена их классификация по пространственно-временному признаку. Все тепловые аномалии разделены на положительные (интенсивность теплового излучения выше фона) и отрицательные (интенсивность теплового излучения ниже фона).

Кальдера влк Головнина. Вулкан Головнина находится на о. Кунашир, это самый южный действующий вулкан Курильских островов. Он представляет собой кальдеру, занятую двумя озерами — Горячим и Кипящим, которые соединены каналом. Диаметр кальдеры 4—4,5 км, перепад высот в ее пределах составляет 474 м (от вершины г. Головнина, 541 м над у. м., до отметки дна оз. Горячее — 67 м). Днище кальдеры плавно спускается к урезу оз. Горячее, в центре находятся два экструзивных купола с максимальной высотой 276 м, служащие естественным водоразделом озер. Размеры оз. Горячее — 2,5×1 км, глубина более 60 м, оз. Кипящее — 200×300 м, глубина 16 м. Вода в обоих озерах отличается кислой реакцией и богата сульфатными соединениями. По берегам озер присутствует множество сольфатар и горячих источников. Вода в оз. Кипящее имеет повышенную температуру (около 30 °С в течение всего года) и никогда не замерзает; вода в оз. Горячее — около 18 °С в теплую часть года, а в холодное время года значительная часть акватории озера покрыта льдом [7]. Растительный покров кальдеры весьма разнообразен для такой небольшой территории и представлен сообществами бамбучника с редколесьем из ели Глена, лесами из ели Глена, зарослями кедрового стланика (главным образом в центральной части кальдеры), широколиственными лесами (в западной части кальдеры), смешанными хвойно-широколиственными лесами (северная часть кальдеры). Участки вокруг фумарол и серных источников практически лишены растительности. Кальдера влк Головнина находится на территории Курильского заповедника и является объектом охраны федерального значения.

Обработка многовременного снимка кальдеры влк Головнина методом кластеризации позволила выделить 5 типов тепловой структуры (“зон”) (рис. 3, А). Принцип классификации тепловых аномалий аналогичен реализованному при дешифрировании тепловых аномалий в южной части Нижнего Новгорода — выделены положительные и отрицательные тепловые аномалии, проявляющиеся в разные сезоны (рис. 3, Б).

Результаты дешифрирования представляют собой визуализацию структурных составляющих теплового поля территории с выделением конкретных объектов,

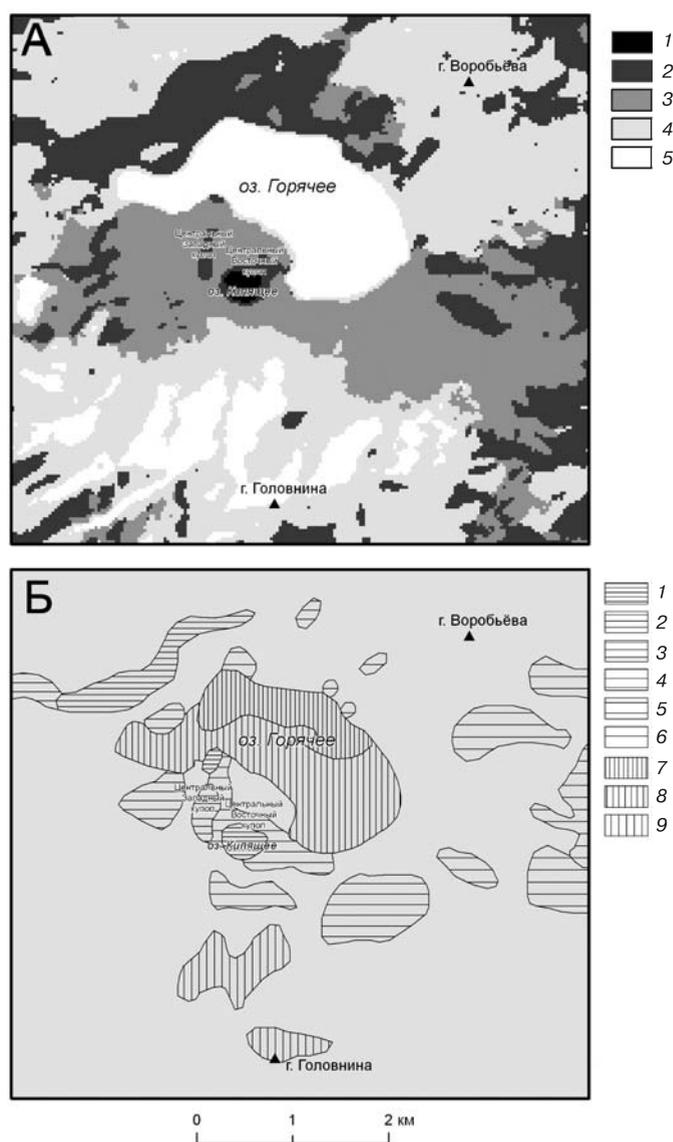


Рис. 3. Результаты дешифрирования тепловых снимков кальдеры вулкана Головнина: А — карта тепловой структуры (названия зон даны на основании наиболее репрезентативных черт сезонной динамики интенсивности их теплового излучения): 1 — зоны экстремально высокой интенсивности теплового излучения, 2 — зоны повышенной интенсивности теплового излучения со значительными сезонными амплитудами, 3 — зоны повышенной интенсивности теплового излучения с уменьшенными сезонными амплитудами, 4 — зоны пониженной интенсивности теплового излучения, 5 — зоны низкой интенсивности теплового излучения. Б — карта тепловых аномалий (порядок расположения тепловых аномалий разных типов приведен по преобладающему сезону и продолжительности времени их выраженности): положительные: 1 — постоянно выраженные, 2 — выраженные весь год (кроме зимы), 3 — выраженные весь год (кроме зимы), 4 — выраженные весной и осенью, 5 — выраженные осенью, 6 — выраженные весной; отрицательные: 7 — постоянно выраженные, 8 — выраженные весь год (кроме зимы), 9 — выраженные осенью

← мало высокой интенсивности теплового излучения, 2 — зоны очень высокой интенсивности теплового излучения, 3 — зоны высокой интенсивности теплового излучения, 4 — зоны средней интенсивности теплового излучения со значительными сезонными амплитудами, 5 — зоны средней интенсивности теплового излучения с уменьшенными сезонными амплитудами, 6 — зоны пониженной интенсивности теплового излучения, 7 — зоны повышенной интенсивности теплового излучения в холодный период и пониженной — в теплый. Б — карта тепловых аномалий (порядок расположения тепловых аномалий разных типов приведен по преобладающему сезону и продолжительности времени их выраженности): положительные: 1 — постоянно выраженные, 2 — выраженные весь год (кроме зимы), 3 — выраженные зимой и весной, 4 — выраженные весной и осенью, 5 — выраженные зимой; отрицательные: 6 — постоянно выраженные, 7 — выраженные весь год (кроме зимы), 8 — выраженные летом и осенью, 9 — выраженные осенью, 10 — выраженные весной, 11 — выраженные зимой, 12 — фоновые территории

связанных с тепловыми аномалиями, и разделением всей территории по принципу схожести сезонной динамики интенсивности теплового излучения (тепловая структура).

Рассмотрим применение двух подходов к обработке разновременных тепловых снимков на антропогенно преобразованную и природную территории.

Анализ тепловой структуры *южной части Нижнего Новгорода* на основе анализа снимков сверхвысокого разрешения и картографических материалов позволяет выявить ее следующие особенности (рис. 2, А). Зоны экстремально высокой интенсивности теплового излучения соответствуют сильно нагревающимся за счет производственного процесса и солнечного излучения корпусам крупных промышленных предприятий. Зоны очень высокой интенсивности теплового излучения отвечают территориям промышленных и коммунально-складских предприятий. Эти объекты и территории наиболее сильно выделяются по теплоизлучательным характеристикам. Отметим существенную дифференциацию объектов по выделенным зонам в зависимости от их расположения в правобережной или левобережной частях города. Так, зоне средней интенсивности со значительными сезонными амплитудами теплового излучения на левобережье соответствуют территории садовых участков, парков в черте города и территории с луговым ландшафтом, в то время как на правобережье это в основном жилые кварталы с не очень высокой плотностью застройки, что свидетельствует о том, что на правобережье растительность и рельеф существенно больше влияют на дифференциацию интенсивности теплового излучения, чем на левобережье.

Тепловые аномалии в южной части Нижнего Новгорода подчинены следующим закономерностям (рис. 2, Б). Постоянно выраженные положительные тепловые аномалии сосредоточены на левом берегу и соответствуют крупным промышленным объектам. Положительные тепловые аномалии, выраженные в течение всего года (кроме зимы), распределены равномернее и в основном соответствуют менее крупным промышленным предприятиям, а также крупным гаражным кооперативам. Эта информация может быть полезна не только при выделении границ промышленных зон и предприятий, сильнее всего воздействующих на окружающую среду, но и для определения интенсивности этого воздействия. Положительные тепловые аномалии, выраженные зимой, обусловлены в первую очередь сбросом из очистных сооружений завода «ГАЗ» в Оку и его шлейфом. Следовательно, по наличию таких тепловых аномалий можно обнаружить тепловое загрязнение водных объектов. Поскольку тепловое загрязнение часто сопутствует загрязнению других видов, то такие тепловые аномалии могут служить индикаторами загрязнения водных объектов в целом.

При анализе результатов дешифрирования тепловой структуры *кальдеры влк Головнина* выделены следующие закономерности (рис. 3, А). Зона экстре-

мально высокой интенсивности теплового излучения соответствует акватории оз. Кипящее, наиболее сильно выделяющейся из окружающего ландшафта. Зоны с повышенной интенсивностью теплового излучения — это склоны южной экспозиции и лишенные растительности участки земной поверхности вблизи сольфатарных полей. Зоны с повышенной интенсивностью теплового излучения и его значительными сезонными амплитудами в целом соответствуют территориям, занятым преимущественно бамбучником, без густой лесной растительности. Зоны с пониженной интенсивностью теплового излучения соответствуют зеленым склонам кальдеры. Зоны с низкой интенсивностью теплового излучения — затененные части склонов и акватория оз. Горячее. Таким образом, по данным о пространственно-временной изменчивости интенсивности теплового излучения земной поверхности выявлена достаточно четкая дифференциация ландшафтов кальдеры.

Результаты дешифрирования *тепловых аномалий* кальдеры влк Головнина обнаруживают следующие закономерности их пространственно-временного распределения (рис. 3, Б). Постоянные положительные тепловые аномалии соответствуют поверхности оз. Кипящее и Центральному Западному сольфатарному полю кальдеры — участкам с наиболее активными проявлениями вулканической активности. Кроме того, как значимые положительные тепловые аномалии выделяются другие участки кальдеры — склон юго-восточной экспозиции на северо-западном краю кальдеры, юго-западный склон Центрального Западного купола, участки без лесной растительности и небольшие сольфатарные поля. Отрицательные тепловые аномалии дифференцируются следующим образом: постоянно выражена аномалия, связанная с участком акватории оз. Горячее, под которым отсутствуют горячие источники; осенью отрицательные тепловые аномалии соответствуют затененным участкам склонов.

Исходя из полученных закономерностей можно судить об особенностях формирования теплового поля территории и факторах, влияющих на его структуру.

Выводы:

— использование разновременных тепловых инфракрасных снимков позволяет выявить характерные особенности территории, проявляющиеся в ее тепловой структуре, локализовать основные тепловые аномалии, обнаружить участки, отличающиеся по особенностям пространственно-временной динамики интенсивности теплового излучения;

— предложенные подходы к обработке разносезонных тепловых инфракрасных снимков дополняют друг друга. Дешифрирование тепловых аномалий позволяет выявить локальные участки, играющие ведущую роль в формировании теплового поля территории, в то время как с помощью дешифрирования тепловой структуры можно установить дифференциацию природно-территориальных комплексов на основе пространственно-временной динамики интенсивности теплового излучения территории;

— созданные в результате дешифрирования тепловых снимков карты имеют разное назначение. Во-первых, карты *тепловых аномалий* местности ценны для эколого-географических исследований. Они наглядно показывают распределение источников повышенной интенсивности теплового излучения, с их помощью можно выявить места теплового антропогенного загрязнения, в свою очередь связанного с загрязнением других типов. Карты тепловых аномалий можно применять при планировании исследований, в том числе полевых. Особое значение такие карты имеют при изучении городских территорий. Положительные тепловые аномалии на территории города вносят вклад в формирование теплового острова, отрицательные тепловые аномалии, наоборот, дают смягчающий эффект. Полученные карты можно использовать в градостроительном и городском планировании, так как они позволяют оценить эффект, который дает определенное взаиморасположение объектов разного функционального значения (например, промышленных зон, жилых районов и парков). Во-вторых, карты *тепловой структуры* местности могут быть полезны для

ландшафтных исследований. На них отображается пространственно-временная динамика интенсивности теплового излучения местности. Такие карты позволяют выделить участки местности, однородные по сезонной динамике интенсивности теплового излучения, что важно для картографирования структурных единиц ландшафтов. Выявленная тепловая структура может стать основой, например, при уточнении границ в ландшафтных, геохимических, геоботанических исследованиях, а также при изучении антропогенного влияния на ландшафты;

— полученные карты двух типов — ценные дополнительные источники информации при ландшафтных и экологических исследованиях, позволяющие получить новые данные об изучаемой местности и выявить закономерности, которые остаются скрытыми на картах, составленных по снимкам в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне. На основе предложенных методик ведется разработка карт эколого-географической и ландшафтной тематики на новоприсоединенные территории Москвы по проекту, поддержанному грантом РФФИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балдина Е.А., Грищенко М.Ю. Исследование “теплового острова” Москвы по разносезонным снимкам Landsat-7/ETM+ // Геоинформатика. 2011. № 3. С. 62—70.
2. Бухаров М.В., Соловьев В.И. Мониторинг осадков осеннего периода по измерениям уходящего теплового излучения Земли со спутника NOAA // Исследования Земли из космоса. 2004. № 5. С. 51—57.
3. Вилор Н.В., Абушенко Н.А., Тащилин С.А. Инфракрасное излучение в зонах спрединга и рифтогенеза (на примере Афарской депрессии, Северо-Восточная Африка) // Исследования Земли из космоса. 2006. № 3. С. 76—82.
4. Глушкова Н.В., Баландис В.А. Опыт использования многозональных космоснимков ASTER на примере Урунайского рудного узла // Исследования Земли из космоса. 2005. № 2. С. 61—66.
5. Горный В.И., Шилин Б.В., Ясинский Г.И. Тепловая аэрокосмическая съемка. М.: Недра, 1993. 128 с.
6. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И. Аэрокосмические исследования динамики географических явлений. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. 206 с.
7. Козлов Д.Н., Жарков Р.В. Новые данные по морфологии внутрикальдерных озер островов Кунашир и Симушир // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009. Вып. 14, № 2. С. 30—35.
8. Коновалова Т.И., Трофимова И.Е. Картографирование экологического состояния урбанизированных территорий на основе материалов дистанционных исследований Земли // Исследования Земли из космоса. 2008. № 4. С. 36—44.
9. Никитин А.А. Основные черты пространственного распределения поверхностных термических фронтов в водах Японского моря и их изменчивость // Исследования Земли из космоса. 2006. № 5. С. 49—62.
10. Новиненко Е.Г., Шевченко Г.В. Пространственно-временная изменчивость температуры поверхности Охотского моря по спутниковым данным // Исследования Земли из космоса. 2007. № 5. С. 50—60.
11. Погребнов Н.Н., Фролов В.Н. Возможности дистанционной индикации геотермического поля угольных месторождений // Исследования Земли из космоса. 2005. № 6. С. 56—60.
12. Поляков А.В., Тимофеев Ю.М., Успенский А.Б. Температурно-влажностное зондирование атмосферы по данным спутникового ИК-зондировщика высокого спектрального разрешения ИКФС-2 // Исследования Земли из космоса. 2009. № 5. С. 3—10.
13. Тронин А.А. Возможности применения космической тепловой съемки для исследования землетрясений // Исследования Земли из космоса. 2005. № 4. С. 86—89.
14. Трофимова И.Е., Коновалова Т.И., Бессолицына Е.П. Экспериментальные исследования аэродистанционными методами теплового состояния геосистем // География и природные ресурсы. 1998. № 1. С. 22—26.
15. Успенский А.Б. Современное состояние и перспективы дистанционного температурно-влажностного зондирования атмосферы // Исследования Земли из космоса. 2010. № 2. С. 26—35.
16. Jensen J. Remote sensing of the environment and Earth resource perspective. University of South Carolina, 2000.
17. Voogt J.A., Oke T.R. Thermal remote sensing of urban climates // Remote Sensing of Environment. 2003. Vol. 86. P. 370—384.
18. Weng Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends // ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing. 2009. Vol. 64. P. 335—344.
19. Weng Q., Quattrochi D.A. Thermal remote sensing of urban areas: An introduction to the special issue // Remote Sensing of Environment. 2006. Vol. 104. P. 119—122.

E.A. Baldina, M.Yu. Grishchenko

**INTERPRETATION OF MULTI-TEMPORAL SPACE IMAGERY
IN THERMAL INFRARED BAND**

Space imagery in thermal infrared band is relatively underemployed for geographical regional studies. A technique of interpretation of multi-seasonal thermal infrared images for ecological-geographical and landscape mapping based on a temporal image as an interpretation indicator was elaborated. The study was carried out for two territories with non-uniform thermal fields, i.e. a part of a large city (its industrial center) and an active volcano, using multi-temporal TM and ETM+/Landsat imagery (10.4–12.5 μm channel). Two approaches to imagery analysis are suggested, i.e. identification of thermal anomalies and revealing the thermal structure of a territory. The resulting maps demonstrate the application of suggested technique.

Key words: geographical interpretation, space imagery, thermal infrared band, multi-temporal Landsat imagery.

УДК 911:001.18

И.В. Малыгин¹**МЕТОДИКА ПРОГНОЗА ОБРАЗОВАНИЯ ЛЕДОВЫХ ЗАТОРОВ НА РЕКАХ
НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ**

Предложен способ решения задачи прогноза наличия ледовых заторов с использованием методов теории распознавания образов. Описаны возможная структура и содержание базы исходных данных. Приводятся схема прогнозного алгоритма и результат его работы на примере участка реки Северная Двина от г. Котлас до г. Великий Устюг.

Ключевые слова: прогноз, прогнозирование заторообразования, прогнозный алгоритм, задача классификации, комбинаторно-логический подход.

Введение. Прогноз ледовой обстановки актуален для ряда районов европейской территории России и создается, как правило, по данным гидрометеорологических наблюдений. При этом некоторые районы обеспечены наблюдениями за длительный период, например, для р. Нева есть структурированные данные больше чем за 200 лет, однако есть районы, наблюдения в которых охватывают период 15—30 лет. Это имеет существенное значение при выборе методики прогноза, причем как в методическом смысле, так и при оценке практической достоверности. В гидрологии разработаны разные подходы к прогнозу ледового режима рек [2]. Среди методов исследования наиболее часто применяются моделирование и вероятностно-статистический подход, которые хорошо “работают” для статистически значимых рядов наблюдений. Для оперативного слежения за ледовой обстановкой хорошо подходят методы космического мониторинга с использованием данных дистанционного зондирования [6]. В статье предложен способ, основанный на методах теории распознавания образов, который способствует выявлению и прогнозированию ледового заторообразования в случае, когда многолетние и одинаково структурированные полные данные труднодоступны либо отсутствуют. При этом под прогнозом понимается отнесение прогнозируемого года к одному из выделенных сценариев развития ледовой обстановки. В статье представлена схема прогнозного алгоритма и результаты его применения для прогноза возникновения ледовых заторов на примере участка р. Северная Двина между городами Котлас и Великий Устюг.

Постановка проблемы. Затопы льда на реках относятся к опасным гидрологическим явлениям. Они приводят к наводнениям, нарушению условий эксплуатации водозаборов, ледовых переправ, железных и автомобильных дорог, водного транспорта, повреждению гидротехнических сооружений и др. [3].

Прогнозирование заторообразования — сложная и актуальная задача, имеющая большое значение для разработки методов и средств защиты хозяйственной деятельности от неблагоприятных гидрологических явлений.

В связи с изменениями климата необходимо изучать ледовый режим рек на основе современных гидрометеорологических данных с применением современных математических и компьютерных алгоритмов обработки данных и прогнозирования [3].

Общую постановку задачи классификации сформулируем следующим образом. Пусть M — множество наблюдений, оно может быть разбито на непересекающиеся подмножества — классы K_1, \dots, K_l . Целиком само разбиение неизвестно, однако в каждом классе есть подмножество элементов, о которых полностью известны их принадлежность и описание (характеристики). Совокупность таких подмножеств всех классов образует *обучающую выборку*: $T_1, \dots, T_l, T_i \subset K_i, i = 1, \dots, l$. Элементы обучающей выборки называются *эталоном*. Для элементов множества M не из обучающей выборки принадлежность к классу неизвестна. Для распознавания (классификации) предъявляется элемент множества M , не входящий в обучающую выборку. Требуется классифицировать этот элемент, т.е. отнести его к одному из существующих классов, представленных обучающей выборкой.

