RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

GEOMORPHOLOGY

Vol. 52 No. 2 April – June 2021

FOUNDED 1970 QUARTERLY

Editor-in-Chief
V.P. Chichagov
Ph.D. of Geographic Sciences
Institute of Geography RAS, Moscow

Deputy Editor-in-Chief
A.N. Makkaveyev
Ph.D. of Geographic Sciences
Institute of Geography RAS, Moscow

Assistant Editor
E.V. Lebedeva
Ph.D. of Geographic Sciences
Institute of Geography RAS, Moscow

Editorial board:

Z. Babinski – professor, Institute of Geography Kazimierz Wielki University, Bydgoszcz, Poland

O.K. Borisova – Ph.D. of Geographic Sciences, Institute of Geography RAS, Moscow

D. Bowman – professor, Ben-Gurion University of the Negev, Beer Sheva, Israel

S.A. Bulanov – Ph.D. of Geographic Sciences, Institute of Geography RAS, Moscow

A.S. Viktorov – Ph.D. of Geographic Sciences, Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS, Moscow

V.N. Golosov – Ph.D. of Geographic Sciences, Institute of Geography RAS; Lomonosov Moscow State University, Moscow

L.A. Zhindarev – Ph.D. of Geographic Sciences, Lomonosov Moscow State University, Moscow

N.V. Karpukhina – Ph.D. of Geographic Sciences, Institute of Geography RAS, Moscow

I.O. Leont'yev – Ph.D. of Geographic Sciences, Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow

E.A. Likhacheva – Ph.D. of Geographic Sciences, Institute of Geography RAS, Moscow

A.O. Mazarovich – Ph.D. of Geological and Mineralogical Sciences, GIN RAS, Moscow

K. Morange – professor, Aix-Marseille University, Marseille, France

D.L. Nikitina – professor, West Chester University, West Chester, Pennsylvania, USA

I.S. Novikov – Ph.D. of Geological and Mineralogical Sciences, Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch RAS, Novosi-birsk

C.D. Ollier – professor, University of Western Australia, Perth, Australia

A.V. Panin – Ph.D. of Geographic Sciences, Institute of Geography RAS; Lomonosov Moscow State University; Institute of Water Problems RAS, Moscow

Yu.V. Ryzhov – Ph.D. of Geographic Sciences, Institute of the Earth's crust Siberian Branch RAS; Irkutsk Research Center Siberian Branch RAS, Irkutsk

O. Slaymaker – professor, University of British Columbia, Vancouver, Canada

O.N. Solomina – Corresponding Member RAS, Ph.D. of Geographic Sciences, Institute of Geography RAS, Moscow

V.G. Trifonov – Ph.D. of Geographic Sciences, GIN RAS, Moscow

D. Walling – professor, University of Exeter, Exeter, Great Britain

S.V. Kharchenko – Ph.D. of Geographic Sciences, Institute of Geography RAS; Lomono-sov Moscow State University, Moscow

R.S. Chalov – Ph.D. of Geographic Sciences, Lomonosov Moscow State University, Moscow

S.V. Shvarev – Ph.D. of Geographic Sciences, Institute of Geography RAS; The Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS, Moscow

Founders: Russian Academy of Sciences, Institute of Geography Russian Academy of Sciences
The Editorial Staff:
E.A. Karaseva – head of Editorial office (manager editor)

The Editorial Board Adress: Staromonetniy lane, 29,
Institute of Geography Russian Academy of Sciences, 119017 Moscow, Russia
Phone: 8 (499) 238-03-60
E-mail: geomorfologiya@mail.ru

The subscription index in Rospechat catalogue 70215
ISSN 0435-4281 (Print)
ISSN 2658-4530 (Online)

СОДЕРЖАНИЕ

Том 52, номер 2, 2021

Морфологические разновидности русла и условия их формирования на р. Нигер (Западная Африка)
Н. Н. Назаров, Б. Диарра, Д. А. Дремин 3

Подземный морфолитогенез
В. А. Неходцев 14

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ГЕОМОРФОЛОГИЯ

Роль деятельности человека в формировании рельефа речных русел
К. М. Беркович, Л. В. Злотина 21

МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сравнительный анализ распределений площадей озер в пределах озерно-термокарстовых и эрозионно-термокарстовых равнин
А. С. Викторов, Т. В. Орлов, А. Л. Дорожко 29

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

Краевые ледниковые образования в районе пос. Умба (юго-запад Кольского полуострова)
А. А. Вашков, О. Ю. Носова 39

Типы взаимосвязи инфраструктуры населенных пунктов с эрозионно-русловыми системами
С. Н. Ковалёв, Р. С. Чалов 52

Голоценовое накопление органического вещества в донных отложениях Ладожского озера
Д. Д. Кузнецов, Д. А. Субетто 63

Конусы выноса в долине р. Жом-Болок (Восточный Саян): строение, особенности формирования и влияние на развитие водотока
Е. В. Лебедева, Д. В. Мишуринский, В. А. Пеллинен, Т. М. Сковитина, Д. В. Михалёв 72

ДИСКУССИИ

Гигантская вулкано-гляциальная постройка (тюйя) Гора Олимп как индикатор древнего крупного оледенения Марса
И. В. Мелекесцев 89

ИСТОРИЯ НАУКИ

О.К. Леонтьев – выдающийся морской геоморфолог (к 100-летию со дня рождения)
В. И. Мысливец, С. И. Антонов 100

Геоморфология в трудах выдающегося российского географа Георгия Николаевича Высоцкого (1865–1940)
В. П. Чичагов 107

Правила для авторов 117

Contents

Vol. 52, No. 2, 2021

Morphological varieties of the channel and the conditions of their formation in the Niger River (West Africa)
N. N. Nazarov, B. Diarra, and D. A. Dremin 3

Underground morpholithogenesis
V. A. Nekhodtsev 14

ECOLOGICAL AND APPLIED GEOMORPHOLOGY

The Human activity role in river channel relief forming
K. M. Berkovich and L. V. Zlotina 21

METHODS OF RESEARCH

Comparative analysis of lake area distributions for lacustrine thermokarst plains and thermokarst plains with fluvial erosion
A. S. Victorov, T. V. Orlov, and A. L. Doroghko 29

SHORT COMMUNICATIONS

Ice-marginal deposits near the Umba Town (the south-west of the Kola Peninsula)
A. A. Vashkov and O. Yu. Nosova 39

Types of relations between populated areas infrastructure and catchment erosion-fluvial systems
S. N. Kovalev and R. S. Chalov 52

Holocene organic sedimentation in Lake Ladoga
D. D. Kuznetsov and D. A. Subetto 63

Debris cones in Zhom-Bolok river valley (Eastern Sayan): structure, formation features and impact on the development of the watercourse
E. V. Lebedeva, D. V. Mishurinsky, V. A. Pellinen, T. M. Skovitina, and D. V. Mikhalev 72

DISCUSSIONS

Gigantic volcano-glacial edifice (tuya) Olympus Mountain as an indicator of extensive ancient glaciation in Mars
I. V. Melekestsev 89

HISTORY OF SCIENCE

O. K. Leontiev – an outstanding marine geomorphologist (on the 100th anniversary of birth)
V. I. Myslivets and S. I. Antonov 100

Geomorphology in works of outstanding Russian geographer Georgy Vysotsky (1865–1940)
V. P. Chichagov 107

Rules for authors 117

ГЕОМОРФОЛОГИЯ, 2021, том 52, № 2, с. 3–13

УДК 551.4.01:168/551. 435.1 (282.262.6)

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗНОВИДНОСТИ РУСЛА И УСЛОВИЯ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ НА р. НИГЕР (ЗАПАДНАЯ АФРИКА)

© 2021 г. Н. Н. Назаров[1,]*, Б. Диарра[1], Д. А. Дремин[1]

[1]*Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия*

**E-mail: nikolainazarovpsu@gmail.com*

Поступила в редакцию 10.08.2020 г.
После доработки 03.10.2020 г.
Принята к публикации 22.12.2020 г.

При изучении русла р. Нигер – одной из крупнейших рек субэкваториальной части Африки – были использованы критерии и подходы, применяемые в морфодинамической классификации МГУ. Главным морфодинамическим типом русла на всем протяжении р. Нигер является разветвленное на рукава русло, в котором ведущую роль играют одиночные, сопряженные и террасово-русловые разновидности русла. При этом классификация была дополнена новыми морфологическими разновидностями русел, ранее не выявленными на реках субарктического, умеренного и субтропического поясов Евразии. Это террасово-русловые и подпруженные разветвления, а также извилистые пойменные озерно-проточные и озерно-непроточные русла. Включение в классификацию “африканских” видов объясняется спецификой климатических условий субэкваториального пояса – большими различиями (в сотни раз) количества осадков между влажным и сухим сезонами.

Ключевые слова: русловые процессы, разветвленное русло, субэкваториальный пояс, внутренняя дельта

DOI: 10.31857/S0435428121020085

ВВЕДЕНИЕ

Выделение морфодинамических типов речных русел и их разновидностей – важная часть исследований при проектировании дноуглубительных и выправительных работ на судоходных участках рек, строительства мостовых переходов, водозаборов и других инженерных сооружений [1–3]. Особое значение результаты таких работ приобретают при выявлении тренда и динамики формирования пойменно-русловых комплексов, устойчивость которых во многом определяет условия жизнедеятельности людей на приречных территориях. С помощью морфодинамического анализа русловых изменений может быть установлена реакция (отклик) речной системы и на антропогенные воздействия, которые оказывают влияние на гидрологический режим и, как следствие, характер (скорость, направление) преобразования долинных геосистем [4–7].

Одной из наиболее востребованных российских классификаций типов речных русел является классификация МГУ, разработанная по материалам изучения русловых процессов на реках бывшего СССР [8–10]. Универсальность данной классификации обеспечивается в основном многочисленными примерами русловых деформаций на реках, дренирующих равнинные и горные области на пространстве от Северного Ледовитого океана до Средней и Юго-Восточной Азии – от субарктики до субтропиков.

При всей масштабности проведенных исследований практически не изученными остаются морфодинамические типы русел рек низких широт – тропических, субэкваториальных и экваториального поясов Земли. Если для тропических главной особенностью является минимальное среднегодовое количество осадков, то для других таковой служат большие различия в количестве осадков по сезонам, достигающие нескольких десятков, а в некоторые годы – сотен раз [11]. Безусловно, подобная неравномерность в формировании водного стока не может не влиять на процессы в речных бассейнах в целом и на морфодинамику речных русел в частности, и поэтому требует специального изучения.

Апробация классификации МГУ в *субэкваториальном* поясе была осуществлена на примере р. Нигер – одной из крупнейших рек Африки. Допустимость и целесообразность использования именно данной многоуровенной классификации объясняется возможностью добавлять в нее дополнительные ячейки, соответствующие новым типам русла [12].

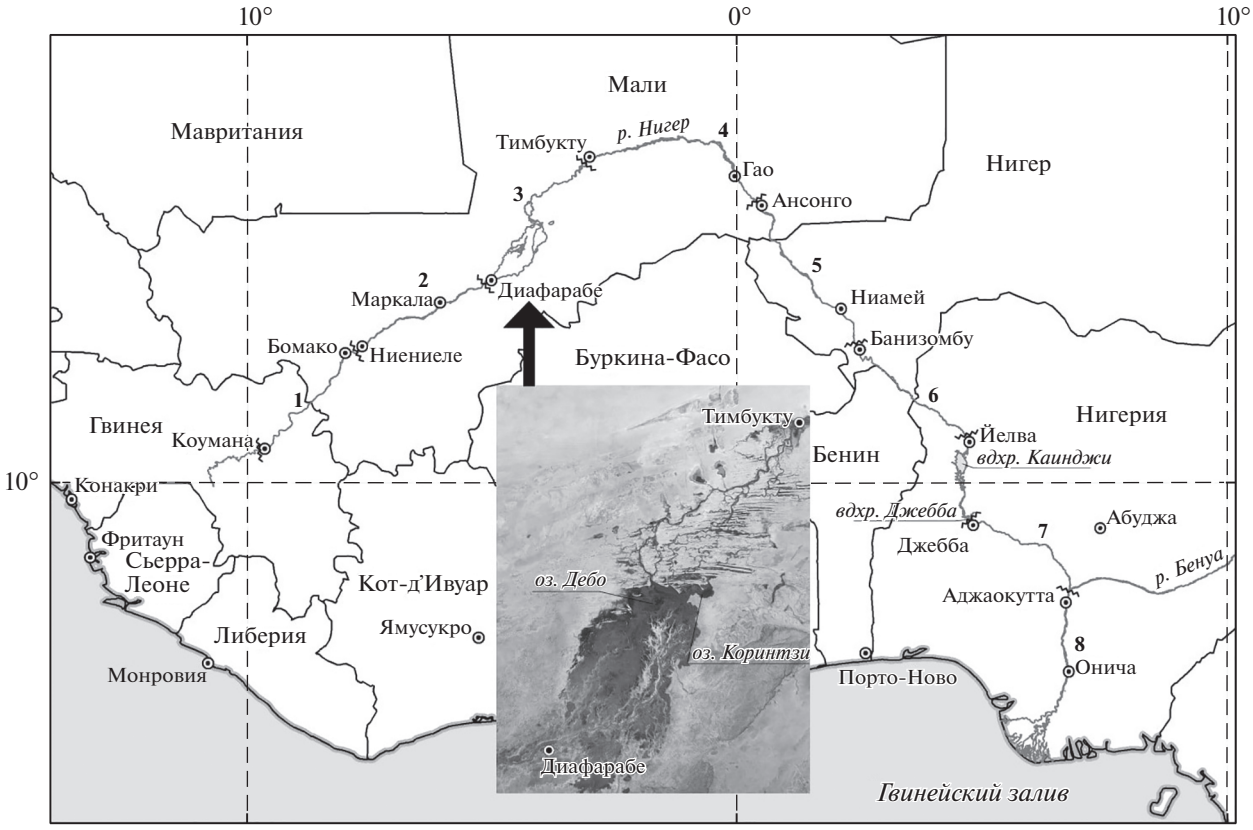


Рис. 1. Схема расположения р. Нигер и ее внутренней дельты.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Нигер берет начало на северных склонах Гвинейской возвышенности в зоне влажных лесов. Пересекая в верхнем течении высокое плато, река врезается в пласты прочных осадочных пород докембрия и палеозоя. Миновав предгорья, она на коротком участке прокладывает путь по территории, сложенной осадочными породами мезозоя и неогена. Далее река формирует обширную внутреннюю дельту шириной около 130 км и площадью 78 тыс. км^2 (рис. 1). В зоне Сахеля и на всем протяжении широтного участка она пересекает массивы подвижных песчаных гряд – эргов, достигающих высоты первых сотен метров [13]. Нижнее течение Нигера проходит по области распространения прочных пород фундамента. В русле реки и в цоколе поймы периодически обнажаются выступы докембрийских кварцитов, гранито-гнейсов, гранитов и сланцев: обычны пороги и сужения русла. На участках выхода терригенно-карбонатных пород мезозоя и кайнозоя встречаются расширения долины до 2–4 км. Мощность неогенового и четвертичного пролювия здесь может достигать 80 м и более [14].

Климатическая обстановка на всем протяжении реки (более 4 тыс. км) претерпевает существенные изменения. В верховьях Нигера в северном направлении происходит постепенное иссушение климата – годовое количество осадков с 1500 мм уменьшается до 250 мм и сохраняет такие значения на всем протяжении широтного участка реки. После поворота реки на юг наблюдается постепенное возрастание количества осадков, которое на побережье Гвинейского залива достигает 4000 мм. Второй особенностью климата бассейна р. Нигер является уменьшение длительности дождливого сезона с юга на север. Величина испарения с поверхности водосбора в его северной части составляет 2500 мм, а в районе устья уменьшается до 1000 мм.

В связи с особенностями истории формирования гидрографической сети продольный профиль Нигера имеет несколько хорошо выраженных перегибов и ступеней (рис. 2). Причиной их образования, кроме разницы в устойчивости горных пород, стало наличие в составе современной долины фрагментов долин древних рек, направлявшихся в неогене и даже в начале четвертичного времени в разные бассейны и до определенного момента не имевших между собой гидрографической связи [15]. На основе этих особенностей формирования реки нами выделены:

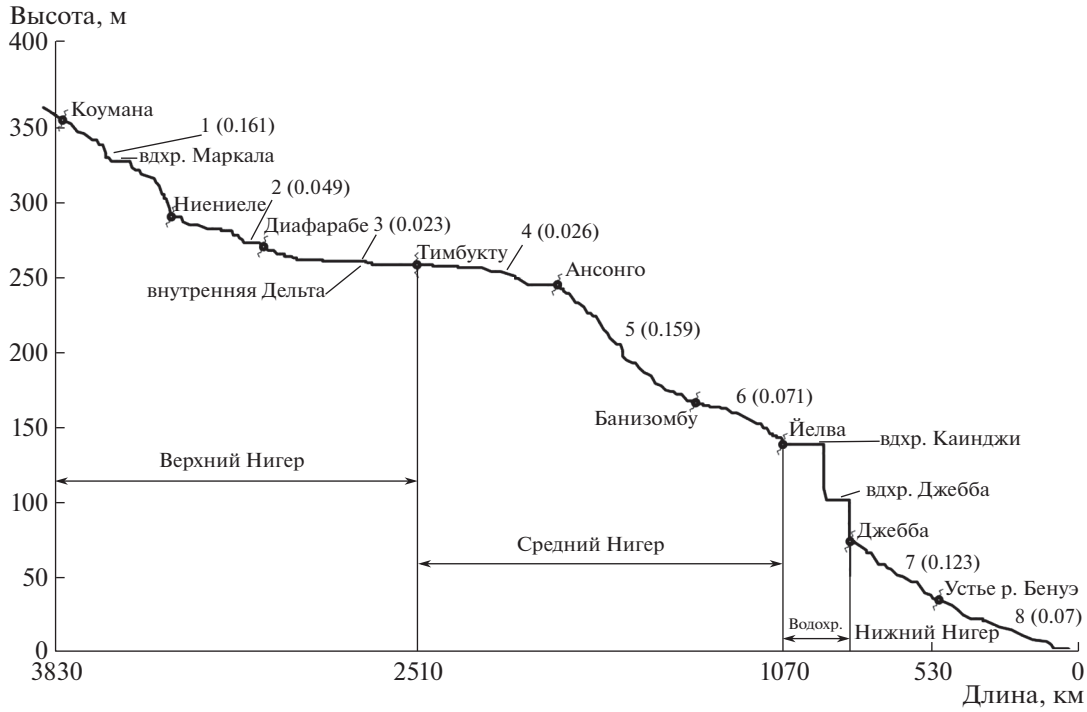


Рис. 2. Дифференциация р. Нигер на верхнее, среднее и нижнее течения с выделением на продольном профиле реки геоморфологических участков: 1, 2 ... 8 (в скобках указан средний уклон русла).

Верхний Нигер, включающий "горный" участок реки и внутреннюю дельту. Рассредоточение русла реки на множество рукавов с образованием как крупных, так и небольших, постоянных и временных водоемов происходит в днище заполненного речными отложениями бывшего древнего озера. Объединение рукавов дельты в одно русло наблюдается вблизи г. Тимбукту, где сохранились следы ответвления русла древнего водотока, уходящего на север от современного (восточного) направления долины Нигера.

Средний Нигер в верхней части представлен фрагментом молодой долины (долины прорыва), соединившей в начале четвертичного периода большую часть современной реки с Верхним Нигером. Ниже по течению, начиная с разворота реки на юго-восток, располагается участок русла, характеризующийся высокими уклонами и активным врезанием в скальные породы докембрия и мезозоя. Заканчивается Средний Нигер верхним бьефом водохранилища Каинджи. Перед входом в водохранилище максимальный зафиксированный расход Нигера достигал 2.7 тыс. м^3/с, минимальный – всего 18 м^3/с. Средний расход воды составляет примерно 1 тыс. м^3/с.

Нижний Нигер начинается с нижнего бьефа водохранилища (озера) Джебба, включает в себя "долину прорыва" и отрезок реки ниже устья р. Бенуа, которая из-за своей высокой водности кардинальным образом меняет масштаб и характер русловых процессов в низовьях Нигера, включая устьевую область и дельту. Во время паводков нередкими являются расходы в 30–35 тыс. м^3/с. Абсолютный минимум расхода, зафиксированный в 1961 г., составил 772 м^3/с. Среднегодовой расход воды в устье реки составляет около 8.5 тыс. м^3/с. Скорости течения потока в паводок у г. Аджаокута в основных рукавах достигают 2.2 м/с, во второстепенных – 1.2 м/с. В межень средние скорости течения обычно не превышают 0.8–0.9 м/с [2].

Помимо выделения трех частей крупнейшей реки Западной Африки, в основе которого лежат в первую очередь палеогеоморфологические особенности их развития (ярко выраженная этапность формирования гидросети), следует отметить и их внутреннюю дифференциацию. Деление на участки определяется неоднородностью геоморфологических условий, которые, оказывая влияние на активность и направленность русловых процессов, определяют набор морфодинамических типов и разновидностей русел. Выделение участков русла (с разделением на 1, 2 и т.д. в направлении сверху вниз) проведено по границам сменяемости значений величин уклона на продольном профиле реки.

В процессе дешифрирования космических снимков были задействованы ресурсы Google Earth Pro, USGS, DATA.GOV, которые позволили провести визуальное распознавание морфологи-

Рис. 3. Скалистые пороги в черте г. Бамако.

ческих элементов русла, дифференцировать днище долины по составу отложений и особенностям растительного покрова пойменно-русловых комплексов [16]. Установление морфодинамического типа русла на конкретном участке реки затруднялось тем, что дешифрируемые космоснимки относились к разным сезонам года и фиксировали состояние реки во время максимального (паводок) или минимального стока.

ВЕРХНИЙ НИГЕР

От истока и до выполаживания уклонов русла, которое происходит уже за пределами Гвинейской возвышенности, река по классификации [17] относится к полугорному типу. Уклоны постепенно уменьшаются с 2–4 до 0.10–0.12‰ у поселения Коумана. Выше г. Бамако река судоходна лишь в отдельные периоды года; ниже города скалистые пороги становятся непреодолимой преградой даже для небольших судов (рис. 3). За порогами, включая и внутреннюю дельту, судоходство также осуществляется лишь в сезон высоких уровней воды [11].

В долине Верхнего Нигера выделяется от одного до трех террасовых уровней, нижний из которых чаще всего представлен узкой односторонней эрозионной (цокольной) поймой. Структура морфодинамических типов врезанного разветвленного русла **на участке 1** выглядит относительно простой. Более половины длины (58%) приходится на скульптурно-аккумулятивные (одиночные и односторонние) разветвления (рис. 4). Второе место по своей протяженности (18%) занимает нерасчлененный комплекс террасово-русловых и параллельно-рукавных разветвлений. Необходимость и целесообразность выделения террасово-руслового вида объясняются наличием фрагментов надпойменных террас в ядрах большей части островов. Подобное развитие рельефа в днище долины связано, прежде всего, с особенностью тектонического режима в бассейне реки в позднем плейстоцене и голоцене и, отчасти, с режимом прохождения руслоформирующих расходов. Выходы кристаллических пород непосредственно в русле реки у г. Бамако и еще в ряде мест Верхнего Нигера привели к образованию особого типа русла – подпруженного разветвленного на рукава (рис. 3, 5). Изменения перед порогами начинаются постепенно. По мере формирования подпора изменяются контуры островов: они приобретают сначала форму пилы, в которой затем появляются разрывы, связанные с образованием проток. Соответственно ближе к порогам происходит увеличение количества островов. Одновременно снижается скорость течения, возрастают глубины, активно развивается аккумуляция наносов. Из-за этого в районе г. Бамако местное население традиционно для нужд строительства добывает из русла песок.

Относительно прямолинейные неразветвленные участки врезанного русла обычно формируются ниже порогов, например, у г. Бамако и в окрестностях поселения Кумана. Суммарная протяженность русла данного типа на участке 1 составляет около 8.5%. Это следствие местного

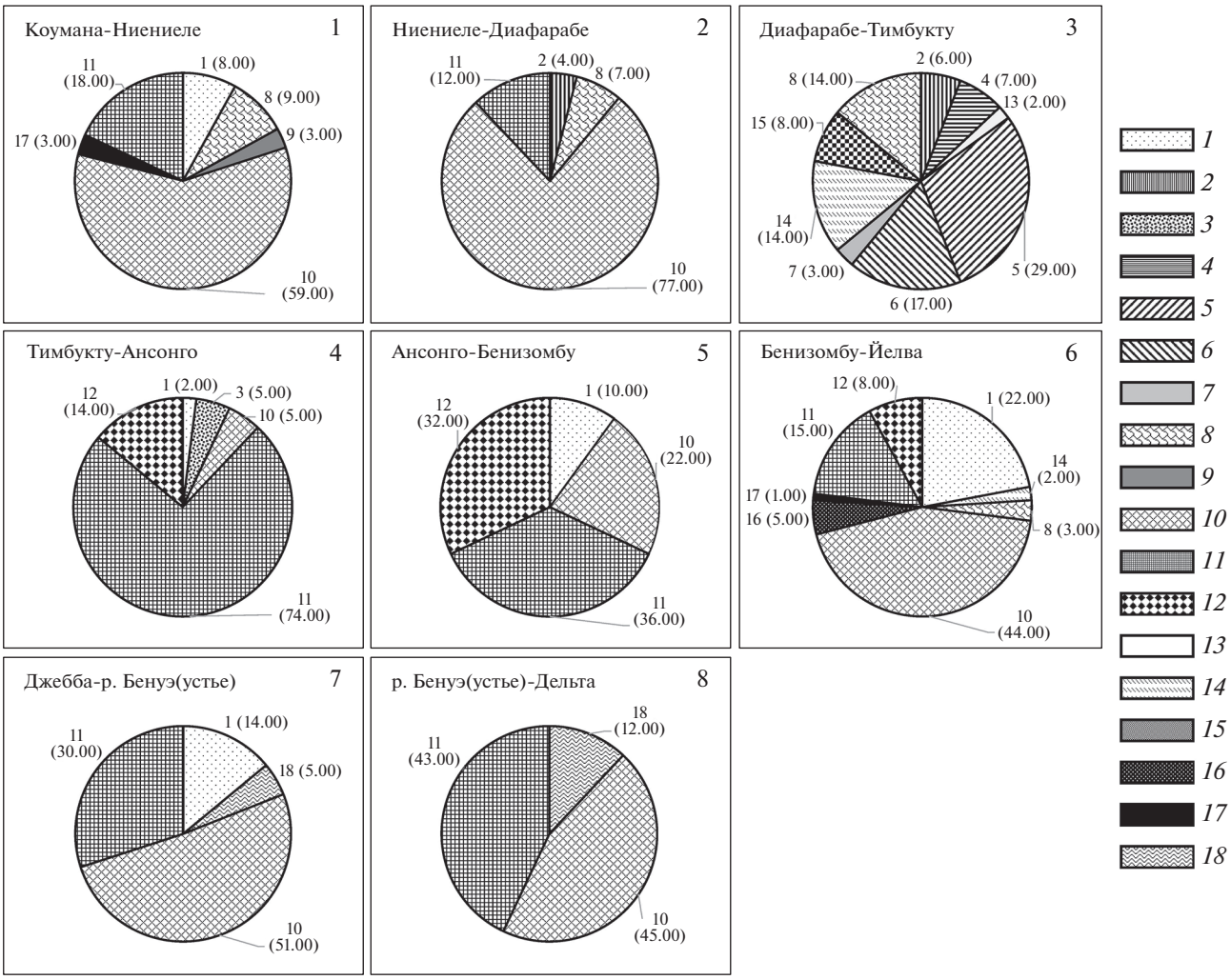


Рис. 4. Диаграмма распределения морфологических разновидностей русла р. Нигер на участках с разным уклоном водной поверхности (геоморфологических участках русла). *Морфологические разновидности русла: 1* – относительно прямолинейные (врезанные), *2* – с односторонней поймой, *3* – односторонние разветвления (широкопойменные), *4* – пойменно-русловые разветвления, *5* – одиночные разветвления, *6* – односторонние разветвления (адаптированные), *7* – параллельно-рукавные разветвления, *8* – подпруженные разветвления, *9* – скульптурные разветвления (пороги), *10* – скульптурно-аккумулятивные разветвления, *11* – террасово-русловые разветвления, *12* – раздвоенное русло, *13* – с продольным перемещением (извилистые свободные), *14* – с продольным перемещением (извилистые вынужденные), *15* – с коренным берегом вдоль привершинной части излучин (извилистые вписанные), *16* – врезанные излучины (унаследованные), *17* – врезанные излучины (структурные), *18* – разветвленно-извилистое русло (широкопойменное).

увеличения уклонов и дефицита наносов из-за их аккумуляции в зоне подпора перед порогами.

Участок 2 Верхнего Нигера не имеет больших отличий от первого. Доля скульптурно-аккумулятивных разветвлений здесь также является самой большой (77%); на втором месте остаются террасово-русловые (почти 12%). Плотина, построенная у г. Маркала для целей ирригации, привела к подъему уровня воды на высоту 3 м (русловое водохранилище). В результате образовавшегося подпора, который не превышает высоты бровок русла, протяженность подпруженных разветвлений составила около 7% всей длины второго участка. Увеличение обводненности поймы, состоявшееся выше гидротехнического сооружения, привело к формированию новой пойменно-русловой генерации, отличающейся от выше и ниже расположенных участков днища речной долины особенностями микрорельефа и составом растительных сообществ.

Участок 3 (Диафарабе – Тимбукту) включает в себя внутреннюю дельту – раздвоенное русло с многочисленными пойменными ответвлениями, плановые очертания которой представляют собой параллелограмм с расстоянием от крайней южной точки до крайней северной около 400 км.

Рис. 5. Подпруженное разветвленное русло у г. Бамако (URL: https://www.istockphoto.com/ru).

Дельта состоит главным образом из разделенных на рукава извилистых русел. Ширина поймы доходит до 125 км, протяженность главного русла Нигера составляет около 600 км, а падение – 12 м (около 0.09‰). Выделяют две зоны дельты: верхнюю и нижнюю [18]. Верхняя – от первого узла раздвоения русла и до озер Дебо и Коринтзи – представлена обширной поймой с прибрежными лугами, расчлененной сложной сетью притоков, на которых местным населением традиционно строятся пруды. Нижняя зона протягивается от центральных озер до г. Тимбукту (рис. 1). В ней выделяются три главных и несколько второстепенных русел, дренирующих массив распространения дюн широтного направления. Междюнные понижения аккумулируют воду в периоды паводков в виде периферийных озер.

По морфологии третий участок значительно отличается от первого и второго. На всем его протяжении встречается 9 видов русел, что объясняется повсеместным развитием здесь рыхлых (аллювиально-озерных и эоловых) четвертичных отложений. Установлено, что в дельте остается от 26 до 54% наносов, поступающих в нее на входе, а их объем колеблется от 0.15 млн т. в маловодные годы и до 3 млн т. при повышенном стоке [19].

Из тех разновидностей русла, которые встречаются также на первом и втором участках верхнего Нигера, во внутренней дельте самая высокая доля приходится на одиночные (29%) и односторонние разветвления (около 17%). Пойменно-русловые и параллельно-рукавные разветвления составляют всего около 7 и 3% соответственно. Только во внутренней дельте рукава имеют извилистые русла, образующие сегментные излучины. Суммарная доля их протяженности составляет около 22%. Встречаются они как на широкопойменных участках реки, так и вдоль высоких надпойменных террас и скоплений эоловых песков, расположенных по периферии. Около 14% в дельте подпруженных озерно-проточных русел. Особый режим процессов делает морфологический облик русел данной разновидности отличающимся от других участков (рис. 6). Данная разновидность подробно описана на примере р. Янцзы, расположенной в субтропическом поясе Китая [20].

В отличие от верхней зоны дельты нижняя представлена тремя главными руслами. Характер общей дренированности поймы здесь меняется. Резко возрастает степень извилистости главных и множества пойменных ответвлений. Для двух этих разветвлений ведущим морфологическим видом становятся извилистые пойменные озерно-непроточные (слепые) и/или пойменные озерно-проточные разветвления. Причины их образования и дальнейшего исключения из русловой сети р. Нигер (в том числе и из наших расчетов доли разновидностей русел) заключаются в мощном геоморфологическом эффекте эоловых гряд субширотного направления. В процессе своего формирования они “уводили” ответвления в сторону от общего направления реки, часто образуя в лабиринтах эоловых образований непроточные постоянные и временные водоемы (озера).

СРЕДНИЙ НИГЕР

Ниже г. Тимбукту Нигер собирается в одно русло, имеющее небольшой уклон на протяжении почти 300 км до г. Ансонго (**участок 4**). До поворота на ЮВ врез незначителен, что объясняется молодостью образования субширотного участка. Он сформировался в результате прорыва реки,

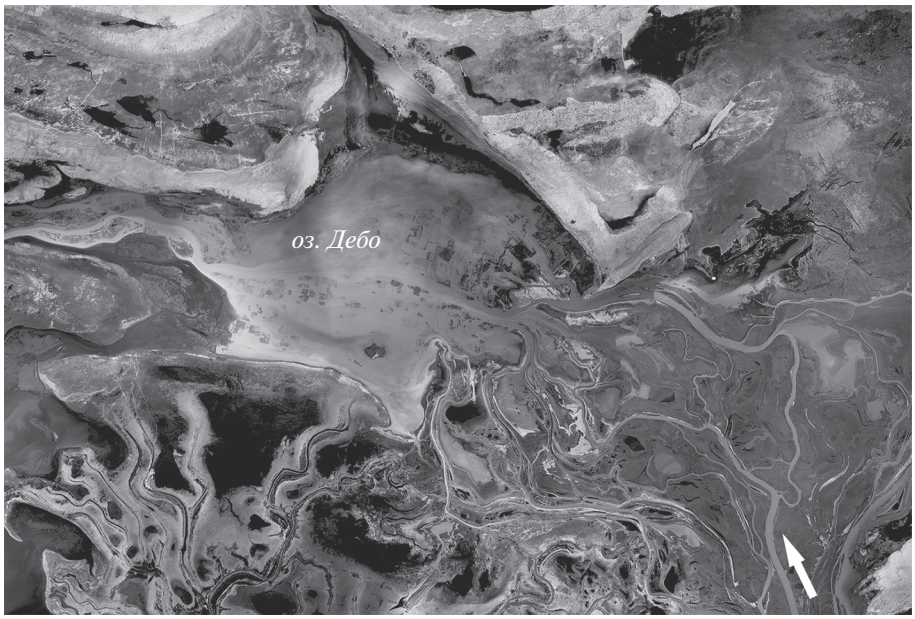


Рис. 6. Подпруженное пойменное озерно-проточное русло во внутренней дельте р. Нигер.

ранее направлявшейся в непроточное озеро – смежный водосборный бассейн [15]. Последующая моделировка русла и долины в основном происходила в условиях значительной зарегулированности стока расположенными выше по течению проточными озерами и аридности местного климата. Как результат – формирование узкой цокольной поймы, развитие лишь односторонних и террасово-русловых разветвлений.

Русловые процессы резко меняются ниже скального порога, расположенного перед резким поворотом реки на юго-восток. После него пойма расширяется и до поселения Гао, где кембрийские кристаллические породы выходят на дневную поверхность, она представлена только террасово-русловыми разветвлениями. Ниже Гао происходит интенсивное врезание реки и очередное сужение поймы. Продолжая оставаться цокольной, она подвергается разнообразной моделировке, что приводит к осложнению структуры русла. Наряду с преобладающими на всем протяжении четвертого участка террасово-русловыми (74%) и скульптурно-аккумулятивными разветвлениями (5%) начинают встречаться раздвоенные (14%) и относительно прямолинейные неразветвленные русла (2%).

Участок 5 (Ансонго – Банизомбу) характеризуется увеличением уклонов с 0.026 до 0.176‰ и четко выраженной локализацией разновидностей русла. Его реакция на пересечение выходов докембрийских кристаллических пород – появление протяженных участков раздвоенного русла (32%) на фоне террасово-русловых (36%) и скульптурно-аккумулятивных (22%) разветвлений. Около 10% всей длины участка приходится на относительно прямолинейное неразветвленное русло.

Начало **участка 6** фиксируется по хорошо выраженному выполаживанию уклона реки. Нигер здесь подпружен массивом прочных пород докембрия. Плановый рисунок русла представлен серией пилообразных излучин, расположенных друг к другу под углом около 120°–130°, между которыми находятся относительно прямолинейные фрагменты русла. Долина расширяется наиболее заметно после примыкания слева трех крупных суходолов – древних долин плювиальных эпох мезозоя и кайнозоя. В современных условиях суходолы пропускают лишь временные водотоки, образующиеся в периоды выпадения сезонных осадков. Мощные толщи аллювия и коллювия, поступившие в долину Нигера в основном от левобережных притоков, сформировали ее широкое днище. По нему параллельно самому Нигеру проходят русла временных водотоков, берущих начало в вершинах суходолов (рис. 7). Современное развитие русловых процессов на общем фоне врезания привело к образованию узкой цокольной поймы; доминирующим морфодинамическим типом русла являются разветвленные на рукава русла. Наибольшее распространение имеют скульптурно-аккумулятивные (одиночные) (43%) и террасово-русловые (параллельно-рукавные) (15%) разветвления. Относительно прямолинейные неразветвленные русла и раздвоенные составляют соответственно 22 и 8%.

Повышенная мощность рыхлых отложений на отдельных участках долины и прямое (блокирующее, преграждающее и др.) воздействие аллюви-

Рис. 7. Формирование русловой сети временных водотоков, параллельной р. Нигер.

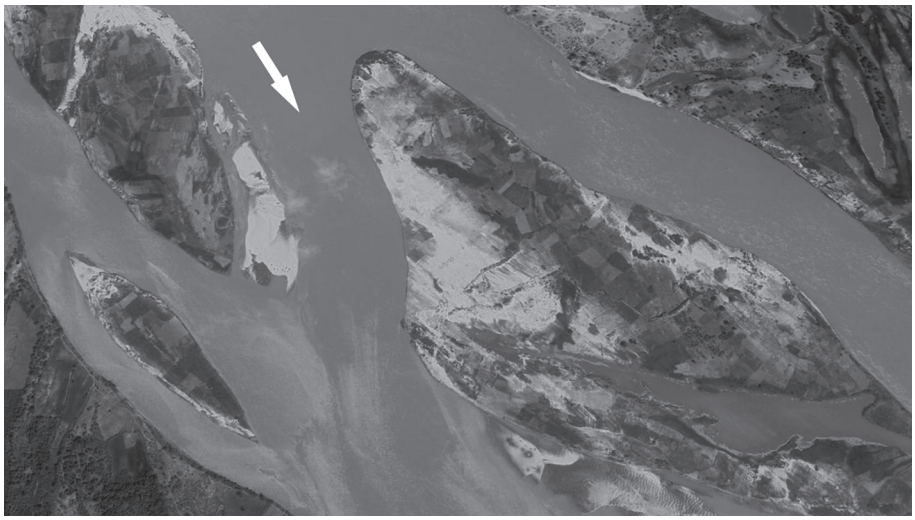


Рис. 8. Острова, использующиеся для ведения сельскохозяйственных работ на Нижнем Нигере.

ально-коллювиальных отложений, поступающих в нее из левобережных суходолов, стали причинами развития здесь разновидностей русла, до этого не встречавшихся на Среднем Нигере: врезанных унаследованных и структурных излучин (соответственно 5 и 1%), извилистых (2%) и подпруженных (3%) разветвлений.

НИЖНИЙ НИГЕР

Начиная от г. Джебба, расположенного в нижнем бьефе одноименного водохранилища, и до устья р. Бенуа разветвленное русло Нигера формируется в широком днище долины. От 60 до 90% его площади приходится на острова, представленные надпойменными террасами, активно используемыми для сельского хозяйства (рис. 8). Собственно пойма относительно узкая и редко превышает 2–3 ширины русла. Фрагменты широкой поймы, в которой формируются сегментные излучины и веерные разветвления, крайне редки. На **участке 7** наиболее распространены скульптурно-аккумулятивные разветвления (51%). Участки реки с террасово-русловым разветвлением также составляют внушительную часть в составе данного морфодинамического типа русла (30%). Доля относительно-прямолинейных неразветвленных русел, как и для всего региона, отличаю-

щегося активной тектонической деятельностью, составляет 14%. Отличительной особенностью Нижнего Нигера стало появление в структуре морфологических разновидностей разветвленно-извилистого широкопойменного русла (5%).