Материалы и методы исследований. В теории распознавания образов для классификации объектов и явлений применяются вероятностный и комбинаторно-логический подходы [4, 5]. Первый подход предназначен для исследования таких явлений, для которых имеются статистически значимые выборки, второй подход может быть использован при отсутствии таковых.

Для решения задачи прогнозирования ледовых заторов на участке р. Северная Двина выбран комбинаторно-логический подход. В этой задаче элемент множества M представлен известным набором гидрологических и метеорологических данных по отдельным

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, аспирант; e-mail: malygin.iv@gmail.com

гидрологическим постам бассейна Северной Двины за каждый год, входящий в обучающую выборку. Каждый элемент множества M характеризуется набором признаков, каждый признак принимает либо числовое значение, либо набор числовых значений. Классы — результат экспертной классификации объектов наблюдения (лет) по критерию наличия или отсутствия заторов; обучающую выборку можно рассматривать как классифицированные данные за прошедшие годы [1, 7]. Распознаваемый элемент — прогнозируемый год — будет классифицирован построенным алгоритмом, т.е. отнесен к году с затором или без него, что и является прогнозом. Для решения поставленной задачи предложена следующая схема прогнозного алгоритма.

Исходные данные для прогнозирования. Для исследования в качестве признаков заторообразования могут быть использованы гидрологические и метеорологические показатели, которые приведены в табл. 1.

В районе наблюдения использованы данные со следующих гидрологических постов: д. Каликино, г. Великий Устюг, д. Медведки, г. Котлас, д. Абрамково, пос. Подосиновец. Схема расположения этих постов представлена на рисунке. Выбор гидрологических постов обусловлен тем, что места слияния рек обладают довольно большой повторяемостью заторообразования.

Исходные данные образуют базу данных, которую упрощенно можно представить в виде набора таблиц для каждого года за период наблюдений 1991—2010 гг.

В каждой таблице содержатся значения всех признаков по каждому посту за один год. Допускается отсутствие данных в отдельных ячейках таких таблиц, пример представлен в табл. 2.

Признаки разделены на две группы — гидрологические и метеорологические. Числовые значения признаков первой группы непосредственно зависят от местоположения гидрологического поста. Для второй группы признаков использованы фактические значения по данным метеостанции г. Великий Устюг.

Выделяются два сценария ледохода:

1) наличие заторов с разными мощностью и продолжительностью на участке г. Великий Устюг — г. Котлас;

2) отсутствие заторов на участке г. Великий Устюг — г. Котлас (в этот класс попадают и ситуации, когда затор произошел выше или ниже по течению, чем исследуемый участок). Указанные сценарии ледохода определяют классы K_1 , K_2 за период наблюдений (табл. 3).

В случае большей обучающей выборки возможно разделение на большее число классов, соответствующих более подробной классификации исследуемого явления. Например, становится возможным классифицировать заторы по мощности: средний, сильный, катастрофический и т.д.

Процедура сравнения однородных признаков за разные годы. Для работы прогнозного алгоритма необходимо уметь “сравнивать” числовые значения однородных признаков за разные годы. Если различие в числовых значениях находится в определенном ин-

Таблица 1

Список гидрологических и метеорологических показателей

Номер признака	Название признака	Характеристика признака	Единицы измерения
1	Предлежавший уровень воды	Гидрологический признак	см
2	Продолжительность осеннего ледохода	Гидрологический признак	сут
3	Наличие заборов	Гидрологический признак	есть (1) — нет (0)
4	Особенности температурного режима в период замерзания	Метеорологический признак, переход температуры воздуха через 0 °С	число суток с 1 сентября
5	Сумма отрицательных значений температуры воздуха за холодный период	Метеорологический признак	°С
6	Сумма положительных значений температуры воздуха за холодный период	Метеорологический признак	°С
7	Число дней с положительными температурами воздуха за холодный период	Метеорологический признак	сут
8	Суммарное количество твердых осадков	Метеорологический признак	мм
9	Особенности температурного режима в период вскрытия	Метеорологический признак, переход температуры воздуха через 0 °С	число суток с 1 февраля
10	Толщина льда перед вскрытием	Гидрологический признак	см
11	Интенсивность увеличения уровней и расходов воды в период подвижек льда	Гидрологический признак	см/сут

Таблица 2

Пример исходных данных прогнозирования за 1991 г.

1991 г., пост	Номер признака										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	м	сут	да/нет	сут	°С	°С	сут	мм	сут	см	см/сут
Д. Каликино	337	13	0	59	-1449	3,9	6	192,44	34	41	76
Г. Великий Устюг	121	10	0								
Д. Медведки	135	5	0								
Г. Котлас	214	22	0								
Д. Абрамково	112	23	0								
П. Подосиновец	94	1	0								

Таблица 3

Сравнение результатов работы алгоритма с фактическими результатами

Год	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Номер сценария (факт)	1	1	2	2	2	1	2	1	2	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1
Результат проверки алгоритма	1	1	1	2	2	1	2	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1

тервале, то полагается, что два сравниваемых года по этому признаку одинаковы, в противном случае различны. Для определения различия для гидрологических признаков в алгоритме вычисляется сумма изменений значений по всем шести постам

$$H_k(\Gamma_n, \Gamma_m) = \frac{1}{6} \sum_{j=1}^6 |p_{knj} - p_{kmj}|,$$

где $H_k(\Gamma_n, \Gamma_m)$ — величина различия n -го и m -го годов по k -му признаку, p_{knj} и p_{kmj} — числовые значения k -го признака на j -м посту в n -й и m -й годы.

Для метеорологических признаков вычисляется изменение

$$H_i(\Gamma_n, \Gamma_m) = |q_m - q_{im}|,$$

где $H_i(\Gamma_n, \Gamma_m)$ — величина различия n -го и m -го годов по i -му признаку, q_m и q_{im} — числовое значение i -го признака в n -й и m -й годы.

Если эта величина превышает пороговое эвристическое значение, то полагается, что различие по этому признаку в этой паре лет есть, в противном случае оно отсутствует:

$$H_l(\Gamma_n, \Gamma_m) > \delta_l \text{ — различие есть,}$$

$$H_l(\Gamma_n, \Gamma_m) < \delta_l \text{ — различия нет,}$$

где δ_l — пороговое эвристическое значение по l -му признаку.

Принятая в настоящее время процедура сравнения, описанная выше, является естественной, она использует интегральные характеристики для гидрометеорологических признаков. Пороговые эвристические

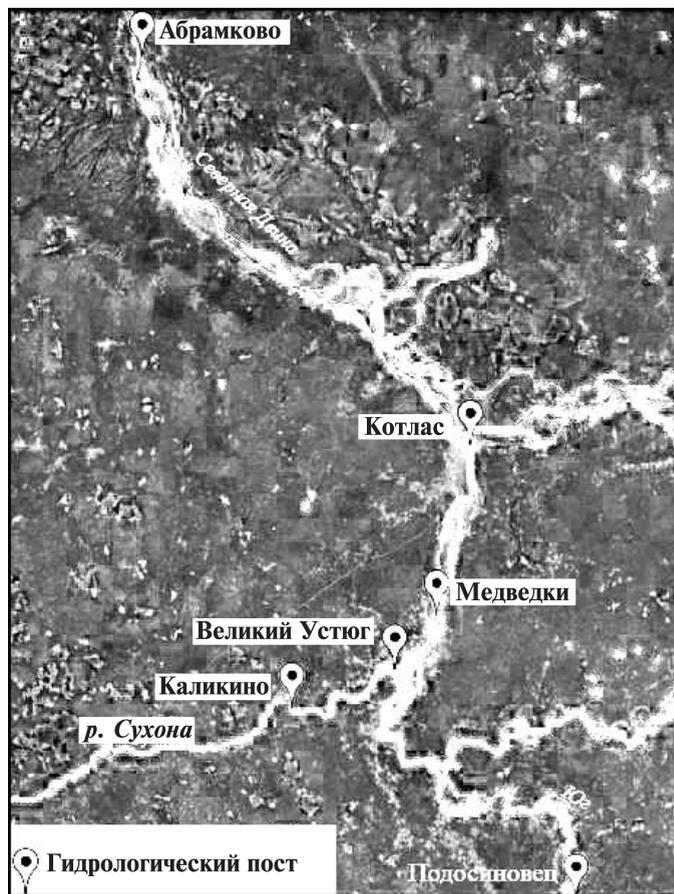


Схема расположения гидрологических постов на р. Северная Двина и ее притоках

константы δ_i устанавливаются либо экспертами исходя из природы признаков и особенностей конкретной территории исследования, либо с использованием автоматизированного алгоритма поиска таких чисел, критерием в котором выступает максимум правильно распознанных элементов обучающей выборки.

Процедура сравнения имеет модульный характер, что позволяет корректировать ее и адаптировать под конкретные условия.

Формирование таблицы сравнения классов. Для каждой пары лет из разных классов с использованием процедуры сравнения однородных признаков определяется обобщенный вектор различия этой пары лет по всем признакам. Вектор формируется следующим образом: если в результате работы процедуры сравнения установлено различие в паре лет по i -му признаку, то в качестве координаты с номером i обобщенного вектора принимается 1, в противном случае 0, следовательно, это булевский вектор:

$$V(\Gamma_n, \Gamma_m) = (v_1, \dots, v_{11}),$$

$$v_i = 1, \text{ если } H_i(\Gamma_n, \Gamma_m) > \delta_i,$$

$$v_i = 0, \text{ если } H_i(\Gamma_n, \Gamma_m) < \delta_i,$$

$$i = 1, \dots, 11.$$

Этот вектор не нулевой, так как годы берутся из разных классов. Равенство нулю этого вектора означает, что выбранная процедура сравнения является грубой моделью реальной ситуации. Совокупность всех таких векторов составляет таблицу сравнения классов. Исследуемый период 1991—2010 гг. разбит на два класса: в первом классе — 11 лет, во втором — 9, следовательно, число пар лет из разных классов равно $11 \cdot 9 = 99$, т.е. в таблице сравнения содержится 99 булевских векторов размерности 11.

Построение множества тестов таблицы сравнения классов. Цель этого этапа — формирование всех наборов признаков (координат булевских векторов), по которым различаются все пары лет из разных классов. *Тестом* называется такой набор признаков, когда для любой пары лет из разных классов есть различие между исследуемыми годами хотя бы по одному признаку из этого набора. По этому набору формируется булевский вектор, т.е. если признак принадлежит набору, то в соответствующую координату ставится 1; если признак не принадлежит набору, то в соответствующую координату ставится 0.

Векторы этого множества хранят информацию о том, насколько отличается один год из одного класса от другого года из другого класса. На этом этапе очень хорошо выявляется не только корреляция между признаками, но и корреляция между группами признаков.

Данные по прогнозируемому году. Для построения прогноза, т.е. отнесения прогнозируемого года к одному из выделенных классов, необходимо сформировать набор X , аналогичный исходным данным прогнозирования (табл. 2). Данные для гидрологических признаков предоставляются постами наблюдений, данные по метеорологическим признакам — по метеопрогнозу на текущую весну.

Построение прогноза. На этом этапе происходит принятие решения о том, по какому сценарию предполагается развитие ледовой обстановки в прогнозируемом году.

По входным данным X прогнозируемого года, исходным данным за период наблюдений, принятой процедуре сравнения признаков и построенному множеству тестов проводится *голосование* за принадлежность прогнозируемого года одному из классов.

Голосование представляется следующей логической процедурой. Фиксируется тест t и год Γ_n из периода наблюдения. Единичные значения координат теста определяют набор признаков, по которым сравнивается текущий год и год периода наблюдения. Если в каждой единичной координате теста значение признака текущего года “совпало” (т.е. они равны в смысле процедуры сравнения) с признаками года из периода наблюдения, то предполагается присвоить один голос тому классу, к которому принадлежит год из периода наблюдения:

1) $g(X, \Gamma_n, t) = 1$, если для каждого i -го признака такого, что i -я координата t равна 1, i -й признак распознаваемого года X “совпал” с i -м признаком года Γ_n ;

2) $g(X, \Gamma_n, t) = 0$, если хотя бы для одного i -го признака, такого, что i -я координата t равна 1, а i -й признак распознаваемого года X “не совпал” с i -м признаком года Γ_n .

Затем проводится суммирование голосов по всем тестам и всем годам из класса $K_j, j = 1, 2$:

$$G_j = \frac{1}{K_j} \sum_t \sum_{\Gamma_n \in K_j} g(X, \Gamma_n, t).$$

Решающее правило F прогнозного алгоритма заключается в отнесении прогнозируемого года к тому классу, за который подано больше голосов:

$$F(X) = j_0, \text{ где } G_{j_0} = \max G_j.$$

Логическая процедура голосования имеет разные модификации по решающему правилу от “жесткого” (идеальное соответствие прогнозируемого года эталону из периода наблюдения) до “мягкого” (предполагает неполное соответствие).

На выходе формируется прогноз вида “ситуация в прогнозируемом году будет развиваться по сценарию j_0 ”. Достоверность этого результата оценивается в процентах.

Результаты исследований и их обсуждение. В табл. 3 представлены результаты автоматизированной обработки данных за период наблюдения построенным выше прогнозным алгоритмом. Из периода наблюдения последовательно удалялся каждый год, оставшиеся годы рассматривались в качестве обучающей выборки, удаленный год подавался на вход прогнозируемому алгоритму в качестве распознаваемого, строился прогноз. Как видно из данных табл. 3, число правильно классифицированных лет составило 85%. Допущенные алгоритмом прогнозирования ошибки, вероятно,

связаны с пробелами в исходных данных и принятым решающим правилом для поиска пороговых значений признаков (максимум верно распознанных элементов обучающей выборки).

Использование теоретико-вероятностного подхода при решении задач прогнозирования предполагает наличие статистически значимых обучающих выборок. В исследуемой проблеме эти выборки могут не удовлетворять такому требованию, если информативно полные и однородные данные возможно структурировать за небольшой период наблюдения (15–20 лет). Для малообъемных выборок разработан комбинаторно-логический подход. В его рамках тестовые процедуры голосования решают задачи распознавания для параметров разных природы, структуры, описания, происхождения [5].

Применение этого подхода в исследуемой задаче потребовало ряда доработок. Во-первых, в отличие от общепринятого в теории распознавания образов число-

вого описания признаков, имеет место пространственный характер группы признаков, поэтому алгоритмы были модифицированы с учетом этой особенности. Во-вторых, предложены формальные процедуры сравнения гидрологических и метеорологических данных в конкретной задаче с целью выявления их значимого различия.

Выводы:

— представленный алгоритм решает задачу прогнозирования возникновения заторов льда для района с коротким периодом наблюдения за ледовым режимом рек (~20 лет). Результат работы описанного выше метода — отнесение прогнозируемого года к одному из возможных случаев развития обстановки;

— использование прогноза наличия заторов позволяет учитывать этот фактор при составлении прогноза наводнений, что в свою очередь может сократить ущерб для экономической и хозяйственной деятельности на исследуемом участке реки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонова С.А. Опасные ледовые явления на реках России: классификация, возможность прогнозирования // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций: Мат-лы IV науч.-практ. конф. М., 2004. С. 3–4.

2. Агафонова С.А., Фролова Н.Л. Особенности ледового режима рек бассейна Северной Двины // Водные ресурсы. 2007. Т. 34, № 2. С. 123–131.

3. Агафонова С.А., Фролова Н.Л. Влияние ледового режима рек севера европейской территории России на гидроэкологическую безопасность в условиях изменения климата // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2009. № 4. С. 55–61.

4. Вапник В.Н., Червоненкис А.Я. Теория распознавания образов. М.: Наука, 1980. 416 с.

5. Константинов Р.М., Королева З.Е., Кудрявцев В.Б. Комбинаторно-логический подход к задачам прогноза рудоносности // Проблемы кибернетики. Вып. 31. М.: Наука, 1976. С. 5–38.

6. Лупачев Ю.В., Скрипник Е.Н., Кучейко А.А. Опыт космического мониторинга развития весеннего половодья на р. Северная Двина в 2010 г. // Земля из космоса. 2010. № 6. С. 57–68.

7. Симонов Ю.Г., Невяжский И.И. Экспертные оценки при географическом прогнозировании // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1978. № 4. С. 25–31.

Поступила в редакцию
12.09.2013

I.V. Malygin

FORECASTING OF ICE CLOGGING IN RIVERS USING THE THEORY OF IMAGE RECOGNITION

A technique of solving the task of ice clogging forecasting using methods of the theory of image recognition is suggested. Possible database structure and content are described. The scheme of forecasting algorithm is presented, as well as the results of its application for the Severnaya Dvina River segment from the town of Kotlas to the town of Veliky Ustyug.

Key words: forecast, forecasting of ice clogging, forecasting algorithm, classification task, combinatorial-logical approach.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 528.8:556.54

В.И. Кравцова¹, В.Н. Михайлов²**ДЕЛЬТА ЗАМБЕЗИ И ЕЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВОДОХРАНИЛИЩ³**

Рассмотрена история освоения и исследований дельты Замбези, охарактеризованы изменения дельты в связи с созданием крупных водохранилищ в бассейне реки. По результатам дешифрирования космических снимков изучена морфология дельты, составлена карта современного состояния экосистем, а для отдельных участков дельты — карты изменений экосистем под воздействием регулирования стока реки водохранилищами.

Ключевые слова: Замбези, дельта, экосистемы и их изменения, водохранилища, космические снимки, карта.

Введение. Замбези — четвертая по длине и площади бассейна река Африки после Конго, Нила и Нигера. Ее исток находится в Анголе на высоте около 1500 м над уровнем моря, река протекает через Намибию, Замбию, Зимбабве и Мозамбик, впадает в Индийский океан, образуя устьевую область дельтово-эстуарного типа с обширной много рукавной дельтой, которая выдвинута от вершины до морского края на 120 км и имеет протяженность вдоль берега 220 км; площадь дельты 11 180 км² [4]. Бассейн Замбези находится в субэкваториальном и тропическом климатических поясах. В северной части ее бассейна господствуют муссоны, в южной части проявляется действие восточных пассатов, здесь жарко и сухо. В более влажной северной части бассейна годовая сумма осадков достигает 1400 мм, в более аридной южной уменьшается до 700 мм [10] при их резких колебаниях в течение года от 5—10 мм в самый сухой месяц до 200—300 мм в наиболее влажные месяцы. Средние годовые значения температуры воздуха 24 °С, средние значения максимальной температуры 27—30 °С, а средние минимальные составляют ~18 °С.

Все реки бассейна Замбези имеют преобладающее дождевое питание и в основном муссонный характер водного режима, в котором до создания водохранилищ четко выделялись две фазы — летнее муссонное половодье во влажный сезон, на который приходилось 70% годового водного стока, и продолжительный период маловодной межени в сухой сезон (30% стока).

Дельта Замбези находится в зоне тропических и субтропических саванн Южной Африки. Береговые районы Мозамбика занимает затопляемая саванна. Растительность этого болотного экорегиона представляет собой сочетание травянистых саваннных сообществ на

сезонно затопляемых равнинах дельты и заболоченных лесов по берегам рек, рукавов дельт, стариц, озер, лагун. Постоянно обводненные участки заняты тростниковыми болотами, которые при уменьшении обводненности сменяются травяными болотами. В прибрежной зоне распространены мангровые и дюнные леса, а в окружении дельты — пальмовые саванны, кустарники и листопадные леса и редколесья.

Дельта Замбези, находящаяся в зоне взаимодействия наземной, пресноводной и морской среды, отличается исключительным биоразнообразием. Здесь обитают буйволы, водяные козлы, зебры, гиппопотамы, слоны, крупные земноводные (нильский крокодил, питон), водные и болотные птицы — пеликан, фламинго, болотный журавль (95% земной популяции) [8]. В районе дельты создан заповедник Марромеу для охраны буйволов.

Главное использование земель сельскохозяйственное. Основные культуры — сахарный тростник, маис, рис, сорго, бобы; в разных частях дельты от 25 до 50% земель занято фруктовыми садами и кокосовыми пальмами.

Постановка проблемы. Современное состояние природы дельты Замбези, происходившие в ней с середины прошлого века существенные изменения связаны с созданием крупных водохранилищ в бассейне реки и событиями продолжавшейся два десятилетия гражданской войны. В 1959 г. в среднем течении Замбези, в 850 км от устья, было создано одно из крупнейших в мире водохранилище Кариба, а в 1974 г., в 400 км ниже по течению, — водохранилище Кахора-Баса. Оба водохранилища с гидроэлектростанциями для обеспечения электроэнергией Замбии, Зимбабве, ЮАР и Мозамбика. По последним данным, площадь,

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, лаборатория аэрокосмических методов, вед. науч. с., докт. геогр. н.; e-mail: valentinamsu@yandex.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, ст. науч. с., докт. геогр. н.; e-mail: vn.mikhailov@mail.ru

³ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-05-00141) и Программы государственной поддержки ведущих научных школ РФ (проект НШ-22.48.2014.5).

полный и полезный объем водохранилища Кариба составляют 5,6 тыс. км², 160,3 и 46,0 км³ соответственно, а для водохранилища Кахора-Баса — 2,7, 63,0 и 51,8 км³. Сооружение водохранилищ изменило величину и режим стока реки, для которого прежде были характерны резкие сезонные колебания с ежегодным затоплением дельты и частыми наводнениями. Годовой водный сток Замбези, по нашим приближенным оценкам, сократился (в основном из-за потери воды на испарение с поверхности водохранилищ) с 100,2 до 69,7 км³/год, т.е. на 30,5 км³/год, или на 30,4%. Заметно уменьшился сток (с 70,5 до 29,0% годового) в период половодья. Доля стока самого многоводного месяца (апреля) сократилась с 22,8 до 11,7% годового; в еще большей степени возросла доля стока самого маловодного месяца (ноября) — с 1 до 5,7% годового.

Сток Замбези потерял естественный режим, регулярное затопление дельтовых равнин в половодье (в сезон дождей) прекратилось. Последовало общее осыхание территории, сократилась площадь болот, замещенных травянистой саванной. В результате отложения наносов в водохранилищах и на пойме нижней Замбези существенно уменьшился сток наносов реки. По оценкам работы [11], в дельту в естественных условиях в среднем поступало в год около 20 млн м³ наносов, а в начале XXI в. — только 0,7—0,8 млн м³. Приносимые ранее с половодьем ил и питательные вещества уже не обогащали почвы, началось повышение уровня и осолонение грунтовых вод. Резкое уменьшение водного стока привело к сокращению площади мангровых лесов, а уменьшение выноса ила и минеральных элементов — к уменьшению на 60% вылова креветок в устье реки [13].

При сооружении плотин для водохранилищ, кроме обеспечения работы ГЭС, преследовалась цель предотвращения крупных наводнений в дельте Замбези, однако они хотя и реже, но продолжались. Во время сильного наводнения 1978 г. погибли 45 человек, 75 тыс. жителей пришлось переселить из дельты. Наводнение нанесло ущерб хозяйству на 62 млн долл. США, пострадавшие земли потребовали рекультивации и мелиорации, на что позже было затрачено еще 40 млн долл. [8]. В 1997 г. произошло наводнение, которое было связано с паводком на р. Шире, вытекающей из оз. Ньяса [13], а в 2003 г. — наводнение, вызванное сильными дождями в Юго-Восточной Африке.

Дополнительное осложнение в развитие дельты внес ход общественно-политических событий. В 1960-х гг. начались народные выступления против колониального режима (Мозамбик был колонией Португалии). В 1975 г. страна получила независимость, однако жизнь здесь долго не налаживалась, началась гражданская война, которая окончилась лишь в 1992 г. В результате этих событий было разрушено сельскохозяйственное производство. Верхнюю зону дельты покинула основная часть населения, поля стали зарастать кустарником. Сильный урон сельскому хозяйству нанесли и

продолжавшиеся наводнения. Одним из последствий описанных событий стало частичное восстановление условий для развития дикой природы — возросло поголовье буйволов, что, однако, привело к распространению хищнической коммерческой охоты.

В середине 1990-х гг. жизнь людей в дельте начала налаживаться. После восстановления хозяйства в начале 2000-х гг. в прибрежных районах, в частности в окрестностях порта Шинде, плотность населения достигла 40 человек/км², а во внутренних районах дельты — 11—13 человек/км². В последнее десятилетие созданы мощные сельскохозяйственные предприятия в средней части дельты в районе пос. Валенте, где размещалось основное производство сахарного тростника в довоенный период. Зброшенные во время гражданской войны плантации стали рекультивировать с использованием современных технологий. В нижней части дельты статус особо охраняемой территории получил заповедник Марромеу. Но поскольку поголовье диких животных увеличилось, этот заповедник в сухой сезон стали использовать для административно контролируемой охоты — сафари. В настоящее время предпринимаются усилия по признанию в соответствии с Рамсарской конвенцией дельты Замбези водно-болотными угодьями международного значения.

Таким образом, в дельте Замбези сложился очень сложный комплекс разнообразных факторов: природная резкая сезонная изменчивость водного стока и увлажненности, подверженность дельты крупным наводнениям изменяются под воздействием крупных водохранилищ, что происходит на фоне динамичной общественно-политической обстановки и активизации хозяйственной деятельности.

Чтобы следить за изменениями экосистем дельты, нужна надежная фиксация их современного состояния, что в наше время обеспечивается космическими снимками, которые частично можно использовать и для ретроспективного мониторинга. Цель наших исследований — на основе анализа космических снимков составить карту современного состояния экосистем дельты Замбези, отражающую влияние водохранилищ, а также по разновременным материалам выборочно проследить изменения экосистем за время существования водохранилищ.

Оценка последствий сооружения и эксплуатации этих водохранилищ для водного режима, русловых процессов и экологических условий в нижнем течении Замбези и дельте представляет не только региональный, но и общетеоретический интерес, так как реакция низовьев рек и речных дельт на крупномасштабное гидротехническое строительство в бассейнах рек очень сложна и пока изучена недостаточно.

Материалы и методы исследований. Гидрологические и морфологические процессы на р. Замбези изучены недостаточно, мешали разобщенность стран в бассейне реки, колониальный режим в этих странах в течение долгого времени и его последствия. Дельте Замбези долгое время вообще не уделяли внимания. Проведению

полевых исследований в дельте препятствовали также сложная система рукавов и протоков, обширные болота, густые мангровые заросли, труднодоступность некоторых районов, а также отсутствие специалистов в этой области науки. Специальных публикаций, посвященных дельте Замбези, в европейских и африканских научных изданиях не было. В отечественной литературе этой дельте посвящено всего две страницы в монографии И.В. Самойлова [6].

Научный интерес к гидрологическому режиму и морфологии нижней Замбези и дельты реки существенно повысился после сооружения на средней Замбези двух крупных водохранилищ — Кариба (1959) и Кахора-Баса (1974). Для оценки их воздействия на дельту Замбези неоднократно проводились экологические исследования. Наиболее полно они освещены в многотомных электронных публикациях BFA (Фонда биоразнообразия Африки), в том числе № 3 [31] и 8 [8], посвященные биоразнообразию болот. В одном из разделов последнего выпуска, относящегося к экорегиону “Болота бассейна Замбези” (т. III, ч. 2), рассмотрены изменения ландшафтов и использования земель в дельте Замбези. Для характеристики состояния дельты в прошлом в нем использованы материалы аэрофотосъемки 1960, 1972, 1980 гг., которые сопоставлены с материалами съемки со спутника Landsat-7 в 1999 г. Из предшествующих работ, охарактеризованных в [8], наибольший интерес представляет отчет работ Шведской энергетической компании “SWECO/SwedPower” [12], в ходе которых было выполнено картографирование земель дельты с выделением 15 типов поверхности по снимкам MSS/Landsat (1981), что дополнило временной ряд исследований и позволило проследить изменения экосистем дельты — сокращение площади болот, их замещение травянистой и пальмовой саванной, уменьшение площади мангров [8, 12]. Учитывая трудности полевых исследований в дельте Замбези, другие исследователи для оценки происходящих в ней изменений также опирались на снимки со спутника Landsat [9, 11]. Некоторые из этих материалов использованы для подготовки иллюстраций к статье.

Современное состояние ландшафтов дельты Замбези хорошо отображается на появившихся в последнее десятилетие космических снимках сверхвысокого разрешения. В статье приведены результаты выполненного авторами анализа и дешифрирования обзорных снимков со спутников Terra/MODIS (2003), Landsat/ETM+ (2002) и детальных снимков QuickBird,

включенных в систему GoogleEarth. При этом авторы руководствовались разработанными в лаборатории аэрокосмических методов географического факультета МГУ приемами дешифрирования и сопоставления космических снимков при изучении динамики дельт [2, 3]. Использование в качестве основы снимков системы GoogleEarth представляет, на взгляд авторов, общий методический интерес, поскольку любой географ может пользоваться космоснимками для получения разнообразной информации об исследуемых объектах. Пример эффективного применения этих снимков — выпущенный недавно атлас “Устья рек России” [5]. Но открывшиеся широкие возможности пока редко используются для тематического картографирования, поэтому методический опыт, накопленный при создании карты экосистем дельты Замбези (включая выявленные при этом затруднения), важен для географов.

Особенность современной системы GoogleEarth — включение в общую “снимковую” оболочку Земли (созданную на базе снимков TM/Landsat) появившихся с 2000-х гг. снимков сверхвысокого разрешения со спутников QuickBird и др. Разрешение 2 м позволяет точнее определять и детальнее изучать объекты местности. Оптимальный анализ по этим снимкам выполняется с увеличением изображения до масштаба 1:2000, в котором еще не сказывается дискретная (пиксельная) структура цифрового изображения. Но результаты такого распознавательного дешифрирования необходимо в дальнейшем отобразить на карте, как правило, значительно более мелкого масштаба, в нашем случае, например, масштаба 1:1 000 000, обеспечивающего охват всей дельты. Таким образом, масштаб исходного и результирующего изображений изменяется в 500 раз. Приемы пошаговой многоступенчатой генерализации при таких переходах разрабатываются сейчас на кафедре картографии и геоинформатики в рамках проблемы мультимасштабного картографирования [7]. Но в случае перехода от QuickBird к Landsat происходит резкий скачок детальности изображения, возникают трудности отображения объектов при работе в среде GoogleEarth, которые еще ждут методического решения, а конкретная работа по составлению карты дает определенный опыт, требующий обобщения.

Результаты исследований и их обсуждение. Дешифрирование космических снимков позволило определить границы дельты (рис. 1) и выявить главные черты ее морфологии, а также выделить основные типы экосистем дельты и составить обзорную карту рас-

Рис. 2. Карта экосистем дельты Замбези: 1 — песчаные аккумулятивные косы и пляжи с пионерной растительностью; 2 — илистые и песчаные осушки, лишенные растительности и участки песков на дельтовых равнинах; 3 — мангровые леса прибрежной зоны; 4 — песчаные гряды реликтовых береговых валов, преимущественно сельскохозяйственно освоенные, с древесной растительностью в межгрядовых понижениях; 5 — сегментная пойма, сильно заболоченная; 6 — дельтовые равнины с папирусными и тростниковыми болотами, затопляемые; 7 — дельтовые равнины с травянистыми и пальмовыми саваннами и прирусловыми редколесьями по берегам многочисленных водотоков и стариц, периодически затопляемые; 8 — сельскохозяйственные земли на дельтовых равнинах и прилегающих территориях. Экосистемы прилегающих территорий: 9 — травянистые и пальмовые саванны на придельтовых равнинах, 10 — травянистые саванны с прирусловыми редколесьями на аллювиальных конусах, 11 — саванные редколесья на возвышенных равнинах, 12 — листопадные леса на расчлененных возвышенностях. Населенные пункты: 1 — Вила-Фонтес, 2 — Валенте, 3 — Шинде, 4 — Келимане

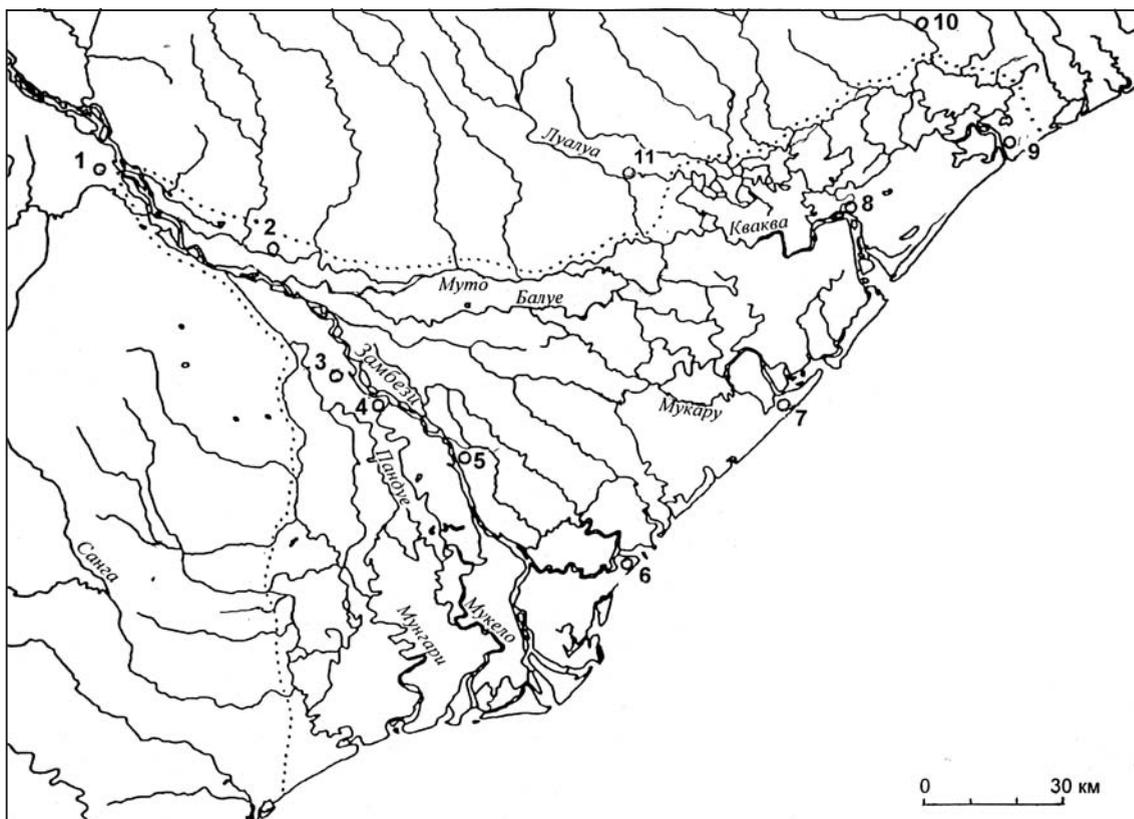
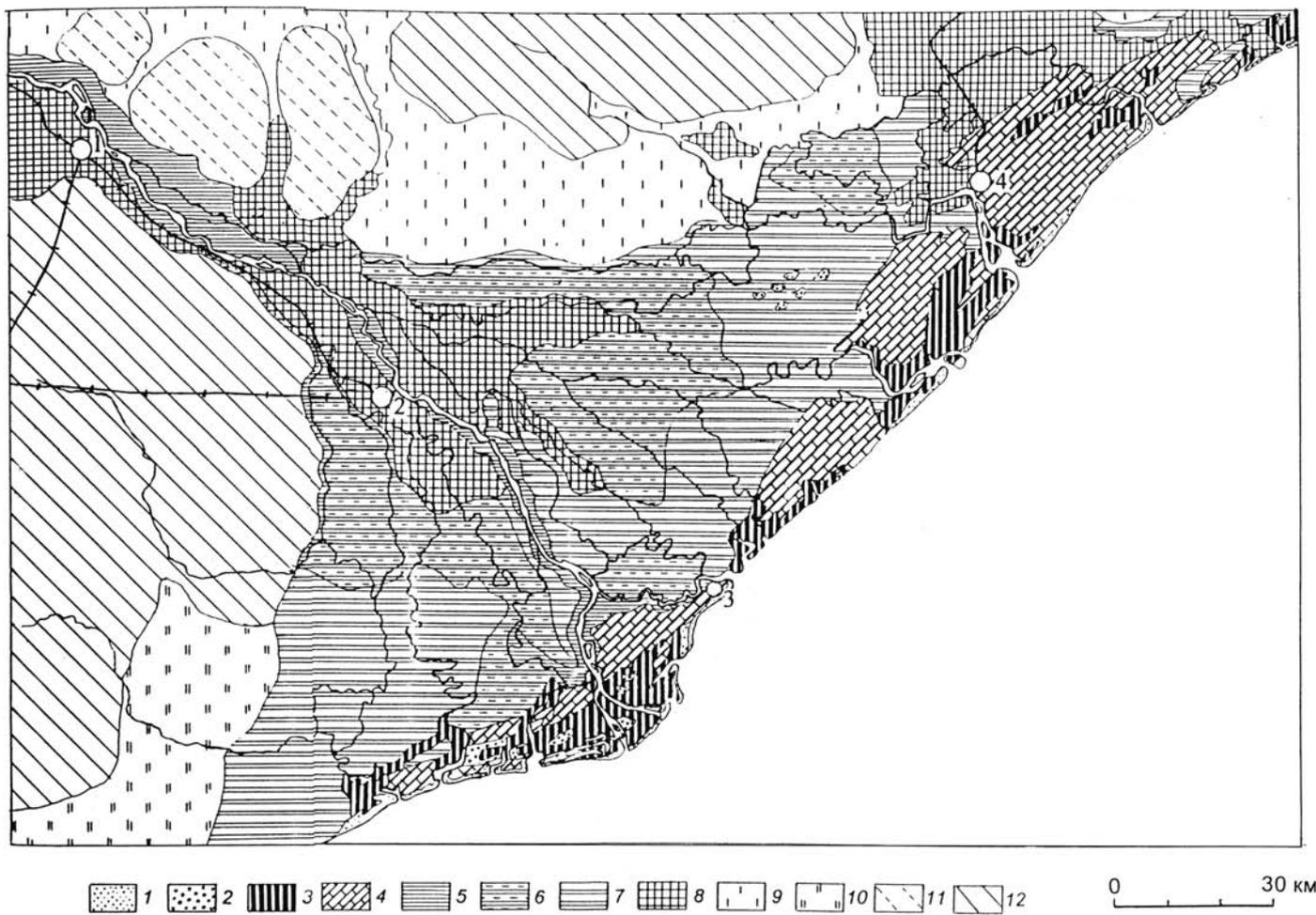


Рис. 1. Гидрографическая сеть в дельте Замбези. Пунктиром показаны границы дельты. Населенные пункты: 1 — Кая (Вила Фонтес), 2 — Мопея, 3 — Валенте, 4 — Марромеу, 5 — Луабо, 6 — Шинде, 7 — Микауне, 8 — Келимане, 9 — Макузе, 10 — Намакурра, 11 — Кампу



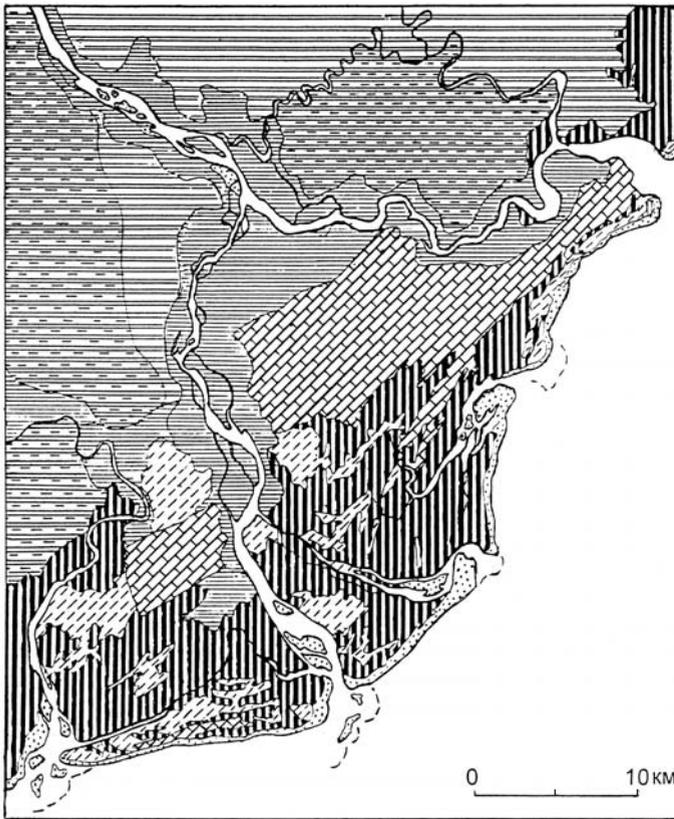


Рис. 3. Карта экосистем дельты Замбези в районе нижнего течения главного рукава: 1 — песчаные аккумулятивные косы и пляжи с пионерной растительностью; 2 — мангровые леса береговой зоны; 3 — песчаные гряды реликтовых береговых валов, частично преобразованные деятельностью приливов, 4 — песчаные гряды реликтовых береговых валов, преимущественно сельскохозяйственно освоенные, с древесной растительностью в межгрядовых понижениях; 5 — сегментная пойма, сильно заболоченная; 6 — дельтовые равнины с папирусными и тростниковыми болотами, затопляемые; 7 — дельтовые равнины с травянистыми и пальмовыми саваннами и прирусловыми редколесьями по берегам многочисленных водотоков и стариц, периодически затопляемые; 8 — гребни подводных береговых баров

пределения экосистем в дельте в целом (рис. 2), а также более детальную карту для района устья главного рукава в приморской (нижней) части дельты (рис. 3).