Участок 8 начинается ниже устья р. Бенуа и рассматривается нами до начала устьевой дельты – первого раздвоения на два русла, самостоятельно впадающих в море. Осредненные значения измеренных уклонов водной поверхности у г. Аджаокута в конце 50-х годов прошлого столетия приведены в работе [2]. На подъеме половодья средний уклон в период проведения исследований составлял 0.094‰ и практически не менялся по длине реки. На пике половодья уклон возрастал до 0.107‰. Измерения, проведенные в этом же районе конце 1970-х годов, показали, что в межень средний уклон составляет 0.04–0.045‰, незначительно меняясь лишь в зависимости от устойчивости и местоположения аккумулятивных форм в русле реки. На протяжении первых 60 км долина Нигера врезана в отроги плато Джос и имеет относительно неширокое днище. Далее, начиная от г. Идах, долина резко расширяется почти до 40 км, напоминая по структуре и густоте русловой сети дельту. Рукава функционируют лишь в периоды сезонных паводков и остаются сухими большую часть года. Еще ниже по течению (через 200 км) у г. Онича долина вновь заметно сужается, после чего и начинается собственно дельта Нигера. В нижнем течении наибольшим распространением, как и в целом по реке, пользуются скульптурно-аккумулятивные (45%) и террасово-русловые разветвления (43%). На третьем месте по встречаемости находится разветвленно-извилистое русло (12%), которое зафиксировано только на Нижнем Нигере.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ и типизация морфологических различий в плановой конфигурации русла р. Нигер показали возможности и целесообразность применения классификации МГУ для рек, расположенных в субэкваториальном поясе Северного полушария. На ее основе выделены новые группы разветвлений. Дополнение “африканских” разновидностей объясняется климатическими условиями субэкваториального пояса: большими различиями (в сотни раз) в количестве осадков во влажном и сухом сезонах.

Неравномерность стока, продолжительные и высокие паводки, следующие за периодами продолжительной и низкой межени, а также эффект тектонического фактора, выразившийся во врезании речного русла, привели к формированию цокольной поймы почти на всем протяжении реки. Горизонтальные русловые деформации, наиболее активные при самых высоких уровнях воды, приводят к формированию разветвленного русла – главного морфодинамического типа Нигера – и рассредоточению стока. Принадлежность большей части островов к фрагментам надпойменных террас послужила основанием для выделения новой разновидности русел – террасово-русловых разветвлений.

К выходам прочных пород докембрия приурочены пороги и перегибы продольного профиля. Уменьшение скорости течения перед порогами и локальное выполаживание уклонов обусловили режим затопления/обнажения островов, асинхронный с другими частями русла реки. Формирование фрагментов подпруженного разветвленного на рукава русла (подпруженного разветвления) зафиксировано в основном на Верхнем Нигере.

Особый характер разветвлений наблюдается во внутренней дельте Нигера. Наличие на севере эоловых форм в виде эргов содействовало образованию проточных и непроточных (“тупиковых”), временных и постоянных водоемов. Среди них такие крупные озера, как Дебо, Коринтзи, Оро, Фати и некоторые другие. Отличие в сезонной морфодинамике озерно-русловой системы от незарегулированных русел стало причиной формирования и выделения извилистых пойменных озерно-непроточных и извилистых пойменных озерно-проточных разновидностей русла.

Изменения геолого-геоморфологических условий и уклонов русла послужили критериями выделения геоморфологических участков на всем протяжении Нигера, но в целом не повлияли на преобладание скульптурно-аккумулятивных и террасово-русловых разветвлений на всем течении реки. Тем не менее разделение их на отдельные участки выявило разновидности следующего (второго) уровня по частоте их встречаемости. Для участка 1 (Верхний Нигер) таковыми являются относительно-прямолинейное русло и подпруженное разветвление, для участка 3 (Верхний Нигер) – одиночное разветвление, для участков 4 и 5 (Средний Нигер) – раздвоенное русло, для участка 7 (Нижний Нигер) – прямолинейное русло, для участка 8 (Нижний Нигер) – разветвленно-извилистое русло.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по проектированию коренного улучшения судоходных условий на затруднительных участках свободных рек. Л.: Транспорт, 1974. 310 с.
2. *Беркович, К.М., Лодина Р.В., Сидорчук А.Ю.* Русловой режим р. Нигер в районе сооружения металлургического завода у г. Аджаокута // Эрозия почв и русловые процессы. 1983. Вып. 9. С. 127–145.
3. *Маккавеев Н.И., Чалов Р.С.* Географические закономерности руслового режима рек СССР // Дина-

мика и термина рек и водохранилищ. М.: Изд-во МГУ, 1984. С. 110–123.
4. *Беркович К.М., Голосов В.Н., Панин А.В., Рулева С.Н., Чалов Р.С.* Антропогенное изменение эрозионно-аккумулятивных процессов на реках России и сопредельных стран // География и природные ресурсы. 1999. № 2. С. 26–30.
5. *Беркович К.М.* Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов. М.: ГЕОС, 2001. 164 с.
6. *Белый Б.В., Иванов В.В., Никитина Л.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В.* Морфология и динамика русла нижней Вычегды в период активных дноуглубительных работ и после их прекращения // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. Вып. 13. С. 146–183.
7. *Назаров Н.Н., Чернов А.В.* Особенности проявления и оценка интенсивности горизонтальных русловых деформаций на реках Пермского Прикамья // Геоморфология. 1997. № 2. С. 55–60.
8. *Чалов Р.С., Алабян А.М., Иванов В.В., Лодина Р.В., Панин А.В.* Морфодинамика русел равнинных рек. М.: ГЕОС, 1998. 288 с.
9. *Алексеевский Н.И., Чалов С.Р.* Структура русловых разветвлений // Геоморфология. 2004. № 3. С. 57–66.
10. *Турыкин Л.А., Чалов Р.С.* Распространение морфодинамических типов русел рек на территории Северной Евразии // География и природные ресурсы. 2006. № 1. С. 5–11.
11. *Черч Р.Д.* Западная Африка: Природная среда и ее хозяйственное использование. М.: Изд-во иностранной литературы, 1959. 478 с.
12. *Чалов Р.С.* О морфологическом разнообразии и типизации русел рек // Геоморфология. 2019. № 3. С. 3–18.
13. *Фицжеральд У.* Африка: Социальная экономическая и политическая география ее главных районов / Под ред. И.П. Магидовича. М.: Гос. изд-во иностр. лит., 1947. 696 с.
14. *Фейрбридж Ф.В.* Аридность климата ледниковых эпох в Африке // Проблемы палеоклиматологии. М.: Мир, 1968. С. 224–228.
15. *Bonne K.P.M.* Cenozoic Atlantic margin of Africa during the Cretaceous and the implications for sediment supply to the Equatorial Reconstruction of the evolution of the Niger River and Cenozoic Atlantic margin of Africa during the Cretaceous and the Cenozoic // Geological Society, London, Special Publications. Vol. 386. No. 1. P. 327–349.
16. *Назаров Н.Н., Копытов С.В.* Использование данных дистанционного зондирования в изучении перестроек речной сети (на примере верхней Камы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 1. С. 105–117.
17. *Чалов Р.С.* Типы русловых процессов и принципы морфодинамической классификации речных русел // Геоморфология. 1996. № 1. С. 25–36.
18. *Bamba F., Diabate M., Mahé G., and Diarra M.* Rainfall and runoff decrease of five river bassins of the tropical upstream part of the Niger river over the period 1951–1989 // Global hydrological change, EGS XXIth gen. ass., La Haye, Pays Bas, 6–10 May 1996, 16 p.
19. *Picouet C.* Geodynamique d'un hydrosysteme tropical peu anthropise, le bassin superieur du Niger et son delta interieur. Ph.D. Thesis. University of Montpellier, France.
20. *Чалов Р.С., Власов Б.Н., Лю Шугуан, Чжао Еань, Юй Вэньчоу.* Специфические формы разветвленного русла р. Янцзы и их эволюция // География и природные ресурсы. 2006. № 2. С. 151–157.

Morphological varieties of the channel and the conditions of their formation in the Niger River (West Africa)

N. N. Nazarov[a,#], B. Diarra[a], and D. A. Dremin[a]

[a] *Perm State University, Faculty of Geography, Perm, Russia*

[#] *E-mail: nikolainazarovpsu@gmail.com*

The Niger River is one of the largest rivers in Subequatorial Africa. River channel classification developed by Lomonosov Moscow State University was applied to define variations in Niger River channel. The main channel type along the River Niger is braided, conjugated, with complex of terraces. The new groups of types of river channel have been identified that were not previously identified in the Subarctic, Moderat, Subtropical zones of Eurasia. The inclusion of "African" species in this classification is explained by the large differences in rainfall between the wet and dry seasons in the Subequatorial zone. New morphological varieties are terrace braided reaches and barrage braided channel reaches, meandering floodplain lake-channel systems and floodplain lake-channel disconnected systems.

Keywords: channel processes, braided channel, subequatorial belt, inland delta

REFERENCES

1. *Rukovodstvo po proektirovaniyu korennogo uluchsheniya sudokhodnykh uslovii na zatrudnitel'nykh uchastkakh svobodnykh rek* (Guidelines for the design of a radical improvement of navigable conditions on difficult stretches of free rivers). L.: Transport (Publ.), 1974. 310 p.
2. Berkovich K.M., Lodina R.V., and Sidorchuk A.Yu. *Ruslovoi rezhim r. Niger v raione sooruzheniya metalur-*

gicheskogo zavoda u g. Adzhaokuta (River channel regime Niger in the area of construction of a metallurgical plant near Ajaokuta). *Eroziya pochv i ruslovye protsessy.* 1983. No. 9. P. 127–145. (in Russ.)

3. Makkaveev N.I. and Chalov R.S. *Geograficheskie zakonomernosti ruslovogo rezhima rek SSSR. Dinamika i termina rek i vodokhranilishch* (Geographic regularities of the channel regime of the rivers of the USSR. Dynamics and terms of rivers and reservoirs). M.: MSU (Publ.), 1984. P. 110–123. (in Russ.)
4. Berkovich K.M., Golosov V.N., Panin A.V., Ruleva S.N., and Chalov R.S. *Antropogennoe izmenenie erozionno-akkumulyativnykh protsessov na rekakh Rossii i sopredel'nykh stran* (Anthropogenic changes in erosion-accumulative processes on the rivers of Russia and neighboring countries). *Geography and Natural Resources*. 1999. No. 2. P. 26–30. (in Russ.)
5. Berkovich K.M. *Geograficheskii analiz antropogennykh izmenenii ruslovykh protsessov* (Geographic analysis of anthropogenic changes in channel processes). M.: GEOS (Publ.), 2001. 164 p.
6. Belyi B.V., Ivanov V.V., Nikitina L.N., Chalov R.S., and Chernov A.V. *Morfologiya i dinamika rusla nizhnei Vychegdy v period aktivnykh dnouglubitel'nykh rabot i posle ikh prekrashcheniya* (Morphology and dynamics of the lower Vychegda channel during the period of active dredging and after their termination). *Eroziya pochv i ruslovye protsessy.* M.: MSU (Publ.), 2001. Vyp. 13. P. 146–183. (in Russ.)
7. Nazarov N.N. and Chernov A.V. *Osobennosti proyavleniya i otsenka intensivnosti gorizontal'nykh ruslovykh deformatsii na rekakh Permskogo Prikam'ya* (Features of the manifestation and assessment of the intensity of horizontal channel deformations on the rivers of the Perm Kama region). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1997. No. 2. P. 55–60.
8. Chalov R.S., Alabyan A.M., Ivanov V.V., Lodina R.V., and Panin A.V. *Morfodinamika rusel ravninnykh rek* (Morphodynamics of lowland river channels). M.: GEOS (Publ.), 1998. 288 p.
9. Alekseevskii N.I. and Chalov S.R. *Struktura ruslovykh razvetvlenii* (The structure of channel ramifications). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2004. No. 3. S. 57–66.
10. Turykin L.A. and Chalov R.S. *Rasprostranenie morfodinamicheskikh tipov rusel rek na territorii Severnoi Evrazii* (Distribution of morphodynamic types of river channels in Northern Eurasia). *Geography and Natural Resources*. 2006. No. 1. P. 5–11. (in Russ.)
11. Cherch R.D. *Zapadnaya Afrika: prirodnaya sreda i ee khozyaistvennoe ispol'zovanie* (West Africa: Natural environment and its economic use). M.: Izd-vo inostr. lit. (Publ.), 1959. 478 p.
12. Chalov S.R. *O morfologicheskom raznoobrazii i tipizatsii rusel rek* (About morphological diversity and typification of river channels). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2019. No. 3. P. 3–18.
13. Fitszheral'd U. *Afrika: sotsial'naya ekonomicheskaya i politicheskaya geografiya ee glavnykh raionov* (Africa: Social, economic and political geography of its main regions). M.: Gos. izd-vo inostr. lit. (Publ.), 1947. 696 p.
14. Feirbridzh F.V. *Problemy paleoklimatologii. Aridnost' klimata lednikovykh epokh v Afrike* (Problems of paleoclimatology. Aridity of the climate of ice ages in Africa). M.: Mir (Publ.), 1968. P. 224–228.
15. Bonne K.P.M. Reconstruction of the evolution of the Niger River and implications for sediment supply to the Equatorial Atlantic margin of Africa during the Cretaceous and the Cenozoic. *Geological Society.* London: Special Publications (Publ.), 2014. Vol. 386. No. 1. P. 327–349.
16. Nazarov N.N. and Kopytov S.V. *Ispol'zovanie dannykh distantsionnogo zondirovaniya v izuchenii perestroek rechnoi seti (na primere verkhnei Kamy)* (The use of remote sensing data in the study of restructuring of the river network (on the example of the upper Kama)). *Current Problems in Remote Sensing of the Earth From Space*. 2019. Vol. 16. No. 1. P. 105–117.
17. Chalov S.R. *Tipy ruslovykh protsessov i printsipy morfodinamicheskoi klassifikatsii rechnykh rusel* (Types of channel processes and principles of the morphodynamic classification of river channels). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1996. No. 1. P. 25–36.
18. Bamba F., Diabate M., Mahé G., and Diarra M. Rainfall and runoff decrease of five river bassins of the tropical upstream part of the Niger river over the period 1951–1989. *Global hydrological change*. 1996. 16 p.
19. Picouet C. Geodynamique d'un hydrosysteme tropical peu anthropise, le bassin superieur du Niger et son delta interieur. *Hydrologie*. Montpellier: Université Montpellier II – Sciences et Techniques du Languedoc, 1999. 470 p.
20. Chalov R.S., Vlasov B.N., Lyu Shuguan, Chzhao Ean', and Yui Ven'chou. *Spetsificheskie formy razvetvlennogo rusla r. Yantszy i ikh evolyutsiya* (The specific forms of the branched river bed. Yangtze and their evolution). *Geography and Natural Resources*. 2006. No. 2. P. 151–157. (in Russ.)

ГЕОМОРФОЛОГИЯ, 2021, том 52, № 2, с. 14–20

УДК 551.4.01:168/551.44→551.435.8

ПОДЗЕМНЫЙ МОРФОЛИТОГЕНЕЗ

© 2021 г. В. А. Неходцев[1,*]

[1]*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия*

**E-mail: baban.n@mail.ru*

Поступила в редакцию 25.12.2019 г.
После доработки 13.07.2020 г.
Принята к публикации 22.12.2020 г.

Предложена модель масштабно-уровенной организации генетических типов субрельефа (“рельефа” подземных полостей). Выделяются два иерархических морфодинамических уровня в эволюции субрельефа: подземный морфолитогенез (процесс образования подземной полости) и наложенный морфолитогенез – процесс образования в подземных полостях вторичных форм субрельефа, существенно не изменяющих полость. Дальнейшее деление процессов морфолитогенеза проводится параллельно по масштабам их действия и генетическим типам. Масштабы выделяются согласно размерам образующихся подземных полостей и иных форм субрельефа. В качестве меры времени (относительного) использованы стадии/циклы (по В. Дэвису). Стадии юности соответствуют зарождение и активное расширение подземной полости; на стадии зрелости в полости активно эволюционируют наложенные формы субрельефа; на стадии дряхлости полость активно разрушается, приводя к деформациям земной поверхности. Эта концепция является методологической основой научного изучения субрельефа и субтерральных процессов. Она связывает эволюцию подземных (иногда и полуподземных) полостей с “классическим” рельефом в единую природную или природно-техногенную динамическую систему.

Ключевые слова: морфолитогенез, подземные формы рельефа, пещеры, полость, субрельеф, теоретическая геоморфология

DOI: 10.31857/S0435428121020097

ВВЕДЕНИЕ

Научное познание подземных полостей весьма многогранно ввиду их широкого использования и специфичности. Но, видимо, в первую очередь они входят в область интересов геологии (говоря о веществе, в котором образованы полости) и геоморфологии (изучение морфологии, генезиса, возраста и динамики их внутренней поверхности). Подземные полости в значительной степени определяют морфодинамические условия системы “геологическая среда – подземная полость – рельеф”. Появляясь обычно как новообразования геологической среды, подземные полости, в свою очередь, начинают сами оказывать на нее значительное влияние: например, могут быть каналами разгрузки грунтовых вод, приводить к разуплотнению грунтов и т.д. Все это зачастую приводит к изменениям в рельефе – вызванным подземными процессами деформациям земной поверхности (воронки, мульды проседания, карстовые колодцы, слепые овраги и т.д.). То есть можно (и нужно) говорить о геоморфологической корреляции. В некоторых случаях подземные полости могут создаваться и с поверхности – тафони и ниши выдувания (в неоднородных литифицированных осадках типа песчаников и конгломератов), водобойные гроты и пещеры на побережьях и пр.

В последнее десятилетие разрабатывается концепция субрельефа (“рельефа” подземных полостей) [1, 2], систематизируются знания об опасных и неблагоприятных субтерральных (буквально – подземных) процессах [3–5]. В рамках концепции для обозначения твердой поверхности подземных полостей используется термин “субрельеф” (буквально – ПОД рельефом и ПОЧТИ рельеф), исходя из устоявшегося представления о рельефе как совокупности неровностей твердой ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ (в отличие от субрельефа). Предложены терминологический аппарат, генетическая классификация форм субрельефа, глубинное деление (зонирование) подземных полостей, даны границы применимости концепции. Также раскрыты некоторые особые свойства подземных полостей – такие, как объемная замкнутость отрицательных форм, значительная обособленность от поверхностных процессов, глубинная зональность.

О необходимости подобного переосмысления и развития геоморфологической научной методо-

логии изучения подземных полостей (особенно их морфодинамической связи с собственно рельефом) аргументированно указывали прежде многие авторы [6, 7]. Приведем еще такую цитату: "В ходе любого геоморфологического исследования, имеющего различные цели (определение строения рельефа, изучение последовательности его формирования, прогноз изменений и пр.), возникает необходимость провести операцию расчленения на составные части такого сложного объекта, каким является рельеф [в случае настоящей статьи – субрельеф]. Подобный методический прием позволяет представить природную систему в виде взаимосвязанных элементов, изучение взаимоотношений которых приводит к познанию статической структуры сложной системы..." [8, с. 18].

В настоящей статье предложена методологическая основа научного геоморфологического изучения субрельефа и субтерральных процессов различных генетических типов на разных масштабных уровнях.

ПОДЗЕМНЫЙ МОРФОЛИТОГЕНЕЗ

Синтез геологических и геоморфологических знаний привел к возникновению в середине XX века учения о морфолитогенезе, как едином, хотя и сложном, процессе одновременного образования преимущественно рыхлых отложений и экзогенных форм рельефа. Идея о триединой системе "форма – процесс – вещество", как противовес структурной и основа климатической геоморфологии раскрыта в публикациях Ю.Г. Симонова [9, 10] и соавт. [11] и использована в огромном числе работ второй половины XX – начала XXI веков. И это неудивительно, ведь "учение о морфолитогенезе имеет свой социальный заказ" [11, с. 42].

В познании морфодинамики в подземных полостях учение о морфолитогенезе занимает, на наш взгляд, центральную позицию. Действительно, почти все полости формируются при изъятии каким-либо процессом объема горных пород (или органического вещества, например, корней) с последующим его транзитом и аккумуляцией, которая создает формы рельефа (или субрельефа). В более редких (иногда исключительных) случаях, когда полость образуется в результате аккумуляции (литификации) вещества, окружающего эту полость, мы видим вновь в образовании форм и рельефа, и субрельефа результат триединого процесса морфолитогенеза.

Вместе с тем концепция подземного морфолитогенеза имеет существенные отличия и дополнения к учению о морфолитогенезе (по Ю.Г. Симонову) [9, с. 13]. Изначально термин "морфолитогенез" не применялся к процессам эндогенного морфогенеза, хотя, очевидно, в нем и присутствует каждый из компонентов триединой системы (веществом могут являться, например, вулканические горные породы). Вместе с тем эндогенные (например, лавовые тоннели) и некоторые формы субрельефа смешанного генезиса образуются также в рамках триединой системы "форма – процесс – вещество". Впрочем, в своей более поздней работе Ю.Г. Симонов [10] слово "экзогенный" уже не использует; но в качестве третьей части системы морфолитогенеза (вещества) упомянуты лишь рыхлые отложения. Автору настоящей статьи сложно согласиться с признанием только рыхлого вещества в качестве составной части триединой системы морфолитогенеза. Согласно устоявшимся определениям, литогенез включает в себя и диагенез, и катагенез, как правило сопровождаемые литификацией. Этот же аспект весьма актуален и для антропогенного воздействия на рельеф – создания искусственных твердых покрытий, прошедших через ускоренное подобие процесса диагенеза (бетон, тротуарная плитка) или катагенеза (асфальтобетонное покрытие). Такие поверхности тоже признаются рельефом. Автору не известны работы, устраняющие это противоречие. На наш взгляд, единый процесс образования формы и осадка вовсе не исключает присутствие литифицированных (не рыхлых) пород, хотя такие случаи, безусловно, встречаются значительно реже (например, в районах развития карста).

На основе учения о морфолитогенезе автором статьи предлагается модель масштабно-уровенной организации процессов морфолитогенеза подземных полостей (табл. 1). В модель заложено три основания: 1) уровенность геоморфологических процессов (создание и преобразование подземных полостей); 2) генезис геоморфологических процессов; 3) масштаб действия этих процессов. Примеры форм субрельефа (как итог процессов морфолитогенеза того или иного иерархического уровня) приведены в основной части таблицы.

Вводится понятие "подземный морфолитогенез" для обозначения *единого процесса образования денудационной подземной полости в результате извлечения объема горных пород и их дальнейшего транзита и аккумуляции, либо аккумулятивной подземной полости и ограничивающих ее пород.* Здесь мы вновь в ситуации с образованием, например, лавовых тоннелей, выходим за рамки понятия "морфолитогенеза" (по Ю.Г. Симонову) как сугубо экзогенного процесса. Отметим, что "в природе также встречаются погребенные (или аккумулятивные) полости, хотя и намного реже – онкосы и спиракулы (газовые пузыри и тоннели в застывшей лаве), полости, возникающие при подводном срастании или сплетении грибообразных шляпок колоний кораллов" [2, с. 15].

В геоморфологии используют, вероятно, заимствованный из теории литогенеза (наложен-

Таблица 1. Масштабно-уровенная организация генетических типов субрельефа (с некоторыми примерами)

Генезис полости		Масштаб		
		средний	крупный	очень крупный
Подземный морфолитогенез				
Эндогенный	вулканический	Комплексы лавовых тоннелей	Лавовый тоннель	Газовые пузыри в застывших лавах
	тектонический	Полости зияющих тектонических разломов	Тектонические пещеры	Полости в зияющих трещинах бокового отпора*
Смешанный	гравитационный	–	Гравитационные клиновидные пещеры	Обвальные купола, гравитационные рвы отседания
	пирогенный	–	Полости выгорания в угленосных толщах	Мелкие полости выгорания торфа
	структурно-денудационный	–	Поверхность нависающих склонов*	Ниши под нависающими склонами*
Экзогенный	флювиальный	–	Фрагменты сквозных долин под нависающими склонами*	Гроты, ниши*
	береговой	Комплексы гротов и ниш на абразионных побережьях*	Волноприбойные гроты*	Волноприбойные ниши*
	карстовый	Пещерные системы	Отдельные пещеры	Каверны
	суффозионный	–	Суффозионные пещеры	Пайпинговые каналы
	ледниковый (в том числе водно-ледниковый)	Дилювиальные каналы подледниковых сбросов (субгляциальные спиллвеи)*	Подледные пещеры и гроты*	Ледниковые мельницы*
	мерзлотный	–	Полости дегазации при оттаивании мерзлоты	Подземные каналы спуска термокарстовых озер
	эоловый	–	Арки выдувания*	Дефляционные ниши*
	биогенный	–	Норы	Норы, ходы
	антропогенный (рукотворный)	Городские системы водоотведения XIX – нач. XX веков*	Исторические ходы, подвалы, пещерные монастыри	Погреба, землянки
	техногенный	Метро, шахты, горные тоннели, штольни	Добычные камеры в шахтах	Шпуры, мелкие скважины
Наложенный морфолитогенез (динамика в полости)				
Эндогенный	тектонический	–	Дизъюнктивные деформации полостей	Трещины раскрытия
Смешанный	гравитационный	–	Крупные обвалы	Вывалы породы из сводов подземных горных выработок
	пирогенный	–	–	Забой очистной выработки в шахте
Экзогенный	флювиальный	“Речные долины” в карстовых пещерах	Русла рек в карстовой пещере	Эворзионные котлы, побочни и т.п.
	береговой	–	–	Пляжи внутри гротов и волноприбойных ниш*
	карстовый	Вторичный карст пещер	Сталактит-сталагмитовая кора	Сталактиты, сталагмиты, сталагнаты
	суффозионный	–	–	Суффозионные шлейфы
	ледниковый	–	Ле́дники в шахтах и пещерах	Ледовые сталактиты

Таблица 1. Окончание

Генезис полости		Масштаб		
		средний	крупный	очень крупный
	эоловый	–	–	Тафони
	биогенный	–	–	“Ball-holes” (биокарстовые купола)
	антропогенный	–	Завалы из грунта	Малые рукотворные отвалы
	техногенный	Накопление шита (осевшей пыли)	Дорога в шахте	Шпуры в шахтах

Примечание: * – формы субрельефа (и переходные от рельефа к субрельефу), созданные частично или полностью наземными процессами.

ный, или вторичный, литогенез; наложенный эпигенез) термин “наложенный морфолитогенез”, применяя его к процессам преобразования (но не создания) форм (в масштабе этих форм!) и подчеркивая соотношение генезиса и динамики (как, например, склонообразующие и склоновые процессы). Наложенный морфолитогенез наблюдается и в подземных полостях как *единый процесс образования вторичной формы субрельефа и слагающих ее пород, либо извлечения пород и дальнейшего их переотложения в виде новой формы субрельефа и проходящий в устойчиво существующей подземной полости*. Возможно, уместно использовать словосочетание “вложенный морфолитогенез”, так как отличительной чертой подземных полостей является замкнутый (квазизамкнутый) объем. Наложенный морфолитогенез может быть аккумулятивным (например, образование сталактитов) и денудационным (формирование русла подземной реки). Причем последний, в отличие от первого, существенно не изменяет форму и размер подземной полости на протяжении длительного времени, иначе стоит говорить уже о новом цикле подземного морфолитогенеза (например, углубление карстовой пещеры при тектоническом поднятии территории или изменении базиса эрозии). Наложенный морфолитогенез может быть иного генезиса (в том числе и сложного), чем полость, в которой наблюдается. Примером могут служить процессы карстово-суффозионного травертиногенеза на стенках антропогенно-техногенных подземных коммуникаций [12]. Очевидно, что, увеличив масштаб рассмотрения до уровня образования, например, сталактита, мы вновь перейдем от “наложенности процесса”, т.е. от динамики в пещере, к генезису конкретного сталактита. Отдельные друзы и ветви сталактита будут наложенными формами по отношению уже к самому сталактиту.

Таким образом, эволюция подземной полости представляется как двухуровневый процесс ее зарождения-формирования (генезиса) и дальнейшего преобразования (динамики). Необходимость выделения уровней организации геоморфологических объектов была обоснована ранее [8, 13, 14]. “Необходимо знать определенные соотношения между главными характеристиками объекта. Они заключаются в строгой иерархичности геоморфологических явлений и соответствии пространства, времени и процесса для каждого иерархического уровня... Должна существовать хорошая зависимость между пространственными и временны́ми масштабами, с одной стороны, и амплитудой, и частотой процесса – с другой. Соблюдение этого принципа размерности, или “уровенности”, возможно при введении понятия “уровень организации геоморфологических объектов” ... – единство пространственно-временны́х характеристик, связанных между собой мерой их изменчивости, в пределах которого (единства) количественные изменения характеристик объекта не приводят к его качественным изменениям” [8, с. 20].

Ранее исследователями отмечалось, что “уровенный подход подводит нас к необходимости использования в исследованиях балансового подхода” [8, с. 22]. Для эволюции субрельефа ключевым является баланс между двумя указанными уровнями – соотношение генезиса и динамики, которое обязательно должно определяться и масштабом изучаемых форм.

Масштабы действия процессов морфолитогенеза показаны в соответствии с результатом этих процессов – формами субрельефа различных размеров (см. примеры в таблице). Средний масштаб соответствует образованию мезоформ, размер которых обычно не превышает несколько десятков км^2; крупный масштаб – микроформам с размерами до первых км^2; а очень крупный масштаб – нано- и пикоформам (от мм^2 до первых метров). В масштабно-уровенную организацию не выносится мелкий масштаб ввиду отсутствия конкретных подземных форм субрельефа такого размера. Крупнейшие подземные полости (например, пе-

щерная система Мамонтова – Флинт-Ридж, метрополитены мегаполисов, наиболее крупные шахтные поля) хотя и превышают по протяженности 400–600 км, но все же сконцентрированы на площадях порядка десятков (в единичных случаях – нескольких сотен) км^2. Мелкомасштабный уровень в нашем случае может соответствовать только ареалам распространения форм и факторам формирования генетических типов субрельефа. Заметим, что наложенные формы среднего масштаба – явление крайне редкое под землей. Одним из следующих этапов развития концепции субрельефа должно стать, по мере набора статистики, решение задачи по количественному классифицированию форм субрельефа по их размеру.

Проблема определения меры геоморфологического времени, возможно, наиболее трудно решаема, на что неоднократно указывали многие ученые, например [14–16]. Предложенная выше уровенная организация (генезис – динамика) уже сама по себе предполагает наличие временнóй составляющей. Наиболее уместна, на наш взгляд, в качестве меры времени классическая концепция цикличности-стадийности В. Дэвиса. Эта концепция, что крайне важно в рамках теории подземного морфолитогенеза, подчеркивает важное свойство геоморфологического времени – его дискретность, или непрерывно-прерывистое течение [по 15, 16]. Рассмотрим на примере карстовой пещеры. Этап активного формирования и расширения карстовой пещеры относится к стадии ее юности; период ее наибольшего объема и широкого развития вторично-карстовых аккумулятивных форм (сталактиты, сталагмиты и др.) – к стадии зрелости; на стадии дряхлости пещера активно обваливается, на дневной поверхности образуются множественные провалы, впадины.

Это свойство геоморфологического времени выражается в цикличности. Например, объемы карстовой пещеры увеличиваются в гумидные эпохи, обвалы и образование форм вторичного карста происходит преимущественно в аридные эпохи; после чего, в новую гумидную эпоху, пещера вновь углубляется и расширяется. Так образуются многоярусные сложные пещерные комплексы. Вместе с тем все это – время относительное.

В работе использована оригинальная генетическая классификация форм субрельефа, публиковавшаяся ранее как один из содержательных элементов концепции субрельефа [1, 2, 4]. Особо отметим, что в классификации техногенный тип обособлен от антропогенного (буквально, “рукотворного”) ввиду специфичности воздействия машин и механизмов. Действительно, физический смысл генезиса формы рельефа (и субрельефа) – контакт некоего процесса с литосферой, в результате которого (контакта) образуется данная форма рельефа. Техника, создающая формы (в объемах, на десятки порядков превышающие в буквальном смысле “рукотворные”), не является воздействием собственно человека, хотя он и управляет этой техникой. В природе есть аналогичный пример – флювиальный рельеф, который образуется текущей водой, подконтрольной (как и машины – человеку) гравитации.

Заметим также, что смешанный класс, согласно классификации, включает в себя черты как эндогенного, так и экзогенного источников энергии. Например, выгорание торфа от удара молнии, выгорание пласта угля, вызванное внедрением магмы, и (огне)взрывные работы в шахте – суть один и тот же пирогенез. Только в первом и третьем случаях источник (причина) энергии процесса – экзогенный, а во втором – эндогенный.

Выше была показана идеальная двухуровенная модель подземного морфолитогенеза для замкнутой (не имеющей выхода на поверхность) или почти замкнутой полости. Напомним, что субрельеф – это совокупность неровностей границы литосферы с атмо- и гидросферой, частично или полностью находящихся ПОД твердой дневной поверхностью Земли (или иных планетных тел). Однако, очевидно, что такие формы субрельефа (или переходные к ним), как гроты, ниши выдувания, пространства внутри арок-кекур и многие подземные сооружения образуются не подземными процессами, а частично или полностью наземными (флювиальными, береговыми, карстовыми и т.д.). К таким формам в равной степени применим описанный выше двухуровенный (но не подземный) морфолитогенетический подход. В масштабно-уровенной организации генетических типов субрельефа мы приводим примеры конкретных форм; те из них, которые созданы частично или полностью наземными процессами, отмечены “звездочкой” (*).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена модель масштабно-уровенной организации процессов морфолитогенеза в подземных полостях, согласно которой выделяются два иерархических морфодинамических уровня в эволюции субрельефа:

• подземный морфолитогенез – процесс образования денудационной или аккумулятивной подземной полости;

• наложенный (возможно, “вложенный”) морфолитогенез – процесс образования в подземных полостях вторичных денудационных и аккумулятивных форм субрельефа, существенным образом не меняющих морфометрические характеристики самой полости.

Баланс между уровнями морфолитогенеза представляет собой соотношение генезиса полости и динамики в ней. Дальнейшее расчленение процессов морфолитогенеза подземных полостей происходит параллельно по масштабам и генетическим типам.

Масштабы выделяются согласно размерам образующихся полостей и форм субрельефа. Мелкий масштаб (соответствующий, например, макроформам рельефа) мы не выделяем ввиду отсутствия форм соответствующих размеров.

В качестве меры времени (относительного) выбраны стадии/циклы (по В. Дэвису). Стадии юности соответствуют зарождение и активное расширение подземной полости; на стадии зрелости полость активно взаимодействует с геологической средой и даже с субаэральными процессами и формами, активно эволюционируют наложенные формы субрельефа; стадия дряхлости – активное разрушение полости с последующими деформациями земной поверхности. При определенных условиях полость может, не достигнув стадии дряхлости, перейти к новому циклу расширения. Цикличность и стадийность в той же степени характерны не только для полостей, но и для отдельных форм внутри них (сталактиты, сталагмиты и пр.).

Предложенная методологическая основа концепции субрельефа ("рельефа" подземных полостей) увязывает эволюцию подземных (иногда и полуподземных) полостей с классическим рельефом в единую природную или природно-техногенную систему, изучаемую так или иначе в рамках нескольких наук о Земле (в том числе и геоморфологией).

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает глубокую признательность А.В. Бредихину, профессору кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, за конструктивную дискуссию и ценные советы по теме настоящей статьи.

Исследование проводится в рамках темы госзадания № АААА-А16-11632810089-5 "Эволюция природной среды, динамика рельефа и геоморфологическая безопасность природопользования".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Болысов С.И., Неходцев В.А., Харченко С.В.* Подземный рельеф Москвы // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2017. № 2. С. 59–73.
2. *Болысов С.И., Неходцев В.А.* Концепция субрельефа – рельефа подземных полостей // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2020. № 2. С. 13–22.
3. *Неходцев В.А.* Геоэкологические опасности субрельефа городов // Спелеология и спелестология. 2016. № 7. С. 315–320.
4. *Болысов С.И., Неходцев В.А.* Субрельеф и субтеральные процессы как фактор эколого-геоморфологической опасности в городах // Вестник РГУ им. С.А. Есенина. 2016. № 1 (50). С. 87–105.
5. Геоморфология городских территорий: конструктивные идеи / Отв. ред. Лихачёва Э.А. М.: МедиаПРЕСС, 2017. 176 с.
6. *Галицкий В.И.* О классификации рельефа Земли и некоторых вопросах терминологии // Геоморфология. 1974. № 1. С. 38–44.
7. *Болысов С.И.* Биогенное рельефообразование на суше. Т. 2. Зональность. М.: ГЕОС, 2007. 466 с.
8. *Болысов С.И., Бредихин А.В.* Об уровнях организации геоморфологических объектов и критериях их выделения // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1989. № 4. С. 18–23.
9. *Симонов Ю.Г.* Региональный геоморфологический анализ. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1972. 355 с.
10. Геоморфология / Симонов Ю.Г. СПб.: Питер, 2005. 427 с.
11. *Симонов Ю.Г., Конищев В.Н., Лукашов А.А., Мысливец В.И., Никифоров Л.Г., Рычагов Г.И.* Учение о морфолитогенезе и его место в географической науке. Исторические аспекты // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1998. № 4. С. 41–48.
12. *Неходцев В.А.* Обзор травертиногенеза в подземных реках Москвы // Спелеология и спелестология. 2019. № 10. С. 296–303.
13. *Сочава В.Б.* Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 319 с.
14. *Торнес Дж.Б., Брунсден Д.* Геоморфология и время. М.: Недра, 1981. 227 с.
15. *Флоренсов Н.А.* Некоторые аспекты понятия возраст рельефа // Геоморфология. 1976. № 1. С. 13–22.
16. *Тимофеев Д.А.* Геоморфологическое время и пространственно-временные соотношения в рельефе земной поверхности // Изв. РАН. Сер. геогр. 1992. № 4. С. 12–18.

Underground morpholithogenesis

V. A. Nekhodtsev[a,#]

[a] *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*

[#] *E-mail: baban.n@mail.ru*

This article presents the model of scale-level organization of subrelief ("relief" of underground cavities) based on its genesis. There are 2 morphodynamic levels of subrelief evolution: underground morpholithogenesis (underground cavity formation) and imposed morpholithogenesis (formation of secondary landforms without significant changes of underground cavities). Morpholithogenesis is a process of synchronous formation of sediments and landforms or forms of subrelief. Further classification of suggests two hierarchical levels based on genesis and scale of landform formation. Scales are used according to the size of formed subrelief.

These hierarchical levels of morpholithogenesis represent the balance of cavity genesis and her internal dynamic. Stages of W. Davis's geographic cycles have been chosen as relative time units. Youthful stage corresponds to initial formation and active expansion of the underground cavity. The imposed subrelief actively evolve (for example stalactites and stalagmites in karst caves) in the cavity during mature stage. Then the cavity is being destroyed inside and eventually collapses at the old stage. This concept links the evolution of underground (sometimes semi-underground) cavities with "classical" surficial relief into a natural or natural-technogenic system and should be used as basic method to study subrelief.

Keywords: caves, cavity, morpholithogenesis, scientific theory, subrelief, underground landforms

ACKNOWLEDGMENTS

The author expresses sincere gratitude to A.V. Bredikhin, professor of department of geomorphology and paleogeography of the faculty of geography of Lomonosov Moscow State University, for constructive discussion and valuable advice on the topic of this article.

The work was carried out under the State Research Task AAAA-A16-11632810089-5 "Evolution of the environment, relief dynamics and the geomorphologic safety of nature management".