Границы дельты. Вершиной дельты Замбези можно считать место, где от реки в районе н/п Вила-Фонтес влево отходит небольшой рукав Муто, впоследствии впадающий в океан. Нижней (морской) границей дельты служит сильно изрезанный морской край дельты (рис. 1). С запада дельта Замбези окаймлена поднимающимся над ней уступом плато Черингомо, образующим на северо-западе четкую границу дельты, а южнее уступ плато отходит на запад, где к дельте прилегают конусы выноса небольших рек, стекающих с этого плато, конусы выноса выходят на единую слабонаклонную равнину. Места втекания рек в дельту отмечены изменением формы их русел, которые становятся меандрирующими, ветвящимися, сложно

соединяются между собой. Первые изгибы этих русел характеризуют границу дельты на юго-западе. С севера дельту окаймляют невысокие холмы — отроги плато Черингомо и слабонаклонная равнина у их подножия. Границей дельты на севере служит левый берег северного рукава Муто, а на северо-востоке, где стекающие с холмов речки у их подножия начинают меандрировать, ветвиться и сложно соединяться, — линия, которая ограничивает эту зону, относящуюся к дельте.

Морфология дельты. Дельта Замбези представляет собой относительно молодое образование, в ее морфологическом строении отражаются главные черты истории ее развития. На обзорных космических снимках четко выделяется ее верхняя часть, сформировавшаяся как дельта выполнения морского залива, существовавшего между протягивающимся с юга на север уступом плато Черингомо и отрогами этого плато северо-восточного простирания. Аллювиальные равнины в этой части дельты представляют собой выровненные поверхности на высоте до 50 м над уровнем океана с обширными заболоченными понижениями. Залив постепенно заполнялся речными отложениями, а береговая линия выравнивалась под влиянием морского волнения и вдольберегового потока песчаных наносов, источниками которых служили выносы рукавов дельты Замбези и смежных рек, также впадающих в Мозамбикский пролив. Под воздействием морского волнения из этих выносов сформировались береговые бары, ориентированные, как и преобладающее волнение, на северо-восток. По мере наращивания берега в сторону моря береговые бары превращались в параллельные берегу песчаные гряды с дюнами, образовавшимися на них при перевевании песков.

Как отмечено в [1], среди рядов гряд и понижений между ними (реликтов береговых баров и мелководных лагун) ближайшие к берегу океана гряды самые высокие. Поскольку гребни этих гряд «привязаны» к уровню моря, различия в их высоте свидетельствуют о том, что более древние и удаленные от современного берега гряды формировались при более низком уровне океана. По данным [1], древние гряды находятся не только на суше, но и на дне берегового склона Мозамбикского пролива.

В дельте Замбези древние гряды занимают протягивающуюся вдоль побережья полосу шириной от 3 до 15 км. Эта полоса хорошо выделяется на космических снимках. Гряды немного возвышаются над затопляемыми аллювиальными равнинами внутренней части дельты, и на снимке дельты во время наводнения 2003 г. видно, что они оставались сухими. Широкая полоса гряд разделяется на фрагменты устьями дельтовых рукавов, в районах которых сложно взаимодействуют процессы речной аккумуляции и морские факторы (волнение и приливы). Устьевые участки рукавов имеют эстуарные расширения — результат эродирующей деятельности приливных течений. Вокруг эстуариев образовались мангровые леса и болота.

Характерны сложные коленообразные повороты русел рукавов вблизи их устьев, отражающие историю

формирования приморской зоны дельты; они особенно отчетливо выражены в устьях рукавов Мукару и Кваква. Активное формирование аккумулятивных береговых баров сначала отклоняло русло рукава на северо-восток, затем во время значительного половодья следовал прорыв русла к морю в направлении, перпендикулярном морскому берегу дельты. В последующем формирование новых аккумулятивных кос вновь отклоняло рукав в северо-восточном направлении вдоль берега. Серии таких коленчатых изгибов русла прослеживаются при впадении большинства рукавов дельты в океан.

В устье основного рукава Замбези на космических снимках хорошо отразилось формирование современной небольшой частной дельты выдвижения мористее участка прорыва полосы песчаных гряд, параллельных прежнему берегу. Величина выдвинутости этого нового участка дельты в океан составляет 10 км вдоль главного рукава при протяженности зоны выдвижения вдоль берега около 40 км. Аккумулятивные песчаные береговые бары, сформировавшие этот участок берега, имеют изогнутую форму, что отражает сложное взаимодействие речных и морских процессов. Почти весь этот участок выдвижения дельты занят мангровыми лесами.

Вдоль морского берега на снимках хорошо видна яркая белая линия пляжей и современных аккумулятивных песчаных береговых баров и кос, вытянутых в едином направлении в соответствии с обусловленным волнением вдольбереговым потоком наносов. Рост кос в длину ограничивается очередным впадающим в океан рукавом дельты. Дистальные окончания кос дугообразно изгибаются в сторону суши под воздействием волнения. На снимке видны образующиеся в устьевых створах рукавов и мористее их островные баровые отмели и осередки; хорошо выделяются светлые узкие полосы морской пены на местах забурунивания волн над подводными устьевыми барами.

Карты экосистем дельты. Составленные в результате дешифрирования космических снимков карты экосистем дельты Замбези (рис. 2, 3) позволяют охарактеризовать их современное состояние, а сравнение с материалами предыдущих исследований — произошедшие в последние десятилетия изменения экосистем, в основном обусловленные влиянием регулирования стока реки крупными водохранилищами, а также проведенными здесь агротехническими мероприятиями.

По типам поверхности, растительному покрову и соответствующему им использованию земель в дельте выделяется несколько зон: 1) морской край дельты с аккумулятивными песчаными береговыми барами и косами, с мангровыми лесами вдоль морского берега и по берегам приливных эстуариев в устьях многочисленных рукавов дельты; 2) прибрежная зона с сериями параллельных морскому берегу песчаных гряд — реликтовых аккумулятивных береговых баров и кос с сельскохозяйственно освоенными гребнями гряд и

древесной растительностью в межрядовых понижениях; 3) аллювиальные заливаемые равнины внутренней части дельты, занятые травянистыми саваннами с лесной растительностью вдоль русел водотоков, чередующимися с болотами в понижениях рельефа; 4) сельскохозяйственные земли на аллювиальных равнинах в верхней части дельты. Кроме того, на окружающих дельту возвышенностях выделяются травянистые саванны, саванные редколесья и листопадные леса. Каждая зона характеризуется своим комплексом экосистем и их изменений, прослеживающихся с середины прошлого века.

Морской край дельты. Береговая линия дельты расчленяется устьями впадающих в океан рукавов, которых на протяжении морского края дельты насчитывается 14. Вдоль берега протягивается цепь узких песчаных береговых баров и кос шириной от 200 м до 1 км и протяженностью от 10 до 30 км. Каждая коса начинается слева от устьевого створа впадающего в море рукава и заканчивается дистальным расширением у устьевого створа следующего рукава, образующего препятствие для дальнейшего роста косы. Косы в основном не задернованы, освоены лишь пионерной растительностью. Устьевые участки большинства впадающих в океан водотоков, особенно крупных рукавов Мунгари, Мукело, Чинде, Мукару, Кваква, для которых по указанным выше причинам характерна сложная конфигурация в плане с коленчатыми изгибами, имеют эстуарные расширения. Вдоль расширенных устьевых участков этих рукавов в дельту вклиниваются заболоченные мангровые леса, которые занимают также весь участок выдвижения молодой частной дельты в устье главного рукава.

Кроме песчаных кос и мангров на морском крае дельты встречаются также лишенные растительности участки илистой осушки. Такие оголенные участки отмечал при полевых исследованиях в начале 1970-х гг. К. Тинли [14], который считал, что прежде они были заняты манграми, пока отложения ила при высоких приливах их не перекрыли и не вызвали осолонение, токсичное для мангров (что подтверждено гибнущими деревьями на краю дельтовой равнины). Когда же оголенные илистые участки стали подвергаться опреснению под воздействием водного стока, поверхность вновь покрылась мангровой растительностью, хотя и редкой. Это интересное наблюдение проливает свет на динамику мангров — их сокращение в последние десятилетия на 40% [11], когда после создания водохранилищ резко сократился сток воды в рукавах дельты.

На рис. 4 в качестве примера показано изменение контуров распространения мангровых лесов за 1983—2002 гг., выявленное авторами статьи путем сопоставления карты мангров в отчете SWECO (по результатам дешифрирования снимков со спутника Landsat 1983 г. [12]) с современными космическими снимками. На рассматриваемом участке морского края дельты выявлено сокращение площади мангров, но масштабы его в данном случае невелики.

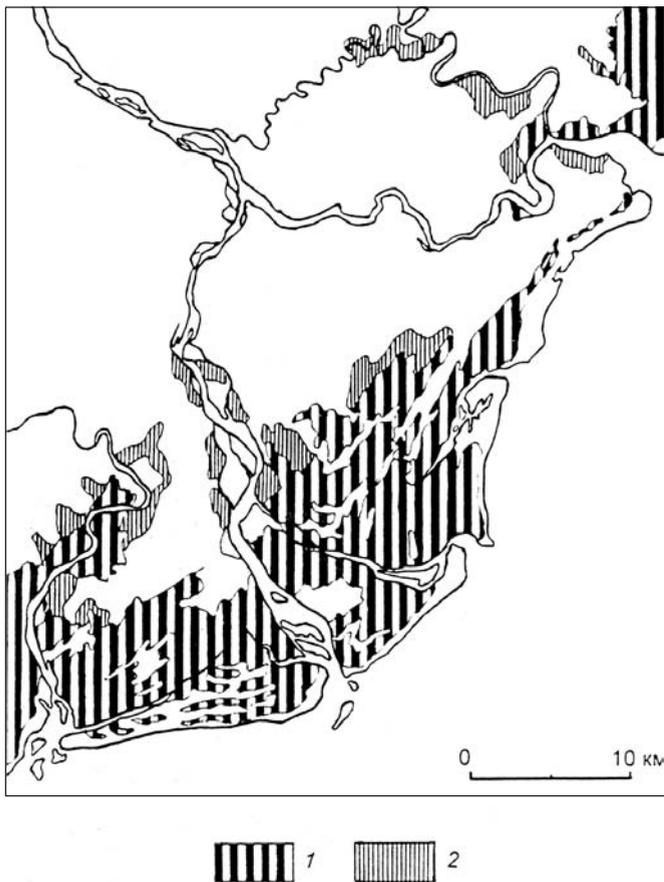


Рис. 4. Изменение распространения мангровых лесов за 1983—2002 гг.: 1 — сохранившиеся мангровые леса, 2 — участки исчезновения мангровых лесов

Прибрежная зона. Характерную особенность дельты Замбези представляет протянувшаяся вдоль берега широкая полоса, включающая серии параллельных песчаных гряд, которые в прошлом представляли собой береговые аккумулятивные формы — береговые бары и косы. Регулярное (возможно, ежегодное) нарастание новых кос и береговых баров увеличивало площадь дельты и перемещало береговую линию в сторону моря. Единая система гряд, протянувшихся вдоль всего морского края дельты, разделена на фрагменты устьевыми участками крупных рукавов, при прорыве к морю размывших песчаные гряды и образовавших между ними коридоры, которые заняла мангровая растительность. Ширина полосы песчаных гряд изменяется, увеличиваясь от 3 км на крайнем западном участке и от 5 км в районе выдвинувшейся молодой частной дельты вблизи рукавов Мукело, главного рукава и Чинде, до 10 км вблизи устья рукава Мукару и до 15 км в нижнем течении рукава Кваква вблизи г. Келимане. Число гряд на этих расширенных участках достигает 100—150, ширина их составляет от 30 до 100 м. К. Тинли [14] отмечал, что изолированные группы старых песчаных гряд встречаются и в 30 км от берега.

При дешифрировании снимков древние гряды выделены нами как песчаные образования внутри

дельты; их линейный облик теперь полностью сnivelирован. Гряды разделены между собой также строго параллельными межгрядовыми понижениями, заболоченными или занятыми древесной растительностью, причем на северо-восток полосы древесной растительности сужаются, вплоть до рядов одиночных деревьев. Вершинные части песчаных гряд почти повсеместно освоены, на них обустроены небольшие сельскохозяйственные поля. В восточной части дельты на грядах видны плантации кокосовой пальмы.

Заливаемые равнины внутренней части дельты. Дельтовый конус, образованный старыми рукавами, веерообразно расходящимися от главного рукава, представляет собой чередование обсыхающих в сухой сезон травянистых и пальмовых саванн на выположенных поверхностях аллювиальных равнин (сочетающихся с древесной растительностью по берегам многочисленных меандрирующих сложноветвящихся русел водотоков) и заболоченных участков с травянистыми, тростниковыми и папирусными болотами в понижениях рельефа. Эти компоненты образуют сложную мозаику, которую в масштабе карты не удалось отобразить, на ней выделены районы преобладания обсохших или заболоченных участков. Вдоль русла главного рукава Замбези и ответвляющегося от него рукава Чинде протягивается неширокая (1—2 км) полоса заболоченной сегментной поймы.

Соотношение площадей обсыхающих саванн, заболоченных участков суши и настоящих болот зависит от заливаемости дельты в дождливый сезон. До зарегулирования стока реки водохранилищами, в середине прошлого века, заболоченность дельты была очень большой, но после сооружения водохранилищ Кариба и Кахора-Баса, когда ежегодное сезонное заливание дельты почти прекратилось, значительная часть дельтовых равнин обсохла и увеличились площади травянистых и пальмовых саванн. Этот процесс хорошо иллюстрируется фрагментами схем дешифрирования снимков 1960 и 1999 гг. на западную часть дельты (рис. 5). На них видно, что на месте широкой полосы мангровых лесов вдоль приливного русла и папирусных болот остались лишь узкие полосы мангров с илистой осушкой, а на месте болот образовалась пальмовая саванна.

Сельскохозяйственные земли дельты. Дельтовые равнины внутренней части дельты, как и песчаные вдольбереговые гряды, в значительной мере освоены в сельскохозяйственном отношении. Вся верхнюю часть дельты по обоим берегам ее главного рукава между н/п Вила Фонтес и Валенте занимают сплошные массивы полей. По правому берегу рукава на юг от Валенте распространяется на 30 км обширный массив крупных полей на рекультивированной территории. Здесь во время гражданской войны поля были заброшены и заросли кустарником, а в последние годы проведена мелиорация территории (на современных снимках высокого разрешения прослеживается сеть мелиоративных каналов) и созданы новые очень крупные массивы полей, освоение которых

возможно лишь при высокой степени механизации. Другой крупный массив сельскохозяйственных полей находится в восточной части дельты, в районе г. Келимане. Он занимает дельту вплоть до ее верхней границы и выходит за ее пределы на окружающие равнины. Оба указанных района имеют железнодорожное сообщение с другими районами страны (что обеспечивает вывоз сельскохозяйственной продукции), а также сообщение через водотоки с морскими портами Шинде и Келимане. Кроме этих массивов, где их структура указывает на принадлежность крупным сельскохозяйственным предприятиям, в средней части дельты по берегам веерообразно расходящихся рукавов расположены небольшие многочисленные фермы, очевидно, местного значения.

По результатам анализа космических снимков, приведенных в [9], в верхней части дельты в 1986 г. под сельское хозяйство использовалось 21,5 км² земель, а в 2000 г. уже 346,7 км²; увеличение площади сельскохозяйственных земель составило 325,2 км². По мнению авторов работы [9], освоение земель под сельское хозяйство и строительство защитных дамб вдоль рукавов будет распространяться и на среднюю и нижнюю части дельты.

Окружение дельты, прилегающие территории. С запада и севера дельту окаймляют возвышенности: на западе — плато Черингомо высотой до 300 м, на севере — холмы, представляющие собой отроги этого плато высотой до 200 м.

Уступ плато Черингомо подходит к западному краю дельты на севере, а южнее он отступает, и у его подножия образовалась серия аллювиальных конусов рек, дренирующих плато. Листопадные кустарники и леса, протягивающиеся вдоль водотоков, чередуются здесь с травянистыми саваннами между водотоками. Поверхность плато покрыта листопадными лесами, а долины расчленяющих его рек заняты травянистыми саваннами. На снимках отчетливо видно, что лесные массивы этой части плато прерываются многочисленными кольцевыми образованиями с травянистой растительностью, иногда заболоченными в центральных частях; возможно, это просадки грунта в результате развития глинистого карста.

Холмы, поднимающиеся к северу от дельты, менее высокие, заняты кустарниковой саванной, а у их подножий к дельте примыкают травянистые саванны. Восточнее высота холмов увеличивается до 200 м, появляются редколесья, а затем и листопадные леса.

Выводы:

— анализ космических снимков со спутника Landsat позволил обоснованно выделить границы дельты Замбези, а также проследить взаимодействие речных и морских процессов в формировании сложной конфигурации ее морского края с чередованием ровных линейных фрагментов береговой линии на участках аккумулятивных кос и разрывающих их воронковидных эстуарных расширений в устьях рукавов. Коленообразные повороты в устьевых участках рукавов отражают смену режимов нарастания кос и их про-

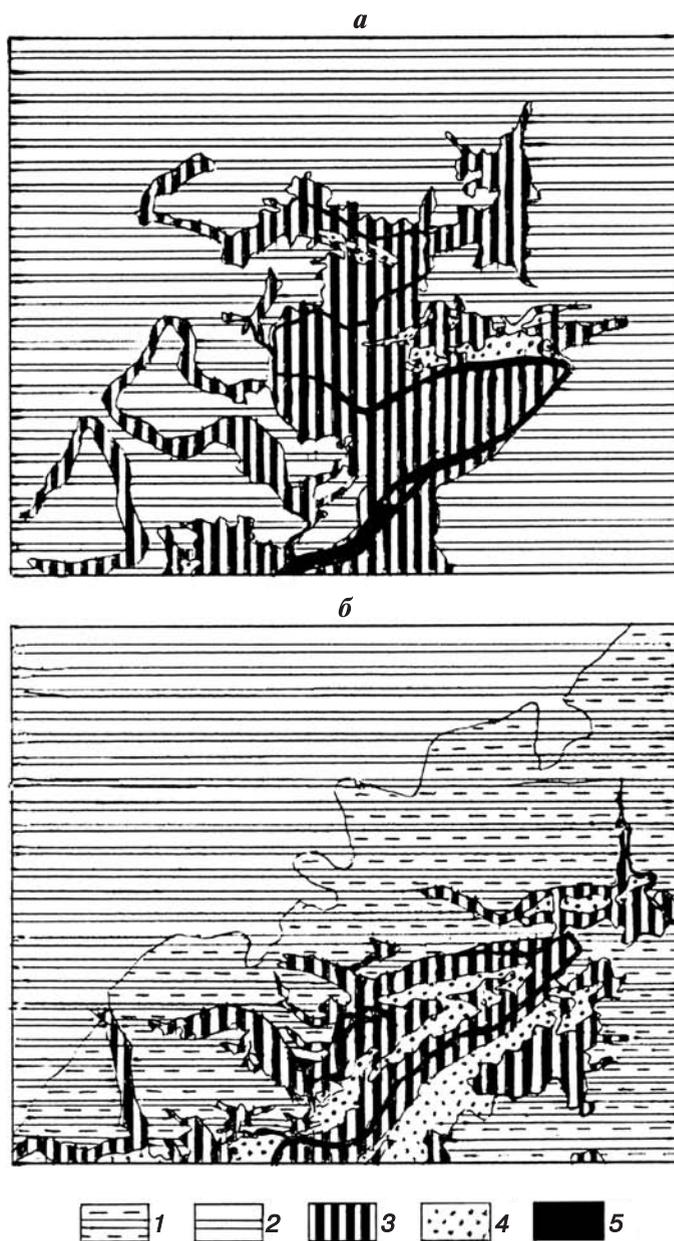


Рис. 5. Изменения ландшафтов в районе рукава Мунгари в западной части дельты Замбези: а — 1960 г.; б — 1999 г.: 1 — пальмовая саванна, 2 — заливаемая травянистая саванна и папирусные болота, 3 — мангровые леса, 4 — илистая осушка, 5 — вода

рывов водотоками. По снимкам получены морфометрические характеристики пояса песчаных гряд, параллельных берегу, — реликтовых аккумулятивных кос и береговых баров, составляющих характерную особенность Мозамбикского берега;

— составленные по космическим снимкам карты современного состояния и изменений экосистем дельты Замбези передают главные черты воздействия регулирования реки водохранилищами на ландшафты — сокращение площадей мангровых лесов в связи с уменьшением стока воды в рукавах дельты в половодье; уменьшение заливаемости дельты, общее обсыхание территории и как следствие появление травянистых и пальмовых саванн на обсыхающих в сухой

сезон выположенных поверхностях аллювиальных равнин, которые прежде были заняты травянистыми, тростниковыми и папирусными болотами, теперь сохранившимися лишь в понижениях рельефа; мелиорацию земель дельты и их активное сельскохозяйственное освоение;

— опыт создания карт экосистем дельты Замбези показал, что космические снимки, содержащиеся в

информационной системе GoogleEarth, включающей наряду с обзорными снимками земной поверхности локальные снимки сверхвысокого разрешения, целесообразно использовать для различных видов тематического картографирования. Необходимость сочетать информацию разных охвата и разрешения требует разработки специальных методик мультимасштабного дешифрирования космических снимков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каплин П.А., Леонтьев О.К., Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г. Берега. М.: Мысль, 1991. 497 с.
2. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И. Аэрокосмические исследования динамики географических явлений. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 205 с.
3. Кравцова В.И. Анализ динамики дельт на основе космических снимков // Водные ресурсы. 2001. Т. 28, № 4. С. 402—409.
4. Кравцова В.И., Митькиных Н.С. Устья рек мира в атласе космических снимков // Водные ресурсы. 2011. Т. 38, № 1. С. 3—19.
5. Кравцова В.И., Митькиных Н.С. Устья рек России: Атлас космических снимков / Под ред. В.Н. Михайлова. М.: Научный мир, 2013. 124 с.
6. Самойлов И.В. Устья рек. М.: Географгиз, 1952. 526 с.
7. Самсонов Т.Е. Мультимасштабное картографирование — новое направление картографии // Современная географическая картография / Под ред. И.К. Лурье, В.И. Кравцовой. М.: Дата+, 2012. С. 21—35.
8. Bielfuss R., Dutton P., Moore D. Land cover and land use change in the Zambezi delta // BFA Publications N 8. Zambezi

Basin Wetlands. 2000. Vol. III. Land use change and human impacts. Ch. 2. P. 31—105.

9. Coleman J.M., Huh O.K. Major world deltas. A perspective from space. URL: <http://www.geol.lsu.edu> (дата обращения: 20.10.2013).

10. Gandolfi C., Guariso G., Toghi D. Optimal flow allocation in the Zambezi River system // Water Resources Management. 1997. N 11. P. 377—393.

11. Ronco P., Fasolato G., Nones M., Di Silvo G. Morphological effects of damming on Lower Zambezi River // Geomorphology. 2010. N 115. P. 43—55.

12. SWECO/SwedPower. Cahora Bassa hydroelectric power scheme. St. II. Preinvestmant report, pt 5. Ecology. Stockholm, 1983.

13. Timberlake J. Biodiversity of the Zambezi basin wetlands: review and preliminary assessment of available information // BFA Publications N 3. Wetlands Biodiversity. Phase 1. Final Report. 1998. Feb. 251 p.

14. Tinley K.L. Framework of the Garagnosa Ecosystem. DPhil Thesis. University of Pretoria, South Africa, 1977.

Поступила в редакцию
03.12.2013

V.I. Kravtsova, V.N. Mikhailov

THE ZAMBEZI RIVER DELTA AND ITS CHANGES DUE TO RESERVOIR CONSTRUCTION

History of the Zambezi River delta development and investigation is analyzed. Delta transformation due to construction of large reservoirs within the river basin is described. Basing on the results of space imagery interpretation the delta morphology was studied and the map of the actual state of ecosystems was compiled. Maps of ecosystem transformation due to river flow regulation were also compiled for particular parts of the delta.

Key words: the Zambezi River, delta, ecosystems and their changes, reservoirs, space imagery, map.

УДК 338.47:914

В.О. Дубовик¹**ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНОЙ ДОСТУПНОСТИ ГОРОДОВ УРУГВАЯ И БОЛИВИИ**

Рассмотрена методика оценки транспортной доступности населенных пунктов с учетом характеристик дорожной сети, физико-географических особенностей и типов населенных пунктов. Она апробирована на примере населенных пунктов Уругвая и Боливии. Выполнен сравнительный анализ транспортной доступности населенных пунктов этих двух стран.

Ключевые слова: транспортная доступность, доступность городов, транспорт, Уругвай, Боливия.

Введение. Для выяснения особенностей экономического и социального развития территории необходимо проанализировать ее транспортную доступность, которая является важнейшим условием развития хозяйства и расселения во всех регионах и странах. Она представляет собой пространственный резерв маневрирования транспортными связями [3], потенциальные возможности взаимодействия территорий через транспортную сеть [5].

Транспортная доступность влияет как на хозяйство, так и на социальную сферу жизни общества. Ее можно рассматривать как совокупность реальных и потенциальных возможностей конкретной территории для социально-экономического развития [1], как источник высвобождения свободного времени, снижения трудности транспортного сообщения между населенными пунктами, роста производительности труда и объемов производства [2, 4].

Постановка проблемы. Западноевропейские и американские исследователи уделяют большое внимание изучению транспортной доступности как фактору, определяющему условия жизни населения [7]. Существует много работ, в которых рассмотрена транспортная доступность территории через сеть общественного транспорта и обосновано ее дальнейшее развитие [6]. Это понятие играет важную роль при разработке программ транспортного развития. Методы оценки транспортной доступности территории в русскоязычной литературе освещены слабо и мало применяются в экономико-географических исследованиях. Выделяются работы отечественного географа В.Н. Бугроменко, который ввел в практику научных исследований методику оценки интегральной транспортной доступности, т.е. вероятности достижения любого пункта территории из любого другого с заданной скоростью или в течение заданного периода времени [1]. Она характеризует транспортно-географическое положение территории и отражает возможность маневрирования транспортными связями для всех ее точек.

Методы оценки транспортной доступности территории разделяются на 6 групп. Топологические методы учитывают сетевые характеристики транспорта. В основе методов оценки пространственного разграничения лежит расчет сложности преодоления пространства, разделяющего начальный и конечный пункты. В качестве меры сложности преодоления пространства можно использовать различные показатели: расстояние по прямой линии, расстояние по транспортной сети, время в пути, транспортные издержки, итоговая стоимость перевозок и т.д. Методы изолиний — наиболее наглядные из всех рассматриваемых. Чаще всего используют изодистанты (линии равных расстояний), изохроны (линии равного времени в пути), изодапаны (линии равных издержек). Методы потенциалов построены на зависимости от веса конечных точек и функции меры преодоления расстояния. Методы инверсионных балансов, в отличие от методов потенциалов, учитывают особенности не только конечных пунктов, но и начальных. Они используются, если необходимо включить в исследование конкуренцию как в спросе (в начальных пунктах), так и в предложении (в конечных пунктах). Пространственно-временные методы основаны на построении для индивидов призм, показывающих, где и когда они потенциально могут оказаться.

Несмотря на множество работ по изучению транспортной доступности, комплексной модели по оценке доступности населенных пунктов с учетом их размера нет.

Первая задача, поставленная при исследованиях, — разработка методики оценки транспортной доступности населенных пунктов с учетом характеристик дорожной сети, природных особенностей и типов населенных пунктов. Вторая задача подразумевает апробацию разработанной модели на примере двух стран с отличающимися природными и социально-экономическими характеристиками. Третья задача — анализ полученных при апробации модели результатов

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра социально-экономической географии зарубежных стран, аспирант; e-mail: dubovik.v@gmail.com

и сравнение транспортной доступности населенных пунктов двух стран — Уругвая и Боливии.

Материалы и методы исследований. Исследование проводилось в программной оболочке ESRI ArcGIS, использованы следующие исходные материалы.

1. *Сеть автомобильных дорог* построена автором по данным космических снимков (Google Earth), электронных карт (Google Maps, Bing Maps, OpenStreet Maps и др.) и карт дорожной сети исследуемых стран. Автомобильные дороги внутри населенных пунктов в исследовании не включены. Железнодорожный и водный транспорт исключены из исследования в связи с ограниченностью их применения для перемещения населения в рассматриваемых странах.

Все автомобильные дороги разделены на 3 группы. К 1-й группе отнесены автодороги с твердым покрытием, включенные национальными атласами автомобильных дорог исследуемых стран в высшую категорию. Предельная скорость движения по дорогам этой группы равна максимальной скорости, разрешенной законодательством конкретной страны. Во 2-ю группу включены автодороги с преобладанием твердого покрытия, но не отнесенные национальными атласами к высшей категории. Для дорог этой группы предельная скорость движения принята равной 2/3 от предельной скорости движения по дорогам 1-й группы. К 3-й группе отнесены автодороги преимущественно с отсутствием твердого покрытия. Предельная скорость движения по дорогам этой группы составляет 30 км/ч.

2. *Преобладающие типы ландшафтов.* Данные получены по космическим снимкам системы Landsat. Всего для рассматриваемых стран выделено более 100 типов ландшафтов. Каждому из них присвоена определенная средняя скорость перемещения пешком, например для низкотравной степи — 3 км/ч, для густого леса в горной местности — 0,2 км/ч.

3. *Уклон рельефа.* Карта уклонов получена путем математических расчетов с орографической карты. Размер уклона сказывается на скорости перемещения по автомобильным дорогам.

4. *Населенные пункты.* Для исследования использованы все поселения, население которых, по данным последней переписи, составляло ≥ 10 тыс. человек. Населенные пункты распределены на 3 группы:

крупные (≥ 250 тыс. человек), средние (50—250 тыс. человек) и небольшие (10—50 тыс. человек). Под эти критерии попало 38 населенных пунктов в Уругвае и 43 в Боливии (табл. 1).

Территория исследуемой страны преобразуется в поверхность, состоящую из множества ячеек — квадратов со стороной 1 км (в соответствии с разрешением карты типов ландшафтов, построенной по данным снимков Landsat). Каждой ячейке присвоена определенная скорость ее пересечения, выраженная в количестве минут, необходимых для преодоления 1 км (мин/км). В случае прохождения через ячейку автомобильной дороги ячейке присваивается атрибут, равный предельной скорости движения по автодороге, скорректированной на уклон местности и переведенной в мин/км. Если через ячейку не проходят автодороги, то в качестве ее атрибута используется скорость пешеходного перемещения через территорию с соответствующим типом ландшафта.

С помощью этой поверхности для каждой ячейки найден наиболее быстрый путь до ближайшего населенного пункта выбранного размера и определена его продолжительность. Для пространственного анализа на основании модели построены карты доступности каждой группы населенных пунктов по численности населения.

Для структуризации информации и получения интегрального рисунка доступности населенных пунктов различных групп с целью получения типов территории осуществлено наложение изохрон. Оно проведено следующим образом:

— если время в пути до ближайшего населенного пункта составляет < 3 ч., то из расчетов для данной ячейки исключаются населенные пункты, до которых нужно ехать ≥ 3 ч., независимо от их группы;

— если время в пути до первого населенного пункта, относящегося к более высокой группе по численности населения, меньше или равно времени до второго населенного пункта, относящегося к менее высокой группе по численности населения, то картографируется время в пути только до первого населенного пункта;

— если время в пути до населенного пункта из более высокой группы по численности населения больше времени до населенного пункта, относящегося

Таблица 1

Распределение населенных пунктов по группам по численности населения

Страна	Население страны, тыс. человек	Крупные населенные пункты (более 250 тыс. человек)				Средние населенные пункты (от 50 до 250 тыс. человек)				Небольшие населенные пункты (от 10 до 50 тыс. человек)			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Уругвай	3286	1	1319	1319	40	8	79	634	19	29	23	672	20
Боливия	10 027	5	861	4307	43	11	124	1366	14	27	22	587	6

Примечания. 1 — число населенных пунктов; 2 — средняя численность населения, тыс. человек; 3 — общая численность населения, тыс. человек; 4 — % от численности населения страны.

к менее высокой группе, то при картографировании учитывается расстояние до нескольких населенных пунктов;

— для удобства работы каждому полученному типу территорий присваивается трехзначный код, показывающий доступность населенных пунктов каждой группы. Порядковый номер знака в коде означает группу населенного пункта, а значение знака — доступность ближайшего населенного пункта данной группы (1 — <1 ч., 2 — 1—2, 3 — 2—3, 4 — 3—4, 0 — >4 ч. или наличие расположенного ближе населенного пункта более высокой группы). Например, код 321 означает, что из любого пункта данного типа территории придется 2—3 ч. добираться до населенного пункта 1-й группы (цифра 3 в коде), 1—2 ч. до населенного пункта 2-й группы (цифра 2 в коде) и <1 ч. до населенного пункта 3-й группы (цифра 1 в коде). Код 000 подразумевает, что доступность любого рассматриваемого населенного пункта на территории указанного типа составляет ≥3 ч.

Для апробации полученной модели и анализа доступности населенных пунктов выбраны две южноамериканские страны-антипода — Уругвай и Боливия,

территории которых различаются как по природным, так и по социально-экономическим характеристикам.

Результаты исследований и их обсуждение. Транспортная сеть *Уругвая* относительно равномерно покрывает всю территорию страны с некоторым увеличением плотности дорожной сети в районе Монтевидео. Населенные пункты довольно равномерно распределены по всей стране с небольшим увеличением их концентрации на приграничных территориях и около столицы.

В Уругвае низка площадь территорий, из которых нельзя добраться до ближайшего населенного пункта с численностью ≥10 тыс. человек меньше чем за 4 ч. Они занимают лишь 7% территории страны (табл. 2).

С 34% территории Уругвая можно добраться до столицы меньше чем за 4 ч. Еще на 54% площади Уругвая транспортная доступность населенных пунктов 2-й группы составляет не более 4 ч. С 5% территории страны можно добраться в течение 4 ч. только до населенных пунктов 3-й группы.

Типы транспортной доступности 020, 030 и 010 (т.е. с этих территорий быстрее всего можно доехать до населенных пунктов 2-й группы, время в пути до города 1-й группы составляет ≥4 ч., а до населенных

Таблица 2

Соотношение ареалов транспортной доступности населенных пунктов Уругвая и Боливии

Код ареала	Время в пути, часы			Уругвай		Боливия	
	до города 1-й группы (от 10 до 50 тыс. человек)	до города 2-й группы (от 50 до 250 тыс. человек)	до города 3-й группы (более 250 тыс. человек)	Площадь ареала, тыс. км ²	Доля от общей площади страны, %	Площадь ареала, тыс. км ²	Доля от общей площади страны, %
100	<1			3,7	2,1	7,0	0,6
2XX	1—2	<1		11,1	6,3	17,1	1,6
3XX	2—3	<1		19,0	10,8	27,3	2,5
4XX	3—4	<1		26,3	14,9	38,9	3,5
	<4			60,0	34,1	90,3	8,2
010		<1		12,4	7,0	4,4	0,4
02X		1—2	<1	33,4	19,0	12,9	1,2
03X		2—3	<1	28,5	16,2	21,9	2,0
04X		3—4	<1	21,3	12,1	34,5	3,1
	>4	<4		95,6	54,2	73,7	6,7
001			<1	0,0	0,0	5,4	0,5
002			1—2	0,6	0,3	13,2	1,2
003			2—3	3,0	1,7	21,8	2,0
004			3—4	5,4	3,1	40,8	3,7
	>4	>4	>4	9,0	5,1	81,3	7,4
000				11,6	6,6	853,4	77,7

Примечание. Полу жирным выделены характеристики суммарных ареалов транспортной доступности городов разных групп.

пунктов 3-й группы — ≥ 4 ч. или больше (или равно) времени до населенных пунктов 2-й группы) занимают наибольшую площадь в стране — 17, 10 и 7% соответственно. Типы 400, 410 и 001 в Уругвае отсутствуют.

Рассмотрим размеры зон транспортной доступности населенных пунктов в стране. Под ними будем понимать территорию, с которой можно добраться до рассматриваемого города менее чем за 4 ч. при отсутствии других городов той же или высшей категории, доступность которых равна или выше доступности рассматриваемого города. Соотношение площадей зон транспортной доступности населенных пунктов Уругвая, ограниченных изохронами 1—4 ч., различается в зависимости от групп населенных пунктов. Для Монтевидео чем выше значение изохроны, тем больше площадь, покрываемая зоной транспортной доступности (рис. 1). Для средних и небольших городов наибольшей площадью обладает зона, ограниченная изохронами 1 и 2 ч.

Самыми крупными зонами доступности обладают Монтевидео (34% площади страны), среди средних городов — Мело (22%), Такуарембо (17%) и Пайсанду (16%), среди небольших — Треинта-и-Трес (5%), Дурасно (5%), Флорида (4%) и Артигас (4%); 11 городов не обладают зонами доступности, большинство из них расположено в столичной агломерации.

Транспортная доступность населенных пунктов в Уругвае имеет сравнительно высокие значения. Почти вся территория страны расположена в пределах изохроны 4 ч. пути до ближайшего населенного пункта. Повышенной транспортной доступностью населенных пунктов характеризуются южная часть страны, территория вдоль р. Уругвай и ареал вдоль автомобильных дорог № 3 (Сан-Хосе — Пайсанду — Сальто — Белья-Уньон), 5 (Монтевидео — Дурасно — Такуарембо — Ривера), 8 (Монтевидео — Минас — Треинта-и-Трес — Мело). Низкая транспортная доступность присуща центральным и северным частям страны, где преобладает пастбищное скотоводство.

Боливия покрыта автодорожной сетью неравномерно: плотность дорог выше в юго-западной и центральной частях страны, где сконцентрирована большая часть населения страны. В связи с неравномерностью размещения населенных пунктов и дорожной сети с 78% территории страны нельзя добраться до ближайшего населенного пункта с населением ≥ 10 тыс. человек менее чем за 4 ч. Около 8% площади Боливии обладает транспортной доступностью ≤ 4 ч. до крупных городов, 7% — только до средних городов и только до небольших населенных пунктов.

Здесь наиболее распространены типы транспортной доступности 004, 040 и 400, они занимают 4, 2 и 2% территории соответственно. В связи с неразвитостью дорожной сети и неравномерным распределением городов в стране отсутствуют многие типы транспортной доступности (301, 410, 421, 431, 401, 402, 031, 041).

Распределение площадей зон транспортной доступности населенных пунктов Боливии, ограниченных разными изохронами, имеет следующую закономерность: при уменьшении размера населенного пункта происходит увеличение площади зон доступности, ограниченных большими изохронами, и снижение площади зон доступности, ограниченных меньшими изохронами. Для крупных городов 41% площади зоны доступности расположен между изохронами 1 и 2 ч., для средних и небольших городов около половины площади — между изохронами 3 и 4 ч.

Самой большой зоной доступности обладает г. Оруро, относящийся к группе средних городов (1,4% площади страны). Из крупных городов наибольшие зоны доступности у городов Санта-Крус-де-ла-Сьерра (1,0%), Сукре (0,9%), из средних городов (помимо Оруро) — Монтеро (1,2%) и Тринидад (1,0%), из небольших населенных пунктов — Уюни (1,1%), Камири (0,8%) и Веласко (0,7%).

В связи с большой расчлененностью рельефа и низкими значениями густоты автомобильных дорог и распределения населения рисунок ареалов доступности населенных пунктов Боливии имеет очаговый характер. Можно выделить два основных ареала повышенной транспортной доступности — территорию вокруг г. Санта-Крус-де-ла-Сьерра и ареал, протянувшийся от городов Ла-Пас, Оруро и Кочабамба вдоль автодорог до границы с Аргентиной (рис. 2). Транспортная доступность населенных пунктов на оставшейся части территории Боливии низка и повышается только вокруг населенных пунктов, не образуя крупных ареалов.