REFERENCES

1. Bolysov S.I., Nekhodtsev V.A., and Kharchenko S.V. *Podzemnyi rel'ef Moskvy* (Underground Landforms of Moscow). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2017. No. 2. P. 59–73. (in Russ.)
2. Bolysov S.I. and Nekhodtsev V.A. *Kontseptsiya subrel'efa – rel'efa podzemnykh polostei* (Concept of subrelief – relief of the underground cavities). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2020. No. 2. P. 13–22. (in Russ.)
3. Nekhodtsev V.A. *Geoekologicheskie opasnosti subrel'efa gorodov* (Geoecological hazards on urban areas). *Speleologiya i spelestologiya*. 2016. No. 7. P. 315–321. (in Russ.)
4. Bolysov S.I. and Nekhodtsev V.A. *Subrel'ef i subterral'nye protsessy kak faktor ekologo-geomorfologicheskoi opasnosti v gorodakh* (Subrelief and subterrestial processes as factors of geomorphological hazards on urban areas). *Vestnik RGU imeni S.A. Esenina*. 2016. No. 1 (50). P. 87–105. (in Russ.)
5. *Geomorfologiya gorodskikh territorii: konstruktivnye idei* (Urban Geomorphology: Constructive Ideas). Likhacheva E.A. (Ed.). M.: Media-Press (Publ.), 2017. 176 p. (in Russ.)
6. Galitskii V.I. *O klassifikatsii rel'efa Zemli i nekotorykh voprosakh terminologii* (About Classification of Earth Landforms and Some Terminology Problems). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1974. No. 1. P. 38–44. (in Russ.)
7. Bolysov S.I. *Biogennoe rel'efoobrazovanie na sushe. T. 2. Zonal'nost'* (Biogenic Geomorphology on Continents. Vol. 2. Zonation). M.: GEOS (Publ.), 2007. 466 p. (in Russ.)
8. Bolysov S.I. and Bredikhin A.V. *Ob urovnyakh organizatsii geomorfologicheskikh ob'ektov i kriteriyakh ikh vydeleniya* (About organization levels of the geomorphological objects and criteria of their allocation). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 1989. No. 4. P. 18–23. (in Russ.)
9. Simonov Yu.G. *Regional'nyi geomorfologicheskii analiz* (Regional geomorphological analysis). M.: MSU (Publ.), 1972. 355 p. (in Russ.)
10. *Geomorfologiya* (Geomorphology). Simonov Yu.G. (Ed.). Saint-Petersburg: Piter (Publ.), 2005. 427 p. (in Russ.)
11. Simonov Yu.G., Konishchev V.N., Lukashov A.A., Myslivets V.I., Nikiforov L.G., and Rychagov G.I. *Uchenie o morfolitogeneze i ego mesto v geograficheskoi nauke. Istoricheskie aspekty* (Morpholithogenesis Doctrine and its Place in Geography Science. Historical Issue). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 1998. No. 4. P. 41–48. (in Russ.)
12. Nekhodtsev V.A. *Obzor travertinogeneza v podzemnykh rekakh Moskvy* (The Review of Speleothems Formation in Moscow Drains). *Speleologiya i spelestologiya*. 2019. No. 10. P. 296–303. (in Russ.)
13. Sochava V.B. *Vvedenie v uchenie o geosistemakh* (Introduction to the doctrine of geosystems). Novosibirsk: Nauka (Publ.), 1978. 319 p. (in Russ.)
14. Tornes Dzh.B. and Brunsden D. *Geomorfologiya i vremya* (Geomorphology and time). M.: Nedra (Publ.), 1981. 227 p. (in Russ.)
15. Florensov N.A. *Nekotorye aspekty ponyatiya vozrast rel'efa* (Some aspects of the concept of relief age). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1976. No. 1. P. 13–22. (in Russ.)
16. Timofeev D.A. *Geomorfologicheskoe vremya i prostranstvenno-vremennye sootnosheniya v rel'efe zemnoi poverkhnosti* (Geomorphological time and spacetime relations in the relief). *Izvestiya RAN. Ser. geogr.* 1992. No. 4. P. 12–18. (in Russ.)

ГЕОМОРФОЛОГИЯ, 2021, том 52, № 2, с. 21–28

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ГЕОМОРФОЛОГИЯ

УДК 551.438.5 (282.2)

РОЛЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В ФОРМИРОВАНИИ РЕЛЬЕФА РЕЧНЫХ РУСЕЛ

© 2021 г. К. М. Беркович[1,*], Л. В. Злотина[1,]**

[1] *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия*

**E-mail: berkovitch@yandex.ru*

***E-mail: zleonora@yandex.ru*

Поступила в редакцию 28.01.2020 г.
После доработки 19.06.2020 г.
Принята к публикации 22.12.2020 г.

В долинах и руслах рек создано огромное количество различных инженерных сооружений, проводятся работы, которые преобразовали их облик и характер эрозионно-аккумулятивных процессов. Роль инженерной деятельности в формировании и преобразовании рельефа речных долин и русел мало освещается в современной геоморфологической литературе, но требует большого внимания из-за усиления и расширения деятельности человека по регулированию и использованию рек. Кроме крупных сооружений, таких как большие плотины, региональные дамбы обвалования и магистральные каналы, к сфере использования ресурсов рек относится огромное количество сооружений меньшего масштаба, располагающихся внутри речного русла и играющих большую роль в морфодинамике рек благодаря широкому распространению и косвенным последствиям. Эта категория антропогенных форм охватывает широкий диапазон инженерных сооружений и мероприятий, которые, подвергаясь действию водного потока и вступая с ним во взаимодействие, развиваются и преобразуются по законам природы, становясь естественно-антропогенными формами. Работа выполнена на основе натурных исследований русловых процессов на реках Оби, Оке и Белой, в высокой степени измененных в ходе деятельности человека.

Ключевые слова: антропогенное влияние, русла рек, пойма, инженерные сооружения

DOI: 10.31857/S0435428121020127

Вмешательство человека в рельеф и геоморфологические процессы на Земле имеет длительную историю – несколько тысяч лет. Оно заключается в создании новых форм, подобных естественным формам рельефа, перемещении огромного количества материала и инициировании эрозионно-аккумулятивных процессов, ранее не наблюдавшихся. Созданные человеком формы рельефа во многих местах коренным образом изменили направленность и интенсивность развития флювиальных процессов. В результате природное развитие форм рельефа меняется или развиваются новые, нетипичные для данного места и времени процессы. Созданный или модифицированный человеком рельеф, будучи основой ландшафта, формирует его новый облик. Эти изменения сказываются часто на всем природном комплексе [1], на его экологической значимости.

Существенные вмешательства человек осуществлял в том числе и в сферы, связанные с использованием водных ресурсов, которое относится к самым древним видам воздействия на рельеф речных бассейнов и речных долин, уходящего на несколько тысяч лет до нашей эры. Особенно влиятельным преобразование рельефа речных долин стало в XX веке с развитием технических средств и технологий. Роль инструмента, посредством которого человек приспосабливает реки для использования в экономике, играют гидротехнические сооружения и работы. Большинство сооружений представляют собой объекты, изменяющие рельеф речной долины и русла, не свойственные их естественному состоянию в данном месте и времени и сооруженные из искусственных или привозных материалов. Целью служат регулирование стока рек, обеспечение благоприятных условий использования ресурсов рек и защита от опасных для человека явлений. Инженерные объекты, а также процессы, развивающиеся при участии техногенных факторов, изучаются в рамках антропогенной геоморфологии, которая сравнительно малое внимание уделяет антропогенному рельефу, создаваемому в речных долинах и руслах, хотя многие антропогенные формы, связанные с использованием водных ресурсов, включены в существующие клас-

сификации [2]. Обычно с точки зрения вклада в морфологию долин и русел рек особое внимание уделяют: 1) насыпным формам – плотинам и дамбам обвалования, 2) выработанным формам – искусственным руслам – каналам [3]. Эти формы являются наиболее выдающимися и поэтому привлекающими внимание. При их создании по земной поверхности перемещалось огромное количество материала, исчисляемого десятками и сотнями кубических километров. Однако ими не исчерпывается большой ряд разнообразных инженерных сооружений и мероприятий, которые меняют рельеф речной поймы и русла: водозаборные сооружения, мостовые переходы, выправительные, берегозащитные и регулировочные сооружения, русловые и пойменные карьеры, спрямления излучин, малые плотины [4]. Но механизму действия этих форм и их роли в развитии флювиальных процессов уделяется мало внимания.

Антропогенные формы – гидротехнические сооружения и работы в речном русле вносят изменения в естественные процессы переформирования и транспорт наносов. В большинстве случаев происходит смена направленности русловых деформаций, их ускорение, изменение периодичности деформаций и закрепление форм русла. Развиваются новые формы рельефа, другие распадаются. Гидротехнические сооружения меняют пространственное и временное распределение стока, гидравлические характеристики и структуру потока, что нередко приводит к развитию стихийных процессов.

Возведение сооружения или выработка понижения является прямым результатом целенаправленной деятельности. Оно сопровождается косвенными последствиями, обычно ненамеренными – возникновением вторичных форм, а также процессов в русле и на пойме, как результат действия основной формы. Кроме того, к косвенному воздействию относятся и антропогенные нарушения в речных бассейнах (сельскохозяйственные, лесотехнические, мелиоративные), сказываясь на изменении режима стока воды и наносов.

Работа основана на многолетнем исследовании речных русел, находящихся под антропогенным прессом разной степени. Исследованы изменения морфологии русел Оби, Оки, Белой и др., а также динамики рельефообразующих процессов, развивающихся в результате создания инженерных сооружений и ведения инженерных работ, таких как плотины, регуляционные сооружения, разработка русловых карьеров, дноуглубительные работы.

Среди сооружений и мероприятий, так или иначе связанных с использованием водных ресурсов, выделяются две категории. Первая – искусственные сооружения, относящиеся к рельефу речной долины, они оказывают длительное региональное влияние на рельефообразующие процессы. Вторая категория искусственных форм относится к рельефу речного русла, их влияние варьирует от локального до регионального, длительность существования обычно средняя, реже долговременная.

К первой категории относится, прежде всего, крупное гидротехническое строительство. Под этим термином понимается создание крупных водохранилищ в результате подпора рек плотинами высотой более 15 м. Плотины построены на 14% рек мира. Возрастание геоморфологического значения плотин иллюстрируется фактом увеличения количества больших плотин с 5750 в 1950 г. до 41000 в 2000 г. Большие плотины рассчитаны на длительный период существования – столетия и, благодаря этому, играют ведущую роль в преобразовании морфологии многих речных долин.

Влиянию крупного гидростроительства на рельеф и процессы в речных долинах и руслах посвящена обширная литература, решительный вклад в эту тему внес Н.И. Маккавеев [5]. Поэтому здесь мы не будем уделять ему большое внимание. Отметим только, что аналогом плотины в естественных условиях является перегораживание реки обвалом или оползнем, характерное преимущественно для горных регионов. Сооружение плотины – целенаправленное мероприятие, предназначенное для создания водохранилища – искусственного водоема для регулирования стока. С плотинами связаны обширные вторичные формы, например, выемки для обеспечения материалом сооружение основной формы. Главным последствием возведения больших плотин является нарушение продольной связанности речной системы: разрыв транспорта наносов и стока воды. Косвенные последствия сооружения плотины распространяются вверх и вниз по течению в виде не проявлявшихся ранее геоморфологических процессов – обвально-осыпных, оползневых, абразионных процессов в пределах водохранилищ, эрозионно-аккумулятивных процессов, включая формирование дельт, глубинную эрозию в нижних бьефах плотин, регрессивную аккумуляцию. Характер русловых процессов изменяется на большом расстоянии ниже плотины, наиболее яркое проявление – глубинная эрозия. В среднем в мире врезание ниже больших плотин составило 2.0–2.5 м, распространившись на несколько десятков километров [6], хотя максимальные величины в три-четыре раза больше.

Итогом существования плотины служат заиление водохранилища и формирование новой геоморфологической поверхности. Срок заиления водохранилищ зависит от их объема и размеров стока наносов и обычно рассчитан на сотни лет. Уничтожение плотины приводит к врезанию и формированию террасированной долины.

К средствам защиты от нежелательного затопления относятся дамбы обвалования, располагающиеся параллельно речному руслу на некотором удалении от него, отсекающие пойму или ее часть. Дамбы также представляют собой основную антропогенную форму рельефа дна речной долины. Они сопровождаются, как правило, вторичными формами рельефа противоположного знака, так как материал для сооружения дамб зачастую берется по соседству путем экскавации, в результате появляются заболоченные низменности и выемки пойменных карьеров, протягивающиеся параллельно дамбам. Основным косвенным последствием обвалования является ограничение поперечной связанности речной системы – взаимодействия русла и поймы, изменение транспорта наносов, морфологического облика поймы.

Хотя поперечные сечения дамб обвалования сравнительно небольшие (их высота не более 10–15 м), геоморфологическая значимость обвалования очень велика, особенно на равнинных территориях. Так как длина дамб обвалования достигает нескольких тысяч километров [3], их сооружение требует перемещения большого количества материала. Противопаводковые дамбы влияют на гидравлические характеристики потока и транспорт наносов. При обваловании речного русла изменяется характер речного потока: сжатие потока дамбами приводит к росту уровня воды и скорости перемещения паводковой волны; вследствие уменьшения пойменной емкости увеличивается расход потока, как на участке обвалования, так и ниже по течению; увеличивается скорость потока, усиливается его размывающая способность.

Вслед за строительством часто начинается ускоренное накопление наилка на оставшейся внутри дамб части пойм. Наращивание поймы объясняется тем, что большая часть воды (80% и более) и наносов проходит в русле при средних уровнях, и отсечение части поймы не избавляет от отложения наилка. В частности, и по этой причине в междамбовом пространстве уровень паводка растет, что заставляет наращивать высоту дамб, это наблюдалось во многих регионах, особенно заметно на реках Китая, отличающихся исключительно высоким стоком наносов. Гребни дамб на р. Хуанхэ до создания в бассейне водохранилищ приходилось наращивать на 1 м каждые 10 лет. Дамбы сооружаются из местных природных, в основном, материалов. Геоморфологическая роль дамб обвалования – как форм средней (по Ф.Н. Милькову [6]) длительности существования, требующих обслуживания и ремонта, увеличивается с течением времени.

Магистральные каналы — основная выработанная форма антропогенного рельефа регионального значения, создаваемая целенаправленно для перераспределения водных ресурсов по территории. Они широко распространены преимущественно на равнинных территориях. По сути это – искусственные русла. Магистральные каналы протягиваются на сотни километров, часто они имеют укрепленное поперечное сечение заданной формы и пропускной способности. При строительстве каналов перемещается большое количество материала, достигающее сотен миллионов кубических метров. Материал чаще всего складируется в виде обвалования по обоим берегам или заполняет природные депрессии, создавая вторичные положительные формы рельефа. Так, при строительстве канала Москва–Волга длиной 128 км было извлечено и перемещено более 200 млн м^3 грунта.

Каналы, особенно мелиоративные, оказывают заметное косвенное влияние на естественные водотоки и водоемы вследствие увеличения или уменьшения расходов воды. Примеры полного изменения характера деформаций и руслового рельефа рек при переброске стока приводит И.Ф. Карасев [7]. Характерно влияние, которое оказало изъятие на орошение стока рек Амударьи и Сырдарьи: в результате уменьшения стока рек исчезло Аральское озеро, на месте которого образовался участок суши.

Инженерные сооружения и мероприятия, изменяющие рельеф речного русла, как правило, не нарушают принципа продольной и поперечной связанности речной системы, а включены в общие русловые процессы. Среди антропогенного рельефа речных русел многочисленны так называемые переливные (низконапорные) плотины, которым в литературе уделяется крайне мало внимания. Десятки тысяч подобных плотин были построены начиная с XVII века при фабриках и заводах, для борьбы с эрозией, улучшения условий судоходства. Это привело к региональной трансформации характеристик русла и поймы многих рек, нарушениям стока воды и наносов. В России фабричные плотины распространены на реках бассейна р. Камы: на Белой, Уфе, Иже, Вотке, а также в других бассейнах. Каскад плотин, обеспечивающих судоходство, построен на реках Москве и Оке на рубеже XIX–XX веков, первоначальные переливные плотины к настоящему времени реконструированы (последними реконструированы плотины на р. Оке: Белоомутская и Кузьминская, построенные к 1914 г.).

Высота переливных плотин не превышает уровня бровки, так что затопления поймы не происходит. Старые плотины были деревянными или каменными, их долговечность невелика, и они требовали частого ремонта. Современные плотины выполняются из искусственных материалов.

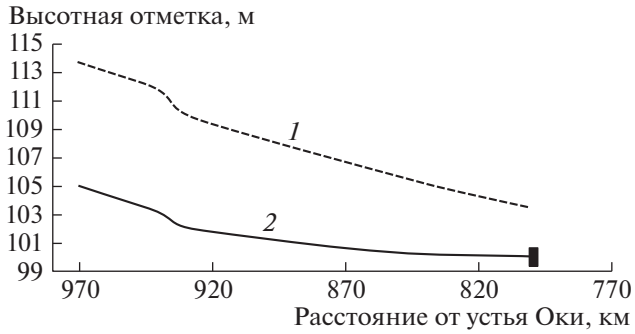


Рис. 1. Зона подпора Белоомутской плотины.
Кривые водной поверхности: 1 – в половодье, *2* – в межень 2014 г.

Главная цель создания таких плотин – формирование плеса с низкими скоростями течения и большими глубинами. Благодаря повышению отметки водной поверхности в межень, плотина обеспечивает адекватные глубины для водозаборов и судоходства. Низконапорные плотины, особенно их каскады, коренным образом меняют продольный профиль дна и водной поверхности реки. Водная поверхность в межень приобретает вид кривой подпора. Дальность распространения подпора обычно определяется отношением высоты плотины к исходному уклону реки и, в случае переливных плотин, зависит также от уровня воды в реке, т.е. фазы гидрологического режима (рис. 1).

С повышением уровня воды в реке, когда поток все более свободно проходит через плотину, длина зоны подпора выше плотины уменьшается, а скорость течения в бьефе возрастает до бытовых значений.

Ниже плотины, если она не подперта нижележащей плотиной, может развиваться эрозия, что является следствием формирования вихревой зоны у нижней грани плотины. Длина участка эрозии сравнительно небольшая, так как она происходит в период межени, а также вследствие того, что в период высокой водности поток и наносы передвигаются через плотину свободно. Так, на Оке эрозия, глубиной около 0.8 м, развивалась с конца 1930-х годов ниже Кузьминского гидроузла.

Наносоудерживающая способность зон подпора выше переливных плотин относительно невелика, она связана с крупностью наносов и временем удержания воды, содержащей наносы. В случае переливных плотин время удержания малое, при этом гидравлические условия со сменой фаз меняются. Средний годовой сток руслообразующих наносов Оки у Белоомута составляет около 170 тыс. т. При низких уровнях происходит осаждение взвешенных наносов, однако, с ростом уровня отложенный материал приходит в движение. Поэтому аккумуляция не имеет широкого развития, тем не менее, отдельные ложбины заносятся. Сравнение продольных профилей дна в пределах бьефа Белоомутской плотины за 1988–2014 гг. показывает, что скорость заиления ложбин составляла около 8 см в год.

Выше плотин, созданных несколько столетий назад, исходное русло часто погребено наносами, во многих случаях их слой достиг высоты плотин 2.5–3.5 м. Уничтожение или разрушение плотин в последние 100 лет на некоторых реках привело к врезанию и формированию террас. На участках подпора низконапорных плотин не исключены горизонтальные деформации. Так, в бьефе Белоомутского гидроузла, где русло Оки образует крутые излучины, средние скорости размыва вогнутых берегов с 1977 по 2016 г. составляли 2–5 м в год, т.е. такие же, как на свободном участке Оки в районе Рязани. Причина значительных темпов деформаций – длительное (более полугода) пребывание грунтов пойменных берегов в водонасыщенном состоянии, в результате чего береговые откосы теряют устойчивость. В случае бьефа Белоомутского гидроузла одним из факторов горизонтальных деформаций служит разработка подводных карьеров стройматериалов, при которой происходит понижение отметки дна и, соответственно, потеря устойчивости откосов.

Наиболее распространенными искусственными формами рельефа речных русел являются выправительные сооружения. Номенклатура их очень велика: к ним относятся запруды, полузапруды (буны), донные пороги, берегоукрепительные стенки и покрытия и многое другое. Выправительные сооружения в ряде случаев подобны естественным формам руслового рельефа (намывные пляжи, донные пороги, намывные территории на поймах), но чаще отличаются от них по форме, расположению и материалу, они соизмеримы с размерами речного русла, располагаются непосредственно в русле и их морфологические проявления и влияние предполагаются локальными, но они часто трансформируют русло на больших участках рек. Роль их заключается в изменении структуры потока, скоростей течения и уровней воды. Их действие рассчитывается на десятилетия, хотя на многих реках они существуют уже столетия; они изготавливаются преимущественно из местного обломочного материала и часто требуют ремонта в течение времени функционирования, т.е. происходит постоянное вмешательство в естественные процессы, увеличиваются размеры и степень влияния сооружений на морфологию русла и скорость деформаций. Выправительные сооружения, создаваемые целенаправленно, например, для увеличения глубины, перенаправления потока, закрепления положения русла, уменьшения уклона, производят активное косвенное воздействие, включающее

ускорение естественных процессов, что часто не запланировано и является неожиданным. Например, защита берега реки от размыва посредством строительства полузапруд при неправильном их расположении и неверном расчете размеров приводит к интенсивным размывам противоположного берега.

Создание системы полузапруд, благодаря возбуждаемой ею структуре потока и заполнению наносами пространства между сооружениями, приводит к развитию таких форм руслового рельефа, как стабильные побочни. Последние, взаимодействуя с потоком, развиваются естественным путем и превращаются в пойменные массивы природно-антропогенного происхождения, описанные ранее на средней Оби [8]. Много полузапруд из гравийно-галечного грунта построено в русле р. Белой в Башкирии. В настоящее время на 400-километровом участке ниже Уфы насчитывается более 200 сооружений, в то время как в начале 1940-х годов их было около десятка. Степень стеснения русла сооружениями различна на разных перекатах; в среднем отношение ширины судоходной трассы к исходной ширине русла составляет около 0.6.

Наиболее заметные и представительные природно-антропогенные русла возникают в результате выправления рек двухсторонним стеснением русла системами полузапруд, которое способствует уменьшению ширины и инициирует глубинную эрозию. На многих европейских реках такое выправление производилось столетие назад (Одра и Висла в нижнем течении, Рейн и др.). Это привело к полному преобразованию морфологии русла и формированию новой поймы.

Так как выправительные сооружения выполняются из материалов, частью привезенных из береговых карьеров, а частью взятых из русла реки, то их создание подразумевает возникновение вторичных отрицательных форм – выемок и понижений на поймах, террасах или в русле.

Выработанные формы антропогенного руслового рельефа включают принудительное спрямление излучин и русловые карьеры. Сокращение длины реки, обычно меандрирующей, служит средством борьбы с наводнениями и создания благоприятных условий судоходства, и позволяет увеличить уклон и ускорить прохождение паводка. Оно производится путем спрямления излучин и их серий, что можно рассматривать как создание своего рода каналов. Новые русла спрямлений развиваются самим потоком по пионерным траншеям, разработанным техникой. В Германии при регулировании верхнего Рейна в XIX веке сокращение длины реки вследствие спрямления 8 излучин составило 120 км. Спрямление 16 излучин р. Миссисипи сократило длину реки на 270 км [3]. В каналах спрямлений развиваются интенсивные русловые деформации – эрозия дна, которая сопровождается обрушением берегов. Влияние спрямления, вследствие увеличения уклона, распространяется на большое расстояние вверх по течению реки, где проявляется эрозия. Так, врезание русла Рейна составило 7 м. Ниже спрямления часто происходит аккумуляция наносов и формирование новых русловых форм.

Создание новых русел сопровождается возникновением вторичных форм положительного знака – отвалов грунта на берегах спрямляющего канала в виде насыпей, аналогичных естественным прирусловым валам. В качестве косвенного влияния на рельеф можно отметить возникновение староречий, превращающихся в озера и заболоченные низины.

Русловые и пойменные карьеры также являются отрицательными антропогенными формами руслового рельефа. На многих реках мира руслопойменная добыча песчано-гравийных материалов производилась в огромном объеме в течение столетия. Объем добычи из русел и пойм превышает годовой сток наносов, переносимых всеми реками мира.

Основной вид русловых карьеров – траншеи неправильной формы, вытянутые вдоль реки. Они достигают в длину несколько и даже несколько десятков километров, представляя собой антропогенные плесовые лощины. Глубина карьеров обычно существенно превышает глубину естественных плесовых лощин, достигая 10 м и более, в процессе их разработки часто уничтожаются перекаты, формы руслового рельефа – побочни и осередки. Разработка карьеров полностью меняет морфологию русла на больших участках рек, практически формируя новое антропогенное русло как основную выработанную форму.

Примеров таких изменений в мире много. Например, в результате добычи наносов реки северной Италии в последнее столетие претерпели заметные изменения на многих десятках километров [9]. Понижение дна при этом составило 3–8 м, а русла рек сузились вдвое. Из 400 км длины участка верхней Оки более половины представляют собой антропогенные плесы глубиной до 13 м, образовавшиеся за 60 лет непрерывной добычи. В значительной степени понижение дна определяется активностью добычи, в ходе которой удаленный аллювиальный материал не компенсируется поступлением наносов сверху по течению реки. Так, годовой объем добычи на верхней Оке составляет около 2.5 млн м^3 (после его ограничения в 2000-е годы), тогда как сток руслообразующих наносов (крупнее 0.05 мм) на порядок меньше. Характерно, что при русловой добыче не возникают вторичные формы, так как материал полностью вывозится и используется. В редких случаях формируют временные склады материала

на берегах, но они имеют скорее экологическое, чем геоморфологическое значение.

Благодаря своему расположению русловые карьеры постепенно трансформируются под влиянием руслового потока: заносятся со стороны верхней по течению кромки и удлиняются вниз по течению ("сползают"). Процесс занесения русловых карьеров происходит медленно, и они десятилетиями сохраняются в рельефе. Добыча в русле выражается в полном разрушении комплекса форм руслового рельефа. Меняется продольный профиль дна русла, на входе в карьер возникает локальный участок крутого уклона, от которого распространяется регрессивная эрозия. Особенно ярко это проявляется при разработке глубоких карьеров на небольших реках. Так, на одной из малых рек Калифорнии перегиб продольного профиля дна высотой 7 м, возникший после добычи, за два паводка переместился на 900 м. На другой реке того же региона добыча 1950–1960-х годов вызвала врезание на 3–6 м на 11-километровом участке [10]. Врезание русла верхней Оки составило более умеренную величину – около 2 м за 60 лет разработок аллювия на 250-километровом участке реки. Ведущими факторами врезания представляются мощность потока (расход и уклон) и состав наносов и донных отложений.

Карьеры стройматериалов разрабатываются также на высокой сформировавшейся пойме, они представляют собой неправильной формы выемки площадью от нескольких до нескольких десятков гектаров; могут соединяться с руслом или быть изолированными от него. В ряде случаев выемки занимают сотни гектаров пойменной поверхности [11]. Многие из них в несколько раз глубже прилегающей реки, и отделены от реки лишь узкой полосой суши, укрепленной бермой из каменной наброски или дамбой. Пойменные карьеры часто сопровождаются регулированием русла главной реки посредством спрямления, строительства дамб и берегозащитных сооружений. В результате ограничиваются горизонтальные деформации и взаимодействие русла и поймы, уничтожается естественная растительность, уменьшаются площади плесов и увеличивается количество перекатов. Во время половодья пойменные карьеры гидравлически объединяются с руслом, и возникают условия для перехвата карьером главного русла. Прорыв потока половодья из главного русла происходит при недостаточном укреплении ограждающего вала или чрезмерно близком к реке размещении карьера и его большой глубине. Особенно характерно это для меандрирующих рек. При этом происходит полная перестройка руслового рельефа и положения главного русла реки с образованием староречий.

Поскольку в случае пойменных карьеров требуется удаление вскрыши (пойменного аллювия), то в результате образуются вторичные формы рельефа в виде валов на поверхности поймы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В долинах и руслах рек создано огромное количество различных инженерных сооружений, проводятся интенсивные работы, которые преобразовали их облик и характер эрозионно-аккумулятивных процессов. Инженерные сооружения внедряются в рельеф русла и долины, они подобны естественным формам руслового рельефа, но чаще отличаются от них по размерам, форме и материалу изготовления. Практически на земле трудно найти реку, на которой отсутствовали бы подобные формы и процессы. Среди них такие крупные искусственные формы, как большие плотины, образующие водохранилища и оказывающие долговременное влияние на ландшафты речных долин, а также региональные многокилометровые дамбы обвалования. Крупные формы нарушают продольную и поперечную связанность речной системы. Они сооружены часто из искусственных материалов, либо закреплены ими, и устойчивы в течение столетий. Это вмешательство в рельеф речных долин полностью его преобразует, как и направленность процессов рельефообразования.

Наряду с этим в рельефе долин и русел рек распространены инженерные сооружения меньшего масштаба, роль которых в развитии флювиальных процессов очень велика благодаря их массовости и широким косвенным последствиям. Хотя размеры миллионов небольших антропогенных форм уступают вышеупомянутым, они могут по своему влиянию на трансформацию рельефа русел и пойм больших регионов быть очень значимыми. Многие антропогенные формы руслового рельефа имеют свои естественные аналоги. Эта категория антропогенных форм охватывает широкий диапазон инженерных сооружений и мероприятий, которые, подвергаясь действию водного потока и вступая с ним во взаимодействие, развиваются и преобразуются по законам природы (выправительные сооружения, русловые карьеры, земляные каналы). По аналогии с ландшафтами их можно назвать естественно-антропогенными формами [12].

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена по госзаданию НИ Лаборатории эрозии почв и русловых процессов географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мильков Ф.Н.* Человек и ландшафты: очерки антропогенного ландшафтоведения. М.: Мысль, 1973. 224 с.
2. *Панов Д.Г.* Общая геоморфология М.: Высш. шк., 1966. 428 с.
3. Anthropogenic Geomorphology. A Guide to Man-Made Landforms. Springer Science+Business Media B.V. 2010. 300 p.
4. *Розанов Л.Л.* Теоретические основы геотехноморфологии. М.: ИГАН СССР, 1990.186 с.
5. *Маккавеев Н.И.* Воздействие крупного гидротехнического строительства на геоморфологические процессы в речных долинах // Геоморфология. 1970. № 2. С. 28–34.
6. *Babiński Z.* Wpływ zapór na procesy korytowe rzek aluwialnych ze szczególnym uwzględnieniem stopnia wodnego "Włocławek". Wydawnictwo Akademii Bydgoskiej, Bydgoszcz. 2002. 185 p.
7. *Карасев И.Ф.* Русловые процессы при переброске стока. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 288 с.
8. *Беркович К.М., Злотина Л.В., Сурков В.В.* Географические аспекты исследования русел и пойм рек в нижних бьефах гидроузлов // Тр. Академии проблем водохозяйственных наук. 2003. Вып. 9. С. 31–43.
9. *Rinaldi M., Wyzga B., and Surian N.* Sediment mining in alluvial channels: physical effects and management perspectives and applications // River research and applications. 2005. 21. P. 805–828.
10. *Kondolf G.M.* Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining // Landscape Urban Planning. 1994. 28. P. 225–243.
11. Freshwater Gravel Mining and Dredging Issues. University of California, Center for Environmental Design Research, Berkeley. 2002. 122 p.
12. *Мильков Ф.Н.* Учение об антропогенных ландшафтах: вопросы теории, терминологии и преподавания в высшей школе // Вестн. ВГУ. Сер. География и экология. 2004. № 1. С. 19–23.

The human activity role in river channel relief forming

K. M. Berkovich[a,#] and L. V. Zlotina[a,##]

[a] *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*

[#] *E-mail: berkovitch@yandex.ru*

[##] *E-mail: zleonora@yandex.ru*

A huge number of different anthropogenic (man-made) landforms have been created in the valleys and riverbeds, which have transformed their appearance and the nature of erosion-accumulative processes. Major landforms that have a long-term impact on the landscapes of river valleys include large dams, regional multi-kilometer dikes and main canals. Large forms disturb the longitudinal and transverse connectivity of the river system. This intervention in the relief of river valleys completely transforms it, as well as the direction of the geomorphological processes. There are also smaller-scale landforms that belong to the river relief and play an important role in the river morphology and dynamics due to their wide distribution and indirect consequences they exert. This category of anthropogenic forms covers a wide range of engineering structures and activities that, being exposed to the action of a water flow and interacting with it, develop and transform according to the laws of nature, they can be called natural-anthropogenic forms.

Keywords: anthropogenic impact, river channel, floodplain, man-made landforms

ACKNOWLEGEMENTS

The paper is completed according to the state task for Scientific Research Laboratory of soil erosion and fluvial processes in Lomonosov MSU's Faculty of Geography.

REFERENCES

1. Milkov F.N. *Chelovek i landshafty: ocherki antropogennogo landshaftovedeniya* (A Man and Landscapes: the issues of anthropogenic landscapes studies). M.: Mysl' (Publ.), 1973. 224 p.
2. Panov D.G. *Obshchaya geomorfologiya* (General Geomorphology). M.: Vysshaya Shkola (Publ.), 1966. 428 p.
3. Anthropogenic Geomorphology. A Guide to Man-Made Landforms. Springer Science+Business Media B.V. 2010. 300 p.
4. Rozanov L.L. *Teoreticheskie osnovy geotekhnomorfologii* (The theoretical basis of geotechnomorphology). M.: IG AN SSSR (Publ.), 1990. 186 c.
5. Makkaveev N.I. *Vozdeistvie krupnogo gidrotekhnicheskogo stroitelstva na geomorfologicheskie protsessy v rechnykh dolinakh* (The impact of large hydrotechnical construction on geomorphological processes in river valleys). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1970. No. 2. P. 28–34. (in Russ.)
6. Babiński Z. Wpływ zapór na procesy korytowe rzek aluwialnych ze szczególnym uwzględnieniem stopnia wodnego (The dams impact on riverbed processes of alluvial rivers with special accounting of "Włocławek" dam)

Wydawnictwo Akademii Bydgoskiej, Bydgoszcz. 2002. 185 p.

7. Karasiov I.F. *Ruslovye protsessy pri perebroske stoka* (Riverbed processes by run-off transfer). L.: Gidrometeoizdat (Publ.), 1975. 288 p.
8. Berkovich K.M., Zlotina L.V., and Surkov V.V. *Geograficheskie aspekty issledovania rusel i poim rek v nizhnikh biefakh gidrouzlov* (Geographical aspects in riverbed and floodplain research below dams). *The Proceedings of Water Problems Academy*. 2003. Issue 9. P. 31–43.
9. Rinaldi M., Wyzga B., and Surian N. Sediment mining in alluvial channels: physical effects and management perspectives and applications. *River research and applications*. 21. 2005. P. 805–828.
10. Kondolf G.M. Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining. *Landscape Urban Planning*. 1994. 28. P. 225–243.
11. Freshwater Gravel Mining and Dredging Issues. University of California, Center for Environmental Design Research, Berkeley. 2002. 122 p.
12. Milkov F.N. *Uchenie ob antropogennykh landshaftakh: voprosy teorii, terminologii i prepodavaniya v vysshei shkole* (Anthropogenic landscape science: the issues of theory, terminology and High School teaching). *Vestnik VGU. Seriya geografiya i ekologiya*. 2004. No. 1. P. 19–23.

ГЕОМОРФОЛОГИЯ, 2021, том 52, № 2, с. 29–38

МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.4.012/551.435.5

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПЛОЩАДЕЙ ОЗЕР В ПРЕДЕЛАХ ОЗЕРНО-ТЕРМОКАРСТОВЫХ И ЭРОЗИОННО-ТЕРМОКАРСТОВЫХ РАВНИН

© 2021 г. А. С. Викторов[1,*], Т. В. Орлов[1], А. Л. Дорожко[1]

[1] *Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва, Россия*

**E-mail: dist@geoenv.ru*

Поступила в редакцию 01.02.2019 г.
После доработки 25.06.2020 г.
Принята к публикации 22.12.2020 г.

Целью исследований являлся сравнительный анализ распределения площадей озер в пределах эрозионно-термокарстовых и озерно-термокарстовых равнин на основе подходов математической морфологии ландшафта с использованием материалов дистанционных съемок. В основу проводимого исследования был положен анализ математических моделей морфологических структур ландшафтов озерно-термокарстовых и эрозионно-термокарстовых равнин в условиях “синхронного старта” термокарстовых процессов. Эмпирический анализ охватывал 22 эталонных участка. Участки расположены в различных геоморфологических условиях и относятся как к зоне сплошного развития многолетнемерзлых пород, так и к зонам развития прерывистой и островной мерзлоты. Теоретически обосновано и эмпирически подтверждено, что вероятностное распределение площадей озер в пределах озерно-термокарстовых равнин в разных физико-географических условиях подчиняется преимущественно логнормальному распределению, гамма-распределение почти не встречается. Напротив, для вероятностного распределения площадей озер в пределах эрозионно-термокарстовых равнин в разных физико-географических условиях в соответствии с моделью в большинстве случаев справедливо одновременно как гамма-распределение, так и логнормальное распределение площадей озер. Это не исключает развития эрозионно-термокарстовых равнин с асинхронным стартом, на которых будут реализовываться другие виды распределений. Таким образом, выполненное исследование подтверждает справедливость математических моделей развития морфологической структуры ландшафтов (морфологических комплексов) озерно-термокарстовых и эрозионно-термокарстовых равнин для случая синхронного старта. При количественной оценке вероятности поражения инженерного сооружения в пределах озерно-термокарстовых и в пределах эрозионно-термокарстовых равнин должны использоваться разные методы, которые могут быть получены на основе анализа соответствующей математической модели.

Ключевые слова: эрозионно-термокарстовые равнины, математическая морфология ландшафта, термокарстовые озера, математическое моделирование, распределение площадей озер

DOI: 10.31857/S0435428121020115

ВВЕДЕНИЕ

Эрозионно-термокарстовые и озерно-термокарстовые равнины имеют широкое распространение в области развития многолетнемерзлых пород. Проведен ряд исследований, посвященных озерно-термокарстовым равнинам (Ф.Э. Арэ, Н.А. Брыксина, А.С. Викторов, В.Н. Капралова, С.Н. Кирпотин, В.И. Кравцова, В.Ю. Полищук, Ю.М. Полищук, Т.В. Тарасенко, C.R. Burn, G. Grosse, B.M. Jones., I. Nitze, M.W. Smith и др.), в которых исследовались различные характеристики озер [1–15]. Эрозионно-термокарстовые равнины – более сложные и динамичные территории, которые связаны с деятельностью эрозионной сети, спуском озер и появлением хасыреев, – также изучались Н.Н. Романовским, А.С. Викторовым и другими исследователями [16, 17 и др.].

Сравнительный анализ распределений площадей озер и прогнозирование их изменений в пределах эрозионно-термокарстовых и озерно-термокарстовых равнин являются интересными задачами, которые ранее не ставились. Применение математической морфологии ландшафта и использование данных дистанционного зондирования могут дать перспективные результаты для моделирования распределения площадей озер в пределах эрозионно-термокарстовых и озерно-термокарстовых равнин и впоследствии для оценки риска поражения термокарстовым процессом различных инженерных сооружений.

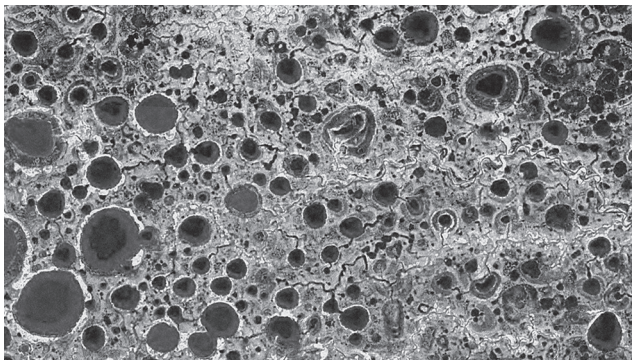


Рис. 1. Типичное изображение озерно-термокарстовой равнины на космическом снимке (Landsat 8, 15 м/пикс, 15.06.2015).

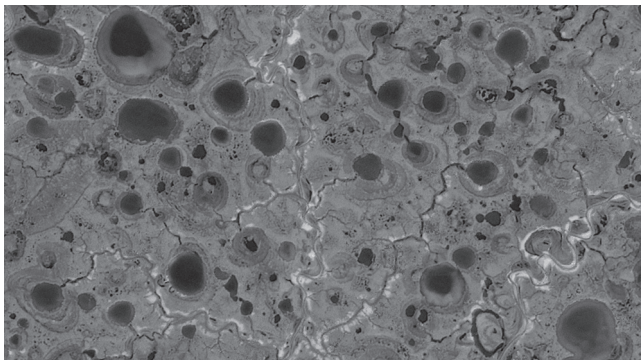


Рис. 2. Типичное изображение эрозионно-термокарстовой равнины на космическом снимке (Sentinel 2A, 10 м/пикс, 21.07.2018).

Целью исследований являлся сравнительный анализ распределения площадей озер в пределах эрозионно-термокарстовых и озерно-термокарстовых равнин на основе подходов математической морфологии ландшафта с использованием материалов дистанционных съемок.

ВЕРОЯТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Ландшафты озерно-термокарстовых равнин представляют собой слабоволнистую субгоризонтальную поверхность с преобладанием различной тундровой или лесной растительности (пушицевые тундры, осоково-пушицевые и др.), в которую вкраплены озера. Озера имеют изометричную, часто округлую, иногда угловатую или вытянутую форму и беспорядочно разбросаны по равнине. Типичное изображение такой равнины приведено на рис. 1. Такой тип территории характерен для Западной и Восточной Сибири, Канады, Аляски, а также части севера Восточно-Европейской равнины.

Ландшафт эрозионно-термокарстовых равнин представляет собой слабоволнистую субгоризонтальную поверхность с преобладанием различной тундровой растительности, в которую вкраплены озера и хасыреи, а также местами развита нечастая эрозионная сеть. Озера также имеют изометричную, часто округлую форму и беспорядочно разбросаны по равнине. Хасыреи представляют собой плоскодонные и пологосклонные заторфованные понижения, также изометричной формы, занятые луговой или болотной растительностью и аналогично озерам в беспорядке располагающиеся на равнине. В соответствии со взглядами большинства исследователей, хасыреи образуются в результате осушения термокарстовых озер, чаще всего в результате эрозионной деятельности водотоков. Типичное изображение такой равнины приведено на рис. 2.

В основу проводимого анализа были положены математические модели морфологических структур ландшафтов озерно-термокарстовых и эрозионно-термокарстовых равнин, что одновременно позволяет характеризовать развитие соответствующих морфологических комплексов. При этом было сделано допущение о “синхронном старте”, т.е. примерно единовременном начале развития термокарстовых очагов в пределах каждого участка, расположенного в пределах данных равнин; между участками разница в начале развития процесса может существовать или не существовать.

В основу базового варианта модели *озерно-термокарстовых равнин* (модель 1.0) положены следующие предположения:

1) процесс появления термокарстовых понижений происходил за короткий отрезок времени (“синхронный старт”); он являлся вероятностным и на непересекающихся площадках шел независимо, при этом вероятность возникновения понижений на пробной площадке зависит только от ее площади[1];

2) изменение радиуса возникшего термокарстового понижения представляет собой случайный процесс; оно происходит независимо от других озер, и его скорость пропорциональна плотности тепловых потерь через боковую (залитую) поверхность озерной котловины.

Предложенные основания модели позволяют аналитическим путем получить закономерности строения озерно-термокарстовой равнины [9, 17]. Так, плотность распределения радиуса термокарстового озера через заданное время описывается выражением

[1] При этом для малых площадок вероятность возникновения одного понижения много больше, чем вероятность возникновения нескольких понижений.

$$f(v,x,t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0 x\sqrt{t}} e^{-\frac{\left(\ln\frac{x}{v}-a_0 t\right)^2}{2\sigma_0^2 t}}, \quad (1)$$

где a_0, σ_0 — параметры распределения, v — начальный размер термокарстового понижения, x — размер понижения через время t. Если для упрощения в модели мы примем, что первичные термокарстовые понижения в момент возникновения имеют единичный радиус (это отвечает нормированию радиуса по минимальному значению), то отсюда следует, что в любой момент времени в пределах озерно-термокарстовых равнин должно наблюдаться логнормальное распределение радиуса, а значит и площади термокарстовых озер, т.е. плотность распределения радиуса дается выражением

$$f_0(x,t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x\sqrt{t}} e^{-\frac{(\ln x - at)^2}{2\sigma^2 t}}, \quad (2)$$

где a, σ — параметры распределения, x — радиус озера через время t. Модель морфологической структуры ландшафта (морфологического комплекса) *эрозионно-термокарстовой равнины* (модель 2.0) базируется на более широком объеме допущений. Он включает предположения (1 и 2) модели озерно-термокарстовых равнин и дополняется еще двумя допущениями:

3) в процессе роста озеро может перейти в хасырей (при его спуске в результате эрозионной работы водотоков), вероятность этого не зависит от других озер; при этом рост озера прекращается;

4) наличия истоков эрозионных форм на непересекающихся площадках являются независимыми случайными событиями; вероятность наличия истока на площадке зависит только от ее площади[2].

В обеих моделях рассматривается упрощенный случай относительного постоянства климатических условий.

Приведенные основания модели 2.0 позволяют аналитическим путем получить закономерности строения эрозионно-термокарстовой равнины [9, 18]. В частности, представляет интерес распределение радиусов термокарстовых озер в пределах эрозионно-термокарстовых равнин. В произвольный момент времени распределение радиусов термокарстовых озер определяется их распределением в условиях свободного роста, но при условии, что озеро не станет хасыреем, т.е. при условии, что радиус озера будет меньше расстояния до ближайшей вершины эрозионной формы. Как показано ранее [19], распределение расстояния до ближайшей вершины (истока) эрозионной формы отвечает распределению Рэлея

$$F_e(x) = 1 - e^{-\gamma x^2}, \quad (3)$$

где γ — средняя плотность расположения истоков эрозионных форм. Таким образом, плотность распределения радиуса термокарстового озера в пределах эрозионно-термокарстовых равнин дается выражением

$$f_l(x,t) = \frac{f_0(x,t)e^{-\pi\gamma x^2}}{\int_0^{+\infty} f_0(x,t)e^{-\pi\gamma x^2}dx}, \quad (4)$$

где $f_0(x,t)$ — плотность распределения радиуса свободно растущего термокарстового озера в момент t (см. выше выражение (1)).

Используя выражение (1) для свободного роста и упрощая за счет одинаковых членов в числителе и знаменателе, зависящих только от времени, получаем

$$f_l(x,t) = \frac{x^{\frac{a}{\sigma^2}-1} e^{-\pi\gamma x^2} e^{-\frac{\ln^2 x}{2\sigma^2 t}}}{\int_0^{+\infty} x^{\frac{a}{\sigma^2}-1} e^{-\pi\gamma x^2} e^{-\frac{\ln^2 x}{2\sigma^2 t}}dx}, \quad (5)$$

где a, σ — параметры распределения. При значительном времени развития ($t \to +\infty$) это выражение стремится к предельному распределению

$$f_l(x,\infty) = \frac{x^{\frac{a}{\sigma^2}-1} e^{-\pi\gamma x^2}}{\int_0^{+\infty} x^{\frac{a}{\sigma^2}-1} e^{-\pi\gamma x^2}dx}, \quad (6)$$

в котором можно узнать известное хи-распределение. Отсюда с учетом круговой формы озера получаем, что предельная плотность распределения площадей озер эрозионно-термокарстовых равнин дается следующим выражением и является, соответственно, гамма-распределением:

$$f_{sl}(x,\infty) = \frac{x^{\frac{a}{2\sigma^2}-1} e^{-\gamma x}}{\int_0^{+\infty} x^{\frac{a}{2\sigma^2}-1} e^{-\gamma x}dx}. \quad (7)$$

ЭМПИРИЧЕСКАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ

В продолжение проведенного теоретического анализа был выполнен анализ эмпирических данных. При выборе ключевых участков мы руководствовались следующими критериями:

— геолого-геоморфологическая однородность участка (генетическая и морфологическая однородность, однотипность состава поверхностных

[2] При этом для малых площадок вероятность наличия одного истока много больше, чем вероятность возникновения нескольких истоков.

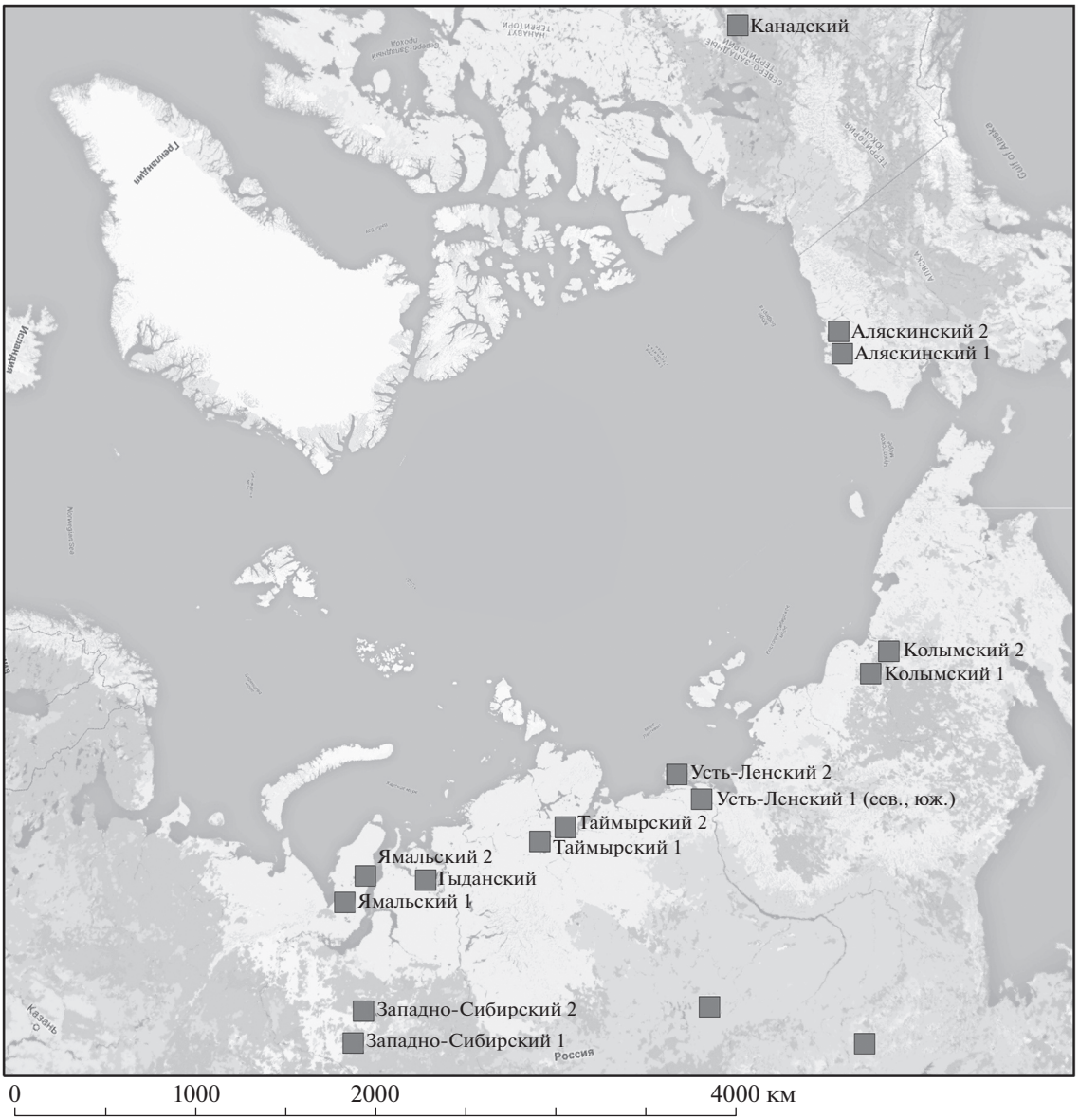


Рис. 3. Обзорная карта-схема расположения ключевых участков озерно-термокарстовых равнин.

отложений, обоснованная фондовыми и литературными данными);

– однородность изображения участка (внутреннее однообразие участка по микроструктуре и фототону фона на космоснимках, а также по расположению и форме озер);

– наличие данных дистанционного зондирования необходимого разрешения;

– разнообразие геологических, геокриологических и физико-географических условий, в которых находятся разные участки.

При отнесении озер к термокарстовым использовались известные дешифровочные признаки на материалах дистанционных съемок [20], а также литературные и фондовые данные.

Для экспериментального исследования озерно-термокарстовых равнин было использовано 16 участков, разнообразных в геоморфологическом, геокриологическом и физико-географическом отношении (рис. 3). Участки расположены в разных геоморфологических условиях (речные террасы, морские террасы) и относятся как к зоне сплошного развития многолетнемерзлых пород, так и к зонам развития прерывистой и островной мерзлоты. Детальная характеристика геоморфологических условий по участкам приведена в [10].

В качестве источника информации о морфологических комплексах исследуемой территории были использованы космические снимки с раз-

Таблица 1. Результаты сопоставления эмпирических и теоретических распределений площадей термокарстовых озер в пределах озерно-термокарстовых равнин

Название участка	Объем выборки	Теоретическое распределение	
		логнормальное	гамма-распределение
Аляскинский 1	100	**0.023**	0.004
Аляскинский 2	108	**0.112**	0.000
Таймырский 1	345	**0.112**	0.007
Таймырский 2	209	**0.631**	**0.330**
Колымский 1	154	**0.216**	**0.023**
Колымский 2	576	0.000	0.000
Усть-Ленский 1-1	145	**0.011**	0.000
Усть-Ленский 1-2	91	**0.155**	0.006
Усть-Ленский 1-3	383	0.000	0.000
Усть-Ленский 2	167	0.006	0.000
Ямальский 1	209	0.000	**0.259**
Ямальский 2	176	**0.012**	0.005
Западно-Сибирский 1	78	**0.587**	0.000
Западно-Сибирский 2	84	**0.088**	0.000
Канадский	154	**0.127**	0.009
Гыданский	74	**0.517**	0.000

Примечание: в таблице приведены значения уровня p (вероятность превышения фактического значения χ^2); эмпирические данные не противоречат теоретическим на уровне значимости 0.99, если $p > 0.01$ (выделено жирным шрифтом).

личных спутников с пространственным разрешением 5–30 м.

Проведенный анализ распределения размеров термокарстовых озер охватывал выборки объема от 74 до 576 озер на один эталонный участок (табл. 1) за один срок съемки. Анализ результатов показывает, что на подавляющем большинстве участков получено согласие с логнормальным законом распределения (12 из 16 на уровне значимости 0.99). Согласие с гамма-распределением при этом наблюдается очень редко (3 участка из 16).

Вывод, полученный для распределения площадей озер эрозионно-термокарстовых равнин, также был проверен аналогичным образом на нескольких ключевых участках с помощью критерия согласия Пирсона. Были использованы архивные снимки Corona (3–7 м/пикс, 1965–1976 гг.); съемка среднего разрешения Sentinel 2A 2017–2018 гг., 10 м/пикс; современные высокодетальные снимки 0.5–0.7 м/пикс (Ресурс-П, IKONOS, QuickBird, Worldview 2, Geoeye-1, июнь–август 2008–2014 гг.), как специально заказанные, так и полученные из открытых источников (спутниковые покрытия Google, Bing, Yandex).

Для экспериментального исследования эрозионно-термокарстовых равнин были выбраны 6 участков в различных регионах (рис. 4). При выборе участков мы руководствовались теми же критериями, что и для случая озерно-термокарстовых равнин. Краткая характеристика природных условий на выбранных участках выполнена на основе данных государственной геологической съемки соответствующих листов и сведена в табл. 2.

Выделение термокарстовых озер производилось в программе QGIS в ручном режиме, затем определялись площади, диаметры и другие параметры озер. Проверка соответствия эмпирически полученных распределений теоретическим производилась с помощью программного пакета статистического анализа STATISTICA 12 с использованием критерия Пирсона (хи-квадрат) на основе традиционной для подобных работ методики (см., например, [21]).

На участках было исследовано соответствие эмпирических данных по распределению площадей термокарстовых озер различным видам вероятностных распределений при объемах выборок 53–235 озер. Полученные данные (рис. 5, табл. 3) показывают, что эмпирические данные на уровне значимости 0.99 не противоречат созданной модели – на всех шести участках наблюдается согласие с гамма-распределением, как это справедливо для случая синхронного старта. Таким образом, ситуация с гамма-распределением нередко реализуется в различных физико-географических условиях. Вместе с тем на пяти из участков прослеживается сходство и с логнормальным распределением.

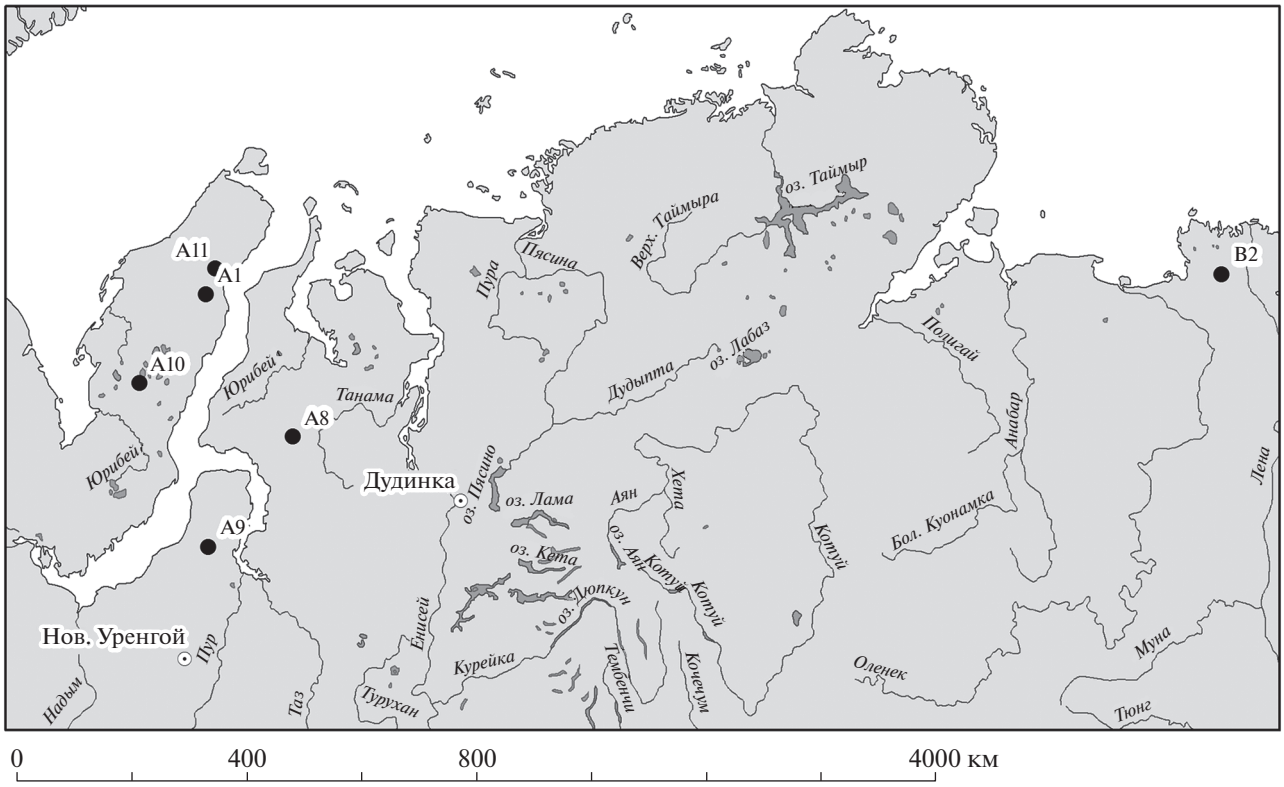


Рис. 4. Обзорная карта-схема расположения ключевых участков эрозионно-термокарстовых равнин.

Последнее вполне объясняется двумя факторами:

– эрозионно-термокарстовые равнины на начальных стадиях представляли собой озерно-термокарстовые равнины, так как вероятность спуска озер при их изначально ограниченных размерах и при ограниченном развитии эрозионной сети была невелика, а для озерно-термокарстовых равнин характерно логнормальное распределение площадей озер. Таким образом, начальным распределением площадей озер было логнор-

Таблица 2. Характеристика участков, выбранных для эмпирической проверки установленных математических закономерностей площади озерных котловин на эрозионно-термокарстовых равнинах

Участок	Географическое положение	Литолого-генетическая характеристика поверхности
А1	Южный Ямал, вторая терраса Обской губы	Аллювиально-морские отложения верхненеоплейстоценового возраста (пески с маломощными прослоями супесей и суглинков мощностью до 10 м)
А10	Центр Ямала (междуречье рек Ясавэйяха и Нядэйседаяха)	Морские отложения (преимущественно, пески)
А11	Северо-восток Ямала (левобережье р. Сабеттаяха)	Аллювиально-морские отложения второй террасы (преимущественно, пески)
А9	Тазовкий п-ов	Морские отложения
А8	Гыданский п-ов	Аллювиально-морские и морские отложения верхнего неоплейстоцена (песчаные литофации с маломощными прослоями супесей, редко суглинков, а также тонко- и мелкозернистыми песками, редко среднезернистыми кварцевыми с маломощными прослоями суглинков и большим содержанием растительного детрита)
В2	Дельта р. Лены	Озерные и болотные образования (глинистыми алевритами, супесями с прослоями песков, растительного детрита и торфа голоценового возраста мощностью до 5 м)

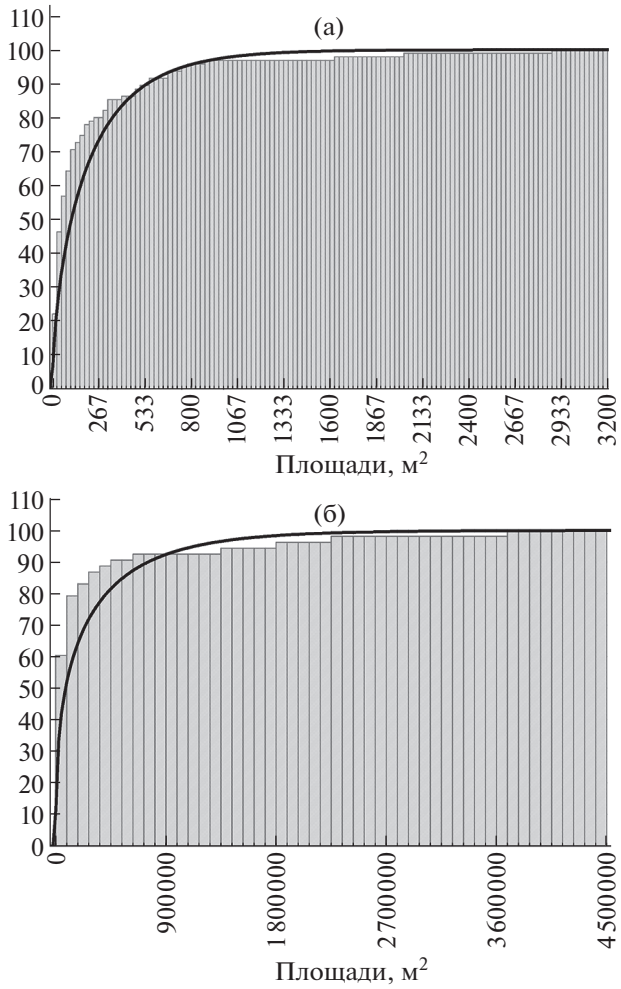


Рис. 5. Пример соответствия эмпирических распределений площади термокарстовых озер в пределах эрозионно-термокарстовых равнин гамма-распределению на участках А9 (а) и А10 (б).

мальное распределение, которое затем эволюционировало в сторону гамма-распределения;

– гамма-распределение является предельным распределением при $t \to \infty$, а прошедшее с начала термокарстового процесса время является хотя и большим, но конечным, поэтому сохранились черты сходства с исходным логнормальным распределением.

Естественно, проведенный анализ не означает повсеместного распространения гамма-распределения площади озер в пределах эрозионно-термокарстовых равнин. Выполненные построения справедливы лишь для случая синхронного старта, и наши экспериментальные данные призваны показать, что этот вариант реализуется в достаточно большом количестве ситуаций. В то же время это не исключает развития эрозионно-термокарстовых равнин с асинхронным стартом, на которых будут реализовываться другие виды распределений.

Проведенный анализ показывает, что количественная оценка природных опасностей, характерных для озерно-термокарстовых и эрозионно-термокарстовых равнин, в случае синхронного старта должна проводиться по-разному. Покажем это на примере линейного сооружения. В пределах озерно-термокарстовых равнин вероятность поражения линейного сооружения существующим растущим термокарстовым очагом, исходя из анализа описанной модели, по сути, представляет собой вероятность того, что радиус термокарстового озера за изучаемый временной интервал окажется больше, чем расстояние до линейного сооружения и соответственно для временного интервала t, учитывая (1), дается выражением

$$P_1(t) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln\frac{r}{v} - at}{\sigma\sqrt{t}}\right), \qquad (8)$$

где $\Phi(x)$ – функция Лапласа, a, σ – параметры распределения, t – время развития, r – расстояние от центра озера до сооружения, v – начальный радиус озера.

Для эрозионно-термокарстовых равнин выражение несколько модифицируется, так как должна быть учтена вероятность остановки роста озера из-за спуска и превращения в хасырей. С учетом того, что, как упоминалось выше, распределение расстояния до ближайшей вершины эрозионной формы подчиняется распределению Рэлея, получаем вероятность поражения

$$P_2(t) = \left[1 - \Phi\left(\frac{\ln\frac{r}{v} - at}{\sigma\sqrt{t}}\right)\right] e^{-\pi\gamma(r^2 - v^2)}, \qquad (9)$$

где γ – средняя плотность расположения эрозионных форм.

Необходимые значения параметров могут быть получены на основе материалов повторных дистанционных съемок, например, для озерно-термокарстовых равнин

$$a = \frac{M(\ln\xi_2) - M(\ln\xi_1)}{t_2 - t_1}, \qquad (10)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{D(\ln\xi_2) - D(\ln\xi_1)}{t_2 - t_1}}, \qquad (11)$$

где t_1, t_2 – сроки первой и второй съемок, $M(\ln\xi_i)$ – средний логарифм радиусов озер за соответствующий срок, $D(\ln\xi_i)$ – дисперсия логарифма радиусов озер за соответствующий срок.

ВЫВОДЫ

На основании теоретического анализа и изучения полученных эмпирических данных по осо-

Таблица 3. Соответствие теоретических и эмпирических законов распределения для термокарстовых озер

Участок	Количество озер	Вид распределения	χ^2	$\chi^2_{0.99}$
A9	95	гамма	**5.799**	6.635
		логнормальное	**2.848**	9.210
		нормальное	27.423	9.210
A10	53	гамма	**6.317**	9.210
		логнормальное	**6.464**	6.635
		нормальное	149.362	15.086
A11	93	гамма	**3.802**	6.635
		логнормальное	**10.807**	11.341
		нормальное	27.350	18.475
B2	142	гамма	**12.828**	13.277
		логнормальное	**11.520**	15.086
		нормальное	134.945	18.475
A8	235	гамма	**2.879**	9.210
		логнормальное	**15.792**	21.666
		нормальное	233.913	13.277
A1	135	гамма	**5.702**	9.210
		логнормальное	26.103	16.812
		нормальное	175.778	13.277

Примечание: значения критерия для выборок, где эмпирические данные не противоречат теоретическим на уровне значимости 0.99, выделены жирным шрифтом.

бенностям морфологических комплексов озерно-термокарстовых и эрозионно-термокарстовых равнин можно сделать следующие выводы:

– распределение площадей озер в пределах озерно-термокарстовых равнин в разных физико-географических, геологических и геокриологических условиях подчиняется преимущественно логнормальному распределению, не соответствуя гамма-распределению. В то же время для распределения площадей озер в пределах эрозионно-термокарстовых равнин в разных условиях в достаточно большом числе случаев справедливы одновременно как гамма-распределение, так и логнормальное распределение площадей озер;

– выполненная эмпирическая проверка заставляет сделать вывод о справедливости математических моделей развития морфологической структуры ландшафтов озерно-термокарстовых и эрозионно-термокарстовых равнин для случая синхронного старта;

– при количественной оценке вероятности поражения инженерного сооружения в пределах озерно-термокарстовых и эрозионно-термокарстовых равнин должны использоваться разные методы, которые могут быть получены на основе анализа соответствующей математической модели и ретроспективного обзора развития термокарстового процесса по аэрофото- и космоснимкам, что необходимо для валидации модели (расчета эмпирических коэффициентов для нее).

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 18-17-00226 (создание моделей) и темы государственного задания (оценка опасности поражения инженерного сооружения).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арэ Ф.Э., Балобаев В.Т., Босиков Н.П.* Особенности переработки берегов термокарстовых озер Центральной Якутии // Озера криолитозоны Сибири. Новосибирск: Наука, 1974, С. 39–52.
2. *Днепровская В.П., Брыксина Н.А., Полищук Ю.М.* Изучение изменений термокарста в зоне прерывистого распространения вечной мерзлоты Западной Сибири на основе космических снимков // Исследование Земли из космоса. 2009. № 4. С. 88–96.
3. *Кирпотин С.Н., Полищук Ю.М., Брыксина Н.А.* Динамика площадей термокарстовых озер в сплошной и прерывистой криолитозонах Западной Сибири в условиях глобального потепления // Вестник ТГУ. 2008. № 311. С. 185–189.
4. *Полищук В.Ю., Полищук Ю.М.* Геоимитационное моделирование полей термокарстовых озер в зонах мерзлоты. Ханты-Мансийск: УИП ЮГУ, 2013. 129 с.
5. *Кравцова В.И., Тарасенко Т.В.* Изучение и картографирование динамики термокарстовых озер на территории Западной Сибири по разновременным космическим снимкам // Восьмое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу. Материалы российской конференции 8–10 октября 2009. Томск: Аграф-Пресс, 2009. С. 273–275.
6. *Burn C.R. and Smith M. W.* Development of Thermokarst Lakes During the Holocene at Sites Near Mayo, Yukon Territory // Permafrost and Periglacial Processes. 1990. Vol. 1. P. 161–176.
7. *Smith L.C., Sheng Y., Macdonald G.M., and Hinzman L.D.* Disappearing Arctic Lakes // Science. Vol. 308. No. 3. 2005. P. 14.
8. *Шур Ю.Л.* Термокарст (к теплофизическим основам учения о закономерностях развития процесса). М.: Недра, 1977. 80 с.
9. *Викторов А.С.* Математическая модель термокарстовых озерных равнин как одна из основ интерпретации материалов космических съемок // Исследование Земли из космоса. 1995. № 5. С. 42–50.
10. *Викторов А.С., Капралова В.Н.* Количественная оценка природных рисков на основе материалов космических съемок (на примере озерно-термокарстовых равнин) // Исследования Земли из космоса. 2013. № 4. С. 33–38.
11. *Grosse G., Jones B.M., Nitze I., Lindgren P.R., Walter Anthony K.M., and Romanovsky V.E.* Massive thermokarst lake area loss in continuous ice-rich permafrost of the northern Seward Peninsula, Northwestern Alaska, 1949–2015 // XI International Conference

on Permafrost – Book of Abstracts, 20–24 June 2016, Potsdam, Germany. Bibliothek Wissenschaftspark Albert Einstein, 2016. P. 739–740. https://doi.org/10.2312/GFZ.LIS.2016.001

12. *Викторов А.С., Капралова В.Н., Орлов Т.В., Трапезникова О.Н., Архипова М.В., Березин П.В., Зверев А.В., Панченко Е.Н., Садков С.А.* Анализ развития морфологической структуры озерно-термокарстовых равнин на основе математической модели // Геоморфология. 2015. № 3. С. 3–13.
13. *Polishchuk Yu.M. and Polishchuk V.Yu.* Geo-simulation approach to modeling spatial objects and its application to creating thermokarst lake model using remote sensing data // BioClimLand. No. 1. P. 53–69.
14. *Sejourne A., Costard F., Fedorov A., Gargani J., Skorve J., Masse M., and Mege D.* Evolution of the banks of thermokarst lakes in Central Yakutiya (Central Siberia) due to retrogressive thaw slump activity controlled by insolation // Geomorphology. 2015. No. 241. P. 31–40.
15. *Bondurant A.C., Arp C., Jones B., and Engram M.* Rates and mechanisms of expansion in thermokarst lakes with bedfast and floating ice regimes on the Arctic Coastal Plain of northern Alaska 2015 // XI International Conference on Permafrost – Book of Abstracts, 20–24 June 2016, Potsdam, Germany. Bibliothek Wissenschaftspark Albert Einstein, 2016. P. 703–705. https://doi.org/10.2312/GFZ.LIS.2016.001
16. *Романовский Н.Н.* Эрозионно-термокарстовые котловины на севере приморских низменностей Якутии и Новосибирских островах // Мерзлотные исследования. 1961. Вып. 1. С. 124–144.
17. *Викторов А.С., Капралова В.Н., Орлов Т.В., Трапезникова О.Н., Архипова М.В., Березин П.В., Зверев А.В., Садков С.А., Панченко Е.Г.* Математическая морфология ландшафтов криолитозоны. М.: РУДН, 2016. 232 с.
18. *Victorov A.S.* Mathematical Models of Thermokarst Erosion Plains // GIS and Spatial Analysis. Proceedings of IAMG 2005, Toronto, Canada. P. 62–67.
19. *Викторов А.С.* Основные проблемы математической морфологии ландшафта. М.: Наука, 2006. 252 с.
20. Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1:200000 (1:100 000, 1:50 000). М: Недра, 1978. 391 с.
21. *Крамер. Г.* Математические методы статистики. М.: Мир, 1970. 648 с.

Comparative analysis of lake area distributions for lacustrine thermokarst plains and thermokarst plains with fluvial erosion

A. S. Victorov[a,#], T. V. Orlov[a], and A. L. Doroghko[a]

[a] *Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS (IEG RAS), Moscow, Russia*

[#] *E-mail: dist@geoenv.ru*

A comparative analysis of lake area distributions for lacustrine thermokarst plains and thermokarst plains with fluvial erosion has been performed using he mathematical morphology of landscapes and remote sensing. We applied mathematical models of landscape patterns for lacustrine thermokarst plains and thermokarst plains with fluvial erosion under the "synchronous start" of the thermokarst conditions. Twenty-two key sites were included in the empirical testing. The empirical testing involves 22 key sites. These sites have different geomorphological environments within the areas of either continuous and discontinuous permafrost or sporadic permafrost. We have theoretically revealed and validated it empirically that in different natural environments, the lake area distribution within lacustrine thermokarst plains generally corresponds to the lognormal distribution while the gamma-distribution is almost absent. On the contrary, the model shows that lake area distribution within thermokarst plains with fluvial erosion generally corresponds to both the lognormal and gamma-distributions. This result does not exclude different scenarios of lake area distribution patterns for the plains with fluvial erosion under an asynchronous start of the thermokarst. The empirical testing proves the validity of the mathematical models of that the morphological patterns for the lacustrine thermokarst plains and thermokarst plains with fluvial erosion under the synchronous start of thermokarst processes. Therefore, different techniques should be used for the quantitative assessment of the impact probability of the thermokarst processes on engineering structures for the lacustrine thermokarst plains and thermokarst plains with fluvial erosion. The mathematical model used in this study proved to be a good instrument for such assessment.

Keywords: thermokast plains with fluvial erosion, mathematical morphology of landscape, thermokarst lakes, mathematical modeling, lake area distribution

ACKNOWLEDGMENTS

The study was done with the support of RSF grant No. 18-17-00226 (creation of models) and in terms of the state assignment regarding hazard assessment of an engineering structures.

REFERENCES

1. Are F.E., Balobaev V.T., and Bosikov N.P. *Osobennosti pererabotki beregov termokarstovykh ozer Tsentral'noi Yakutii* (Features of the processing of the shores of thermokarst lakes in Central Yakutia). *Ozera kriolito-*

zony Sibiri. Novosibirsk: Nauka (Publ.), 1974. P. 39–52. (in Russ.)

2. Dneprovskaya V.P., Bryksina N.A., and Polishchuk Yu.M. *Izuchenie izmenenii termokarsta v zone preryvistogo rasprostraneniya vechnoi merzloty Zapadnoi Sibiri na osnove kosmicheskikh snimkov* (Study of thermokarst changes in the zone of intermittent distribution of permafrost in Western Siberia based on satellite images). *Issledovanie Zemli iz kosmosa*. 2009. No. 4. P. 88–96. (in Russ.)
3. Kirpotin S.N., Polishchuk Yu.M., and Bryksina N.A. *Dinamika ploshchadei termokarstovykh ozer v sploshnoi i preryvistoi kriolitozonakh Zapadnoi Sibiri v usloviyakh global'nogo potepleniya* (Dynamics of areas of thermokarst lakes in continuous and intermittent cryolithozone of Western Siberia in the context of global warming). *Vestnik TGU*. 2008. No. 311. P. 185–189. (in Russ.)
4. Polishchuk V.Yu. and Polishchuk Yu.M. *Geoimitatsionnoe modelirovanie polei termokarstovykh ozer v zonakh merzloty*. (Geo-simulation modeling of thermokarst lakes fields in permafrost zones). Khanty-Mansiysk: UIP YUGU (Publ.), 2013. 129 p. (in Russ.)
5. Kravtsova V.I. and Tarasenko T.V. *Geoimitatsionnoe modelirovanie polei termokarstovykh ozer v zonakh merzloty* (Study and mapping of the dynamics of thermokarst lakes in Western Siberia using multi-temporal satellite images). *Vos'moe sibirskoe soveshchanie po klimato-ekologicheskomu monitoringu. Materialy rossiyskoi konferentsii 8–10 oktyabrya 2009*. Tomsk: Agraf-Press (Publ.), 2009. P. 273–275. (in Russ.)
6. Burn C.R. and Smith M.W. Development of Thermokarst Lakes During the Holocene at Sites Near Mayo, Yukon Territory. *Permafrost and Periglacial Processes*. 1990. Vol. 1. P. 161–176.
7. Smith L.C., Sheng Y., Macdonald G.M., and Hinzman L.D. Disappearing Arctic Lakes. *Science*. 2005. Vol. 308. No. 3. P. 14.
8. Shur Yu.L. *Termokarst (k teplofizicheskim osnovam ucheniya o zakonomernostyakh razvitiya protsessa)* (Thermokarst (to the thermophysical fundamentals of the theory of the development of the process)). M.: Nedra (Publ.), 1977. 80 p. (in Russ.)
9. Victorov A.S. *Matematicheskaya model' termokarstovykh ozernykh ravnin kak odna iz osnov interpretatsii materialov kosmicheskikh s"emok* (A mathematical model of thermokarst lake plains as one of the foundations for the interpretation of remote sensing data). *Issledovanie Zemli iz kosmosa*. 1995. No. 5. P. 42–50. (in Russ.)
10. Victorov A.S. and Kapralova V.N. *Kolichestvennaya otsenka prirodnykh riskov na osnove materialov kosmicheskikh s"emok (na primere ozerno-termokarstovykh ravnin)* (Quantitative assessment of natural risks based on remote sensing data (a case study of lacustrine thermokarst plains)). *Issledovaniya Zemli iz kosmosa*. 2013. No. 4. P. 33–38. (in Russ.)
11. Grosse G., Jones B.M., Nitze I., Lindgren P.R., Walter Anthony K.M., and Romanovsky V.E. Massive thermokarst lake area loss in continuous ice-rich permafrost of the northern Seward Peninsula, Northwestern Alaska, 1949–2015. *XI International Conference on Permafrost – Book of Abstracts, 20 – 24 June 2016, Potsdam, Germany*. Bibliothek Wissenschaftspark Albert Einstein, 2016. P. 739–740. doi:10.2312/GFZ.LIS.2016.001
12. Victorov A.S., Kapralova V.N., Orlov T.V., Trapeznikova O.N., Arkhipova M.V., Berezin P.V., Zverev A.V., Panchenko E.N., and Sadkov S.A. *Analiz razvitiya morfologicheskoi struktury ozerno-termokarstovykh ravnin na osnove matematicheskoi modeli* (The Mathematical Model of Thermokarst Lakes Surface as One of the Bases of the Space Survey Interpretation). *Geomorfologiya* (Geomorphology RAS). 2015. No. 3. P. 3–13. (in Russ.)
13. Polishchuk Yu.M. and Polishchuk V.Yu. Geo-simulation approach to modeling spatial objects and its application to creating thermokarst lake model using remote sensing data. *BioClimLand*. No. 1. P. 53–69.
14. Sejourne A., Costard F., Fedorov A., Gargani J., Skorve J., Masse M., and Mege D. Evolution of the banks of thermokarst lakes in Central Yakutiya (Central Siberia) due to retrogressive thaw slump activity controlled by insolation. *Geomorphology*. 2015. No. 241. P. 31–40.
15. Bondurant A.C., Arp C., Jones B., and Engram M. Rates and mechanisms of expansion in thermokarst lakes with bedfast and floating ice regimes on the Arctic Coastal Plain of northern Alaska 2015. *XI International Conference on Permafrost – Book of Abstracts, 20–24 June 2016, Potsdam, Germany*. Bibliothek Wissenschaftspark Albert Einstein, 2016. P. 703–705. doi:10.2312/GFZ.LIS.2016.001
16. Romanovskii N.N. *Erozionno-termokarstovye kotloviny na severe primorskikh nizmennostei Yakutii i Novosibirskikh ostrovakh* (Erosion-thermokarst hollows in the north of the coastal lowlands of Yakutia and the Novosibirsk islands). *Merzlotnye issledovaniya*. 1961. Vyp. 1. P. 124–144. (in Russ.)
17. Victorov A.S., Kapralova V.N., Orlov T.V., Trapeznikova O.N., Arkhipova M.V., Berezin P.V., Zverev A.V., Sadkov S.A., and Panchenko E.G. *Matematicheskaya morfologiya landshaftov kriolitozony* (Mathematical morphology of cryolithozone landscapes). M.: RUDN (Publ.), 2016. 232 p. (in Russ.)
18. Victorov A.S. Mathematical Models of Thermokarst Erosion Plains // GIS and Spatial Analysis. Proceedings of IAMG 2005, Toronto, Canada. P. 62–67.
19. Victorov A.S. *Osnovnye problemy matematicheskoi morfologii landshafta* (The main problems of mathematical morphology of landscape). M.: Nauka (Publ.), 2006. 252 p. (in Russ.)
20. *Metodicheskoe rukovodstvo po inzhenerno-geologicheskoi s"emke masshtaba 1:200000 (1:100 000, 1:50 000)* (Methodical guide for geotechnical survey of 1: 200 000 scale (1: 100 000, 1:50 000)). M.: Nedra (Publ.), 1978. 391 p. (in Russ.)
21. Kramer. G. *Matematicheskie metody statistiki* (Mathematical methods of statistics). M.: Mir (Publ.), 1970. 648 p.