Выводы:

— разработана методика оценки транспортной доступности населенных пунктов с учетом характеристик дорожной сети, природных особенностей и типов населенных пунктов, которая относится к группе методов изолиний. Методика апробирована на примере двух стран-антиподов с разными физико-географическими и социально-экономическими условиями — Уругвая и Боливии. Результаты апробации показали, что ее можно использовать для исследований транспортной доступности. К ее преимуществам можно отнести высокую наглядность, автоматизацию расчета программными средствами ArcGIS, возможность сравнения территорий на основе картографического материала. Недостатками методики являются субъективность при выборе градаций (время в пути, размер населенных пунктов), отсутствие дифференциации показателя транспортной доступности территории, расположенной между соседними изохронами;

— в результате сравнительного анализа транспортной доступности населенных пунктов Уругвая и Боливии установлены следующие различия: 1) несмотря на то что площадь Уругвая меньше площади Боливии в 6 раз, протяженность автомобильных дорог в Уругвае почти в 5 раз больше, чем в Боливии. Тер-

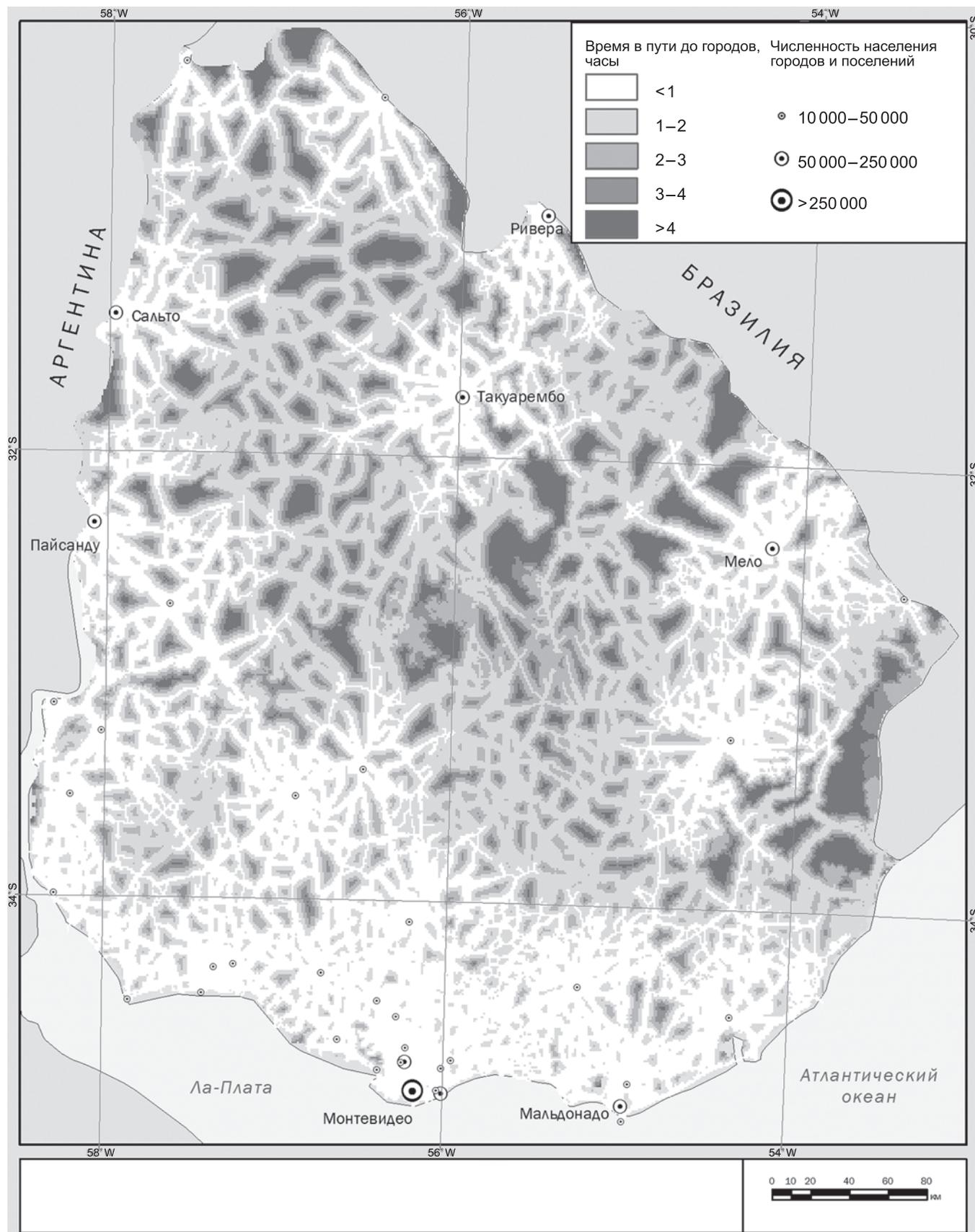


Рис. 1. Схема транспортной доступности городов Уругвая с населением ≥ 10 тыс. человек. Составлена автором

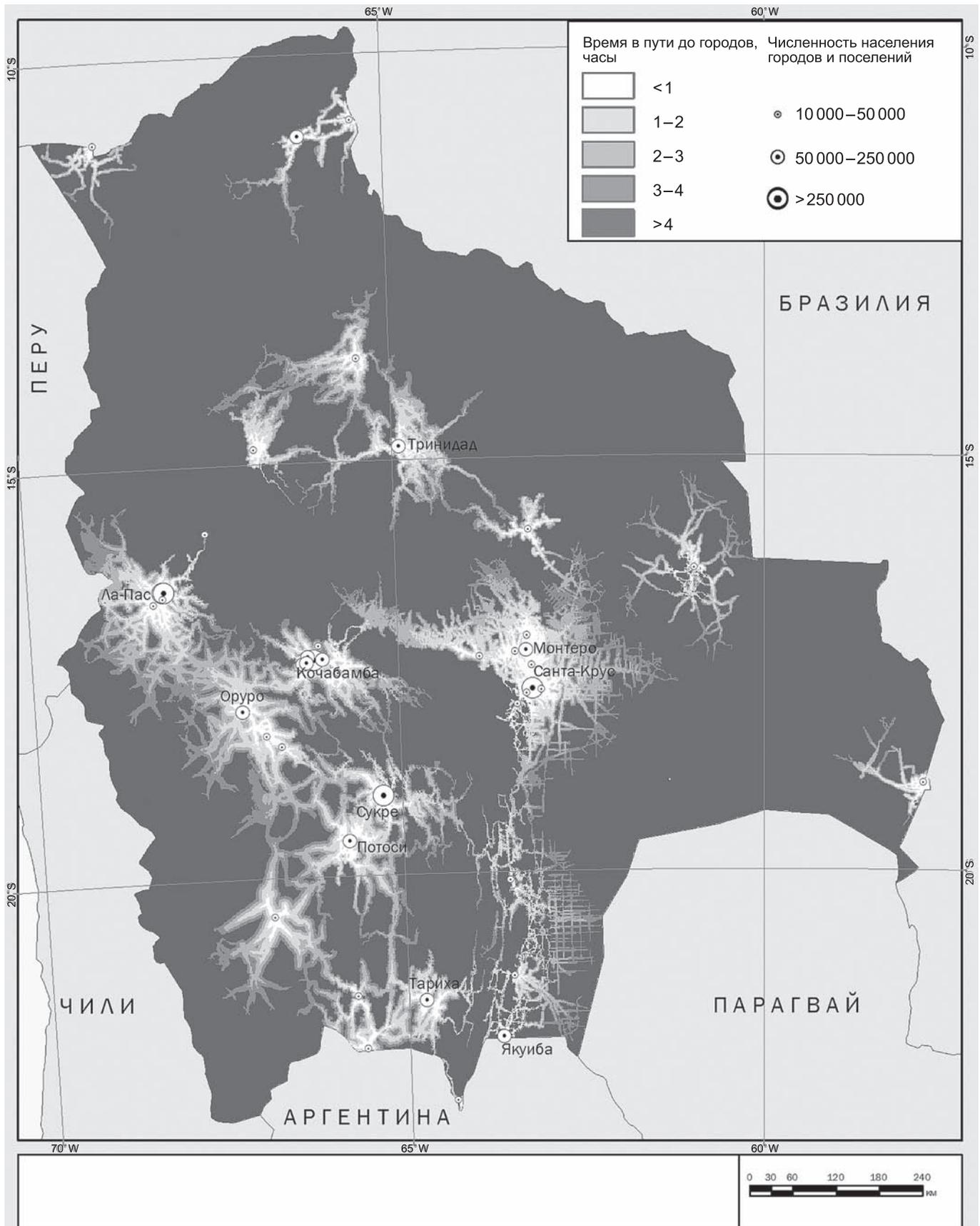


Рис. 2. Схема транспортной доступности городов Боливии с населением ≥ 10 тыс. человек. Составлена автором

ритория Уругвая покрыта автомобильными дорогами более плотно и равномерно, в связи с чем ареалы транспортной доступности имеют большую площадь и связность; 2) Уругвай развивался как страна, прежде всего ориентированная вовне. В связи с этим наибольшая транспортная доступность характерна для прибрежных и приграничных территорий. Отсутствие выхода к морю затрудняет связи Боливии с внешним миром. Самый высокий уровень транспортной доступности в Боливии характерен для центральной части страны. Крайние территории обладают низким уровнем транспортной доступности населенных пунктов, исключение — юго-западная часть границы Боливии, которая разрезает трансграничные ареалы проживания коренного индейского населения и сложившиеся в них связи; 3) на рисунке ареалов транспортной доступности населенных пунктов в Уругвае прослеживается зональность (рис. 1), в то время как в Боливии — очаговость (рис. 2). Доля территории с транспортной доступностью населенных пунктов, превосходящей 4 ч., в Уругвае значительно ниже, чем в Боливии (7 и 78% соответственно). Это связано с более равномерным покрытием дорожной сетью и городами территории Уругвая, чем территории Боливии. В Уругвае соотношение площадей территорий

с различной транспортной доступностью смещено в сторону территорий с более высокой доступностью, а в Боливии — с более низкой; 4) наибольшей транспортной доступностью в Уругвае обладают средние города (с 54% территории до них можно доехать в течение 4 ч. при отсутствии более крупных городов, расположенных ближе). Для 5% площади страны в пределах 4 ч. езды находятся только небольшие населенные пункты. В связи с очаговым характером транспортной доступности городов Боливии для населенных пунктов разных групп она примерно равна (7—8%); 5) в связи с большей плотностью дорожной сети и плотностью населенных пунктов в Уругвае возникает значительно больше типов транспортной доступности путем пересечения ареалов доступности городов разных групп, чем в Боливии. Из 35 выделенных типов в Уругвае представлено 32, а в Боливии — 27;

— разработанную методику можно применять для анализа и сравнения транспортной доступности разных стран. Кроме того, на основе результатов, полученных при применении методики, можно анализировать распределение разнообразных объектов и изменения социально-экономических показателей на территориях с различными типами транспортной доступности населенных пунктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугроменко В.Н. Транспорт в территориальных системах. М.: Наука, 1987.
2. Дидерихс Ф.Ф. Об особенностях оценки городских территорий // Экономические проблемы оптимизации природопользования. М.: Наука, 1973. С. 144—150.
3. Тархов С.А., Семина И.А. География транспорта как отраслевая географическая наука // Актуальные проблемы географии и геоэкологии. 2009. № 1(5). С. 93—104.
4. Якшин А.М., Говоренкова Г.М., Стрельников А.И. Граф-аналитический метод в градостроительных исследованиях и проектировании. М.: Стройиздат, 1979.

5. Hansen W.G. How accessibility shapes land-use // J. Am. Inst. Planners. 1959. Vol. 25. P. 73—76.
6. Murray A., Wu X. Accessibility tradeoffs in public transit planning // J. Geograph. Systems. 2003. Vol. 5(1). P. 93—108.
7. Wachs M., Kumagai T.G. Physical accessibility as a social indicator // Socio-Economic Planning Sci. 1973. Vol. 6. P. 437—456.

Поступила в редакцию
20.07.2012

V.O. Dubovik

EVALUATION OF TRANSPORT ACCESSIBILITY OF URUGUAYAN AND BOLIVIAN TOWNS

Evaluation of transport accessibility of settlements with account of the road network parameters, physiographic features and the type of settlement is discussed. The method was tested for the settlements of Uruguay and Bolivia. Transport accessibility of the settlements was comparatively analyzed for these countries.

Key words: transport accessibility, accessibility of towns, transport, Uruguay, Bolivia.

УДК 631.585 (551.431.16)

М.М. Иванов¹, С.Ф. Краснов², В.Р. Беляев³, Х.Н. Сафаров⁴

ОЦЕНКА СКОРОСТИ ПЛОСКОСТНОГО СМЫВА НА МАЛОМ ВОДОСБОРЕ В ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЕ КАРАТЕГИНСКОГО ХРЕБТА (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ТАДЖИКИСТАН)⁵

Исследованы возможные сценарии развития процессов плоскостного смыва в условиях активно осваиваемого компактного водосбора в предгорной зоне южного макросклона Каратегинского горного хребта. Основной тип сельскохозяйственных угодий в районе исследований — пастбища, в силу чего деградация земель и образование бедлендов связаны в первую очередь с перевыпасом скота. В таких условиях при наличии достаточного количества жидких осадков и большой крутизне поверхности склонов водосборов наличие растительного покрова принципиально важно для сохранности земельных ресурсов. В качестве метода оценки выбрана эрозионная модель, основанная на универсальном уравнении эрозии (USLE), во входных данных к которой рассмотрены два крайних варианта состояния растительного покрова на пастбищах: оптимальный — в виде сомкнутого разнотравного покрова и критический — в виде полностью редуцированного.

Проведенная оценка наглядно демонстрирует, что при сохранении современной тенденции к перевыпасу существует реальная угроза потери значительной части земельного фонда.

Ключевые слова: эрозия, плоскостной смыв, деградация пастбищ, Таджикистан, модели эрозии.

Введение. Предгорные области хребтов Центрального Таджикистана представляют собой арену активного развития эрозионных процессов. Слабая устойчивость почв и подстилающих лессовидных пород [3] к размыву в сочетании с относительно большим количеством осадков (~900 мм/год), из которых значительная часть выпадает в виде проливных дождей, и значительным уклоном поверхности создают благоприятные условия для эрозионной деятельности на склонах. Ситуация осложняется также тем, что растительный покров большинства водосборов имеет тенденцию к постепенному сокращению из-за антропогенного воздействия. В период существования Таджикской ССР этой проблеме уделялось большое внимание. Для информационного обеспечения сельского хозяйства с позиций противоэрозионной деятельности были проведены серии комплексных полевых исследований, а также заложен ряд стационарных станций наблюдения за развитием эрозии [1, 4, 10].

Постановка проблемы. Высокая сельскохозяйственная нагрузка на предгорные ландшафты, выраженная

преимущественно в виде пастбищного скотоводства, характерна для Средней Азии. Деградация растительных сообществ на кормовых угодьях приводит к интенсификации процессов водной и ветровой эрозии, что часто сопровождается потерей плодородия почв и производительности пастбища [8]. В отдельных случаях этот процесс может привести к формированию бедлендов, полностью непригодных для дальнейшего использования [20]. Так как рассматриваемая территория — один из ключевых аграрных районов Республики Таджикистан, то проблема безвозвратной потери земельных ресурсов стоит довольно остро и требует подробного рассмотрения [11].

Цель работы — оценка темпа плоскостного смыва со склонов конкретного водосбора, который типичен для Центрального Таджикистана. Оценка проводилась с использованием расчетов по эрозионной модели, позволяющих получить пространственную картину распределения зон с разным темпом смыва в пределах водосбора и провести количественный анализ полученных результатов.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева, аспирант; *e-mail:* ivanovm@bk.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева, ст. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail:* skras@mail.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева, ст. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail:* valdemar_b@rambler.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева, аспирант; *e-mail:* khasan_81@mail.ru

⁵ Статья подготовлена в рамках деятельности Швейцарского национального исследовательского центра (NCCR) Север—Юг “Партнерство для смягчения последствий климатических изменений”, софинансируется Швейцарским национальным научным фондом, Швейцарским агентством для развития и сотрудничества и институтами — участниками программы.

При оценке учитывалась существующая структура системы землепользования, сложившаяся на протяжении по крайней мере последних трех десятилетий, отдельное внимание было уделено состоянию растительного покрова на пастбищах, играющего важную почвозащитную роль. Рассмотрены два крайних состояния проективного покрытия растительностью склонов водосбора в пределах пастбищ, что соответствовало “минимальному” и “максимальному” сценариям развития эрозионных процессов на склонах. Полученные данные сопоставлены с результатами проведенной ранее на территории этого же водосбора оценки темпа перераспределения наносов с использованием радиоцезиевого метода [3].

Материалы и методы исследований. Характерная особенность рельефа предгорных областей Центрального Таджикистана, а конкретнее, южных предгорий Каратегинского хребта — наличие множества относительно компактных, вытянутых вдоль по падению южного склона хребта водосборов, выходящих устьями к долинам рек и разделенных между собой округловершинными водораздельными поверхностями. Подобный рельеф получил название адырного [9]. Склоны водосборов имеют, как правило, относительно небольшую длину (от нескольких десятков до нескольких сотен метров) и большую крутизну поверхности, зачастую превышающую 10—15°. В днищах водосборов в подавляющем большинстве случаев прослеживается наличие крупных донных оврагов. Отмечена тенденция как к продольному регрессивному росту оврагов, так и к их постепенному поперечному расширению. Процесс попятной эрозии хорошо диагностируется по наличию четких вершинных уступов и множеству крупных эрозионных борозд, у которых начинает формироваться собственный продольный профиль днища. Разрастание оврагов вширь во многом сопряжено с осыпанием материала с бортов оврага и выносом его за пределы водосбора [2, 3].

На склонах, используемых преимущественно как пастбища (хотя на наиболее пологих участках могут находиться пахотные массивы или сады), прослеживается практически весь спектр эрозионных микроформ рельефа — от мелких рытвин и борозд до крупных бортовых оврагов. Поедание травянистой растительности скотом и в большей степени выбивание поверхности в результате его выпаса приводит к тому, что значительные участки склонов остаются не защищенными от ударного воздействия капель дождя и формирующихся на склонах временных водных потоков. Постепенно под действием плоскостного и ручейкового смыва эти участки превращаются в бедленды. Подобное происходит часто, особенно на участках регулярного прогона скота. В отдельных случаях эрозия вступает в непосредственное взаимодействие с процессом механического воздействия животных на грунт. В результате этого могут возникать комплексы микрорельефа биогенно-флювиального происхождения, представляющие собой сеть эрозионных борозд с мелкобугристыми межбороздовыми участками.

Для исследований выбран водосбор Бодомо, расположенный в пределах южного макросклона Каратегинского хребта — одного из южных отрогов Гиссарского хребта, в 65 км на восток от Душанбе. Площадь исследуемого объекта составляет 0,77 км² (рис. 1). Перепад высоты в пределах водосбора составляет 377 м при диапазоне значений абсолютной высоты 1250—1627 м. При этом перепад распределен в пределах обозначенного интервала неравномерно (рис. 2, А). Значительная площадь приходится на высотные уровни, приуроченные к наиболее возвышенным водораздельным поверхностям. Небольшая доля площадей, относящихся к центральной части интервала высоты, указывает на то, что переход от более высоких к низким позициям происходит за счет относительно коротких и крутых склонов, что подтверждается графиком распределения крутизны склонов поверхности водосбора (рис. 2, Б), на котором выделяется пик зна-



Рис. 1. Расположение водосбора Бодомо

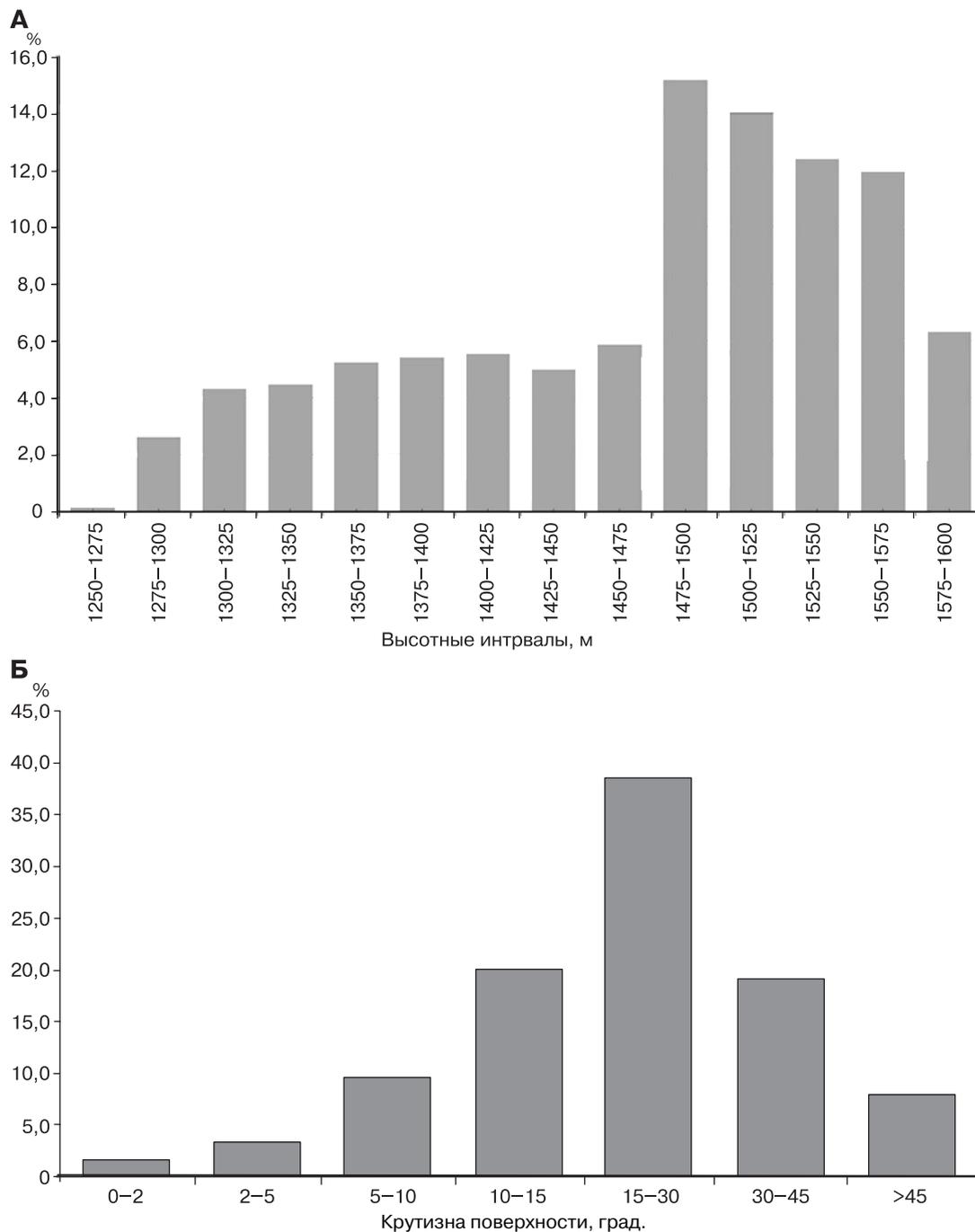


Рис. 2. Гистограммы распределения высотных интервалов (А) и крутизны поверхности рельефа водосбора Бодома (Б)

чений в интервале от 15 до 30°. На него приходится 38,6% площади всего водосбора, при этом для 95% площади водосбора крутизна поверхности превышает 5°. В связи с этим можно заключить, что практически на всей территории водосбора существуют необходимые орографические условия для развития эрозионных процессов.