ГЕОМОРФОЛОГИЯ, 2021, том 52, № 2, с. 39–51

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.435.44 (470.21)

КРАЕВЫЕ ЛЕДНИКОВЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ В РАЙОНЕ пос. УМБА (ЮГО-ЗАПАД КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА)

© 2021 г. А. А. Вашков[1,*], О. Ю. Носова[1]

[1]*Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

**E-mail: vashkov@geoksc.apatity.ru*

Поступила в редакцию 19.02.2020 г.
После доработки 12.08.2020 г.
Принята к публикации 22.12.2020 г.

Три полосы краевых образований на юго-западе Кольского п-ова соответствуют трем фазам сокращения Скандинавского ледникового покрова в позднем плейстоцене. Структурные и литологические исследования ледниковых отложений и морфометрические исследования современного рельефа позволили установить, что в строении первой и второй полос краевых образований участвуют гляциодислокации чешуйчато-надвигового и складчатого типа. Им соответствуют как отдельные крупные гряды, так и массивы параллельно-грядового рельефа. Отдельные фрагменты представляют собой невысокие гряды с гляциоскладками в ядрах, в состав которых вовлечены рыхлые породы ледникового ложа. В третьей полосе краевых образований находятся морены краевых складок и, реже, чешуйчатые морены, переслаивающиеся с флювиогляциальными отложениями. В современном рельефе эта полоса представлена грядово-холмистыми и холмистыми формами, а ее отличительная черта – дельтовые флювиогляциальные осадки на дистальном окончании озовых гряд. Новые данные о строении ледниковых отложений, впервые выполненные структурные исследования гляциодислокаций и морфометрическая характеристика рельефа позволили реконструировать динамику последнего ледникового покрова на одном из ключевых участков Кольского региона. Во время формирования первой и второй полос ледник наиболее активно продвигался по котловине Белого моря в восточном направлении. Во время формирования третьей полосы активный ледник двигался в южном и юго-восточном направлении. Каждая фаза сокращения ледникового покрова сопровождалась краткосрочными осцилляторными подвижками. В котловине Белого моря и на территории моренной равнины дегляциация протекала быстро и носила черты ареальной. Участкам сближения комплексов краевых образований соответствовал фронтальный тип дегляциации.

Ключевые слова: морена, гляциодислокации, дегляциация, моренные гряды, моренная равнина, морфометрия рельефа

DOI: 10.31857/S0435428121020103

ВВЕДЕНИЕ

Изучение особенностей структуры и рельефа краевых образований последнего оледенения актуально для решения вопросов палеогеографии позднего плейстоцена и выявления критериев прогнозирования залежей строительных полезных ископаемых в Кольском регионе. В четвертичном покрове региона одним из наиболее сложно построенных является участок вблизи пос. Умба. Здесь с целью определения особенностей ледниковой динамики и хода дегляциации, исследовались разрезы ледниковых отложений и морфология форм рельефа. Объектами исследования в районе работ были выбраны грядовый рельеф в районе оз. Нижнее Хлебное и д. Мосеево [1–3], а также участок холмистого рельефа северо-западнее пос. Умба [3–5]. Эти формы сложены моренами разных фаций, флювиогляциальными и лимногляциальными осадками общей мощностью 3–18 м и, реже, до 45 м и более.

Выбор объектов исследования обусловлен их расположением в районе на стыке разнородных аккумулятивных ледниковых образований. В северо-восточной части участка работ расположена островная ледораздельная Мунозерская возвышенность [6]. В юго-восточной части возвышенность сочленяется с фрагментом грядового рельефа Терских Кейв [1, 7, 8]. Юго-западнее возвышенности расположена обширная моренная равнина, поверхность которой осложняется участками грядового и грядово-холмистого рельефа. Изучение структуры этих разнородных форм актуально для определения особенностей ледниковой динамики, морфогенеза и дегляциации Кольского п-ова в ходе последнего оледенения.

Исследование отдельных фрагментов краевых образований и их корреляция в Кольском регионе [1, 2, 4, 9, 10], а также со смежными регионами [5, 11, 12] проводились наиболее активно последние тридцать лет. Большое значение имели работы по изучению особенностей дегляциации территории [1, 3, 7, 12]. В результате были разработаны две основные модели формирования конечно-моренного рельефа. По одной из них краевые зоны последнего оледенения связаны с краткосрочными периодами стабилизации края активного льда в периоды похолоданий и его скачкообразными перемещениями вперед с последующим отмиранием в периоды относительных потеплений [1, 3, 4, 6]. Другая модель связана с последовательным чередованием этапов деградации и стабилизации края активного ледника, имевших регрессивный характер [2, 5, 7, 11, 12]. Однако в рамках этой модели единой точки зрения на конфигурацию комплексов краевых образований, их корреляцию между собой и возраст на сегодня не существует.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Краевые образования изучались комплексом геолого-геоморфологических методов. На полевом этапе исследовались структурно-текстурные особенности ледниковых и водно-ледниковых осадков в 18 искусственных обнажениях: карьерах, расчистках на склонах гряд, шурфах. В полевых условиях с помощью набора стандартных сит диаметром 1–10 мм проводился гранулометрический анализ [13]. Цвет отложений определялся по колориметрической системе *Munsell Soil Color Charts*. Текстура ледниковых отложений детально исследовалась с помощью массовых замеров плоскостных (плоскости сланцеватости, границы слоистости) и линейных (длинные оси галек и валунов) элементов [14–16]. Всего в моренах на 15 участках в 10 обнажениях производилось по 50–100 замеров азимутов и углов падения полюсов сланцеватости и линейных элементов (длинных осей галек). При исследовании разрезов, вскрывающих несколько гляциоструктур, замеры производились отдельно для каждой из них. В случае исследования единой гляциоструктуры на площади 2 м^2 и более, замеры равномерно распределялись по вскрытой площади на 2–5 участках. Если обнажением был вскрыт фрагмент гляциоструктуры площадью менее 2 м^2, азимуты и углы падения замерялись из одного участка, число замеров сокращалось. В обнажениях с несколькими литологическими разностями морен структурные элементы в каждом слое измерялись отдельно. На камеральном этапе при помощи программы OpenStereo 0.1.2 строились структурные диаграммы на нижней полусфере равноплощадной сетки Шмидта [17]. На диаграммах выявлялась плоскость S_1, соответствующая максимуму на диаграмме полюсов сланцеватости морен. Эта плоскость указывает главное направление движения ледника [14]. На диаграмме линейных элементов плоскости S_1 часто соответствовали один или пара противоположных максимумов (направление *a*-линейности), что указывает на перемещение галек и валунов согласно направлению движения льда. Положение максимумов на диаграмме линейных элементов с разницей 75–90° от плоскости S_1 (*b*-линейность) указывает на ось главного нормального напряжения в теле ледника и на наличие перпендикулярных направлению движения льда систем растяжения или сжатия [14, 15].

В ходе полевых работ определялись морфологические характеристики ледниковых форм рельефа: длина, высота, крутизна склонов, ширина вершинной части и гребней гряд и ориентировка последних. Через отдельные формы рельефа проходились нивелирные ходы; в большинстве случаев использовались нивелирная рейка, рулетка длиной 30 м и компас, в отдельных случаях – теодолит. Краевые образования в камеральных условиях коррелировались с помощью анализа морфометрических показателей рельефа. Анализ проводился на площади 45 × 53 км по топографическим картам и с использованием цифровой модели рельефа ArcticDEM разрешением 2 м [18]. На участках площадью 1 км^2 определялись количество отдельных вершин, средняя высота склона и средняя длина. По этим показателям были вычислены средняя крутизна склонов и коэффициент вертикального расчленения рельефа (отношение крутизны склона к его высоте) [19]. Подсчет преимущественно производился по цифровой модели рельефа из-за ее большего соответствия рельефу местности, топографические карты использовались для проверки полученных результатов и на отдельных фрагментах при отсутствии данных цифровой модели. В программе Surfer 13 были построены морфометрические схемы [20]. Обобщенная схема морфометрических показателей вместе с полевым наблюдением отдельных форм послужила основой для корреляции краевых ледниковых образований. Преимущество данного метода обеспечивается тем, что конечноморенный рельеф получает в ходе такого исследования точные численные характеристики, по которым он хорошо отличим от аккумулятивного рельефа равнин и рельефа, связанного с выступами коренных пород. Наличие базы данных морфометрических характеристик и возможность ее автоматической обработки значительно повышают точность исследования в сравнении с визуальным анализом цифровой модели рельефа или топографических карт. В будущем полученные морфометрические характеристики будут ис-

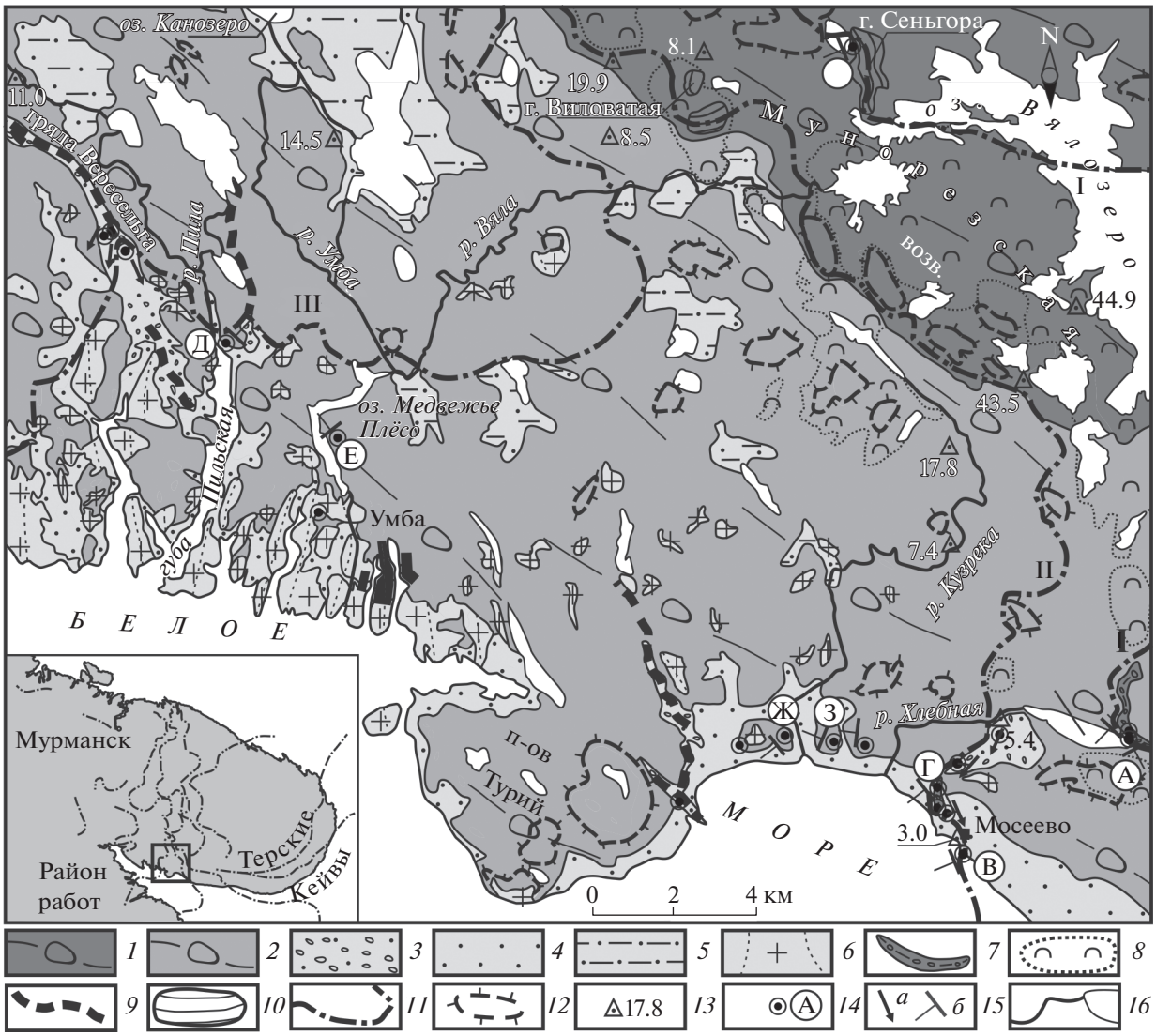


Рис. 1. Гляциоморфологическая схема юго-запада Кольского п-ова.

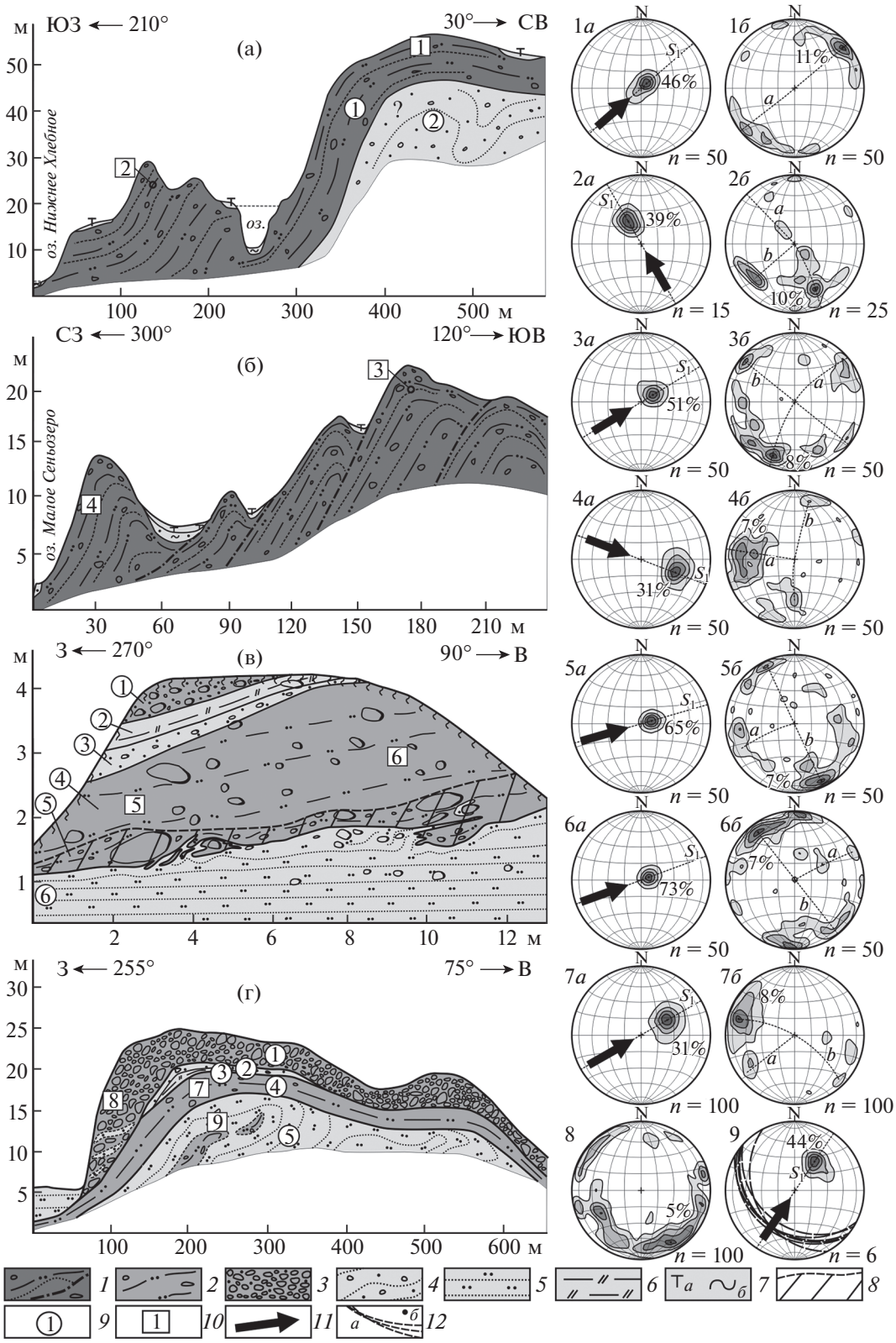
Отложения: 1 – чешуйчатые и складчатые морены, *2* – базальные морены с покрышкой абляционных морен, *3* – флювиогляциальные, *4* – морские, *5* – лимногляциальные; *6* – коренные породы; *формы рельефа: 7* – конечно-моренные гряды, *8* – грядово-ячеистый рельеф, *9* – озовые гряды, *10* – параллельно-грядовые чешуйчатые массивы, *11* – полосы краевых образований, *12* – выступы кристаллического фундамента; *прочие обозначения: 13* – скважины и значение мощности четвертичных отложений (м), *14* – геологические обнажения (буквенные обозначения связаны с рис. 2, 3), *15* – падение косых серий флювиогляциального материала (*а*), плоскостных элементов и складчатости в моренах (*б*), *16* – реки и озера.

пользованы при классификации ледникового рельефа на всей площади Кольского региона.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Краевые образования в районе работ исследованы в разрезах вблизи оз. Нижнее Хлебное и горы Сеньгора (полоса I), у д. Мосеево (полоса II) и северо-западнее пос. Умба (полоса III).

Аккумулятивные краевые образования полосы I в районе озера Нижнее Хлебное представлены двумя генерациями ледниковых осадков (А на рис. 1). К первой относится крупная гряда высотой до 25–35 м с асимметричными склонами (рис. 2а, 1). Склоны юго-западной экспозиции круче. С поверхности гряда сложена несортированными глинистыми песками оливкового цвета с гравием, галькой, валунами – чешуйчатой мореной с тонкой сланцеватостью, характерной для базальных морен. Анализ падения полюсов сланцеватости выявил уклон в юго-западном направлении, падение линейных элементов подтверждает это направление двумя отчетливыми максимумами *а*-линейности (рис. 2а, диаграммы 1, 2). Вторая


ЮЗ ← 210°
30° → СВ
(а)
оз. Нижнее Хлебное
оз.
м
100 200 300 400 500 м
СЗ ← 300°
120° → ЮВ
(б)
оз. Малое Сеньозеро
30 60 90 120 150 180 210 м
З ← 270°
90° → В
(в)
2 4 6 8 10 12 м
З ← 255°
75° → В
(г)
100 200 300 400 500 600 м
1а
46%
n = 50
1б
11%
n = 50
2а
39%
n = 15
2б
10%
n = 25
3а
51%
n = 50
3б
8%
n = 50
4а
31%
n = 50
4б
7%
n = 50
5а
65%
n = 50
5б
7%
n = 50
6а
73%
n = 50
6б
7%
n = 50
7а
31%
n = 100
7б
8%
n = 100
8
5%
n = 100
9
44%
n = 6

генерация ледниковых осадков представлена небольшими моренными грядами высотой до 6–10 м (рис. 2а, 2). Эти формы имеют склоны крутизной до 20–32° и узкие гребни. Гряды разделены глубокими депрессиями, некоторые из них заняты озерами. Гряды сложены чешуйчатыми моренами с крутым (25°–35°) падением сланцеватости и слоистости. Небольшой размер гряд позволяет сопоставлять каждую из них с отдельной чешуей, выдавленной в ослабленную зону ледника, как описано в работах [14, 21–23].

В пределах Мунозерской возвышенности этой полосе соответствует несколько чешуйчато-надвиговых массивов в районе крупного холма у горы Сеньгора [6]. В районе оз. Малое Сеньозеро (Б на рис. 1) это параллельно-грядовый, ступенчатый рельеф, осложненный многочисленными термокарстовыми западинами. Гряды представляют собой серию надвигов-чешуй, прислоненных друг к другу и сложенной чешуйчатой мореной оливкового цвета с углами падения слоистости и сланцеватости 18–30° (рис. 2б, диаграммы 3, 4). Гляциодислокации имеют значительную мощность – 15–30 м и более.

Краевые образования полосы II (моренная гряда высотой 5–15 м) исследованы в районе д. Мосеево. Один из разрезов гряды расположен на берегу Белого моря в 0.7 км к юго-востоку от д. Мосеево (В на рис. 1). В строении гряды участвует абляционная морена – несортированная гравийно-галечная смесь с валунами, связанная песками и алеврито-глинистым материалом (мощность до 0.7 м). Ниже по разрезу залегают лимногляциальные глины и суглинки (мощность до 0.25 м) и флювиогляциальные пески разнозернистые, с гравием и галькой (мощность до 0.2 м) (рис. 2в, слои 1–3). В ядре гряды установлена морена, представленная разнозернистыми глинистыми серо-коричневыми песками, несортированными, с гравием, галькой и валунами. Эта морена имеет сланцеватую текстуру, которая проявляется в виде тонкой плитчатой отдельности (с толщиной плиток 0.2–0.5 см) и тонких прослойков песка светло-серого цвета. Падение сланцеватости по всей толще установлено в юго-западном направлении. Ориентировка линейных элементов морены обнаруживает симметричные максимумы *b*-линейности, что свидетельствует о наличии системы поперечных напряжений в теле ледника (рис. 2в, диаграммы 5, 6).

В интервале 0.4–0.8 м выше подошвы морена насыщена мелкозернистыми песками красноватого цвета, залегающими ниже. Морена здесь представляет собой ассимиляционный тип гляциодинамической зоны контакта активного ледника и ложа [23, 24]. Ниже участков скопления крупных валунов отмечаются текстуры захвата в виде линз сложной формы (рис. 2в, слой 5). Породы ледникового ложа в разрезе представлены горизонтально слоистыми песками красновато-коричневого цвета. В интервале 0.4–0.6 м от кровли слоя отмечаются деформации его первичной слоистости.

Второй фрагмент гряды расположен в 4 км к северо-западу от д. Мосеево (Г на рис. 1). Здесь в строении участвуют абляционная морена мощностью от 2 до 6 м, флювио- и лимногляциальные отложения мощностью до 1.2 м и толща складчатой морены мощностью более 3.5 м, с ярко выраженной гляциодинамической зоной контакта активного ледника и его ложа. Эта зона представлена крупной лежачей складкой волочения, в которую включены пески и песчано-гравийные смеси красновато-коричневого цвета. Падение осевой плоскости складки и ее крыльев совпадает с азимутом падения сланцеватости и длинных осей галек складчатой морены в юго-западном направлении (рис. 2г, диаграммы 7–9). Восточнее гряды на абс. отметках 40–95 м развиты покровные зандровые пески. На юго-западной периферии Мунозерской возвышенности полосе II соответствует крупный чешуйчато-надвиговый массив в районе горы Виловатая [6].

К краевым *образованиям полосы III* относятся холмистый и грядовый рельеф, а также флювиогляциальные дельты на дистальных окончаниях озовых гряд к северо-западу и северу от пос. Умба. О строении холмистого рельефа краевой зоны можно судить по обнажениям в карьере у р. Пила (Д на рис. 1), ранее изученном В.Я. Евзеровым [4]. Карьер заложен в центральной части крупного холма с плоской вершиной, относительной высотой до 20 м. Здесь вскрыта складчатая морена, с

Рис. 2. Строение ледниковых отложений полос краевых образований I и II. Местоположение разрезов см. рис. 1.

Отложения: 1 – чешуйчатые краевые морены в гляциодислокациях, *2* – складчатые морены краевых гряд и базальные морены, *3* – абляционные морены, *4* – флювиогляциальные, *5* – морские, *6* – лимногляциальные, *7* – болотные и озерные торфы (*а*) и гиттии (*б*); *8* – зоны ассимиляции пород ледникового ложа; *прочие обозначения на разрезах: 9* – номера слоев, *10* – участки структурных исследований (номера на разрезах соответствуют фактическому местоположению замеров и номерам диаграмм); *обозначения на структурных диаграммах: 11* – реконструкция направления давления ледника по структурным данным, *12* – проекции плоскостей крыльев складок (*а*) и полюсов плоскостей слоистости (*б*). Все структурные диаграммы построены на нижней полусфере сетки Шмидта. Пары структурных диаграмм с одинаковым номером отражают ориентировку полюсов сланцеватости и слоистости (диаграммы а) и ориентировку длинных осей крупных обломков в морене (диаграммы б). Фрагменты (а) и (б) построены на основе данных шурфов и расчисток глубиной до 2.5 м, фрагмент (в) отражает фактическое вскрытое строение гряды, фрагмент (г) построен на основе двух расчисток глубиной до 8.5 м.

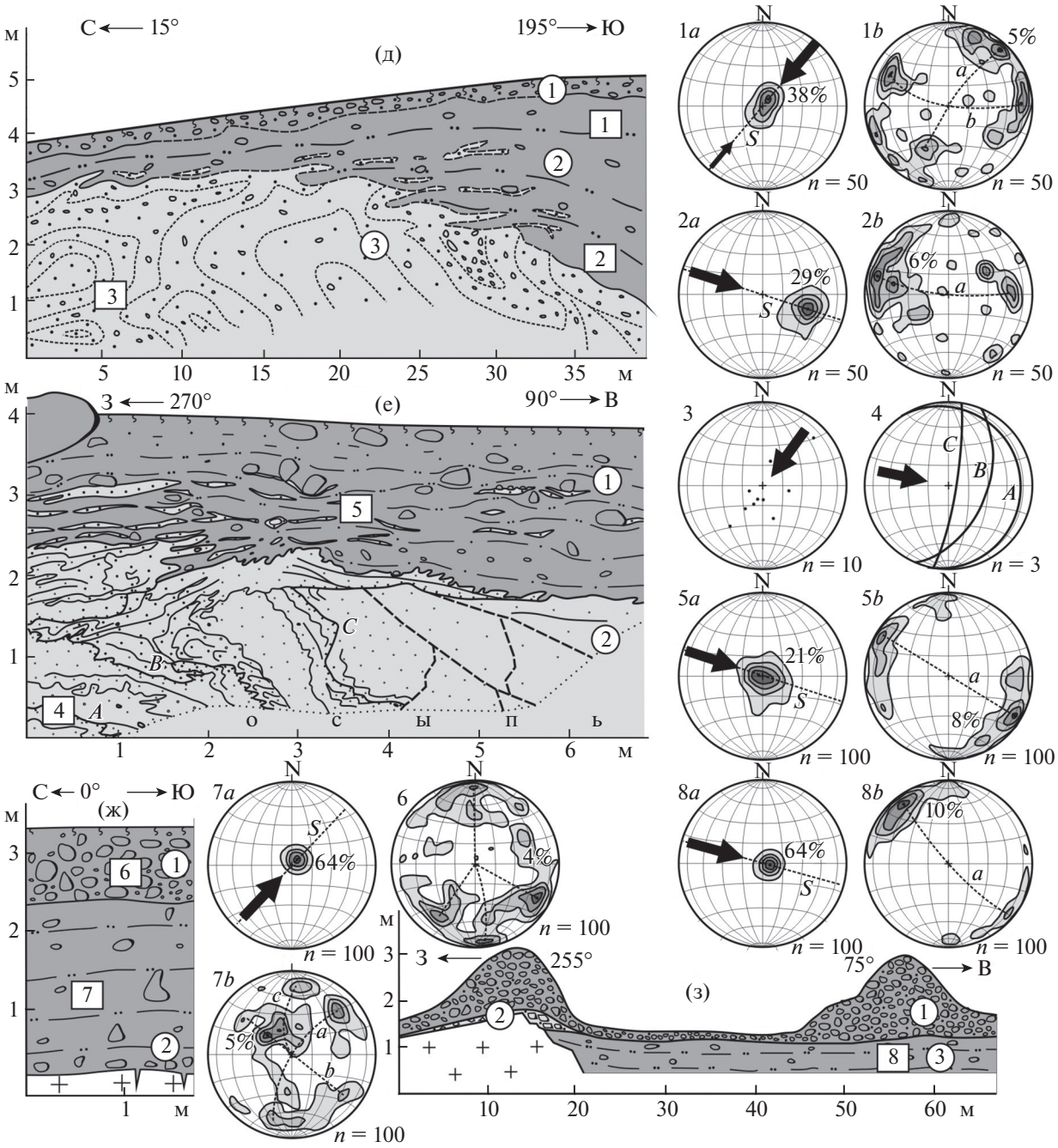


Рис. 3. Строение ледниковых отложений полосы краевых образований III и моренной равнины.

Местоположение разрезов приведено на рис. 1. Усл. обозначения см. рис. 2. Фрагмент (д) построен по трем расчисткам глубиной до 4 м и с использованием материалов [4], фрагменты (е), (ж) и (з) отражают фактическое вскрытое строение.

поверхности представленная песком алевритистым, с гравием и галькой, в нижней части слоя с многочисленными тонкими линзами песка мелкозернистого и линзами песчано-гравийной смеси. Морена дислоцирована, имеет неоднородную мощность от 1.2 до 3.5 м. В нижней части слоя увеличивается содержание глинистых частиц. Морена залегает на флювиогляциальных песках и песчано-гравийных смесях мощностью свыше 4 м. Донные осадки заключены в крупную перевернутую складку с пережатым ядром (рис. 3д). Крылья этой структуры осложняются небольшими складками качения и затягивания материала. Шарнир и крылья гляциоскладки падают по азимуту 25°–205° (рис. 3д, диаграмма 3). Подобные значения получены и в ходе анализа падения слойков в мо-

рене (рис. 3, Д, диаграмма 1). Шарниры складок качения на контакте морены и флювиогляциальных осадков ориентированы по азимутам 100°–280°, что может указывать на наличие поперечных напряжений в краевой зоне (рис. 3д, диаграмма 2).

Для краевой зоны полосы III характерны *озы и флювиогляциальные дельты*. Например, озовая гряда Вересельга [9], которая ориентирована перпендикулярно краевой зоне оледенения и относится, таким образом, к радиальным озам. Грядовый рельеф оза на отдельных участках сменяется овальными в плане площадками, которые в 5–7 раз шире грядовых участков и ниже их на 10–30 м. Грядовые участки сложены флювиогляциальными песчано-гравийными и гравийно-валунными смесями, с поверхности перекрытыми абляционной мореной. Площадки сложены дельтовыми отложениями: косослоистыми песками мелко- и среднезернистыми, с прослоями песков глинистых. Падение косых серий установлено в юго-восточном направлении.

В строении *моренной равнины*, расположенной между полосами краевых образований, преобладают базальные морены с прерывистой надстройкой из морен абляционной перлювиальной фации, флювиогляциальных отложений, лимногляциальных, озерных и морских осадков. Базальные морены имеют среднюю мощность 1–3 м, состоят из песков разнозернистых, алевритистых, с гравием, галькой, валунами, обладают характерной зеленовато-серой окраской и сланцеватой текстурой с тонкими линзами мелкозернистых песков. Типичный разрез моренной равнины можно наблюдать в карьере в 4 км севернее пос. Умба (Е на рис. 1). Здесь вскрывается строение площадки на абс. отметках 28–32 м. Базальная морена залегает с поверхности, имеет мощность до 2.2 м и представлена песком глинистым зеленовато-серого цвета, разнозернистым, с гравием, галькой, валунами. Слой имеет сланцеватую текстуру, содержит большое число линз толщиной 1–3 см песка желто-серого, мелко- тонкозернистого. Сланцеватость и линзы образуют выраженный рисунок течения, огибая валуны и крупные гальки (рис. 3е, слой 1). Насыщение морены линзами песка и глинистыми частицами неоднородное. Ниже морены залегают пески светло-серые, тонкозернистые, сортированные и алевриты темно-серого цвета с зеленоватым оттенком. Контакт слоев осложнен многочисленными клиньями и относится к ассимиляционному типу гляциодинамической зоны [16, 23, 24]. Структурный анализ сланцеватости и слоистости морены и падения длинных осей галек указывает на перемещение материала по азимуту 290°–110° (рис. 3е, диаграмма 5). Пачка песчано-алевритовых отложений ниже морены дислоцирована. Она смята в лежачие и запрокинутые небольшие складки волочения, флексуры, инъективные формы. Общее падение дислокаций в толще по азимуту 72°–113° и под углами 14°–86° подчеркивается слойками алевритов (рис. 3е, слой 2, а, б, в, диаграмма 4).

В юго-восточной части моренной равнины были изучены несколько однотипных разрезов в карьерах и придорожных выемках (Ж, З на рис. 1). Современный рельеф здесь повторяет неровности поверхности кристаллического фундамента. Ледниковые отложения небольшой мощности (до 4 м) залегают плащеобразно на склонах крупных холмов. Иногда их поверхность осложняют гряды высотой до 3 м. Ледниковые осадки имеют двучленное строение. С поверхности залегают абляционные морены перлювиальной фации мощностью до 1 м, представленные разнозернистыми несортированными песчано-гравийными смесями с валунами и глинистыми частицами. Эти же отложения участвуют в строении небольших гряд и валов, где их мощность повышается до 3 м (рис. 3з). Ниже по разрезу залегают базальные морены, сложенные песками глинистыми, несортированными, с гравием и галькой, имеющими сланцеватую текстуру. Структурный анализ сланцеватости указывает на перемещение ледникового материала преимущественно с запада на восток (рис. 3ж-з, диаграммы 7а, 8). Распределение максимумов линейных элементов галек и валунов базальной морены иногда не обнаруживает закономерностей в распределении линейности (рис. 3ж, диаграмма 7б), что больше характерно для абляционных морен (рис. 3ж, диаграмма 6).

Морфометрические характеристики рельефа позволяют проследить три выделенные полосы краевых образований по всему участку работ (рис. 1). Рельеф краевых образований отчетливо выделяется по повышенному количеству вершин отдельных форм на единицу площади (в 1.5–2.5 раза больше, чем на прилегающей моренной равнине), а также за счет того, что высота и крутизна склонов здесь в 1.5–2 раза больше (табл. 1). Коэффициент вертикальной расчлененности рельефа полос краевых образований обычно составляет 0.8–1.35, а на прилегающей моренной равнине он достигает 0.65–0.85 и редко превышает значение 1.2. Схожие морфометрические показатели установлены и для краевых образований в пределах Мунозерской возвышенности. Однако из-за широко развитого здесь грядово-ячеистого рельефа [6] морфометрические показатели краевых образований выглядят здесь не так контрастно. Кроме надежной идентификации рельефа краевых образований анализ морфометрических показателей современного рельефа позволил выявлять положительные формы, выраженные за счет рельефа поверхности коренных пород. Такие формы имеют в 2–4 раза большую среднюю длину и высоту склонов, число вершин меньше в 4–10 раз, чем на участках распространения леднико-

Таблица 1. Морфометрические показатели рельефа района работ

Участки	Средняя протяженность склонов, м	Средняя высота склонов, м	Средняя крутизна склонов, град.	Число холмов на 1 км^2	Коэффициент вертикального расчленения
Рельеф, связанный преимущественно с кристаллическим фундаментом					
Возвышенности	300–400	25–28	3.6–5.3	1–2	0.14–0.19
Равнины и низины	220–360	14–35	2.5–7.7	3–6	0.16–0.26
Аккумулятивный ледниковый рельеф					
Возвышенности	30–50	4–9	4.6–16.7	20–28	1.15–1.67
Краевые образования в их пределах	***40–70***	***6–18***	***4.9–24.2***	***16–22***	***0.81–1.34***
Равнины и низины	45–90	2–6	1.3–7.6	4–8	0.65–1.27
Краевые образования в их пределах	***40–80***	***3–12***	***2.1–16.7***	***4–12***	***0.7–1.39***

вого аккумулятивного рельефа. Коэффициент вертикального расчленения не превышает 0.15–0.26, что в 3–5 раз меньше, чем у аккумулятивных ледниковых форм (табл. 1).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Краевые ледниковые образования в районе работ формировались в зоне действия Беломорского ледникового потока Скандинавского ледникового покрова последнего оледенения [1, 2, 5, 7, 9, 12, 25]. Ледниковый морфогенез происходил в течение нескольких фаз стабилизации ледникового покрова в эпохи древнейшего (DR 1) и древнего (DR 2) дриаса [5, 11, 12].

Специфика строения краевых образований региона заключается в повсеместном развитии гляциодислокаций: чешуй, надвигов и гляциоскладок, которые обычно слагают деформированные чешуйчатые и складчатые краевые морены с участками ассимиляции рыхлых пород ледникового ложа [16, 23, 24]. К предпосылкам формирования гляциодислокаций в краевых зонах относится малая (до 45 м) мощность рыхлых ледниковых или морских отложений, залегающих на жестком основании из коренных пород. Эти осадки находились под телом ледника в краевой зоне мерзлых пород ледникового ложа [21, 23]. Направление отторжения крупных блоков пород ложа и выдавливания их в чешуи или смятия в складки было задано системой напряжений и трещиноватости ледника в связи с близостью его активного края.

Для краевых образований полосы I характерны крупные гляциоскладки и надвиги, причем количество чешуй и надвигов возрастает в пределах Мунозерской ледораздельной возвышенности. В краевых образованиях полосы II похожие по строению гляциодислокации развиты только в пределах возвышенности. В пределах моренной равнины развиты гляциоскладки небольших гряд, подобные исследованным у д. Мосеево. Краевые образования полосы III представлены складчатыми краевыми моренами с флювиогляциальными отложениями. Таким образом, в строении комплексов краевых образований юго-западных склонов возвышенности обнаруживается характерная черта – доминирование дислоцированных чешуйчатых морен краевых зон, что в целом характерно для фронтальных краевых макроформ рельефа, либо для периферии островных ледораздельных возвышенностей [14, 23]. Краевые образования в пределах равнины сформированы преимущественно складчатой краевой мореной. В строении краевых образований не установлены насыпные конечно-моренные образования, с которыми ранее, например, соотносились аккумулятивные образования полосы II [1, 3, 6].

Во время фазы стабилизации, соответствующей полосе краевых образований I, крупный ледниковый поток активно двигался по котловине Белого моря в юго-восточном направлении [2, 5, 11, 12, 25]. На северной периферии этого потока происходило выжимание насыщенного обломочным материалом льда в северо-восточном и северном направлении. Формировались крупная конечно-моренная гряда у озера Нижнее Хлебное и чешуйчатый массив параллельно-грядового рельефа в районе г. Сеньгора на Мунозерской возвышенности (рис. 4). Этот процесс мог сопровождаться несколькими осцилляторными подвижками активного края ледника. В ходе них происходили повторные выжимания пластин моренонасыщенного льда и их последующее наложение на ранее сформированные гляциоструктуру-

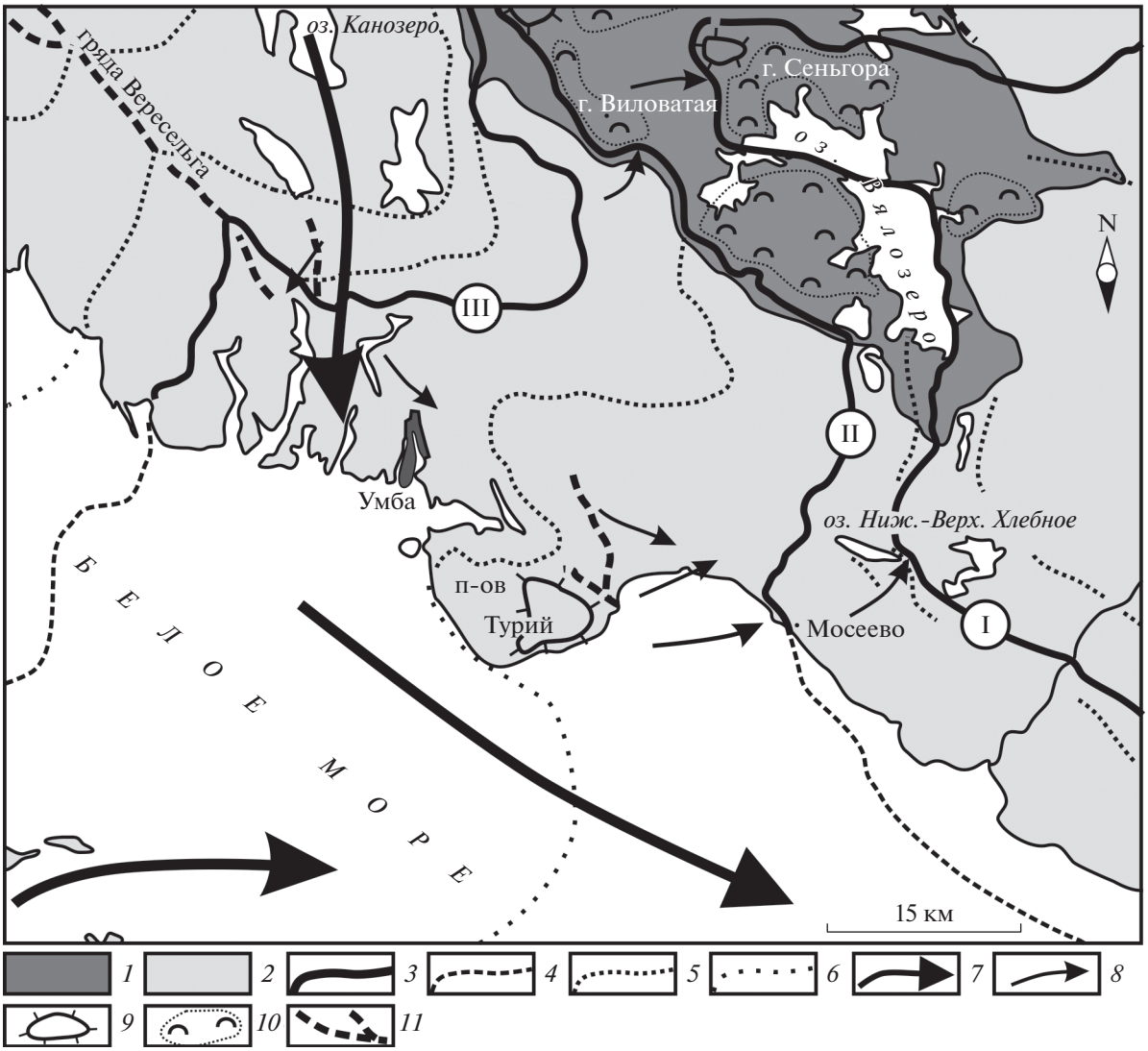


Рис. 4. Гляциодинамическая схема юго-запада Кольского п-ова.

1 – ледораздельная возвышенность (по [6]), *2* – моренная равнина; *границы распространения активного ледника во время: 3* – фаз деградации ледникового покрова, *4* – фаз в котловине Белого моря (с использованием [2, 5, 11, 25]), *5* – осцилляций на полуострове, *6* – осцилляций в котловине Белого моря; *7* – направление движения Беломорского ледникового потока; *8* – направления перемещения льдов, установленные по геологическим данным; *9* – поднятия коренных пород, выступавшие в роли ледоразделов; *10* – аккумулятивные формы ледораздельной возвышенности; *11* – озовые гряды.

ры и небольшие блоки мертвого льда. С этим процессом могут быть связаны небольшие гряды у юго-западного склона конечно-моренной гряды у озера Нижнее Хлебное. На юго-западных склонах Мунозерской возвышенности таким подвижкам соответствует грядово-холмистый рельеф к западу от горы Сеньгора. Восточнее района работ полоса краевых образований I традиционно сопоставляется с грядами Терских Кейв [1, 3, 5, 8, 11, 12]. Однако установленное строение полосы не коррелируется со строением Терских Кейв восточнее района работ, где преобладают флювиогляциальные отложения [7, 8].

Во время формирования полосы II произошло значительное сокращение объема ледникового потока в котловине Белого моря [2, 3, 12, 25]. На его динамику оказывали воздействие поднятия ледникового субстрата, например, массива п-ова Турий (рис. 4). Гряды у д. Мосеево формировались на северо-восточной периферии ледникового потока. Общее течение льда во время этой фазы сокращения установлено по падению гляциоструктур моренной равнины и по ориентировке гляциоскладок в ядре гряд. Восточнее п-ова Турий ледник двигался преимущественно на восток, а в районе пос. Умба на юго-восток. В том,

что во время этой фазы происходили осцилляторные подвижки, указывает грядово-холмистый рельеф, обрамляющий чешуйчатый параллельно-грядовый массив в районе горы Виловатая. На территории моренной равнины признаки нескольких осцилляций установлены по морфометрическим данным. Осцилляциям соответствуют участки с повышенными показателем числа вершин на единицу площади и коэффициентом вертикального расчленения рельефа (табл. 1).

Во время формирования полосы III произошло полное омертвление ледникового потока в котловине Белого моря. Массив мертвого льда быстро разрушался и уже в аллерёде в этот район проникали морские воды [3]. Краевая зона сместилась севернее пос. Умба; давление лопасти активного ледника происходило в южном направлении. Для этой фазы сокращения характерны осцилляторные подвижки, во время которых сформировались несколько полос грядово-холмистого рельефа восточнее оз. Канозеро. Серия площадок, сложенных флювиогляциальными дельтовыми отложениями (не менее трех), расположенных по простиранию озовой гряды Вересельга, также может свидетельствовать о поэтапном сокращении ледникового покрова во время этой фазы [26].

Анализ положения установленных в районе работ полос краевых образований указывает на скачкообразное смещение краевой зоны на 25–50 км в пределах котловины Белого моря и на 10–20 км в пределах моренной равнины. В пределах Мунозерской возвышенности и на ее склонах, а также в районе озера Нижнее Хлебное – д. Мосеево полосы краевых образований сближаются до 2–8 км. Это позволяет сделать вывод о разнородном характере дегляциации в районе исследований. В пределах Беломорской котловины и моренной равнины она носила черты ареальной, а в пределах возвышенности преобладала фронтальная дегляциация. На равнине происходило отчленение достаточно узких полос мертвого льда с последующим их распадом на отдельные блоки. На месте частично вытаявших блоков формировались небольшие приледниковые водоемы, которые соединялись между собой, и уровень которых постепенно понижался.

Ключевым положением установленной схемы дегляциации является утверждение, что лопасть активного Беломорского ледникового потока последнего оледенения долгое время продвигалась в восточном направлении. Это, однако, противоречит гипотезам, основанным на быстром таянии льдов в котловине Белого моря [7]. Постепенное смещение закономерно построенных полос краевых образований не поддерживает и гипотезу о краткосрочных периодах стабилизации края льда в периоды похолоданий и его скачкообразных перемещениях в периоды относительных потеплений [1, 3, 4, 6]. В то же время рассмотренная модель дегляциации в общих чертах наследует и значительно уточняет ряд более ранних построений [5, 11, 12].

Установленное в ходе исследований положение полос краевых образований, а также предлагаемая модель дегляциации впервые основываются на подробном фактическом материале по геологическому строению и морфологии ледникового рельефа. Это позволило сделать вывод о том, что краевые образования, ранее относившиеся к западному сегменту Терских Кейв [1, 3, 7], состоят минимум из двух фазиальных краевых комплексов (полосы I и II) и сопровождаются многочисленными осцилляторными формами. Структура и морфология данных краевых образований не согласуются со строением Терских Кейв восточнее района работ [8]. Подтверждено участие изученных краевых образований в строении юго-западного склона Мунозерской возвышенности, что не противоречит ранее предложенным гипотезам о фронтальном [2], или о ледораздельном генезисе этой макроформы [6]. Предложенная конфигурация полос краевых образований в районе работ хорошо согласуется с данными о строении ледниковых осадков в котловине Белого моря [2, 25].

ВЫВОДЫ

Новые геолого-геоморфологические данные о ледниковых отложениях юго-запада Кольского п-ова позволили установить следующее:

1. Краевые образования составляют три полосы, две из которых окаймляли северную и северо-восточную периферию активного Беломорского ледникового потока, а третья формировалась на юго-восточном окончании ледниковой лопасти, не достигавшей котловины современного Белого моря в рассматриваемом районе. Полосы краевых образований соответствуют трем фазам сокращения ледникового покрова, каждая из которых сопровождалась серией осцилляций.

2. В строении краевых образований наблюдаются схожие черты: значительная гляциотектоническая переработка ледниковых отложений, доминирование чешуйчатых краевых морен в пределах возвышенности и складчатых краевых морен в пределах равнины, присутствие следов воздействия на рыхлые породы ледникового ложа.

3. Гляциоструктурам краевых зон соответствует специфический аккумулятивный рельеф. В пределах возвышенности он представлен массивами параллельно-грядового рельефа, в пределах равнины развиты грядовый и грядово-холмистый рельеф.

4. Аккумулятивный рельеф краевых зон наиболее надежно идентифицируется по морфометрическим показателям: высоте, крутизне склонов, повышенному показателю числа вершин (12–25 на 1 км^2) и высокому коэффициенту вертикального расчленения рельефа (свыше 0.8).

5. Дегляциация в депрессии Белого моря и на большей части равнины имела черты ареальной. На юго-западном склоне Мунозерской возвышенности, в районе оз. Нижнее Хлебное и д. Мосеево дегляциация имела черты фронтальной.

Новые данные о строении и морфологии ледникового рельефа будут использованы в дальнейшей работе по созданию гляциодинамической схемы Кольского региона и схемы корреляции краевых образований в северо-восточном секторе Скандинавского ледникового покрова.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена по теме НИР 0226-2019-0054 лаборатории № 43 Геологического института КНЦ РАН. Авторы благодарят В.В. Кольку, Д.С. Толстоброва, О.П. Корсакову, В.Л. Ильченко, Н.А. Костромину, А.И. Крикунову и В.А. Крошинского за помощь в проведении полевых работ и полезные дискуссии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Евзеров В.Я., Николаева С.Б.* Пояса краевых образований Кольского региона // Геоморфология. 2000. № 1. С. 61–73.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1 : 1 000 000 (третье поколение). Сер. Балтийская. Лист Q–(35), 36 (Апатиты). Объяснительная записка / Гл. ред. Ю.Б. Богданов. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 456 с.
3. *Колька В.В., Евзеров В.Я., Мёллер Я.Й., Корнер Г.Д.* Перемещение уровня моря в позднем плейстоцене – голоцене и стратиграфия донных осадков изолированных озер на южном берегу Кольского полуострова, в районе поселка Умба // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 1. С. 73–88.
4. *Евзеров В.Я.* Литология морены поздневалдайского оледенения западной части Кольского полуострова // Вестн. Мурманского гос. технического ун-та. 2017. Т. 20. № 1. С. 48–59.
5. *Ekman I. and Il'in V.* Deglaciations, the Younger Dryas End Moraines and their Correlation in Karelian A.S.S.R. and adjacent Areas // Eastern Fennoscandian Younger Dryas End Moraines. Field Conferencion, 1991. P. 73–101.
6. *Колька В.В.* Мунозерская островная возвышенность // Вестн. Мурманского гос. технического ун-та. 1998. Т. 1. № 3. С. 79–88.
7. *Hättestrand C., Kolka V., and Stroeven A.* The Keiva marginal zone on the Kola Peninsula, northwest Russia: A Key Component for reconstructing the palaeoglaciology of the northeastern Fennoscandian ice sheet // Boreas. 2007. Vol. 36. No. 4. P. 352–370.
8. *Lunkka J.P., Kaparulina E., Putkinen N., and Saarnisto M.* Late Pleistocene palaeoenvironments and the last deglaciation on the Kola Peninsula, Russia // Arctos. The Journal of Arctic Geosciences. 2018. Vol. 4. Iss. 1. P. 1–18.
9. The Late Pleistocene interglacial, late Glacial landforms and Holocene neotectonics of the Kola Peninsula. ICG excursion. No. 34. August 14–23. *V. Kolka, O. Korsakova, S. Nikolaeva, and V. Evzerov* (Eds.). Apatity, 2008. 72 p.
10. *Семенова Л.Р.* Ледниковая геология Кольского полуострова (поздний плейстоцен). Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. СПб.: ВСЕГЕИ, 2004. 32 с.
11. *Rainio H., Saarnisto M., and Ekman I.* Younger Dryas end moraines in Finland and NW Russia // Quaternary International. 1995. Vol. 28. P. 179–192.
12. *Demidov I., Houmark-Nielsen M., Kjær K., and Larsen E.* The Last Scandinavian Ice Sheet in northwestern Russia: Ice flow patterns and decay dynamics // Boreas. 2006. No. 4. P. 425–443.
13. Методическое руководство по изучению и геологической съемке четвертичных отложений / Гл. ред. Г.С. Ганешин. Л.: Недра, 1987. 308 с.
14. *Аболтиньш О.П.* Гляциоструктура и ледниковый морфогенез. Рига: Зинатне, 1989. 284 с.
15. *Boulton G.S.* Till genesis and fabric in Svalbard, Spitsbergen // Till a Symposium, 1971. p. 41–72.
16. *Pasanen A. and Lunkka J.P.* Glaciotectonic deformation of till-covered glaciofluvial deposits in Oulu region, Finland // Bulletin of the Geological Society of Finland. 2008. Vol. 80. P. 89–103.
17. OpenStereo is an open source, cross-platform software for structural geology analysis. https://www.geologypage.com/2013/07/openstereo.html
18. ArcticDEM is an NGA-NSF public-private initiative to automatically produce a high-resolution, high quality, digital surface model (DSM) of the Arctic using optical stereo imagery, high-performance computing, and open source photogrammetry software. https://www.pgc.umn.edu/data/arcticdem/
19. *Кайрюкштис Л.А., Басаликас А.Б., Микалаускас А.П., Милюс И.В., Чеснулявичус А.А.* Оценка расчлененности рельефа Литвы для целей моделирования регионального развития // Труды АН Литовской ССР. 1983. Серия Б. Т. 5 (138). С. 85–93.
20. Surfer is a full-function 3D visualization, contouring and surface modeling package that runs under Microsoft Windows. https://www.geologypage.com/2015/07/surfer-13.html
21. *Moran S.R., Clayton L., Hooke R.L., Fenton M.N., and Andriashek L.D.* Glacier-Bed Landforms of the Prairie Region of North America // Journal of Glaciology. 1980. Vol. 25. Iss. 93. P. 457–476.
22. *Shaw J.* Genesis of the Sveg tills and Rogen moraines of central Sweden: a model of basal melt out // Boreas. 1979. Vol. 8. No. 4. P. 409–426.
23. *Каплянская Ф.А., Тарноградский В.Д.* Гляциальная геология: Методическое пособие по изучению ледниковых образований при геологической съемке крупного масштаба. СПб.: Недра, 1993. 328 с.
24. *Лаврушин Ю.А.* Строение и формирование основных морен материковых оледенений. М.: Наука, 1976. 237 с.

25. Система Белого моря. Т. IV. Процессы осадкообразования, геология и история / Отв. ред. А.П. Лисицын. М.: Науч. мир, 2017. 1030 с.

26. *Brennand T.A.* Deglacial meltwater drainage and glaciodynamics: inferences from Laurentide eskers, Canada // Geomorphology. 2000. No. 32. P. 263–293.

Ice-marginal deposits near the Umba Town (the south-west of the Kola Peninsula)

A. A. Vashkov[a,#] and O. Yu. Nosova[a]

[a]*Geological Institute of the Kola Science Centre of RAS, Apatity, Russia*

[#]*E-mail: vashkov@geoksc.apatity.ru*

Three belts of ice-marginal deposits have been determined in the south-west part of the Kola Peninsula. They correspond to three phases of the Scandinavian Ice Sheet retreat in the Late Pleistocene. Clast fabric analysis and lithological investigation of the glacial deposits and morphometrical analysis of the glacial relief allowed to determine glaciodislocations of squamous-thrust and folded type in the ice-marginal complexes. Arrangement regularities of ice-marginal deposits in the region were defined using morphometrical study of present relief. The squamous-thrust glaciodislocations were found in structure of the first and second belts of the ice-marginal deposits. They correspond to single large ridges or massifs of parallel ridges. Particular fragments represented by low ridges with glaciofolds at their cores formed from loose sediments from the base of the ice-sheet. The third belt of ice-marginal deposits consists of folded marginal tills and rarely squamous tills interbedding with fluvioglacial deposits. In present relief this belt is represented by ridge-hummocky and hummocky forms and its characteristic feature is deltaic fluvioglacial deposits on the distal end of eskers. Analysis of clast fabric and glaciodislocation structures identified that during the formation of the first and second ridge belts glacier had been moving mainly east along the White Sea Basin. At the time of formation of the third belt active glacier had been advancing south and south-eastwards. Each phase of glacier retreat was accompanied by short-term oscillatory dislocations. In the White Sea Basin and on the moraine plain glacier degradation was fast and had areal character. Frontal type of deglaciation existed on the convergence areas of the ice-marginal complexes. The new data on structure of the glacial deposits, for the first time executed study of structure and clast fabric analysis of glaciodislocations, and morphometrical characteristic of relief allowed to reconstruct dynamic of the last glacier cover on one of the key areas of the Kola region.

Keywords: till, glaciodislocations, deglaciation, moraine ridges, moraine plain, morphometry of relief

ACKNOWLEDGMENTS

The work has been done on the theme of Scientific Research No. 0226-2019-0054 of laboratory No. 43 of the Geological Institute of the Kola Science Centre of RAS. The authors are grateful to V.V.Kolka, D.S. Tolstobrov, O.P. Korsakova, V.L. Ilchenko, N.A. Kostromina, A.I. Krikunova and V.A. Kroshinskiy for help in fieldworks and useful discussions.

REFERENCES

1. *Evzerov V.Ya. and Nikolaeva S.B. Poyasa kraevykh obrazovanii Kol'skogo regiona* (Belts of marginal glacial formations of the Kola region). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2000. No. 1. P. 61–73. (in Russ.)
2. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1:1000000 (tret'e pokolenie). Seriya Baltiiskaya. List Q-(35), 36 (Apatity). Ob'yasnitel'naya zapiska* (State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (third edition). Baltic series. Sheet Q-(35), 36 (Apatity). Explanatory note). Yu.B. Bogdanov (Ed.). St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI (Publ.), 2012. 456 p.
3. Kol'ka V.V., Evzerov V.Ya., Moller Ya.Y., and Corner G.D. *Peremeshchenie urovnya morya v pozdnem pleistotsene – golotsene i stratigrafiya donnykh osadkov izolirovannykh ozer na yuzhnom beregu Kol'skogo poluostrova, v raione poselka Umba* (The Late Weichselian and Holocene relative sea-level change and isolation basin stratigraphy at the Umba settlement, southern coast of Kola Peninsula). *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2013. No. 1. P. 73–88. (in Russ.)
4. Evzerov V.Ya. *Litologiya moreny pozdnevaldaiskogo oledeneniya zapadnoi chasti Kol'skogo poluostrova* (Lithology of the Late Valdaian glacial moraine in the western part of the Kola Peninsula). *Vestnik of MSTU*. 2017. Vol. 20. No. 1. P. 48–59. (in Russ.)
5. Ekman I. and Il'in V. Deglaciations, the Younger Dryas End Moraines and their Correlation in Karelian A.S.S.R. and adjacent Areas. *Eastern Fennoscandian Younger Dryas End Moraines. Field Conferencion*. 1991. P. 73–101.
6. Kolka V.V. *Munozerskaya ostrovnaya vozvyshennost'* (The Munozero island upland). *Vestnik of MSTU*. 1998. Vol. 1. No. 3. P. 79–88. (in Russ.)
7. Hättestrand C., Kolka V., and Stroeven A. The Keiva marginal zone on the Kola Peninsula, northwest Russia: A Key Component for reconstructing the palaeoglaciology of the northeastern Fennoscandian ice sheet. *Boreas*. 2007. Vol. 36. No. 4. P. 352–370.
8. Lunkka J.P., Kaparulina E., Putkinen N., and Saarnisto M. Late Pleistocene palaeoenvironments and the last

deglaciation on the Kola Peninsula, Russia. *Arctos. The Journal of Arctic Geosciences*. 2018. Vol. 4. Iss. 1. P. 1–18.

9. *The Late Pleistocene interglacial, late glacial landforms and Holocene neotectonics of the Kola Peninsula. ICG excursion No 34, August 14–23.* V. Kolka, O. Korsakova, S. Nikolaeva, V. Evzerov (Eds.). Apatity, 2008. 72 p.
10. Semenova L.R. *Lednikovaya geologiya Kol'skogo poluostrova (pozdnii pleystotsen)* (Glacial geology of the Kola Peninsula (Late Pleistocene)). PhD. thesis. St. Petersburg: VSEGEI (Publ.), 2004. 32 p.
11. Rainio H., Saarnisto M., and Ekman I. Younger Dryas end moraines in Finland and NW Russia. *Quaternary International*. 1995. Vol. 28. P. 179–192.
12. Demidov I., Houmark-Nielsen M., Kjær K., and Larsen E. The Last Scandinavian Ice Sheet in northwestern Russia: Ice flow patterns and decay dynamics. *Boreas*. 2006. No. 4. P. 425–443.
13. *Metodicheskoe rukovodstvo po izucheniyu i geologicheskoi s'emke chetvertichnykh otlozhenii* (Manual on methods to be used in the studies and geological survey of the Quaternary deposits). G.S. Ganeshin (Ed.). L.: Nedra (Publ.), 1987. 308 s.
14. Aboltin'sh O.P. *Glyatsiostruktura i lednikovyi morfogenez* (Glaciostructure and glacial morphogenesis). Riga: Zinatne (Publ.), 1989. 284 p.
15. Boulton G.S. Till genesis and fabric in Svalbard, Spitsbergen. *Till a Symposium*. 1971. P. 41–72.
16. Pasanen A. and Lunkka J.P. Glaciotectonic deformation of till-covered glaciofluvial deposits in Oulu region, Finland. *Bulletin of the Geological Society of Finland*. 2008. Vol. 80. P. 89–103.
17. OpenStereo is an open source, cross-platform software for structural geology analysis. https://www.geologypage.com/2013/07/openstereo.html
18. ArcticDEM is an NGA-NSF public-private initiative to automatically produce a high-resolution, high quality, digital surface model (DSM) of the Arctic using optical stereo imagery, high-performance computing, and open source photogrammetry software. https://www.pgc.umn.edu/data/arcticdem/
19. Kayryukshtis L.A., Basalikas A.B., Mikalauskas A.P., Milyus I.V., and Chesnulyavichus A.A. *Otsenka raschlenennosti rel'efa Litvy dlya tselei modelirovaniya regional'nogo razvitiya* (Estimation of relief ruggedness of Lithuania for regional development modeling). *Trudy Akademii nauk Litovskoi SSR*. 1983. Seriya B. Vol. 5 (138). P. 85–93. (in Russ.)
20. Surfer is a full-function 3D visualization, contouring and surface modeling package that runs under Microsoft Windows. https://www.geologypage.com/2015/07/surfer-13.html
21. Moran S.R., Clayton L., Hooke R.L., Fenton M.N., and Andriashek L.D. Glacier-Bed Landforms of the Prairie Region of North America. *Journal of Glaciology*. 1980. Vol. 25. Iss. 93. P. 457–476.
22. Shaw J. Genesis of the Sveg tills and Rogen moraines of central Sweden: a model of basal melt out. *Boreas*. 1979. Vol. 8. No. 4. P. 409–426.
23. Kaplyanskaya F.A. and Tarnogradskii V.D. *Glyatsial'naya geologiya: Metodicheskoe posobie po izucheniyu lednikovykh obrazovanii pri geologicheskoi s'emke krupnogo masshtaba* (Glacial geology: Methodical textbook for study of glacial formations at the large-scale geological survey). St. Petersburg: Nedra (Publ.), 1993. 328 p.
24. Lavrushin Yu.A. *Stroenie i formirovanie osnovnykh moren materikovykh oledenenii* (Structure and forming of basal moraines of continental glaciations). M.: Nauka (Publ.), 1976. 237 p.
25. *Sistema Belogo morya. Tom IV. Protsessy osadkoobrazovaniya, geologiya i istoriya* (System of the White Sea. Vol. IV. Sedimentary processes, geology and history). A.P. Lisitsyn (Ed.). M.: Nauchnyi mir (Publ.), 2017. 1030 p.
26. Brennand T.A. Deglacial meltwater drainage and glaciodynamics: inferences from Laurentide eskers, Canada. *Geomorphology*. 2000. No. 32. P. 263–293.

ГЕОМОРФОЛОГИЯ, 2021, том 52, № 2, с. 52–62

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.438.5/551.435.1

ТИПЫ ВЗАИМОСВЯЗИ ИНФРАСТРУКТУРЫ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ С ЭРОЗИОННО-РУСЛОВЫМИ СИСТЕМАМИ

© 2021 г. С. Н. Ковалёв[1,*], Р. С. Чалов[1,]**

[1]*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия*

**E-mail: kovalevsn@mail.ru*

***E-mail: rschalov@mail.ru*

Поступила в редакцию 17.07.2020 г.
После доработки 27.09.2020 г.
Принята к публикации 22.12.2020 г.

Обобщены результаты исследований взаимоотношений инфраструктуры населенных пунктов (сельских и городов) с эрозионным рельефом и овражной эрозией, реками и русловыми процессами. От степени расчленения их территорий овражно-балочной и речной сетью, расположения поселений на берегах рек – от малых до крупнейших – зависят формирование инфраструктуры и условия жизнедеятельности населения. Большинство населенных пунктов приурочено к рекам и крупным балкам с постоянным водотоком, т.е. к формам рельефа, с которыми, в первую очередь, связаны снабжение водой, условия для производственной деятельности и получения энергии, транспортные связи. Вместе с тем овражная эрозия и русловые деформации создают опасность разрушения объектов или вывода их из эксплуатации. С ростом населенных пунктов, развитием их технических и экономических возможностей расширяется воздействие сначала на отдельные элементы, а затем на весь эрозионный рельеф, осуществляется защита от опасных проявлений овражной эрозии и русловых процессов. На разных стадиях существования населенные пункты полностью зависят от рельефа и процессов, подстраиваясь или преобразуя их, нейтрализуя неблагоприятное развитие эрозионных и русловых процессов. От того, насколько правильно выбрана территория для поселения, рационально используются особенности эрозионного рельефа, учитываются русловые деформации и вероятность оврагообразования, зависит его устойчивость. Итогом оценки взаимодействия инфраструктуры населенных пунктов (от малых сельских до крупнейших городов) является общая классификация взаимосвязей городских и сельских поселений, зависящих от их соотношения (взаимодействия) с эрозионным рельефом, овражной эрозией и русловыми процессами. Выделяются города и сельские поселения подчиненные, соподчиненные, подчиняющие и подавляющие эрозионный рельеф, реки и русловые процессы. Чем больше город, тем сложнее эти соотношения, и разные районы городов могут относиться к разным типам взаимодействия.

Ключевые слова: овраги, балки, эрозионный рельеф, реки, русловые процессы, города

DOI: 10.31857/S0435428121020048

ВВЕДЕНИЕ

Рельеф – материальная основа территории любых населенных пунктов (НП). От степени его расчленения эрозионными формами и расположения НП на берегах рек зависит формирование их инфраструктуры – рельеф диктует размещение жилых и промышленных объектов, коммуникаций и т.д.

Исторически участки для населенных пунктов (НП) выбирались на высоких берегах рек, которые были ограничены с 2–3 сторон долинами малых рек, балками и оврагами, что обеспечивало защиту поселений и облегчало доступ к главной реке. В пределах Европейской части России только городов в устьях крупных оврагов и овражно-балочных систем (ОБС) – 147. Большинство НП приурочено к рекам и крупным балкам с постоянным водотоком, т.е. к тем формам рельефа, которые, в первую очередь, могли обеспечить бесперебойное снабжение водой, условия для производственной деятельности и получения энергии удобных транспортных связей и рекреации [1, 2]. Поэтому большинство городов и населенных пунктов находится на берегах рек. 89% всех городов России расположены на одной реке (другие реки в их пределах существенно меньше главной реки), 5% – в узлах слияния равных по водности рек и 1% в устьях рек. Вместе с тем в процессе овражной эрозии и русловых деформаций, характерных для подобных мест, возникает опасность разрушения объектов, вывода их из эксплуатационного состояния, занесения наносами и обмеления акваторий.

С ростом территории, развитием технических и экономических возможностей НП расширялись возможности их воздействия сначала на отдельные элементы, а затем на весь эрозионный рельеф, осуществлялась защита от опасных проявлений эрозии и русловых процессов. На разных стадиях существования НП полностью зависели от рельефа и процессов, подстраивались под них, или преобразовывали рельеф, нейтрализовали неблагоприятное развитие эрозионных и русловых процессов.

Взаимодействие овражно-балочных систем и рек с НП складывается по-разному. Для оврагов и балок их влияние выражается в воздействии эрозионных процессов на инфраструктуру, преобразовании эрозионного рельефа на территории НП. Воздействие рек на инфраструктуру НП связано с переформированиями их русел. При этом возможны экстремальные проявления овражной эрозии и русловых деформаций, приводящие к катастрофическим последствиям и чрезвычайным ситуациям.

В зависимости от размеров и эволюции НП изменяется взаимовлияние эрозионно-русловых систем и их инфраструктуры, соответственно меняются условия жизнедеятельности и жизнеобеспечения населения.

СООТНОШЕНИЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ С ЭРОЗИОННЫМ РЕЛЬЕФОМ И ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИЕЙ

Взаимосвязь инфраструктуры НП, овражно-балочных систем, их планировка, использование или игнорирование особенностей эрозионного рельефа на протяжении веков изменялись. Это было сначала вынужденное подчинение в зависимости от типа и набора эрозионных форм, затем их использование или преобразование в соответствии с хозяйственными нуждами и материально-техническими возможностями. По степени и характеру взаимодействия инфраструктуры НП с эрозионным рельефом или стадии взаимодействия по мере их роста, развития техники и экономических возможностей все поселения можно разделить на четыре типа [3, 4].

I. *Подчиненные эрозионному рельефу* – все элементы инфраструктуры располагаются в зависимости от рельефа, который изначально не преобразовывается или преобразуется минимально по объему и площади. К таким НП относятся сельские поселения с населением до 10 тыс. чел., малые и отчасти средние города (до 100 тыс. чел.). Размеры сооружений меньше или соразмерны оврагам. НП располагаются в пределах одного-двух водосборов оврагов или балок, или основная часть водосбора находится вне их пределов; на развитии НП сказываются процессы на водосборе, а инфраструктура НП не влияет на них. Бороться с овражной эрозией такие НП не могут из-за недостаточности материальных и технических ресурсов, приходится мириться с оврагообразованием. Застройка территории зависит от параметров водосборов овражно-балочных систем. Например, г. Вольск расположен в пределах водосборов двух овражно-балочных систем, площадь которых больше городской территории (отношение – 1.35). Город пытается “уйти” от зависимости от оврагов и балок, расширяя свою территорию по узкому “коридору” между водосборами за их пределы.

Другой пример – г. Балашов: водосборы овражно-балочных систем располагаются в пределах городской территории. Большая часть инфраструктуры подчинена основным направлениям простирания балок. Площадь водосборов составляет 35% площади города. Днища балок в центральной (исторической) части заняты малоэтажными жилыми домами, которые постоянно испытывают на себе последствия половодий и паводков; в крупных балках на окраине города активные оползневые процессы подвергают сооружения опасности разрушения. Городская инфраструктура подстраивается под эрозионный рельеф, но влиять на процессы она не в состоянии, или ее воздействие минимальное. Только при затухании эрозионных и склоновых процессов инфраструктура города начинает осваивать овражно-балочные системы.

II. *Соподчиненные* – большая часть строений в НП (численность населения – 100–200 тыс. чел.) вписана в эрозионный рельеф. Уже на стадии проектирования объектов и сооружений учитывались его особенности или строительство осуществлялось по исторически сложившимся схемам. Застройка производится, исходя из практических соображений или основываясь на накопленном опыте. Овраги в пределах НП, вне зависимости от причин их образования, частично используются в различных хозяйственных целях или преобразовываются. Размеры сооружений и их комплексы соответствуют линейным размерам оврагов или превышают их.

Такое исторически сложившееся соподчиненное взаимодействие поселения и овражных систем характерно для правобережья Волги. Населенные пункты располагались по бортам оврагов и балок, что повышало обороноспособность при набегах татаро-монгольских полчищ и обеспечивало спуск к реке с высокого берега. Принцип расположения строений по бортам оврагов был частично использован в г. Чебоксары. Первые городские дома располагались на водораздельных поверхностях балок и оврагов, но при последующем росте города улицы прокладывались вдоль малых рек (долины которых являются крупными

древними балками), а овраги разделяли отдельные микрорайоны и кварталы. При регулярности застройки между оврагами и балками четко прослеживается общая секторно-мысовая планировка города, следующая основным направлениям эрозионной сети, и дробление микрорайонов на более мелкие территориальные единицы. При этом центральная планировка, основанная на исторической застройке, резко отличается от планировки новых районов вдоль р. Волги. При всей целостности города он состоит из множества разноразмерных таксонов, находящихся в зависимости от эрозионного рельефа. Площадь водосборов овражно-балочных систем в г. Чебоксары составляет 21% от площади города.

Другой пример – Брянск, исторические районы которого расположены на нагорной части, где наиболее ярко выражено соотношение овражно-балочных систем и инфраструктуры города, прослеживающееся во временном разрезе и при решении современных градостроительных проблем. Основные магистрали города и регулярная планировка кварталов зависят от простирания овражно-балочных систем. Группы кварталов вписаны в эрозионный рельеф, обтекают его и располагаются, в основном, в пределах водосборов балок. Активные эрозионные и инженерно-геологические процессы разрушают борта балок и располагающиеся на них постройки. Чем сильнее городская инфраструктура влияет на овражно-балочную систему, тем сильнее ее ответная негативная реакция. Соотношение площадей водосборов овражно-балочных систем и территории нагорной (исторической) части города – 69%.

III. *Подчиняющие эрозионный рельеф* – крупные и крупнейшие города с населением свыше 500 тыс. чел. При сооружении объектов происходит частичное преобразование рельефа на всей территории или на значительной ее части. Элементы инфраструктуры располагаются с учетом особенностей эрозионного рельефа и используют его. Размеры отдельных сооружений равны размерам оврагов, а их комплексы намного превышают отдельные овраги, соответствуя овражным системам. К этой категории относится Нижний Новгород, отличающийся сбалансированной схемой застройки городской территории. В нагорной (исторической) части города мелкие овраги и вершины крупных оврагов и балок засыпаны, в них предусмотрена система дренажа для отвода поверхностных вод. Крупные овраги и балки используются в качестве транспортных артерий. Водосборы овражно-балочных систем практически полностью зависят от условий формирования стока воды в пределах селитебной территории. В результате инфраструктура города определяет активность эрозионных процессов, а овражно-балочные системы не влияют активно на город, став частью его инфраструктуры. В то же время город, используя эрозионные формы рельефа, зависит от них. Таким образом, овражно-балочные системы и инфраструктура города находятся в определенном равновесии, которое сложно нарушить.

IV. *Подавляющие эрозионный рельеф* – города или их части, крупные промышленные предприятия, в процессе роста которых или уже на стадии проектирования особенности рельефа не учитываются, и строительство ведется с полным преобразованием территории под нужды застройки. Это – крупнейшие города, занимающие расчлененные территории, которые в своем развитии в течение столетий прошли все стадии взаимодействия с овражной эрозией. Показательный пример – Москва. В первые 200 лет своего существования город был зависим от оврагов, которые ограничивали его развитие. В то же время овраги входили в систему оборонительных сооружений и инфраструктуры, т.е. город их использовал. Таким образом, на первом этапе город был одновременно и подчиненным, и соподчиненным. Второй этап развития города характеризовался сложным типом взаимодействия. К 1650 г. он представлял агломерацию с ядром Белого города и посадов, располагающихся на междуречьях крупных оврагов. Днища оврагов с ручьями запруживали плотинами с мельницами, овраги служили границами между слободами или по ним прокладывали дороги. В этот период городская территория в одних частях была соподчиненной – овраги делили ее на отдельные таксоны, на других – подчиняющей. В это же время в пределах нагорной, сильно расчлененной территории и старой застройки в пределах Садового кольца город стал относиться к подавляющему типу. Были засыпаны и уничтожены многочисленные овраги, о существовании которых напоминает топонимика города (переулок Сивцев вражек и др.).

На третьем этапе, до 1950 г., город развивался в основном на относительно выровненных поверхностях, где не было оврагов, не считая нескольких береговых по левобережью р. Москвы. Они не влияли на инфраструктуру города, но городская застройка практически лишила их водосборов. С выходом городской застройки в 1960-е годы на Теплостанскую возвышенность наступил новый этап взаимодействия овражно-балочных систем с инфраструктурой города, началось тотальное изменение рельефа, выразившееся в уничтожении оврагов и частично малых рек на новых территориях. С этого времени Москва стала городом подавляющего типа не только в своей исторической (центральной) части, но и за ее пределами.

Однако это не означает, что весь огромный город относится к подавляющему типу. Обширные рекреационные зоны в его пределах можно считать нейтральными. В то же время в них иногда вклинивается городская застройка, и тогда их

Таблица 1. Соотношение между площадями овражно-балочных систем ($S_{обс}$) и городских территорий ($S_г$)

Город	Кол-во овражно-балочных систем	$S_{обс}/S_г$
Москва (на 1968 г.)	231	0.1
Балашов	21	0.34
Брянск	11	0.12
Волгоград	113	0.32
Вольск	9	1.35
Елабуга	15	0.16
Курск	35	0.31
Нижний Новгород	47	0.05
Саратов	68	0.23
Смоленск	83	0.2
Чебоксары	35	0.21

можно считать соподчиненными, в ряде случаев – подчиненными, а на нагорной части в районе велотрассы Крылатских холмов, даже подчиняющей, поскольку сама трасса проложена, приспосабливая и частично изменяя овражно-балочный рельеф.

Аналогичная ситуация складывается и в других городах подавляющего типа – Волгограде, Казани, с тем отличием, что на их территориях в большей мере, чем в Москве, встречаются другие типы соподчинения.

Приведенная типизация относится к взаимодействию овражно-балочных систем и инфраструктуры НП вне зависимости от их площадей, поскольку рассматривается весь город. Но изначально города возводились на возвышенных элементах рельефа, и их территория располагалась на нагорной части, расчлененной оврагами и балками. Со временем территория города увеличивалась за счет распространения его по плакору, либо переходила на прилегающие низины – подолы. В первом случае площадь города – это площадь нагорной части, во втором – площадь нагорной может быть меньше площади подола. Для классификации по условиям взаимодействия овражно-балочных систем и инфраструктуры города это не имеет значения. Но реально взаимодействуют не отдельные формы рельефа и сооружения (или их комплексы), а процессы на балочных водосборах и в оврагах, определяемые, в основном, особенностями формирования стока воды на селитебной территории. Отношение площади овражно-балочных систем к площади всего города отражает степень зависимости инфраструктуры от овражно-балочных систем – чем оно меньше, тем меньше город зависит от эрозионного рельефа (табл. 1).

Отнесение большого по площади города к тому или иному типу взаимодействия носит экспертный характер, поскольку изменения инфраструктуры могут происходить очень быстро и, чем больше НП, тем оно разнообразнее в разных его частях. Поэтому в некоторых случаях тип взаимодействия и взаимовлияния даже для небольших городов определить затруднительно. Например, Елабуга – малый город, но его территория подразделяется на несколько частей, соответствующих разным типам – от подчиненного до подавляющего: 1) исторический центр относится к подавляющему типу – вся сеть улиц представляет прямоугольную сеть, наложенную на эрозионный рельеф; 2) территория сложившейся малоэтажной застройки между оврагами по правому берегу р. Камы, относящаяся к подчиненному типу; 3) гражданская и малоэтажная (дачная) застройка по западной части города – к соподчиненному типу; 4) нейтральная территория без оврагов и балок, находящаяся в пределах пойменно-террасового комплекса р. Камы.

Примеры Москвы и Елабуги показывают, что не всегда можно однозначно отнести город к какому-то одному типу. Это зависит как от площади города, так и от истории его развития и специфики взаимосвязи его инфраструктуры с водосборами овражно-балочных систем. С усложнением инфраструктуры города, которая изменяется быстрее овражно-балочных систем, происходит и усложнение взаимодействия между ними.

Развитие овражной эрозии в НП сопровождается рядом негативных явлений, прямыми, связанными с эрозионной деятельностью временных водотоков, и косвенными – с инженерно-геологическими процессами, сопровождающими или вызванными овражной эрозией (табл. 2). Опасные процессы и их последствия возникают и после затухания собственно овражной эрозии (оползни на бортах оврагов и склонах балок), а также могут быть следствием засыпки оврагов или использования их в качестве транспортных путей, для свалок мусора или отходов коммунального хозяйства. Засыпанные овраги представляют собой “мины замедленного действия”, так как в насыпном грунте развивается суффозия, приводящая иногда к провалам на улицах и обрушению зданий. Засыпка оврагов сопровождается подъемом уровня грунтовых вод и, как следствие, подтоплением подвальных и цокольных этажей зданий.