В пределах водосбора расположен крупный врез, в который впадают бортовые и склоновые овраги разного размера, создающие хорошо развитую сеть доставки наносов, смытых со склонов в основной врез, по которому они выносятся за пределы водосбора.

Ширина и глубина основного вреза в максимальном сечении достигают ~30 м. Борты вреза крутые, в некоторых местах представлены отвесными стенками, на многих из которых видны четкие следы осыпания материала. Осыпавшийся материал регулярно размывается водными потоками, на что указывает отсутствие сколько-нибудь крупных осыпных тел. Общая глубина расчленения рельефа от водораздела до нижней границы эрозионного вреза для всего водосбора приближается к 70–80 м, чего достаточно, чтобы в днище оврага на отдельных участках обнажались перекрытые лессами кристаллические породы.

Район проведения работ отличается крайне неравномерным внутригодовым распределением осадков, что сказывается на развитии эрозии. Максимум выпадения дождей приходится на период с января по май. Отметим, что в начале влажного сезона выпадение дождей происходит на поверхность, еще не защищенную растительным покровом после засушливого периода. Поэтому единичный сильный ливень в феврале—марте может спровоцировать смыв, объем которого будет вполне сопоставим со смывом за длительный отрезок времени, но при меньшей интенсивности выпадения осадков и большим проективным покрытием поверхности склонов травянистой растительностью. В зимние месяцы, особенно в ночное время, происходит постоянное колебание температуры около нулевой отметки, что способствует активизации осыпных процессов на крутых оголенных стенках оврагов [2].

Почвенный покров, формирующийся в предгорьях Каратегинского хребта, в зоне полупустынь, представлен горными коричневыми карбонатными почвами. Этот подтип почв характеризуется очень низким содержанием гумуса, поэтому он по физическим свойствам очень похож на горные сероземы [5]. Низкое содержание гумуса во многом обусловлено интенсивным эрозионным смывом, из-за чего в большинстве случаев на склонах почвенный профиль имеет деградированный вид. Эрозионная стойкость этих почв очень мала.

Исследование истории сельскохозяйственного освоения водосбора Бодомо показало, что существующая в настоящее время система землепользования сформировалась в конце 1980-х гг., когда 34% водосбора площади были поделены между 30 местными семьями, а остальная площадь задействована в виде общинного пастбища. На выделенных землях в пределах наиболее пологих участков склонов разбиты сады и возделаны пашни. На сегодняшний момент наибольшую часть земельного фонда по-прежнему составляют пастбища, в силу чего проблема потери земельных ресурсов обусловлена преимущественно выпасом скота.

Для расчета темпа смыва использовалась модифицированная в лаборатории эрозии почв и русловых процессов географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова модель USLE [6], которая в различных вариантах успешно и широко используется [7, 12, 17—19]. Входными данными к модели служили морфометрические показатели склонов (фактор LS), эрозионный индекс дождевых осадков, противозерозионная устойчивость почвы, фактор растительного покрова и севооборота. Все данные к модели форматировались с помощью программных пакетов ArcGIS 10 и MapInfo 11. Алгоритм расчета написан на языке MapBasic.

Сбор данных о морфометрии поверхности проводили по цифровой модели рельефа (ЦМР). ЦМР

построена на основе оцифрованных топографических карт масштаба 1:50 000. После получения карты изогипс интерполировали значения для получения непрерывного поля высот в виде целостного растрового изображения. В качестве программного модуля интерполяции использовали модуль программы ArcMap 10 под названием Raster Interpolation>Kriging. В дальнейшем полученный растр обрабатывали с помощью ряда дополнительных модулей для получения изображений пространственного распределения крутизны, экспозиции и длины склонов. Пространственное разрешение растровых изображений оценивается в 10 м/пикс.

При анализе производных от ЦМР морфометрических карт выявлена систематическая ошибка, которая заключалась в завышении показателей крутизны склонов в приустьевой части водосбора. Возникновение этой ошибки, вероятнее всего, связано со слишком густым нанесением изогипс на топографическую карту, что не совсем соответствует фактическому рельефу территории. Получение максимально достоверной информации о морфометрии водосбора исключительно важно, поскольку именно морфометрические параметры поверхности являются определяющими в формировании пространственной картины смыва.

Упомянув о систематических ошибках, отметим особенность алгоритма автоматического подсчета смыва. При расчете все растровые данные переведены в массив точек, каждая из которых соответствовала отдельной ячейке площадью 10×10 м. Вычисления выполнены для каждой точки без учета смыва из соседней точки, лежащей выше по склону, в результате (без вычета уже сформированного смыва) общий показатель для всего склона оказывался априори завышенным. Из вышесказанного можно сделать вывод, что наиболее достоверные результаты будут демонстрировать расчеты, проведенные для относительно коротких и пологих склонов, а наименее достоверные — для длинных и крутых.

Климатические данные, использованные в модели, взяты с одной из ближайших к Бодомо метеостанций, расположенных в районе Файзабада. Эти данные позволили вычислить эрозионный индекс дождевых осадков для периода с конца 1980-х гг. до настоящего времени. Данные о противозерозионной устойчивости почв получены из прилагающейся к модифицированной версии USLE базы данных. Для учета фактора растительности и севооборота выполнена съемка границ основных типов сельскохозяйственных угодий и составлена карта землепользования для водосбора Бодомо (рис. 3). При этом были задействованы космические снимки водосбора — Landsat 5, WorldView-2 и QuickBird, а также данные полевой GPS-съемки.

Для выделенных площадей пастбищ расчеты проводились для двух сценариев. В первом сценарии предполагалось, что вся площадь пастбищ фактически лишалась растительного покрова в результате пере-

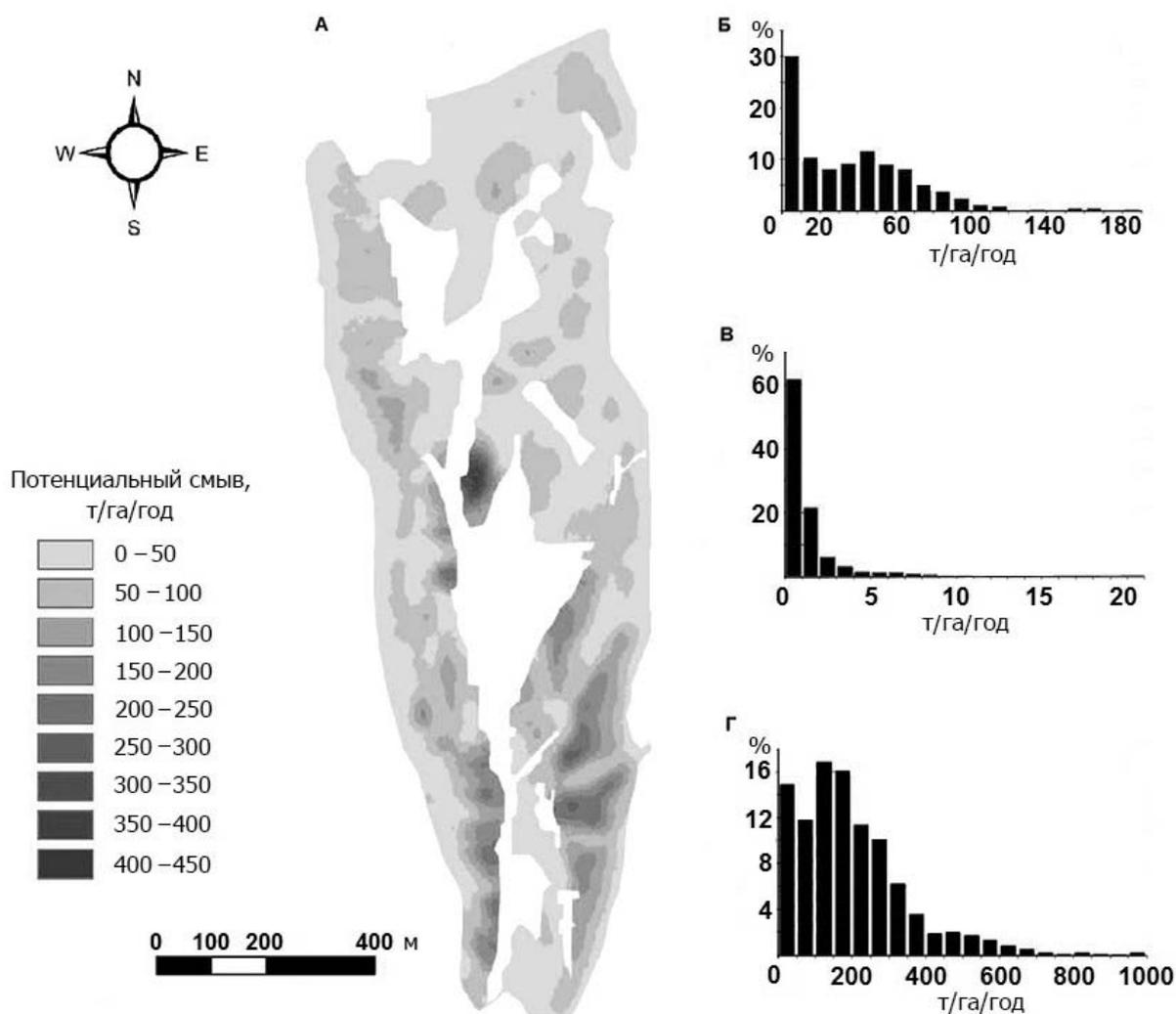


Рис. 4. Карта интенсивности потенциального смыва с пашен и пастбищ при ненарушенном травянистом покрове (А); гистограмма распределения показателей интенсивности смыва с пашен (Б); гистограмма распределения показателей интенсивности смыва с пастбищ: В — при ненарушенном травянистом покрове, Г — при редуцированном травянистом покрове

Таблица 2

Количественная оценка темпа перераспределения наносов на разных угодьях радиоцезиевым методом (отрицательные значения — эрозия, положительные — аккумуляция), т/га в год, по [3]

Трансект	Землепользование	Диапазон изменения	Среднее значение
1	Пастбище в хорошем состоянии	-3,1...-5,0	-4,0
2	Пастбище слабовыбитое	4,3...-19	-6,0
3	Умеренно выбитое пастбище	-2,9...-23,2	-11,6
4	Поливная пашня	-32,0...-107,0	-59,6
5	Пашня	-40,6...-66,9	-53,7
6	Сеяный луг	-39,3...-151,3	-95,1
7	Плодовый сад на искусственной террасе	-15...-119	-67,2

Средние и максимальные показатели плоскостного смыва для разных типов угодий на водосборе приведены в табл. 1. Полученные величины среднегодового смыва с пашни (табл. 1), рассчитанные по эрозионной модели, близки к таковым, установленным для этого же водосбора на основе использования в качестве маркера изотопа ¹³⁷Cs (табл. 2). Распределение показателя смыва по площади пашни можно представить в виде графика, приведенного на рис. 4, Б. Наибольшее число значений показателя смыва укладывается в интервал до 20 т/га в год. Максимальная расчетная скорость смыва составляет 140 т/га в год, что также неплохо согласуется с максимальным смывом (107 т/га в год), полученным для поливной пашни на основе использования радиоцезиевого метода (табл. 2). В общем график распределения площадей склонов водосбора, подверженных смыву различной интенсивности (рис. 4, Б), можно охарактеризовать как нормальный, с явно выраженной левосторонней асимметрией. Причина асимметрии кроется в том, что пашни изначально закладывались на участках

с потенциально более низким смывом, т.е. на относительно пологих и коротких склонах. Отметим, что современное расположение пашен, вероятно, наилучшее из всех возможных, но их дальнейшее расширение крайне нежелательно.

Количественная оценка темпа смыва с пастбищ при разном состоянии растительного покрова наглядно демонстрирует (табл. 1; рис. 4, В, Г), что растительность способна снижать ежегодные потери почвы фактически в десятки и сотни раз, даже если учитывать вероятное завышение оценки темпа смыва при использовании приведенной выше модели. В серии наблюдений, выполненных на двух экспериментальных площадках на южном склоне Гиссарского хребта [4], зафиксировано, что уменьшение площади проективного покрытия от 65 до 30% приводит к увеличению стока наносов в 1,6 раза. Это положение также подтверждается серией полевых исследований, проведенных в разных регионах мира (Испания, Австралия, США и др. [12—15, 17—19]). Необходимо учитывать, что при полном уничтожении растительности уменьшается не только эрозионная устойчивость почвенного покрова по отношению к склоновым потокам воды, но и в разы возрастает роль ударного фактора капель дождя [16].

Наличие 100%-го травянистого покрова приводит к тому, что на большей части поверхности склонов (>90%) потери почвы будут составлять не более 3 т/га/год (рис. 4, В). В то же время при полностью редуцированном растительном покрове (рис. 4, Г) смыв может достигать гигантских значений при модальных показателях от 100 до 200 т/га/год и максимальных до 950 т/га/год. В этом случае почвенный покров может быть практически полностью смыт без шанса на восстановление его плодородия. При таком сценарии единственно пригодными участками для какого-либо земледелия останутся относительно пологие приводораздельные участки склонов, которые представлены на графике в виде вторичного пика в интервале 0—50 т/га/год. Согласно результатам оценки потерь почвы радиоцезиевым методом, фактический средне-многолетний смыв даже с умеренно выбитых пастбищ составляет 11,6 т/га/год, что существенно ниже смыва с пашни (табл. 2). Очевидно, что умеренно выбитые пастбища при определенном снижении нагрузки способны к самовосстановлению. Кроме того, вероятно что на момент отбора проб для измерения содержания в почве ¹³⁷Cs эти пастбища только перешли в стадию умеренно выбитых. Максимально возможный показатель, полученный на поливной паш-

не, составил 107 т/га/год, это значение весьма близко к расчетному — 140 т/га/год.

В целом исходя из сравнения результатов оценок темпа смыва с использованием радиоцезиевого метода и расчетов по эрозионным моделям можно говорить о том, что использованная модель, как и предполагалось, дает в некоторой степени завышенную оценку смыва. Это в свою очередь не уменьшает ценности ее использования, так как ее применение позволяет получить объективную пространственную картину распределения зон смыва различной интенсивности. Имея в распоряжении такую информацию, можно планировать размещение разнообразных видов землепользования и определять допустимые нагрузки на пастбища. Это особенно актуально для густонаселенных сельскохозяйственных районов Центрального Таджикистана, испытывающих значительный дефицит земельных ресурсов пригодных для аграрной деятельности.

Выводы:

- плоскостной смыв в условиях сильнорасчлененного рельефа южных предгорий Карагетинского хребта может представлять собой серьезную угрозу для земельных ресурсов в регионе. Главный фактор усиления процесса смыва — постепенная деградация естественного растительного покрова на пастбищах, а также расширение площадей пашни;

- уменьшение проективного покрытия склонов способно в несколько раз увеличить потери рыхлого материала и привести к полной деградации почвенного покрова, что было весьма ожидаемо; наглядный пример — уже существующие в пределах рассматриваемого водосбора участки бедлендов;

- хотя на данный момент в целом ситуацию на конкретно выбранном водосборе нельзя назвать критической, существующая система землепользования нуждается в усовершенствовании. Для этого необходимо проводить оценку возможной нагрузки на пастбища и ограничивать расширение пахотных земель. Количественные оценки темпа смыва, полученные при использовании расчетной модели, могут служить основой для подобного планирования;

- усовершенствованная эрозионная модель USLE зарекомендовала себя в качестве вполне надежной методики оценки темпа потенциального смыва в предгорных семиаридных условиях, что подтверждено независимыми данными радиоцезиевого анализа. Модель при этом имеет очевидный недостаток, выраженный в завышении расчетных показателей, в перспективе это можно будет исправить путем внесения изменений в алгоритм программы вычисления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмадов Х.М. Противозерозионная стойкость почв Таджикистана // Изв. АН Республики Таджикистан. Отд. биол. н. 1992. Т. 3. С. 45—49.
2. Голосов В.Н., Панин А.В. Осыпные процессы на склонах оврагов в низкогорной зоне Западного Тянь-Шаня // Геоморфология. 1988. № 3. С. 46—50.

3. Голосов В.Н., Сафаров Х.Н., Маркелов М.В., Вольфграмм Б. Оценка темпов перераспределения наносов на склонах малого водосбора лёссового пояса Таджикистана на основе использования радиоцезиевого метода // Геоморфология. 2014. № 1 С. 53—65.
4. Джабаров И.И. Эрозия почв и некоторые меры борьбы с ней в Центральном Таджикистане (на примере

южного склона Гиссарского хребта) // Тр. Тадж. НИИ почвоведения. Т. 27. Душанбе: Дониш, 1988.

5. *Кутеминский В.Я., Леонтьева Р.С.* Почвы Таджикистана: условия почвообразования и география почв. Вып. 1. Душанбе: Ирфон, 1966.

6. *Ларионов Г.А.* Эрозия и дефляция почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993.

7. *Ларионов Г.А., Белоцерковский М.Ю., Добровольская Н.Г.* и др. Эрозионные процессы на европейской части СССР, их количественная оценка и районирование // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1990. № 2. С. 47—55.

8. *Тореханов А.А.* Результаты мониторинга пастбищ на юго-востоке Казахстана // Вестн. Российской академии сельскохозяйственных наук. 2005. № 4. С. 28—30.

9. *Щукин И.С.* Геоморфология Средней Азии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983.

10. *Якутилов М.Р., Бурькин А.М., Садрудинов А.А., Лукин В.И.* Почвы Таджикистана: эрозия почв и борьба с ней. Вып. 6. Душанбе: Таджикгосиздат, 1963.

11. *Якутилов М.Р., Сафронов А.Е.* Охрана почв и рекультивация нарушенных земель в Таджикистане // Охрана природы Таджикистана. Вып. 4. Душанбе, 1985. С. 67—72.

12. *Bonilla C.A., Norman J.M., Molling C.C.* Water erosion estimation in topographically complex landscapes: model description and first verifications // Soil Scien. Soc. of Amer. J. 2007. Vol. 71. P. 1527—1537.

13. *Constantini A.* Coastal Lowlands — Paired catchment study // Stat. Rep. Queensland Forest Service Hydrology Res. 1992. 12 p.

14. *Edwards K.* How much soil loss is acceptable // Search. 1988. Vol. 19, N 3. P. 136—140.

15. *Edwards K.* Soil Formation and Erosion Rates // Soils—their properties and management. Sydney Univ. Press, 1991.

16. *Gregory J.M.* Prediction of soil erosion by water and wind for various fractions of cover // Transactions of the ASAE. Soil and Water Sect. 1984. Vol. 27, N 5. Setp.—Oct. P. 1345—1350.

17. Modelling soil erosion by water / Eds J. Boardman, D. Favis-Mortlock // NATO ASI Series. Ser. 1: Global Environmental Change. Vol. 55. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 1998.