Таблица 2. Опасность овражной эрозии в зависимости НП от типа соотношения с эрозионным рельефом

Категория поселений		Тип соотношения	Опасные проявления	
			прямые	косвенные
Сельские поселения	Малые	Подчиненные	Расчленение территории, разрушение хозяйственных и жилых строений	Скопление и вынос из оврагов продуктов размыва, мусора, загрязняющих веществ в реки и водоемы, их химическое загрязнение. Оползни по бортам оврагов и на склонах балок
	Средние			
	Большие			
	Крупные			
Города	Малые			
	Средние	Соподчиненные	Разрушение инженерных сооружений, коммуникаций, других элементов инфраструктуры	Подтопление сооружений при засыпке оврагов, ухудшение экологического состояния при складировании мусора и отходов
	Большие			
	Крупные	Подчиняющие	Разрушение дренажной системы и коммуникаций в преобразованных оврагах	Развитие опасных инженерно-геологических процессов, общее ухудшение экологического состояния
	Крупнейшие	Подавляющие	Развитие донных врезов в балках в рекреационных зонах, переформирования водосборов и увеличение стока воды	Разрушение ливневой канализации, формирование подземного стока по засыпанным оврагам, развитие суффозионных процессов и провалов

СООТНОШЕНИЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ С РЕКАМИ И РУСЛОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Соотношения рек с инфраструктурой населенных пунктов более многообразны, зависят не только от их размеров, но и от размеров рек и устойчивости русел. Жизнь сельских поселений и малых городов на берегах рек во многом определяется русловыми деформациями, причем обратное воздействие НП на реки отсутствует или минимально, сводится к их защите от неблагоприятных воздействий. Средние и тем более крупнейшие города полностью “поглощают” малые, а на урбанизированных территориях – даже средние реки (пример – г. Москва и Подмосковье), тогда как большие и крупнейшие реки остаются важнейшим условием жизни этих городов. Чем больше река, тем в большей мере ее русло сохраняется в естественном или близком к нему состоянии, подвергаясь лишь некоторым изменениям, подобно малым рекам в селах и малых городах. Но происходящие переформирования русел рек сопровождаются размывами берегов и разрушением находящихся на них объектов, обмелением водозаборов и выпусков сточных вод, судовых ходов, акваторий портов и причалов вплоть до “ухода” реки от НП. Л.И. Мечников [1, цитируется по изданию 1995 г., с. 335] подчеркивал, что реки, являются “основной причиной зарождения и развития цивилизации”, но “под угрозой неминуемой смерти река-кормилица заставляет население соединять свои усилия на общей работе” [1, с. 358].

Для малых рек полностью применимы подходы к типизации взаимосвязей их русел и русловых процессов с инфраструктурой урбанизированных территорий, которые предложены для овражно-балочных систем и овражной эрозии. Сложнее с типизацией НП по их соотношению со средними, большими и крупнейшими реками, которые по масштабам воздействия на НП соизмеримы или существенно превышают их. В то же время территории городов, располагаясь на берегу или обеих берегах большой реки, включают в себя, или расчленяются средними и малыми реками, русловые процессы которых создают, как и средние и большие реки, опасность для городской инфраструктуры. Так, в г. Рыбинске, наряду с размывами берегов р. Волги и р. Шексны, правый приток Волги – р. Черемуха угрожает размыву улице и разрушению многоэтажных домов.

Таблица 3. Оценка (в баллах) взаимовлияния русловых процессов и населенных пунктов [5, с изменениями и добавлениями]

Баллы	Влияние русловых процессов на населенные пункты	Влияние населенных пунктов на русла рек
0	Отсутствует	Отсутствует, нейтральное или не проявляется
1	Местные небольшие размывы берегов, заносимость водозабора и водных подходов к причалам, затопление при экстремальных половодьях освоенных участков поймы	Отдельные регуляционные сооружения, водозабор, дноуглубление на перекатах судоходных рек и для обеспечения водных подходов. Набережная в центре города; противопаводковые дамбы; причалы; мостовой переход. Берега частично утратили естественный облик, но русло сохраняет естественное состояние
2	“Уход” реки от города или размывы берегов на значительной части (до 50–60% длины), интенсивные оползневые процессы и оврагообразование на берегах при подмыве, регулярное затопление освоенной поймы	Набережные или берегоукрепление на 20–60% береговой линии, частичный намыв поймы под застройку или ее обвалование; перекрытие поймы подходными дамбами к мостам; выправление русла для судоходства; водозаборы; мостовые и подводные переходы; русловые и пойменные карьеры; перекрытие рукавов, в русле – техногенные отложения. Частичные изменения морфологии русла и нарушения речной экосистемы
3	Размывы берегов на протяжении более 60% их длины, приводящие к отдельным разрушениям; нарушения работы водозаборов и водовыпусков из-за их заносимости. Просадка уровней как следствие карьерных разработок и размывов русла в нижних бьефах гидроузлов	Сплошные набережные и берегоукрепление, массовые русловые карьеры, утрата рекой рекреационных качеств, загрязнение донных отложений, водозаборы и водовыпуски, мостовые и подводные переходы; выборочное выправление русла, дноуглубительные прорези, канализирование малых рек. Частичная утрата руслом реки естественного облика
4	Сплошной размыв берегов, иногда экстремальный, с разрушением улиц, зданий, коммуникаций; заиление и занесение наносами водных подходов вплоть до вывода из строя водозаборов и водовыпусков, уничтожение пляжей и других мест рекреации; подмостовые размывы, приводящие к аварийной ситуации; обрывы подводных переходов через реки из-за размывов русла; катастрофические просадки уровней воды; “уход” реки от города	Полное канализирование русла, заключение малых рек в трубы, сплошное расположение инженерных сооружений по берегам, многочисленные мостовые и подводные переходы; противопаводковые дамбы; выправительные сооружения; плотины, регулирующие сток; накопления техногенных илов, городская и промышленная застройка поймы, ее обвалование или намыв; русловые и пойменные карьеры; капитальные дноуглубительные прорези. Полная ликвидация речной экосистемы, распространение влияния города вниз по течению

Города и населенные пункты, эксплуатируя протекающие через или возле них реки, используя водные ресурсы, возводя на берегах различные инженерные сооружения, прокладывая вдоль и через реки коммуникации, создавая возле рек городскую среду и, наконец, защищая себя от опасных проявлений русловых и гидрологических процессов (размывов берегов, наводнений) в обратной связи воздействуют на реки, изменяют или создают новые условия, в которых формируются русла, развиваются русловые процессы (табл. 3). Степень создаваемой русловыми процессами опасности и измененности русел под влиянием урбанизации оценивается в баллах по пятибалльной шкале – от 0 до 4 [5, 6] независимо от размеров и НП, и рек.

Сочетание баллов опасности русловых процессов, с одной стороны, и мощности воздействия на них инфраструктуры НП, с другой, позволяет классифицировать их, подобно типизации поселений, в зависимости от взаимодействия с овражно-балочными системами [4], хотя и с некоторыми отличиями: здесь речь идет о процессах, воздействующих на НП, тогда как для овражно-балочных на первый план выдвигаются созданные процессами формы рельефа. Можно также говорить о НП, нейтральных по отношению к русловым процессам и практически не влияющих на них. К таковым относятся НП на реках с устойчивыми, практически недеформируемыми руслами или на коренных неразмываемых берегах. Выделяются следующие типы соотношений городов и сельских поселений с русловыми процессами: I – *подчиненные рекам*, т.е. полностью зависящими от речной сети и русловых деформаций в пределах поселений и оказывающие на русла рек минимальное воздействие; II – *соподчинение с реками*, в которых при проведении застройки, возведении и устройстве защитных и регуляционных сооружений, набережных и рекреационных зон учитывают опасность и режим русловых деформации, но в то же время повышенная техногенная нагрузка в значительной мере изменила естественный русловой режим рек; к этой же категории, очевидно, относится опасность “ухода” реки от города (населенного пункта); III – *подчиняющие речную сеть*, в которых даже крупнейшие реки в той или иной мере оказываются приспособленным к потребностям города, хотя в основном сохраняют естественный облик, тогда как малые реки полностью или частично деградируют, искусственно уничтожаются; к этой категории относятся только большие крупные и крупнейшие города; IV – *подавляющие реки*; это – большие и крупнейшие города, где опасность русловых процессов проявляется только со стороны больших и крупнейших рек и которые могут сохранить естественный русловой режим; все же остальные реки, а их может быть достаточно много, оказываются полностью искусственно измененными.

Пример сельского поселения *подчиненного* типа – поселок Высокий Мыс на левом вогнутом берегу средней Оби, расположенный на террасе, сложенной легко размываемыми песками, суглинками. В первой половине XX века берег еще не размывался. Продольное смещение излучины привело к тому, что фронт размыва берега сместился к поселению. При скорости размыва 5–7 м/год это создает реальную угрозу разрушения строений на берегу. В перспективе дальнейшее смещение излучины приведет к прекращению размыва, но это можно ожидать через 50–70 лет. За это время будет уничтожена значительная часть поселения, под угрозой разрушения окажется историческая его часть, созданная при освоении Приобья в XVII веке.

Якутск – большой город на крупнейшей р. Лене, тоже подчиненного типа, под влиянием естественных русловых переформирований русла оказался в сложной водохозяйственной ситуации [7]. Город был основан и развивался на левом берегу Городской протоки, еще в первую четверть XX века бывшей основным судоходным рукавом. Сейчас это маловодная пойменная протока. Лишь нижняя (по течению) часть города находится возле сохраняющегося пока многоводным левого рукава (Адамовской протоки), который за последние 50 лет утратил свое значение основного рукава (его водность поддерживается разработкой прорезей для обеспечения работы водозабора и подходов к порту). Общая тенденция смещения реки в направлении правого берега, смещение вниз по течению основных островных массивов, изменение морфодинамического типа русла (сопряженных разветвлений на параллельно-рукавные) и наблюдаемое оттаивание в русле многолетнемерзлых грунтов, в обозримом будущем может привести к окончательному “уходу” реки от города. Таким образом, Якутск – большой город на крупнейшей реке, зависящий от переформирований ее русла, но оказывающий на ее русловой режим лишь незначительное воздействие. В аналогичной ситуации находятся Сыктывкар – большой город на р. Вычегде, Колпашево (малый город) на р. Оби, с. Вернее Катунское на р. Катуни.

Сольвычегодск на р. Вычегде – пример малого города, *соподчиненного с рекой*; его историко-архитектурные памятники оказались под угрозой разрушения из-за развития излучины русла. Для защиты города еще в конце XIX – начале XX веков предпринимались меры по берегоукреплению, а в 1970–1980-е годы был разработан и реализован проект спрямления излучины; вогнутость правого берега была перекрыта дамбой из каменной наброски, а акватория между ней и берегом заполнена намывным грунтом. В результате угроза разрушения была ликвидирована, а по правобережью создана рекреационная парковая зона.

Барнаул на Оби – крупный город на большой реке, расположенный на ее левом высоком берегу. Несмотря на многочисленность различных объектов хозяйственной деятельности, р. Обь сохранила свой естественный облик. Обратное воздействие русловых процессов на город сравнительно невелико, хотя для обеспечения работы городского водозабора и защиты опор ЛЭП от размыва выполнено сплошное укрепление вогнутого правого берега, а при строительстве автомобильного моста перекрыт глухой дамбой правый рукав, бывший еще в середине XX века судоходным и забирающий 30% расхода воды. Это приве-

ло к активизации русловых деформаций, обмелению акватории речного вокзала и активизации размыва берегов. Правобережная широкая пойма сверху и снизу перекрыта глухими подъездными дамбами к мостовым переходам, что способствовало сосредоточению потока половодья в русле, его размывам и заболачиванию поймы, привело к утрате ею рекреационных качеств.

К типу *подчиняющих* относится г. Новосибирск на Оби – крупнейший город на большой реке, дающий пример наибольшего воздействия на русла рек. Он расположен в нижнем бьефе гидроузла, на обоих берегах реки; город полностью освоил неширокую пойму; через реку проложены автомобильные и железнодорожные мосты, метромост; берега частично превращены в набережные; в русле велась разработка карьеров и проводятся дноуглубительные работы на перекатах; на реке находятся порт, речной вокзал, водозаборы и множество других сооружений. Все это привело к тому, что русло от плотины на расстоянии более 30 км практически утратило естественный облик. В то же время обратное воздействие русловых процессов на городское хозяйство сравнительно невелико. Основным является "посадка" уровней воды в связи с размывами русла в нижнем бьефе ГЭС; и, хотя в пределах города они прекратились, но распространяясь вниз по течению, продолжают сказываться в понижении уровней (1 см в год) [8]. Аналогичные изменения русла и обратные воздействия реки на город характерны для р. Енисея у Красноярска, р. Ангары у Иркутска, на р. Томи у Томска.

На территории всех упомянутых городов, расположенных на больших и крупнейших реках, протекают малые реки, гидрологической и русловой режим которых, как и их морфологический облик, полностью изменены; во многих случаях они превращены в сточные канавы. Лишь в последние 20–30 лет в некоторых городах их стали реконструировать (р. Барнаулка в Барнауле, р. Ушайка в Томске, р. Омь в Омске).

К типу подавляющих относятся крупнейшие города России – Москва и Санкт-Петербург. В Москве главная река – Москва, на всей территории города зарегулирована, ее берега, как и берега основного притока – р. Яузы, превращены в гранитные или бетонные набережные. Большинство малых рек и ручьев исчезло, будучи забранными в трубы или засыпанными [9]. Лишь по периферии "старой" Москвы они сохранили внешне естественный облик, но их русловой режим полностью изменен под влиянием города (Лихоборка, Сетунь, Раменка и др.). В Санкт-Петербурге, располагающемся в дельте р. Невы и на ее придельтовом участке, главная река и все дельтовые рукава также "убраны" в гранитные берега, а русловой режим малых рек – притоков Невы, трансформирован городским хозяйством и градостроительством.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Овражно-балочные системы и речные русла, овражная эрозия и русловые процессы являются звеньями эрозионно-русловых систем [10], расчленяющих рельеф селитебных территорий, размывающих берега и разрушающих объекты, приводящие к обмелению речных акваторий и создающих неблагополучную экологическую обстановку в населенных пунктах – от деревни до большого города, в том числе из-за создаваемой овражной эрозией и русловыми деформациями опасности для жизнедеятельности людей. От того, насколько правильно выбрана территория для поселения, рационально используются особенности эрозионного рельефа, учитываются русловые процессы и вероятность оврагообразования, зависит его устойчивость. Овражно-балочные системы и реки находятся в неразрывной связи. В зависимости от размеров населенного пункта и его развития взаимосвязь видоизменяется. Подмывы высоких берегов провоцируют образование оврагов, которое прекращается, если русло отходит от берега или регулируется гидротехническими мероприятиями. Выносы грунта из оврагов и балок оттесняют речной поток от одного берега и, изменяя положение стрежневой зоны потока, влияют на состояние судового хода, способствуют размывам противоположных берегов, вызывая разрушения в заречных частях городов [11].

Итогом оценки взаимодействия инфраструктуры населенных пунктов (от малых сельских до крупнейших городов) является общая классификация городских и сельских поселений в зависимости от их соотношений (взаимовлияния) с эрозионным рельефом, овражной эрозией и русловыми процессами (табл. 4).

В овражно-балочных системах важнейшим фактором является взаимодействие процессов, происходящих на их водосборах, с территорией поселений. От пространственного положения и площади водосборов относительно населенного пункта зависит уровень взаимовлияния. Также обоюдно влияние НП на малые реки, особенно если большая часть их бассейна располагается в пределах городской территории.

Чем больше река и меньше НП, тем в большей мере их функционирование зависит от русловых деформаций. Для малых сел и деревень даже ручьи вызывают локальные неблагоприятные явления, но сами они могут быть подвержены заметным изменениям. Влияние больших рек на большие и крупнейшие города очень разнообразно и может быть весьма существенным. В свою очередь города оказывают постоянное воздействие на русла рек, регулируя их для обеспечения бес-

Таблица 4. Классификация городов и сельских поселений (М – малые, С – средние, Б – большие, К – крупные) в зависимости от типа их соотношений с эрозионным рельефом, овражной эрозией и русловыми процессами

Категория поселений		Тип поселений	Овражная эрозия	Русловые процессы
Сельские	К Б С М	Подчиненные	Все элементы инфраструктуры располагаются в зависимости от типа и форм эрозионного рельефа; городская инфраструктура подстраивается под него, не оказывая влияния, или оно минимальное. Овражная эрозия создает опасность разрушения строений и коммуникаций	Полностью зависят от речной сети и русловых деформаций; оказывают на русла рек минимальное воздействие
Города	Малые			
	Средние	Соподчиненные	Большая часть строений в НП вписана в рельеф; на стадии проектирования сооружений учтены особенности рельефа, или строительство осуществляется по исторически сложившимся схемам	Застройка, защитные и регуляционные сооружения, набережные и рекреационные зоны учитывают опасность и русловые деформации, повышенная техногенная нагрузка в значительной мере изменяет русловой режим; возможен “уход” большой реки от города, размывы берегов на малых реках
	Большие			
	Крупные	Подчиняющие	Элементы инфраструктуры располагаются с учетом особенностей эрозионного рельефа и используют его	В той или иной мере приспособлены к потребностям города, хотя сохраняют естественный облик, малые реки полностью или частично деградируют или канализованы
	Крупнейшие	Подавляющие	В процессе роста или на стадии проектирования населенных пунктов особенности эрозионного рельефа не учитываются, строительство ведется с полным преобразованием территории под нужды застройки, овражно-балочная сеть ликвидируется или используется для коммуникаций и рекреационных зон	Опасность русловых процессов проявляется только со стороны больших и крупнейших рек, которые могут сохранить естественный русловой режим; остальные реки, в том числе средние искусственно изменены, канализованы, малые убраны в коллекторы или засыпаны

перебойного функционирования объектов водного хозяйства, водных путей, подходов к портам и причалам, защиты берегов от размыва и т.д. Однако во многих случаях эти воздействия по своим масштабам уступают размерам рек, и реки сохраняют свой естественный облик.

Особенность городов – одновременное проявление нескольких, а в больших и крупнейших городах – всех видов соотношений их взаимодействия с реками и овражно-балочным рельефом. Чем больше города, тем более разнообразны и многочисленнее различные формы соотношений города и эрозионно-русловых систем. При этом большие города по отношению к оврагам, балкам, малым и даже средним рекам находятся в неодинаковых условиях в центральных и окраинных своих частях – районах: если в первых малые реки могут быть убраны в коллекторы, овраги засыпаны и прекратили свое существование, то по периферии они сохраняются в естественном или близком к нему состоянии. При этом в последнее время существует тенденция расширения территории городов на пойменные заречные части, что может привести к усилению влияния русловых процессов на городскую инфраструктуру.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выполнено по госзаданию НИЛаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического ф-та МГУ № АААА-А16-116032810084-0 (овражная эрозия и овражно-балочные системы) при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-00487 (русловые процессы, их опасность и чрезвычайные ситуации в городах).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мечников И.И.* Цивилизация и великие исторические реки. М.: Голос труда, 1924 (М.: Прогресс–Пангея, 1995. 464 с).
2. Город – экосистема. М.: Медиа-ПРЕСС, 1997. 250 с.

3. *Ковалев С.Н.* Города и овраги – история и современность. М.: ПринтКоВ, 2019. 186 с.
4. *Ковалев С.Н.* Овражно-балочные системы в городах. М.: ПринтКоВ, 2011. 138 с.
5. *Зорина Е.Ф., Ковалев С.Н., Рулева С.Н., Чалов Р.С.* Опасности проявления процессов, обусловленных поверхностными водами, на урбанизированных территориях // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 17. М.: Изд-во МГУ, 2010. С. 71–94.
6. *Чалов Р.С., Зорина Е.Ф., Ковалев С.Н., Рулёва С.Н.* Оценка опасности овражной эрозии и русловых процессов на урбанизированных территориях и методы их прогнозирования // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 7. М.: Изд-во МГУ, 2020. С. 112–144.
7. *Чалов Р.С., Завадский А.С., Ботавин Д.В., Головлёв П.П., Морозова Е.А., Сурков В.В.* Покровско-Якутский водный узел на р. Лене: современные деформации и управление русловыми процессами // Изв. РАН. Сер. геогр. 2019. № 6. С. 83–96.
8. *Беркович К.М.* Русловые процессы в сфере влияния водохранилищ. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2012. 163 с.
9. *Румянцев И.С.* Страницы истории российской гидротехники. М.: МГУП, 1999. 211 с.
10. Эрозионно-русловые системы. М.: Инфра-М, 2017. 702 с.
11. География овражной эрозии М.: Изд-во МГУ, 2006. 324 с.

Types of relations between populated areas infrastructure and catchment erosion-fluvial systems

S. N. Kovalev[a,#] and R. S. Chalov[a,##]

[a] *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*
[#] *E-mail: kovalevsn@mail.ru*
[##] *E-mail: rschalov@mail.ru*

The results of studies of relationship between populated areas infrastructure (rural and urban) and erosional relief, gully erosion and channel processes are generalized. The formation of infrastructure and living conditions of the population depend on the degree of territory dissection by ravine-gully and river network, location of settlements on river banks – from small to the largest. Most of the settlements are confined to rivers and large gullies with a permanent watercourse, because these landforms supply water, ideal for industry development, energy production and transportation. At the same time, gully erosion and channel migration create certain risks for disfunction or destruction of operating facilities. With the growth of settlements and development of their technical and economic potential, the impact on certain elements and on the entire erosional relief is expanding, and the protection from hazardous gully erosion and channel processes is necessary. At different stages of their existence, settlements may completely depend on the relief, adjust to or transform erosion and channel processes, neutralizing their negative impact on human activities. Sustainable development of settlements depends on adequate choice of the territory, rational use of the erosional relief features, and accounting for probability of changes in the course of channels and gully formation. The study present the assessment and general classification of relationship of urban and rural settlements infrastructure (from small rural to the largest cities) with erosional relief, gully erosion and channel processes. Cities and rural settlements, subordinated to or suppressing erosional relief, rivers and channel processes are distinguished. The larger the city, the more complex these relationships are. Within the large city, different areas may refer to different types of interaction.

Keywords: gully, ravine, erosion relief, rivers, channel processes, cities

ACKNOWLEDGEMENT

The study is supported by the plan of the Research Laboratory of soil erosion and channel processes of the Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography No. AAAA-A16-116032810084-0 (gully erosion and ravine-gully systems) and funded by the Russian Fund of Basic Research, project No. 18-05-00487 (channel processes, hazards and emergencies in populated areas).

REFERENCES

1. Mechnikov I.I. *Tsivilizatsiya i velikie istoricheskie reki* (Civilization and the great historical rivers). M.: Golos truda (Publ.), 1924 (M.: Progress-Pangeya (Publ.), 1995. 464 p). (in Russ.)
2. *Gorod – ekosistema* (City – ecosystem). M.: Media-PRESS (Publ.), 250 p. (in Russ.)
3. Kovalev S.N. *Goroda i ovragi – istoriya i sovremennost'* (Cities and gullies – history and present time state). M.: PrintKoV (Publ.), 2019. 186 p. (in Russ.)
4. Kovalev S.N. *Ovrazhno-balochnye sistemy v gorodakh* (Ravine-gully systems in cities). M.: PrintKoV (Publ.), 2011. 138 p. (in Russ.)
5. Zorina E.F., Kovalev S.N., Ruleva S.N., and Chalov R.S. *Opasnosti proyavleniya protsessov, obuslovlennykh poverkhnostnymi vodami, na urbanizirovannykh territori-*

yakh (Hazard manifestations of processes caused by surface waters in urbanized areas). *Eroziya pochv i ruslovye protsessy.* Vyp. 17. M.: Izd-vo MGU (Publ.), 2010. P. 71–94. (in Russ.)

6. Chalov R.S., Zorina E.F., Kovalev S.N., and Ruleva S.N. *Otsenka opasnosti ovrazhnoi erozii i ruslovykh protsessov na urbanizirovannykh territoriyakh i metody ikh prognozirovaniya* (Assessment of gully erosion hazard and channel processes in urbanized areas and methods for their forecasting). *Erozionnye i ruslovye protsessy.* Vyp. 7. M.: MGU (Publ.), 2020. P. 112–144. (in Russ.)
7. Chalov R.S., Zavadskii A.S., Botavin D.V., Golovlev P.P., Morozova E.A., and Surkov V.V. *Pokrovsko-Yakutskii vodnyi uzel na r. Lene: sovremennye deformatsii i upravlenie ruslovymi protsessami* (Pokrovsko-Yakutsky Reach of the Lena River: Transformation of Complex Conjugated Channel, Recent Deformations and Management of Channel Changes). *Izv. RAN. Ser. geogr.* 2019. No. 6. P. 83–96. (in Russ.)
8. Berkovich K.M. *Ruslovye protsessy v sfere vliyaniya vodokhranilishch* (Riverbed processes in Rivers influenced by Reservoirs). M.: Geogr. f-t MGU (Publ.), 2012. 163 p. (in Russ.)
9. Rumyantsev I.S. *Stranitsy istorii rossiiskoi gidrotekhniki* (The history of Russian hydraulic engineering). M.: MGUP (Publ.), 1999. 211 p. (in Russ.)
10. *Erozionno-ruslovye sistemy.* (Catchment erosion-fluvial systems). M.: Infra-M (Publ.), 2017. 702 p. (in Russ.)
11. *Geografiya ovrazhnoi erozii* (Geography of gully erosion). M.: Izd-vo MGU (Publ.), 2006. 324 p. (in Russ.)

ГЕОМОРФОЛОГИЯ, 2021, том 52, № 2, с. 63–71

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.351(470.2)

ГОЛОЦЕНОВОЕ НАКОПЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

© 2021 г. Д. Д. Кузнецов[1,*], Д. А. Субетто[2,]**

[1] *СПб ФИЦ РАН, Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург, Россия*

[2] *Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия*

**E-mail: dd_kuznetsov@mail.ru*

***E-mail: subettoda@herzen.spb.ru*

Поступила в редакцию 21.09.2020 г.
После доработки 10.11.2020 г.
Принята к публикации 22.12.2020 г.

В десяти колонках донных отложений, отобранных в разных частях Ладожского озера, было проанализировано содержание органического вещества методом измерения потерь при прокаливании. Мощность колонок составила от 0.7 до 1.7 м. Нижняя часть вскрытых отложений формировалась в позднем неоплейстоцене – раннем голоцене, либо в период голоценового климатического оптимума. Во всех разрезах по динамике содержания органического вещества выделено до 5 периодов осадконакопления, имеющих близкие характеристики. Выявлено два периода повышенного накопления органического вещества – в среднем голоцене и в последние 1500 лет. Первый максимум завершается резким снижением содержания органики, также снижение органики отмечено перед началом второго максимума. Данные периоды накопления органического вещества связаны, в основном, с интенсивностью продукционных процессов в Ладожском озере, которые, в свою очередь, являются производной климатических изменений в голоцене. Из палеогеографических событий регионального масштаба (трансгрессивно-регрессивные стадии Балтики, ладожская трансгрессия) лишь стадия Балтийского ледникового озера и его последующая регрессия наиболее отчетливо проявляются в изменениях органогенного осадконакопления. Изменения уровня Ладожского озера, связанные с раннеголоценовой анциловой и среднеголоценовой ладожской трансгрессиями, выражены не столь явно. Выявленные изменения содержания органического вещества зачастую литостратиграфически не выражены, однако, несмотря на хронологическую неполноту отдельных разрезов, общие закономерности изменения содержания органического вещества прослеживаются во всех изученных колонках. Это позволяет использовать данный подход для корреляции разрезов из разных частей озерной котловины.

Ключевые слова: донные отложения, озерное осадконакопление, органическое вещество в отложениях, потери при прокаливании

DOI: 10.31857/S043542812102005X

ВВЕДЕНИЕ

Динамика накопления органического вещества в голоценовых отложениях Ладожского озера подробно изучалась во второй половине XX века [1–3]. Соотношение содержания минерагенного и органогенного вещества в озерных отложениях и его изменение во времени дают возможность реконструировать периоды максимальной биологической продуктивности водных экосистем и периоды ее спада, которые тесно связаны с колебаниями ряда климатических параметров, в первую очередь температуры [4–6]. Существенную роль могут играть и денудационные процессы на водосборном бассейне озера. Например, резкое увеличение содержания минерального вещества в голоценовых озерных осадках может свидетельствовать об усилении эрозионных процессов на водосборе [7].

Целями проводимого исследования являются выявление слабых флуктуаций накопления органического вещества в отложениях Ладожского озера в голоцене за счет более высокого разрешения при пробоотборе и выделение общих закономерностей динамики содержания органического вещества в озерных осадках из разных частей котловины, что позволяет обнаружить относительно кратковременные или слабо выраженные изменения палеогеографических условий.

МЕТОДЫ

Колонки донных отложений отбирались в 2016–2017 гг. (кроме колонки со станции 304,

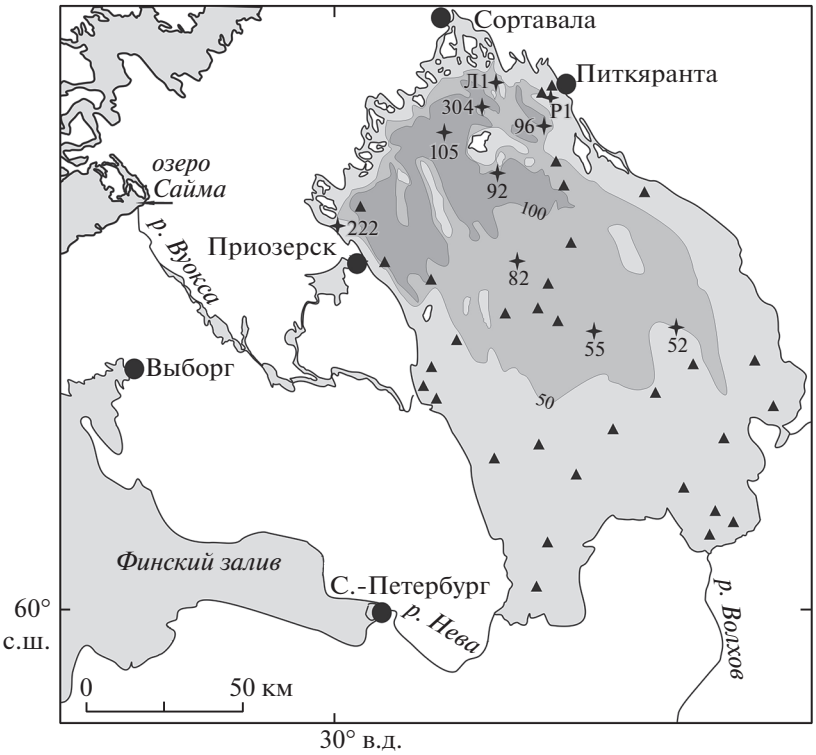


Рис. 1. Местоположение станций пробоотбора (звездочки – колонки, треугольники – поверхностные пробы). Цифрами обозначены номера станций.

отобранной ранее) с научно-исследовательского судна “Эколог” гравитационной грунтовой трубкой типа ГОИН (длина 1.0 или 1.5 м, диаметр 5 см). Далее колонки разбирались по образцам сплошными сегментами по 2 см (за несколькими исключениями). Пробоотбор проводился непрерывно, что исключило потерю данных, возможную при дискретном пробоотборе, когда колонка разбирается на образцы по пакетам, а далее на анализ берется только часть материала.

Поверхностные пробы донных отложений отбирались с помощью дночерпателя Экмана–Берджи; образец брался из наилка мощностью не более 2–3 мм.

Обработан материал из 10 колонок и 40 поверхностных проб со станций, расположенных в различных частях озерной котловины (рис. 1, табл. 1).

Содержание органического вещества оценивалось по потерям при прокаливании (далее ППП). Анализ осуществлялся по следующей методике: перетертый в порошок образец массой 1–2 г сушился при температуре 105°С в течение 2 ч, остужался в эксикаторе до комнатной температуры, взвешивался, прокаливался в течение 6 ч при температуре 500°С, остужался в эксикаторе до комнатной температуры, взвешивался.

Для контроля анализ ППП был повторен для ряда поверхностных проб, которые отбирались на одних и тех же станциях дважды (в 2016 и в 2017 г.).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Вскрытые отложения в общем виде представлены гиттиевыми глинами (алевритами) и глинистыми (алевритовыми) гиттиями. Иногда в нижних глинистых горизонтах отмечена тонкая слоистость. При общей тонкой размерности отложений в нижних горизонтах колонок иногда встречаются единичные галька и гравий. В большинстве кернов в однородных илах отмечены черные прослои гидротроилита, в некоторых колонках встречены белые вкрапления вивианита. По цвету в нижней части разрезов преобладают серые оттенки, в верхней части цвет меняется в сторону бурого или зеленовато-бурого. Границы постепенные, без резких контактов. В верхних горизонтах иногда встречены железистые корки.

Полученные значения ППП находятся в диапазоне 1.9–12.1%. При этом амплитуда колебаний в пределах одной колонки значительно меньше и составляет не более 4.2%, за исключением двух разрезов из центральной части озера, где диапазон значений составил 9.3 и 8.5%. Отмечена зависимость (r^2 = 0.53) между средним значением

Таблица 1. Сведения о станциях и отобранных колонках

Номер станции	Глубина в точке пробоотбора, м	Расстояние от ближайшего берега, км	Вскрытая мощность отложений, м	Среднее значение ППП, %	Минимальное значение ППП, %	Максимальное значение ППП, %
105	182	17	1.20	8.2	6.6	10.2
92	94	26	1.53	7.5	6.6	9.1
Л1	90	1.5	1.45	5.7	4.6	8.5
96	85	12	1.10	7.2	6.0	10.2
55	70	53	1.65	8.3	6.6	10.8
82	66	40	1.27	7.0	2.8	12.1
52	50	34	1.30	4.7	1.9	10.4
222	40	1.5	0.98	3.3	2.1	6.6
Р1	39	1	0.95	3.8	2.9	5.3
304	30	13	0.67	2.2	2.0	2.5

ППП в колонке и глубиной озера в точке пробоотбора (рис. 2).

Изучение особенностей накопления органического вещества позволило выделить в каждой из колонок несколько периодов с определенной динамикой органогенного осадконакопления (рост, снижение, стабилизация и т.п.), которые были типичны для всех разрезов; они обозначены буквенными индексами A, B, C, D, E (рис. 3, табл. 2).

С целью сопоставить полученные результаты голоценовой динамики органогенного осадконакопления с современными условиями был произведен анализ проб с поверхности отложений из 40 точек в разных частях озера.

Диапазон значений ППП в поверхностных пробах донных отложений Ладожского озера составляет 0.19–20.5%. Четко выделяются три области значений в зависимости от глубины (рис. 2). Первая область (№ 1 на рис. 2) со значениями ППП не выше 1.5% (среднее значение 0.5%) отмечена на глубинах от 5 до 40 м. Вторая область (№ 2 на рис. 2) объединяет значения ППП от 0.5 до 9% (среднее 4%) в отложениях, пробы которых отобраны с глубины 30–40 м. В третьей области (№ 3 на рис. 2) значения ППП составляют от 8 до 12% (среднее 10.5%) в отложениях с глубин 35–210 м. В единственной пробе (№ 4 на рис. 2), выделяющейся из данных трех групп, отмечено мак-

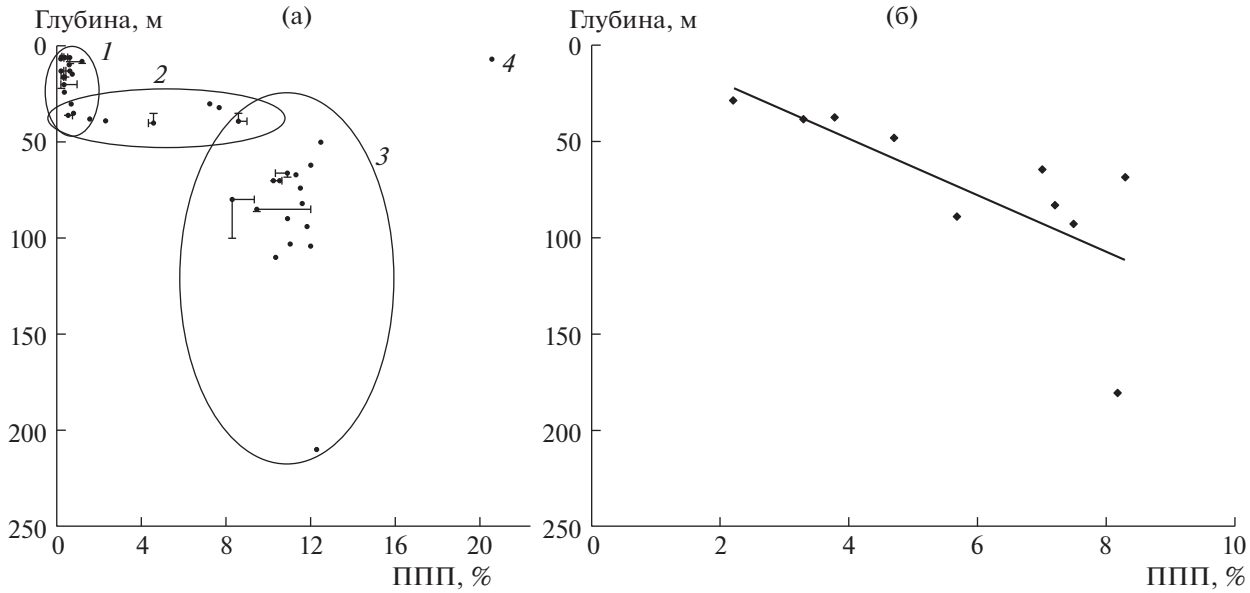


Рис. 2. Зависимость значений ППП поверхностных проб отложений (а) и средних значений ППП в колонках (б) от глубины.

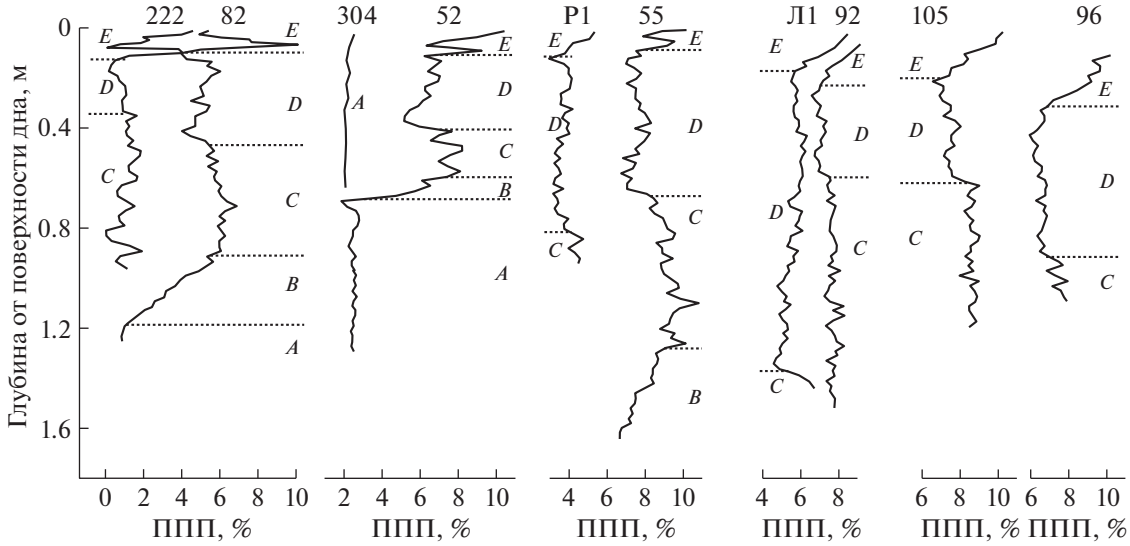


Рис. 3. Динамика содержания органического вещества в исследованных колонках.

симальное (для всех отложений Ладожского озера) содержание органического вещества – 20.5%.

ОБСУЖДЕНИЕ

В исследованных колонках донных отложений Ладожского озера по динамике содержания органического вещества выделено 5 периодов осадконакопления (интервалы A–E на рис. 3); все они прослеживаются только в колонках, отобранных на 82-й и 52-й станциях (ст.). В колонке, отобранной на 55-й ст., отмечены только 4 периода (B–E), на 304-й – только один – A. В остальных колонках выделены периоды C, D и E.