18. *Nyakatawa E.Z., Jakkula V., Reddy K.C.* et al. Soil erosion estimation in conservation tillage systems with poultry litter application using RUSLE 2.0 model // Soil Tillage Res. 2007. Vol. 94. P. 410—419.

19. *Wischmeier W.H.* Use and misuse of the universal soil loss equation // J. Soil and Water Conservation. 1976. Vol. 31, N 1. P. 5—9.

20. *Wolfgramm B.* Land use, soil degradation and soil conservation in the Loess Hills of Central Tajikistan: Diss. Bern, 2007.

Поступила в редакцию
05.09.2013

M.M. Ivanov, S.F. Krasnov, V.R. Belyaev, Kh.N. Safarov

EVALUATION OF SHEET EROSION RATES WITHIN A SMALL CATCHMENT AREA IN THE KARATEGINSKY RIDGE PIEDMONT AREA (CENTRAL TADZHIKISTAN)

Possible scenarios of sheet erosion for the intensively developed small catchment area in the piedmont area of the southern macroslope of the Karateginsky Ridge are analyzed. Pastures are the predominant land use type in the area, thus the land degradation and badland formation are mainly because of overgrazing. Conservation of vegetation cover is of crucial importance for the protection of land resources under considerable amounts of rains and the high slope gradient. The estimation is based on the erosion model using the universal soil loss equation (USLE). Two extremes of pasture vegetation state are considered as input data, i.e. the optimum (closed herbal cover) and the critical (total reduction). The results of modeling clearly show that the current trend of overgrazing could pose a serious risk of considerable land losses.

Key words: erosion, sheet erosion, pasture degradation, the Karateginsky Ridge, Central Tadjikistan, erosion models.

ЮБИЛЕИ

ЮБИЛЕЙ НИНЫ ИВАНОВНЫ ГЛУШАНКОВОЙ

16 мая 2014 г. — юбилей у Нины Ивановны Глушанковой, доктора географических наук, ведущего научного сотрудника научно-исследовательской лаборатории новейших отложений и палеогеографии плейстоцена.

Н.И. Глушанкова — выпускница кафедры географии и картографии почв и аспирантуры кафедры общей физической географии и палеогеографии географического факультета МГУ. Вся ее творческая жизнь связана с географическим факультетом, на котором она прошла путь от старшего лаборанта до ведущего научного сотрудника. За эти годы Нина Ивановна участвовала в многочисленных научных экспедициях на Южный Урал, в Западную и Восточную Сибирь, на Алтай, в Среднюю Азию, на Дальний Восток и в Восточную Европу и руководила ими. Результаты исследований отражены ею в кандидатской (1972) и докторской (1994) диссертациях, многочисленных публикациях и докладах. Н.И. Глушанкова разрабатывает палеогеографическую концепцию плейстоценового педогенеза, уделяя особое внимание территории Восточно-Европейской равнины. Палеопедологический анализ опорных разрезов Деснинско-Днепровской, Среднерусской, Окской, Окско-Донской, Приволжской, Заволжской и Камской лёссовых провинций позволил ей установить ритмическое развитие природной среды этих районов, обусловленное сменой глобальных климатических ритмов, и реконструировать этапность развития этой территории за последний миллион лет.

Научные труды Н.И. Глушанковой широко известны. Она автор 17 монографий (3 из них — персональные) и около 200 статей по различным аспектам стратиграфии и палеогеографии плейстоцена, палеопедологии и эволюции ландшафтов, соавтор трех методических руководств по изучению новейших отложений. Персональная монография Н.И. Глушанковой “Палеопедогенез и природная среда Восточной Европы в плейстоцене” (2008) отмечена премией имени Д.Н. Анучина. Н.И. Глушанкова — руководитель и участник многих проектов РФФИ, ряда международных программ. Вклад Нины Ивановны в развитие российской науки бы отмечен присуждением ей в 2011 г. почетного звания “Заслуженный научный сотрудник Московского университета”.

Научную работу Нина Ивановна всегда совмещала с общественной и научно-организационной деятельностью. В настоящее время она — член диссертационного совета при Московском государственном педагогическом университете.

Нине Ивановне присущи оптимизм, энергия и активная жизненная позиция, живой интерес к событиям в мире искусства и культуры, политическим и социальным проблемам. Ее трудолюбие, душевная теплота и отзывчивость вызывают заслуженную любовь и уважение коллег. От всей души поздравляем Нину Ивановну с юбилеем и желаем на долгие годы крепкого здоровья и неиссякаемого творческого потенциала!

Редколлегия журнала

85-ЛЕТИЕ ЮРИЯ ФИРСОВИЧА КНИЖНИКОВА

Более 60 лет работает на географическом факультете заведующий лабораторией аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики, профессор Ю.Ф. Книжников, которому 18 апреля 2014 г. исполнилось 85 лет.

Юрий Фирсович пришел в географию, имея базовое инженерно-техническое образование по аэро съемке и фотограмметрии. В 1953 г. он с отличием закончил МИИГАиК и после года работы в производственной организации был приглашен в создаваемую в МГУ лабораторию аэрофотометодов (ныне аэрокосмических методов), где прошел путь от лаборанта до профессора, заведующего лабораторией (с 1969 г.).

Работая среди географов, Юрий Фирсович всегда ставил целью развитие количественных измерительных методов в географии, обогащение ее арсенала

техническими достижениями. Это касалось и лабораторных экспериментов, и полевых исследований. Для изучения эрозионных процессов в гидрокорпусе была поставлена стереофотограмметрическая съемка, а перекрытие Ангары в 1955 г. было зафиксировано выполненной им фототеодолитной съемкой. Во время Международного геофизического года Ю.Ф. Книжников, работая совместно с сотрудниками Тянь-Шаньской физико-географической станции, заснял фототеодолитом концы ряда ледников Тянь-Шаня, а затем под руководством Г.К. Тушинского молодой коллектив лаборатории провел уникальную съемку Эльбруса, создав 14-листную карту оледенения; она стала основой для гляциологического мониторинга, выполняемого до наших дней. В экспедициях на Эльбрус Ю.Ф. Книжников разработал новый метод изучения скорости движения льда горных ледников на

основе способа псевдопараллакса и защитил кандидатскую диссертацию, а его монография на эту тему стала классическим трудом в гляциологической стереофотограмметрии. Впоследствии метод модифицирован им применительно к материалам аэросъемки и космической съемки.

В деятельности лаборатории аэрофотометодов новый взлет был связан с наступлением космической эры — вместе с сотрудниками Института космических исследований коллектив лаборатории участвовал в пионерных экспериментах по космической съемке. Во многом благодаря усилиям Юрия Фирсовича коллективы большинства кафедр факультета были вовлечены в работу с первыми космическими фотоснимками, в том числе многозональными снимками. За разработку метода многозональной съемки Ю.Ф. Книжников в 1984 г. был удостоен Государственной премии СССР, а его труды и атласы по дешифрированию многозональных снимков до сих пор остаются классическим методическим руководством для специалистов по дистанционному зондированию, они отмечены Ломоносовской премией МГУ.

По инициативе Ю.Ф. Книжникова на базе лаборатории в 1978 г. создан Межуниверситетский научно-методический аэрокосмический центр, взаимодействующий с 35 университетами России, он сыграл важную роль в постановке аэрокосмического образования на природоведческих факультетах университетов страны.

Юрию Фирсовичу присущи острое чувство нового, озабоченность уровнем подготовки специалистов. Не будучи непосредственным участником проведения Сатинской практики, он инициатор разработки ГИС “Сатино”, благодаря ему на практике внедрены работа с приемниками спутникового позиционирования GPS, цифровая фотография, спектрометрирование, полигон оснащен космическими снимками, проведена лазерная аэросъемка, создается инфраструктура пространственных данных. В университете им создан первый компьютерный стереокласс, оборудованный специальной аппаратурой и стереодисплеями.

В период творческой зрелости Юрий Фирсович обратился к теоретическим разработкам и обобщениям — он способствует становлению аэрокосмического зондирования как самостоятельной дисциплины, разрабатывает ее методологические принципы, развивает динамическое аэрокосмическое зондирование. Его исследования вышли за рамки инженерно-технического подхода к стереоскопии: в содружестве с психологами он развивает психологическую концепцию стереомодели, совместно с биологами — учение о зрительной системе человека как биологической информационной системе. Им заложены основы нового научного направления на стыке картографии и наук о зрительном восприятии — нейрокартографии.

Им опубликовано более 300 научных работ, в том числе 15 монографий и учебных пособий, он подготовил 13 кандидатов и 2 докторов наук. Его труд отмечен званием “Заслуженный деятель науки Российской Федерации”. В результате его деятельности и плодотворной работы коллектива лаборатории создана университетская научная школа аэрокосмического зондирования в исследованиях Земли. В выдержавшем два издания учебнике “Аэрокосмические методы географических исследований” отражены основные концепции и методологии этой школы.

Профессор Ю.Ф. Книжников разработал и читает основные учебные курсы — “Аэрокосмические методы географических исследований”, “Проблемы аэрокосмического зондирования”, “Трехмерное моделирование. Компьютерный стереопрактикум”. Он прекрасный лектор, любимый преподаватель многих поколений студентов.

Юрия Фирсовича отличает кипучая творческая энергия, научная увлеченность и целеустремленность. Он обладает талантом научного руководителя, способностью ставить крупные научные проблемы, объединять в коллектив учеников и единомышленников. Его отличает бескорыстная и страстная отдача в работе, способность не только генерировать новые идеи, но и обеспечивать их организационное и материально-техническое решение.

Юрий Фирсович всегда вел большую научно-организационную работу как академик Российской академии космонавтики имени К.Э. Циолковского, он председатель координационного совета по междисциплинарным научным проектам МГУ по аэрокосмическим геоинформационным исследованиям Земли, член секции “Природно-ресурсные и экологические космические исследования” междисциплинарного научно-технического совета по космическим исследованиям при РАН, бесценно работал в бюро отделения картографии и аэрокосмических методов Московского филиала Русского географического общества, почетным членом которого он является. Он весьма уважаемый член коллектива факультета, ряд лет возглавлял его профсоюзную организацию, много лет был ученым секретарем диссертационного совета, а ученый совет и руководство факультета всегда ощущают его активную позицию во всех направлениях жизни факультета.

Профессор Ю.Ф. Книжников имеет высокий научный авторитет в Московском университете и за его пределами. Все сотрудники факультета, кафедры и лаборатории желают Юрию Фирсовичу крепкого здоровья, творческого настроения, новых идей и достижений.

Редколлегия журнала

НОВЫЕ КНИГИ

ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ ИЗДАНИЕ “АТЛАС-КНИГА ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ”

Эколого-географический атлас-книга Воронежской области / Под ред. В.И. Федотова. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2013. — Тираж 500 экз. — 514 с.

Вышло в свет уникальное региональное издание, посвященное комплексной характеристике и анализу современных тенденций развития природно-ресурсного потенциала, экономике, состоянию окружающей среды и здоровью населения одного из высоко развитых регионов России — Воронежской области.

Актуальность и уникальность издания состоят в том, что в нем аккумулированы разнообразные сведения и данные официальной статистики по различным аспектам состояния природы и жизнедеятельности населения региона, причем сделано это в очень информативной, наглядной, прекрасно иллюстрированной форме — Атлас-книга включает около 200 разнообразных карт. Каждую карту сопровождает лаконичное, но информативное описание, характеризующее пространственные и временные особенности картографируемых явлений, вероятные причины этих различий, а в ряде случаев и аналитические оценки и прогнозы.

Информационная основа атласа-книги, обобщающая материал за 15-летний период (1998—2012), впечатляет, а авторский коллектив (более 60 специалистов) — известные в регионе ученые вузов и работники практических служб из природно-ресурсных, социально-экономических и эколого-гигиенических ведомств. Атлас выполнен на высоком уровне, замечательно оформлен, имеет удачное композиционное строение, “адресность” карт, т.е. указание потенциальных пользователей (кому предназначена карта и в каких ведомствах она может быть востребована).

Следует отметить большую и высокопрофессиональную работу главного научного редактора профессора В.И. Федотова и ответственных редакторов основных разделов — ученых Воронежского университета — профессоров В.Б. Михно и Ю.В. Поросенкова, а также дизайнеров электронных карт кандидатов географических наук А.С. Горбунова и Ю.А. Нестерова.

Отдельного внимания, безусловно, заслуживает заключительный, но очень важный раздел “Окружающая среда и здоровье населения” — результат фундаментальных многолетних исследований в области медицинской географии ученых-экологов Воронежского университета, осуществленных под руководством профессора С.А. Куролапа, а также ученых-гигиенистов из Центра гигиены и эпидемиологии Воронежской области под руководством профессора Н.П. Мамчика, а также профессора Воронежского государственного университета инженерных технологий О.В. Клепикова.

Раздел построен логично и очень информативно. В нем отражена деятельность органов исполнитель-

ной власти Воронежской области, органов местного самоуправления, региональных природоохранных ведомств и системы здравоохранения по осуществлению экологического мониторинга, гигиенической профилактики заболеваний и обеспечению экологической безопасности населения.

Он включает два основных тематических блока — “Состояние окружающей среды” и “Здоровье населения”. Большинство карт в этом разделе отображают ситуацию, сложившуюся для окружающей среды и общественного здоровья за 14-летний период (1998—2011). Наряду с фактологическими картами создано несколько оригинальных аналитических карт на основе методов статистического обобщения данных по окружающей среде и здоровью населения и характеризующих интегральное техногенное воздействие на окружающую среду, качество среды обитания населенных мест; выделены зоны медико-экологического риска для населения.

В разделе содержатся сведения о параметрах техногенного воздействия на окружающую среду области, оценка ее качества по состоянию воздушного бассейна, питьевой воды, почв селитебных мест и продуктов питания населения. В его подготовке использованы данные областного информационного фонда социально-гигиенического мониторинга, который осуществляется на базе ФБУЗ “Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области”, а также фондовые данные Управления Росприроднадзора, Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Воронежской области и других ведомств, многочисленные опубликованные материалы о санитарно-эпидемиологической, экологической обстановке, государственном надзоре и контроле за использованием природных ресурсов и состоянием окружающей среды в Воронежской области.

Предельно четко и информативно изложены материалы о здоровье населения — важнейшем критерии социально-экономического развития и качества жизни населения региона. К наиболее объективным и важным индикаторам состояния здоровья населения относятся показатели смертности и заболеваемости населения, отражающие сложившуюся в последнее десятилетие медико-демографическую ситуацию в Воронежском регионе.

Совершенно верно отмечено, что в соответствии со схемой типизации регионов России по уровню популяционного здоровья, составленной Б.Б. Прохоровым (2001), в Центральном Черноземье сложился в целом

благополучный (удовлетворительный) рейтинг здоровья населения. В пределах этого региона на протяжении длительного времени сохраняется допустимо приемлемый уровень здоровья, большинство параметров которого лучше, чем в других российских регионах. Однако дестабилизационные тенденции в экономике в 1990-х г., недостаточное развитие социально-бытовой сферы, сильный техногенный прессинг на окружающую среду вызывают в ряде случаев ухудшение важнейших показателей общественного здоровья.

С учетом наиболее актуальных проблем, отражающих популяционное здоровье в Воронежском регионе, осуществлено картографирование социально значимых показателей, характеризующих популяционное здоровье и риски природно-очаговых инфекций.

Картографирование и статистический анализ данных выполнены по наиболее социально значимым проблемам: 1) оценка медико-демографической си-

туации с выделением зон медико-демографического риска; 2) анализ пространственно-временных тенденций заболеваемости населения по основным классам болезней и общей заболеваемости; 3) изучение закономерностей размещения и активности природных очагов по ряду особо опасных инфекций с установленной природной очаговостью.

Можно с большой уверенностью прогнозировать огромный интерес к рецензируемому изданию, тираж которого (500 экз.), по-видимому, не сможет удовлетворить пользовательский спрос даже в Воронежском регионе. Безусловно, атлас-книга станет заметным событием не только в российской науке, образовании, но будет востребован и администраторами, практиками, инвесторами в различных сферах деятельности, станет своеобразной визитной карточкой Воронежского региона в его динамичном поступательном развитии.

С.М. Малхазова

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ СТАТЕЙ К ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ “ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ 5. ГЕОГРАФИЯ”

Для публикации в журнале принимаются статьи со- трудников, аспирантов и студентов МГУ (в том числе в со- авторстве с представителями других организаций). Текст сопровождается выпиской из протокола заседания кафедры, сведениями об авторах: фамилия, имя и отчество (полно- стью), кафедра, телефон домашний и рабочий, мобильный, *e-mail* каждого автора. Статьи принимаются на географи- ческом факультете МГУ, комн. 2108а.

Требования к оформлению статьи и краткого сообщения

1. Суммарный объем статьи (включая рисунки и спи- сок литературы) не должен превышать 14 страниц. Необхо- димо стандартизировать структуру статьи, используя под- заголовки: **введение, постановка проблемы, материалы и методы исследований, результаты исследований и их обсуж- дение, выводы (по пунктам)**.

2. К статье на отдельной странице прилагаются аннота- ция (10—15 строк) и ключевые слова (6—8) на русском язы- ке. Внизу первой страницы текста статьи в сноске необхо- димо указать название кафедры (место работы), должность, звание и адрес электронной почты для каждого автора.

3. Перед заголовком работы необходимо проставить УДК.

4. Текст должен быть подготовлен в редакторе Word с использованием шрифта Times Roman 12. Имя файла мо- жет содержать до 8 символов и иметь расширения .doc или .txt. Текст должен быть распечатан через 2 интервала, поля со всех сторон по 2,5 см. Текст представляют на отдельном носителе (компакт-диске) и в 2 экз. распечатки. Страницы следует пронумеровать.

5. Рисунки, фотографии, таблицы, подрисуночные подписи прилагаются отдельно в 2 экз. в конце статьи. Каждая таблица должна быть напечатана на отдельной странице тем же шрифтом, через 2 интервала, иметь тема- тический заголовок и не дублировать текст. Таблицы нуме- руются арабскими цифрами по порядку их упоминания в тексте. Все графы в таблицах должны иметь заголовки и быть разделены вертикальными линиями. Сокращения слов в таблицах не допускаются. Материал по строкам дол- жен быть разделен горизонтальными линиями.

6. Формулы, математические и химические знаки должны иметь четкое написание. Трудноразличимые (ла- тинские и греческие) буквы и знаки нужно пояснять ка- рандашом на полях (“лат.” или “греч.”).

7. Размерность всех физических величин должна соот- ветствовать Международной системе единиц (СИ).

8. Список литературы должен содержать в алфавитном порядке все цитируемые и упоминаемые в тексте работы

(не более 20), иностранная литература помещается после отечественной тоже по алфавиту. При ссылке на изобре- тение необходимо указать год, номер и страницу “Бюллетеня изобретений”. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются (возможны ссылки на устное сообщение и ав- тореферат кандидатской или докторской диссертации). Библиографическое описание дается в следующем поряд- ке: фамилии и инициалы авторов, название статьи, полное название работы, место издания, издательство, год издания (для неперидических изданий), для периодических — фами- лии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, год выпуска, том, номер, страницы. Ссылка на литератур- ный источник в тексте приводится так: “В работе [5] указа- но, что...”. В конце статьи приводится ее объем в знаках.

9. Никакие сокращения слов, имен, названий, как пра- вило, не допускаются. Разрешаются лишь общепринятые сокращения названий мер, физических, химических и ма- тематических величин и терминов и т.д. Все аббревиатуры, относящиеся к понятиям, методам, аналитическим и обра- ботки данных, а также к приборам, при первом употребле- нии в тексте должны быть расшифрованы.

10. Каждый рисунок должен быть выполнен на белой бумаге в виде компьютерной распечатки на лазерном принтере. Для тоновых рисунков использовать формат TIFF с разрешением 600 dpi; рисунки должны быть записа- ны на отдельном диске в формате программы, в которой они сделаны; для фотографий использовать формат TIFF с разрешением не менее 300 dpi. Рисунки и фотографии должны быть черно-белыми, четко выполнены и пред- ставлены в 2 экз. Компьютерный вариант должен иметь расширение .tiff или .cdr (Corel Draw). На обороте всех ил- люстраций указывают их номер, фамилию автора и назва- ние статьи. **Обращаем ваше внимание на то, что текст и ри- сунки предоставляются на отдельных дисках.**

11. Под рисуночные подписи прилагаются на отдель- ной странице и оформляются согласно требованиям, изло- женным в п. 4.

12. Статьи, не отвечающие перечисленным требова- ниям, не принимаются.

13. Дополнения в корректуру не вносятся.

14. Редакция журнала оставляет за собой право произво- дить сокращение и редакционные изменения текста статей.

Рукописи не возвращаются.

Плата за публикацию не взимается.

*Благодарим вас за соблюдение наших правил
и рекомендаций!*