Несмотря на долгую историю изучения отложений Ладожского озера, ранее хронологическая привязка осуществлялась в основном по результатам спорово-пыльцевого анализа [8, 9], радиоуглеродные датировки осадков были единичны, и только в последнее время их число увеличилось [10–12]. Исходя из радиоуглеродных дат дублирующей колонки станции 82 [12], определен возраст основных периодов осадконакопления.

Таблица 2. Значения ППП в выделенных периодах органогенного осадконакопления

Номер станции	Диапазон значений ППП, %				
	A	B	C	D	E
105	–	–	7.9–9.0	6.6–8.0	7.4–10.2
92	–	–	7.2–8.3	6.6–7.4	6.9–9.1
Л1	–	–	5.9–6.7	4.6–6.3	6.1–8.5
96	–	–	6.9–7.9	6.0–6.9	6.9–10.2
55	–	6.6–9.0	8.2–10.7	6.7–8.3	7.8–10.1
82	2.8–3.0	3.3–7.7	7.2–8.9	6.0–8.0	6.9–12.1
52	1.9–2.8	4.7–7.5	6.6–8.2	5.2–7.1	6.3–10.4
222	–	–	2.1–3.9	2.2–3.1	2.1–6.6
P1	–	–	4.0–4.7	2.9–4.2	3.8–5.3
304	2.0–2.5	–	–	–	–

Период осадконакопления A. Характерно стабильно низкое содержание органического вещества. Значения ППП не превышают 3%, что характерно для позднеплейстоценовых и раннеголоценовых ленточных и гомогенных глин, залегающих в глубоководных частях Ладожского озера под голоценовыми гиттиями (пелитовыми илами) [13]. Граница между периодами A и B отмечена только в двух колонках. В колонке из ЮВ части озера (ст. 52) эта граница эрозионная, с резким спадом значений ППП, что свидетельствует о размыве части отложений, возможно, во время спуска Балтийского ледникового озера около 11600 лет назад [14] (здесь и далее приводится калиброванный возраст). Песчано-алевритовые горизонты между ленточными глинами и перекрывающими их гиттиями ранее отмечались в колонках из южной мелководной части озера. Их формирование также связывалось с эрозией во время спуска Балтийского ледникового озера [3], но назывались и другие причины, как, например, пониженный уровень бассейна в конце пребореала [15], или увеличение общей увлажненности на границе бореального и атлантического времени [1]. В центральной части озера (ст. 82) переход от стабильно низкого накопления органики к росту происходит постепенно, из чего можно сделать вывод, что спуск Балтийского ледникового озера привел к размыву отложений только в периферийной части акватории.

Период осадконакопления B. Характерен устойчивый рост содержания органического вещества, постепенный в центральной части озера (ст. 82 и 55) и резкий в юго-восточной части (ст. 52). Голоценовое потепление привело к постепенному повышению продуктивности озерной экосистемы [16]. В это время Ладожское озеро, отделившись от Балтийского моря (стадия Иольдиевого моря в Балтике), развивается самостоятельно. Соединение с последним происходит в северной части Карельского перешейка через систему сообщающихся озер и проток [17]. После возникновения и трансгрессии Анцилового озера север Карельского перешейка и Ладожское озеро становятся его частью. Спуск Анцилового озера приводит к началу автономного развития Ладожского озера, пролив на севере Карельского перешейка превращается в озерно-речную систему. Все эти события, происходившие в период 11600–9800 л. н. [14], сопровождаются значительными изменениями площади акватории Ладоги. Считается, что южная часть современной ладожской котловины в некоторые периоды первой половины голоцена полностью осушалась [15]. В этой связи важно отметить, что характер органического осадконакопления при переходе от иольдиевой стадии к анциловой и далее к собственно ладожской в изученных разрезах существенно не меняется. Устойчивый рост содержания органического вещества в осадках происходит равномерно, лишь на графике значений ППП ст. 55 в середине данного периода отмечена небольшая ступень, возможно связанная с окончательной изоляцией Ладожского озера.

Период осадконакопления C. Рост содержания органического вещества в отложениях прекращается, происходит его относительная стабилизация на высоких значениях, но с сохранением значительных флуктуаций ППП. Это период климатического голоценового оптимума. В предыдущих исследованиях отложения с максимальным содержанием органического вещества, опираясь на данные спорово-пыльцевого анализа, были датированы атлантическим оптимумом голоцена [15, 2]. При этом мощность этих отложений колеблется от 0.4 до 1.5 м [15]. В колонке со ст. 82 отложения с повышенным содержанием органического вещества (период C) по данным радиоуглеродного анализа формировались в интервале 9000–4800 л. н., их мощность составляет 0.5 м [12]. В атлантическом периоде для исследуемой территории выделены многочисленные фазы потепления/похолодания [9]. Данный временной промежуток в целом совпадает с голоценовым термическим оптимумом, выделенным для колонки со ст. 1309 во временном интервале 9500–4500 л. н. [11]. Из региональных событий, близких по времени и, возможно, повлиявших на характер осадконакопления, надо отметить прорыв реки Вуоксы, произошедший около 6000 лет назад [18]. Возможно, именно с ним связан перелом на кривых распределения ППП, наиболее отчетливый в центральной части озера (станции 82 и 55); после чего, несмотря на по-прежнему высокие значения содержания органического вещества, отмечается тренд к его снижению. Однако возрастная модель (последовательность имеющихся радиоуглеродных датировок) формирования отложений со ст. 82 [12] дает более ранний возраст этого перелома, что свидетельствует, возможно, в пользу общеклиматических причин последнего.

Граница между периодами C и D выделена по резкому падению значений ППП, после чего органическое вещество накапливалось в гораздо меньшем, относительно предыдущего периода, количестве. Не во всех разрезах этот спад выражен настолько ясно, чтобы быть однозначно определяемым в качестве границы между периодами (станции 222, Р1, Л1). Это связано с близким (до 2 км) расположением данных станций от берега и, соответственно, с возрастанием роли локальных денудационных процессов в соотношении “минеральное/органическое вещество”. На станциях, расположенных в центральной части озера (станции 52, 55, 82), влияние на осадконакопление процессов, происходящих на водосборе и в области прибрежно-волновой активности, минимально. Тем не менее здесь падение содержания органического вещества в разрезах донных отложений на границе периодов C и D выражено настолько заметно, что свидетельствует о значительной перестройке гидродинамических и гидробилогических условий в озере. Данный спад объясняется уменьшением продуктивности экосистемы озера, связанным с суббореальным похолоданием, на которое наложились резкие гидродинамические изменения, приведшие к привносу и осаждению большого количества тонкого минерального материала.

Период осадконакопления D. Содержание органического вещества в отложениях стабилизируется на относительно низких значениях, но флуктуации значений ППП сохраняются. В некоторых разрезах отмечен выраженный подъем содержания органики в середине или ближе к концу периода. Временны́е границы для этого периода по полученным для отложений ст. 82 радиоуглеродным датировкам составляют 4800 и 1800 л. н. В начале суббореального времени здесь происходило похолодание, далее отмечается несколько периодов потепления/похолодания [9]. Суббореальная ладожская трансгрессия приводит к затоплению обширных территорий в южной части современной котловины и прибрежных низменностей, в первую очередь, южного побережья Ладоги. Отмечается несколько эпизодов трансгрессии, последний из которых закончился образованием

Невы (около 3400 л. н.) и спуском уровня озера до современных отметок [17, 19, 20].

Граница между периодами D и E отмечена по падению значений ППП до минимума и началу их резкого устойчивого роста. Здесь, в отличие от границы C/D, спад выражен не настолько явно, за исключением колонки со ст. 82.

Спад в содержании органического вещества в донных отложениях при падении уровня Ладожского озера после образования реки Невы отмечался ранее [15]. Резкое падение уровня озера может отразиться на соотношении минерального и органического вещества следующим образом. Первоначально в озере, особенно в его литоральной зоне, происходит увеличение доли минерального вещества в осадках, вызванное переформированием береговой линии, сопровождающимся увеличением эрозии. В пелагиали этот сценарий может быть выражен не явно. Далее за счет уменьшения глубины и, соответственно, сокращения времени осаждения детрита на дно возможно увеличение в осадках доли органического вещества. При таком сценарии падение уровня Ладоги после прорыва реки Невы можно связать с границей между периодами D и E, но этому противоречат радиоуглеродные датировки, полученные для колонки со ст. 82, по которым резкий спад значений ППП произошел не ранее 1800 л. н. [12].

Период осадконакопления E. Происходит быстрый или умеренный рост содержания органики в донных отложениях до максимальных значений. Возраст начала этого периода не ранее 1700 л. н. Пик содержания органического вещества отмечается или в поверхностных горизонтах отложений, или в иногда ожелезненных горизонтах, расположенных на глубине 0.06–0.10 м от поверхности воды. В колонках из центральной части озера (52, 55, 82) и со ст. 222 резкий рост ППП прерывается резким же их падением с последующим быстрым возобновлением роста. Высокие значения содержания органического вещества в кровле отложений и их некоторое сокращение в нижележащих осадках (мощность периода E составляет 10–20 см) отчасти связаны с деструкцией органики в ходе диагенетических преобразований. Этими же процессами обусловлены образование рудных корок и двойной пик значений ППП, отмеченные в ряде разрезов в их верхних частях. Эти процессы не исключают природно-климатических причин роста органического вещества на последнем этапе развития озера, так как рост продуктивности озерной экосистемы и повышение его трофического статуса отмечены в субатлантическое время [16].

В целом полученные результаты хорошо согласуются с данными предыдущих исследований. Средние значения ППП для поверхностного слоя отложений в открытой части Ладожского озера в тонких осадках составляют 5–8%, при диапазоне от 2 до 12% [1, 13]. Реже отмечались более высокие значения – 10–24% [21].

Важно отметить значительную разницу в мощности отложений, соответствующих выделенным периодам. В самой глубоководной части озера, где должна формироваться максимальная толща отложений, осадки могут иметь мощность меньше, чем в точке с меньшей глубиной, что подчеркивает мозаичный характер осадконакопления в Ладожском озере, зависимый от локальных морфометрических особенностей озерной котловины, гидродинамических условий и пр.

Особенностью изученных разрезов является частое отсутствие визуально выраженной литологической границы между разными периодами осадконакопления.

Диапазон значений ППП в колонках донных отложений в 2–12% в целом совпадает с диапазоном значений ППП в поверхностных пробах.

Выявленная зависимость между глубиной точки пробоотбора и содержанием органического вещества в поверхностных пробах напрямую зависит от гранулометрического состава отложений, который, в свою очередь, связан с морфометрическими характеристиками озерной котловины и гидродинамическими процессами. В мелководной части озера (до глубин 20–30 м) преобладают крупные песчано-алевритовые осадки, и, соответственно, в них значения ППП минимальны. В глубоководной части озера происходит аккумуляция преимущественно тонкого взвешенного материала, в том числе и органического, что отражается в повышении значений ППП. Участки озера с глубинами 30–40 м являются в этом смысле переходными, где осадконакопление может происходить по обоим сценариям.

В современных поверхностных пробах на глубинах свыше 40 м значения ППП составляют 8–12%, а на глубинах до 25–30 м – преимущественно 0.2–1.5%. В целом средние значения ППП в колонке тем выше, чем глубоководнее станция пробоотбора. Если не принимать во внимание раннеголоценовые этапы осадконакопления, то колонки со станций 82, 92, 96, 105 (т.е. с глубин свыше 66 м) сложены глинистой гиттией (ППП > > 6%). Колонки со станций 222, P1, (т.е. с глубин около 40 м) и значительная часть колонки Л1 (с глубины 90 м) сложены гиттиевой глиной (ППП от 2 до 6%). При этом общий диапазон значений ППП в колонках может достигать 9%. Если в современных поверхностных пробах на глубинах свыше 40 м значения ППП превышают 8%, то в течение голоцена на аналогичных глубинах могли формироваться осадки с гораздо меньшим содержанием органического вещества. Таким образом, наблюдаемая в настоящее время в поверхностных

пробах зависимость ППП от глубины, в образцах из изученных колонок не подтверждается.

В каждой точке озерной котловины характер осадконакопления зависит от наложения общерегиональных факторов, связанных с гидродинамическими, гидрохимическими и гидробиологическими условиями в озере, на местные особенности данной части котловины, такие как рельеф и уклон дна, глубина, расстояние от берега и т.п. Для Ладожского озера отмечена очень большая мозаичность в структуре осадков, что объясняется его сложной голоценовой историей со значительными изменениями уровня, площади, характера проточности, тектоническими движениями. Все это, в сочетании со сложным рельефом дна, приводит к тому, что на расстоянии в несколько километров характер отложений может быть принципиально разным. В этой связи крайне важной с точки зрения дальнейшего исследования голоценовой истории озера представляется детализация общих для всей акватории эпизодов в динамике содержания органического вещества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В колонках, отобранных на станциях, расположенных в различных частях Ладожского озера, обнаружено отчетливое сходство в голоценовой динамике накопления органического вещества. Это позволило выделить 5 периодов органического осадконакопления. В большинстве колонок донных отложений отмечено два периода повышенного накопления органического вещества – в среднем голоцене и в последние 1500 лет. Выделены и эпизоды резкого спада содержания органики – завершающий первый максимум и предваряющий второй. Наибольшее сходство в динамике органического вещества отмечено в колонках, отобранных из центральной части озера, где влияние береговых процессов на осадконакопление минимально.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую признательность всем участникам экспедиций на Ладожском озере, коллегам из Института озероведения РАН, команде судна “Эколог”, студентам СПбГУ и РГПУ им. А.И. Герцена, оказавшим большую помощь при проведении данного исследования. Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН по теме № 0154-2019-0001 (Д.Д. Кузнецов) и в рамках государственного задания Министерства просвещения России по проекту № FSZN-2020-0016 (Д.А. Субетто) при частичной поддержке гранта РФФИ № 18-05-80087 – Опасные явления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Семенович Н.И.* Донные отложения Ладожского озера. М.–Л.: Наука, 1966. 124 с.
2. *Subetto D.A., Davydova N.N., and Rybalko A.E.* Contribution to the lithostratigraphy and history of Lake Ladoga // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1998. No. 140. P. 113–119.
3. *Субетто Д.А.* Строение, особенности и история формирования донных отложений // Ладожское озеро: прошлое, настоящее, будущее. СПб.: Наука, 2002. С. 122–136.
4. *Россолимо Л.Л.* Озерное накопление органического вещества и возможности его типизации // Типология озерного накопления органического вещества. М.: Наука, 1976. С. 3–10.
5. Антропогенное эвтрофирование Ладожского озера / Н.А. Петрова. Л.: Наука, 1982. 304 с.
6. Методические аспекты лимнологического мониторинга / И.С. Трифонова. Л.: Наука, 1988. 180 с.
7. *Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А., Сапелко Т.В., Лудикова А.В.* Гидрографическая сеть северной части Карельского перешейка в голоцене по данным о строении отложений малых озер // Геоморфология. 2015. № 1. С. 54–69.
8. *Абрамова С.А., Давыдова Н.Н., Квасов Д.Д.* История Ладожского озера в голоцене по данным спорово-пыльцевого и диатомового анализов // История озер Северо-Запада. 1967. С. 113–132.
9. *Delusin I.* The Holocene pollen stratigraphy of Lake Ladoga and vegetational history of its surroundings // Annales Academiae Scientiarum Fennicae. 1991. Series A III 153. 66 p.
10. *Арсланов Х.А., Гей Н.А., Давыдова Н.Н., Джиноридзе Р.Н., Кошечкин Б.И., Пушенко М.Я., Рыбалко А.Е., Спиридонов М.А., Субетто Д.А., Хомутова В.И.* Новые данные по позднеплейстоценовой и голоценовой истории Ладожского озера // Изв. РГО. 1996. Т. 128. С. 12–21.
11. *Gromig R., Wagner B., Wennrich V., Fedorov G., Savelieva L., Lebas E., Krastel S., Brill D., Andreev A., Subetto D., and Melles M.* Deglaciation history of Lake Ladoga (northwestern Russia) based on varved sediments // Boreas. 2019. Vol. 48. P. 330–348.
12. *Sapelko T., Pozdnyakov S., Kuznetsov D., Ludikova A., Ivanova E., Guseva M., and Zazovskaya E.* Holocene sedimentation in the central part of Lake Ladoga // Quaternary International. 2019. Vol. 524. P. 67–75.
13. *Субетто Д.А.* Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2009. 343 с.
14. *Björck S.* The late Quaternary development of the Baltic Sea basin // Assessment of climate change for the Baltic Sea Basin. Berlin, Heidelberg, 2008. P. 398–407.
15. История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки / Д.Д. Квасов, Г.Г. Мартинсон, А.В. Раукас. Л.: Наука, 1990. 280 с.
16. *Давыдова Н.Н.* Диатомовые водоросли – индикаторы экологических условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 244 с.
17. *Dolukhanov P.M., Subetto D.A., Arslanov Kh.A., Davydova N.N., Zaitseva G.I., Djinoridze E.N., Kuznetsov D.D.,*

Ludikova A.V., Sapelko T.V., and Savelieva L.A. The Baltic Sea and Ladoga Lake transgressions and early human migrations in North-western Russia // Quaternary International. 2009. Vol. 203. P. 33–51.

18. *Saarnisto M.* The Late Weichselian and Flandrian history of the Saimaa Lake Complex // Societas Scientiarium Fennica, Commentationes Physico-Mathematicae. 1970. Vol. 37. 107 p.
19. *Saarnisto M. and Grönlund T.* Shoreline displacement of Lake Ladoga – new data from Kilpolansaari // Hydrobiologia. 1996. Vol. 322. P. 205–215.
20. *Александровский А.Л., Арсланов Х.А., Давыдова Н.Н., Долуханов П.М., Зайцева Г.И., Кирпичников А.Н., Кузнецов Д.Д., Лавенто М., Лудикова А.В., Носов Е.Н., Савельева Л.А., Сапелко Т.В., Субетто Д.А.* Новые данные относительно трансгрессии Ладожского озера, образования реки Невы и земледельческого освоения Северо-запада России // ДАН. 2009. Т. 424. № 5. С. 682–687.
21. *Белкина Н.А., Субетто Д.А., Ефременко Н.А., Потахин М.С., Кулик Н.В.* Химический состав донных отложений северной части Ладожского озера как показатель многолетней изменчивости экосистемы водоема // Тр. Карельского научного центра РАН. 2015. № 9. С. 53–61.

Holocene organic sedimentation in Lake Ladoga

D. D. Kuznetsov[a,#] and D. A. Subetto[b,##]

[a] *Institute of Limnology of the RAS, Saint-Petersburg, Russia*

[b] *Herzen State Pedagogical University, Saint-Petersburg, Russia*

[#] *E-mail: dd_kuznetsov@mail.ru*

[##] *E-mail: subettoda@herzen.spb.ru*

Organic matter content was analyzed in 10 sediment cores retrieved from different parts of Lake Ladoga using the loss on ignition (LOI). The thickness of retrieved sediments varies from 0.7 to 1.7 m. The lower part of the sediment sequences was formed in the Late Pleistocene – Early Holocene, or during the Holocene climatic optimum. Up to five periods of organic sedimentation were recognized in all studied cores. Two periods of higher organic content were distinguished corresponding to the Mid Holocene and the recent 1500 years, respectively. The first maximum in the Mid Holocene ends with a sharp decrease in the content of organic matter; a decrease in organic matter occurred before the beginning of the second maximum. All recognized periods are believed to primarily result from changing productivity of the Lake Ladoga ecosystem, which relates in turn to climatic changes during the Holocene. Among regional-scale paleogeographic events (transgressive and regressive stages of the Baltic paleobasins, Ladoga transgression) only the Baltic Ice Lake stage and its regression can be clearly recognized in changing organic sedimentation. Lake-level changes resulted from the Early Holocene Ancylus transgression and the Mid Holocene Ladoga level rise are less visible in the organic matter content. Similar trends in organic concentrations can be identified in all studied sediment sequences even though some of them are incomplete. Since the changes in organic matter content are often not expressed in lithology, this approach can be applied for correlation of the sediment sequences from different parts of the lake.

Keywords: lake sediments, lacustrine sedimentation, organic matter in sediments, loss on ignition

ACKNOWLEDGMENTS

Authors are grateful to all participants of expeditions to Lake Ladoga, the colleagues of Institute of Limnology, the crew of the research vessel Ecolog, the students of SPbGU and RGPU, whose help was incredible.

The study contributes to the State Research Project of IL RAS No. 0154-2019-0001 (D. Kuznetsov) and to the State Research Project of Ministry of Education No. FSZN-2020-0016 (D. Subetto) and is partly supported by the RFBR project No. 18-05-80087 – Opasnye javlenija.

REFERENCES

1. Semenovich N.I. *Donnye otlozheniya Ladozhskogo ozera* (Bottom sediments of Lake Ladoga). M.–L.: Nauka (Publ.), 1966. 124 p. (in Russ.)
2. Subetto D.A., Davydova N.N., and Rybalko A.E. Contribution to the lithostratigraphy and history of Lake Ladoga. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.* 1998. No. 140. P. 113–119. (in Russ.)
3. Subetto D.A. *Stroenie, osobennosti i istoriya formirovaniya donnykh otlozhenii* (Structure, features, and history of bottom sediment formation). *Ladozhskoe ozero: proshloe, nastoyashchee, budushchee* (Lake Ladoga: past, present, future). SPb.: Nauka (Publ.), 2002. P. 122–136. (in Russ.).
4. Rossolimo L.L. *Ozernoe nakoplenie organicheskogo veshchestva i vozmozhnosti ego tipizatsii* (Lake accumulation of organic matter and the possibility of its typification). *Tipologiya ozernogo nakopleniya organicheskogo veshchestva* (Typology of lake accumulation of organic matter). M.: Nauka (Publ.), 1976. P. 3–10. (in Russ.)
5. *Antropogennoe evtrofirovanie Ladozhskogo ozera* (Anthropogenic eutrophication of Lake Ladoga). N.A. Petrova (Ed.). L.: Nauka (Publ.), 1982. 304 p. (in Russ.)

6. *Metodicheskie aspekty limnologicheskogo monitoringa* (Methodological aspects of limnological monitoring). I.S. Trifonova (Ed.). L.: Nauka (Publ.), 1988. 180 p. (in Russ.)

7. Kuznetsov D.D., Subetto D.A., Sapelko T.V., and Ludikova A.V. *Gidrograficheskaya set' severnoi chasti Karel'skogo peresheika v golotsene po dannym o stroenii otlozhenii malykh ozer* (North Karelian hydrographic system in the Holocene according to new data on small lakes sediment structure). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2015. No. 1. P. 54–69. (in Russ.)

8. Abramova S.A., Davydova N.N., and Kvasov D.D. *Istoriya Ladozhskogo ozera v golotsene po dannym sporovo-pyl'tsevogo i diatomovogo analizov* (History of Lake Ladoga in the Holocene according to spore-pollen and diatom analyses). *Istoriya ozer Severo-Zapada*. 1967. P. 113–132. (in Russ.)

9. Delusin I. The Holocene pollen stratigraphy of Lake Ladoga and vegetational history of its surroundings. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae*. 1991. Series A III 153. 66 p.

10. Arslanov Kh.A., Gei N.A., Davydova N.N., Dzhinoridze R.N., Koshechkin B.I., Pushenko M.Ya., Rybalko A.E., Spiridonov M.A., Subetto D.A., and Khomutova V.I. *Novye dannye po pozdnepleistotsenovoi i golotsenovoi istorii Ladozhskogo ozera* (New data on the late Pleistocene and Holocene history of Lake Ladoga). *Izvestiya RGO*. 1996. Vol. 128. P. 12–21. (in Russ.)

11. Gromig R., Wagner B., Wennrich V., Fedorov G., Savelieva L., Lebas E., Krastel S., Brill D., Andreev A., Subetto D., and Melles M. Deglaciation history of Lake Ladoga (northwestern Russia) based on varved sediments *Boreas*. 2019. Vol. 48. P. 330–348.

12. Sapelko T., Pozdnyakov S., Kuznetsov D., Ludikova A., Ivanova E., Guseva M., and Zazovskaya E. Holocene sedimentation in the central part of Lake Ladoga. *Quaternary International*. 2019. Vol. 524. P. 67–75.

13. Subetto D.A. Donnye otlozheniya ozer: paleolimnologicheskie rekonstruktsii (Lake bottom sediments: paleolimnological reconstructions). SPb.: Izd-vo RGPU im. A.I. Gertsena (Publ.), 2009. 343 p. (in Russ.)

14. Björck S. The late Quaternary development of the Baltic Sea basin. *Assessment of climate change for the Baltic Sea Basin*. Berlin, Heidelberg. 2008. P. 398–407.

15. *Istoriya Ladozhskogo, Onezhskogo, Pskovsko-Chudskogo ozer, Baikala i Khanki* (History of the USSR lakes. The history of the Ladoga, Onega, Peipsi, Baikal and Khanka lakes). D.D. Kvasov, G.G. Martinson, A.V. Raukas (Eds.). L.: Nauka (Publ.), 1990. 280 p. (in Russ.)

16. Davydova N.N. *Diatomovye vodorosli – indikatory ekologicheskikh uslovii vodoemov v golotsene* (Diatoms as indicators of ecological conditions of lakes in the Holocene). L.: Nauka (Publ.), 1985. 244 p. (in Russ.)

17. Dolukhanov P.M., Subetto D.A., Arslanov Kh.A., Davydova N.N., Zaitseva G.I., Djinoridze E.N., Kuznetsov D.D., Ludikova A.V., Sapelko T.V., and Savel'eva L.A. The Baltic Sea and Ladoga Lake transgressions and early human migrations in North-western Russia. *Quaternary International*. 2009. Vol. 203. P. 33–51.

18. Saarnisto M. The Late Weichselian and Flandrian history of the Saimaa Lake Complex. *Societas Scientiarium Fennica, Commentationes Physico-Mathematicae*. 1970. Vol. 37. 107 p.

19. Saarnisto M., Grönlund T. Shoreline displacement of Lake Ladoga – new data from Kilpolansaari. *Hydrobiologia*. 1996. Vol. 322. P. 205–215.

20. Aleksandrovskii A.L., Arslanov Kh.A., Davydova N.N., Dolukhanov P.M., Zaitseva G.I., Kirpichnikov A.N., Kuznetsov D.D., Lavento M., Ludikova A.V., Nosov E.N., Savel'eva L.A., Sapelko T.V., and Subetto D.A. *Novye dannye otnositel'no transgressii Ladozhskogo ozera, obrazovaniya reki Nevy i zemledel'cheskogo osvoeniya Severozapada Rossii* (New data on the transgression of Lake Ladoga, the formation of the Neva river, and agricultural development in the North-West of Russia). *Doklady Akademii nauk*. 2009. Vol. 424. No. 5. P. 682–687. (in Russ.)

21. Belkina N.A., Subetto D.A., Efremenko N.A., Potakhin M.S., Kulik N.V. *Khimicheskii sostav donnykh otlozhenii severnoi chasti Ladozhskogo ozera kak pokazatel' mnogoletnei izmenchivosti ekosistemy vodoema* (Chemical composition of bottom sediments of the Northern part of Lake Ladoga as an indicator of long-term variability of lake ecosystem). *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN*. 2015. No. 9. P. 53–61. (in Russ.)

ГЕОМОРФОЛОГИЯ, 2021, том 52, № 2, с. 72–88

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.435.64 (235.223)

КОНУСЫ ВЫНОСА В ДОЛИНЕ Р. ЖОМ-БОЛОК (ВОСТОЧНЫЙ САЯН): СТРОЕНИЕ, ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ВЛИЯНИЕ НА РАЗВИТИЕ ВОДОТОКА

© 2021 г. Е. В. Лебедева[1,*], Д. В. Мишуринский[1,2,], В. А. Пеллинен[3,***], Т. М. Сковитина[3,****], Д. В. Михалёв[2,*****]**

[1] *Институт географии РАН, Москва, Россия*

[2] *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет Москва, Россия*

[3] *Институт земной коры СО РАН Иркутск, Россия*

**E-mail: ekaterina.lebedeva@gmail.com*

***E-mail: mishurinsk@mail.ru*

****E-mail: vadim.a.pellinen@ya.ru*

*****E-mail: skovit@crust.irk.ru*

******E-mail: mikhalev.dmitry@gmail.com*

Поступила в редакцию 10.09.2020 г.
После доработки 25.11.2020 г.
Принята к публикации 22.12.2020 г.

Днище троговой долины р. Жом-Болок около 13 тыс. л. н. на всем протяжении (около 70 км) было перекрыто потоками базальтовых лав. В настоящее время на лавовый поток опираются обширные конусы выноса притоков реки, сложенные преимущественно селевым материалом. Всего отмечено 80 таких конусов общим объемом около 210 млн м^3; наиболее крупные из них расположены на участках среднего и нижнего течения, где они занимают от 15 до 25% площади днища долины. Скорость денудации в бассейнах левобережных притоков р. Жом-Болок за 13 тыс. л. составила почти 24 мм/тыс. л. Очевидно, что это лишь среднеминимальная скорость, так как в некоторых случаях конусы выноса более крупных водотоков частично размыты рекой. В настоящее время активность селевых процессов невелика, о чем свидетельствует задернованность и залесенность рассматриваемых конусов; по данным исследований на сопредельной территории, пик селеформирования пришелся на начало голоцена. Наряду с излиянием лав, вынос значительных объемов рыхлого материала притоками оказал влияние на морфологию и развитие долины р. Жом-Болок. В постэруптивный период сток изначально шел по внутрилавовым туннелям, частично он сохранился и сейчас. Рост конусов вызывал заполнение рыхлым материалом лавовых пустот, что препятствовало подлавовому стоку, способствовало формированию озер в днище долины и смещению русла реки. Общий врез реки в лавовый поток за постэруптивный этап достиг 6–7 м. В паводки в долине активно формируется эрозионная пойма, в том числе и за счет размыва дистальных частей конусов выноса. Судя по результатам петрографического и минералогического анализов руслового аллювия р. Жом-Болок, в нем в настоящее время абсолютно доминирует материал, вынесенный притоками: содержание обломков базальтов, как правило, не превышает 10%.

Ключевые слова: лавовый поток, русло, конус выноса, сель, подпрудное озеро, денудация, Бурятия, Восточная Сибирь

DOI: 10.31857/S0435428121020061

ВВЕДЕНИЕ

Позднекайнозойский вулканизм широко распространен на территории Центральной Азии: его источники имеют различную геодинамическую природу и приурочены к границам литосферных плит либо к их внутренним частям, но так или иначе они связаны с системами разломов [1–5 и др.]. Вулканический рельеф представлен преимущественно лавовыми плато и шлаковыми конусами, а также долинными лавовыми потоками (лавовыми реками). Они распространены на Витимском плато, в Удоканской и Южно-Хангайской вулканических областях, в Восточно-Тувинском вулканическом ареале, в бассейнах рек Джиды, Оки, Енисея и др. [1, 3, 6, 7 и др.]. В Южно-Байкальской вулканической области разновозрастные кайнозойские излияния базальтов часто приурочены к молодым разломным зонам, по ко-

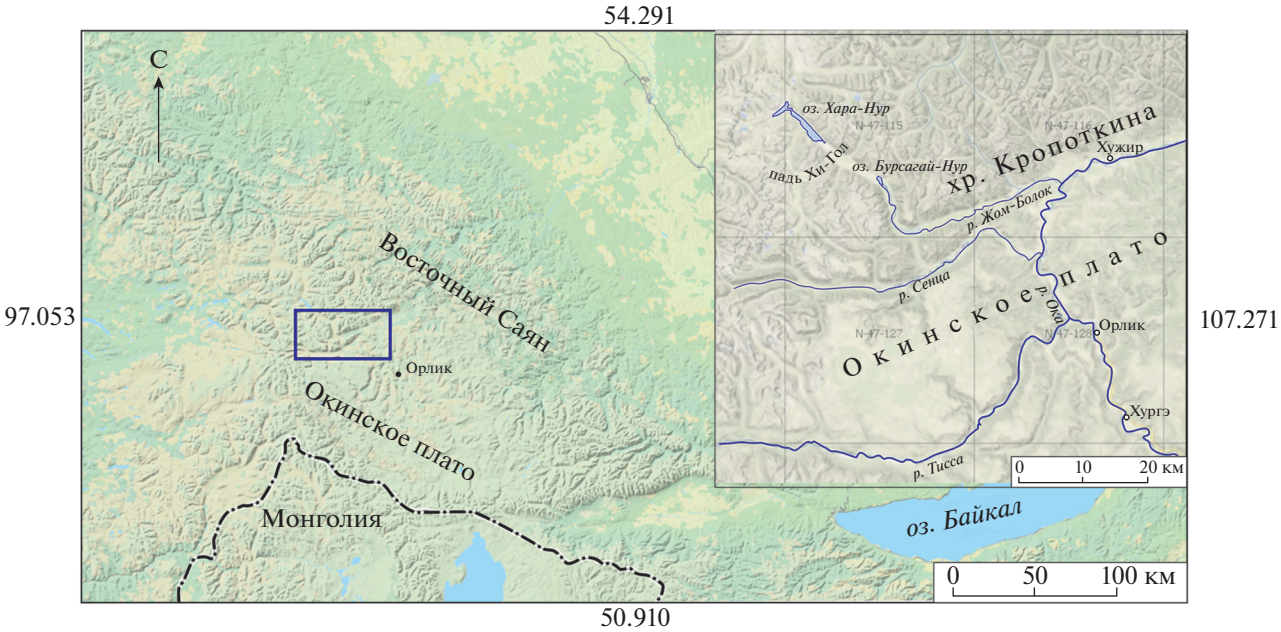


Рис. 1. Положение района исследований.

торым заложены и многие речные долины, и нередко центры излияния базальтов находятся непосредственно в этих эрозионно-тектонических формах.

Долинные лавовые потоки, как правило, имеют значительную протяженность (десятки километров); они вызывают изменения характера речного стока, морфологии и продольного профиля долин, в некоторых случаях – перестройки речной сети [8, 9]. Под влиянием флювиальной деятельности происходит постепенная трансформация и самих потоков лав. Все эти вопросы актуальны для Байкальской рифтовой зоны, где имеется несколько районов с долинами, заполненными лавами различных возрастных генераций. Однако развитие подобных долин изучено весьма слабо, детальных геоморфологических исследований в этом направлении практически не проводилось, за исключением бассейна р. Джиды [7]. Целью наших исследований является анализ геоморфологических процессов на протяжении постэруптивного этапа в одной из подобных долин, заполненных лавой, – долине р. Жом-Болок. В частности, важно понять, как формировались современное русло реки и ее аллювий.

Долина р. Жом-Болок[1] находится в Восточном Саяне на границе Окинского плоскогорья (плато) и хр. Кропоткина (рис. 1) и является левым притоком р. Оки в ее среднем течении. Она издавна привлекала внимание исследователей во многом благодаря тому, что ее днище в конце позднего плейстоцена – голоцене было заполнено базальтовыми лавами. Лавы эти на настоящий момент весьма детально изучены геологами, получены результаты датирования органического материала, содержащегося как в продуктах извержения (в верхнем течении), так и в подстилающих и перекрывающих их отложениях в нижней части потока [4, 10, 11].

Проведенное нами опробование русловых отложений р. Жом-Болок показало, что, несмотря на то, что современное русло реки сформировано непосредственно в лавах, обломки базальтов в ее аллювии составляют лишь небольшую часть, а доминирует материал, сносимый с окружающих водораздельных пространств. Одной из характерных черт морфологии днища рассматриваемой долины являются обширные конусы выноса веерного типа в устьях ее притоков, которые в значительной мере перекрывают молодое лавовое поле. Аналогичные образования наблюдаются и в долине соседнего притока р. Оки – р. Сенцы, однако уникальность ситуации в долине р. Жом-Болок состоит в том, что отложения конусов выноса залегают на базальтах и хорошо дешифрируются на их фоне, что позволяет достаточно точно идентифицировать их границы и определить площадь и объем. Таким образом мы можем оценить количество материала, вынесенного притоками в днище основной реки. Так как возраст лавового потока в долине определен с доступной на настоящий момент точностью, а значит известно время начала формирования конусов, то это позволяет

[1] В литературе и на топографических картах встречается два варианта написания названия реки – через дефис и без.

понять и темпы денудации в бассейнах притоков, откуда выносились эти отложения, что является второй, по сути сопутствующей, но не менее интересной задачей данной работы.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для решения поставленных задач авторами проведен анализ литературного материала, дешифрирование спутниковых снимков на территорию бассейна р. Жом-Болок и маршрутные исследования в нижнем течении реки. На основе дешифрирования космических снимков спутника Sentinel-2 [12], полученных в 2018 г., в бассейне р. Жом-Болок нами было выделено 106 конусов выноса (КВ), из них 80 опираются непосредственно на лавовый поток в основной долине. На карте среднего и нижнего участков долины (рис. 2) показано 48 таких форм, для которых были выполнены расчеты.

Для определения границ и параметров конусов выноса с использованием программы ArcGIS были выбраны снимки конца августа, что позволило максимально уменьшить влияние древесной растительности. Границы конусов выноса выделялись по изменению морфологии поверхности, рисунку гидрологической сети и характеру фототона, отражающего распределение травянистой растительности, приуроченной к отложениям тонкого механического состава в дистальной части конусов. Впоследствии производился расчет площадей конусов выноса в заданных границах.

Объемы конусов вычислялись в программе MS Excel при помощи формулы объема сегмента конуса (1):

$$V_{\text{сегмента}} = \frac{a^\circ}{360^\circ} * \frac{1}{3} * \pi R^2 H, \qquad (1)$$

где α – угол вычисляемой части конуса (по сути привершинный угол), H – высота конуса, взятая из ЦМР (SRTM с пространственным разрешением 30 м (1 угловая секунда)), πR^2 – площадь основания сегмента (для простоты вычислений она принималась равной площади конуса, полученной при дешифрировании).

Весь массив конусов выноса был разделен на пять классов (табл. 1) с учетом наибольших разностей между величинами объемов.

Помимо этого, была выполнена наземная съемка с описанием строения двух крупных конусов в долине р. Жом-Болок (рис. 3). Измерение конуса 1 (№ 56 на рис. 2) выполнено с помощью лазерной рулетки-дальномера DISTOTM D510 фирмы “Leica” [13]. При проведении работ в приборе выбиралась функция “Измерение профиля”, которая выводит на дисплей расстояние и превышение относительно указанной исходной нулевой точки, к которой привязывался весь профиль конуса. Параметры конуса 2 (№ 57 на рис. 2) были замерены и рассчитаны с помощью GPS-навигатора GARMIN (GPSMAP 64), которым снимались показания высоты и координаты основания конуса и его привершинной части.

Измеренные на местности площади конусов выноса оказались заниженными по сравнению с отдешифрированными в среднем на 20–30%, что, видимо, было обусловлено сложностью определения их границ в полевых условиях по всей протяженности, хотя делались закопушки в их дистальных частях. В то же время при дешифрировании отбивка по фототону травянистой растительности на фоне темных базальтов осуществлялась достаточно легко, за исключением участков, частично подвергшихся переработке флювиальными процессами. Наиболее проблематичным было определение границы конуса и поймы реки на участках, покрытых травянистой растительностью.

Кроме того, было проведено опробование руслового аллювия, осадков конусов выноса и ледниковых отложений для определения их гранулометрического состава, петрографии галечного материала, минералогии песчаной фракции. Образцы аллювия отбирались на косах, подсчет галечного материала осуществлялся по стандартной методике на площадке 1 м^2; пролювиальные и ледниковые отложения изучались в расчистках и шурфах. Опробование аллювия проводилось на протяжении 24 км нижнего течения реки через 3–4 км, как выше, так и ниже впадения притоков.

ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ

Исследуемая территория находится в восточной части Восточного Саяна, в зоне сочленения Окинского плоскогорья и хр. Кропоткина [14]. Поднятие Восточно-Саянского горного массива имело сводово-глыбовый характер, сопровождалось обновлением древних разломов, возникновением межгорных впадин и излиянием базальтовых лав. Первая фаза кайнозойского горообразования началась здесь в олигоцене, вторая – в конце плиоцена, она продолжалась в течение всего четвертичного периода [15]. Хребет Кропоткина относится к наиболее активным неотектоническим структурам региона; от Окинского плоскогорья его отделяет Окинская котловина – узкий асимметричный грабен, ограниченный сбросами. Котловина находится на продолжении Байкальской рифтовой зоны, однако возможность ее отнесения к впадинам байкальского типа поддерживается не всеми исследователями [16]. Западное окончание Окинской впадины – приразломная долина-грабен (по терминологии Г.Ф. Уфимцева) нижнего течения р. Жом-Болок

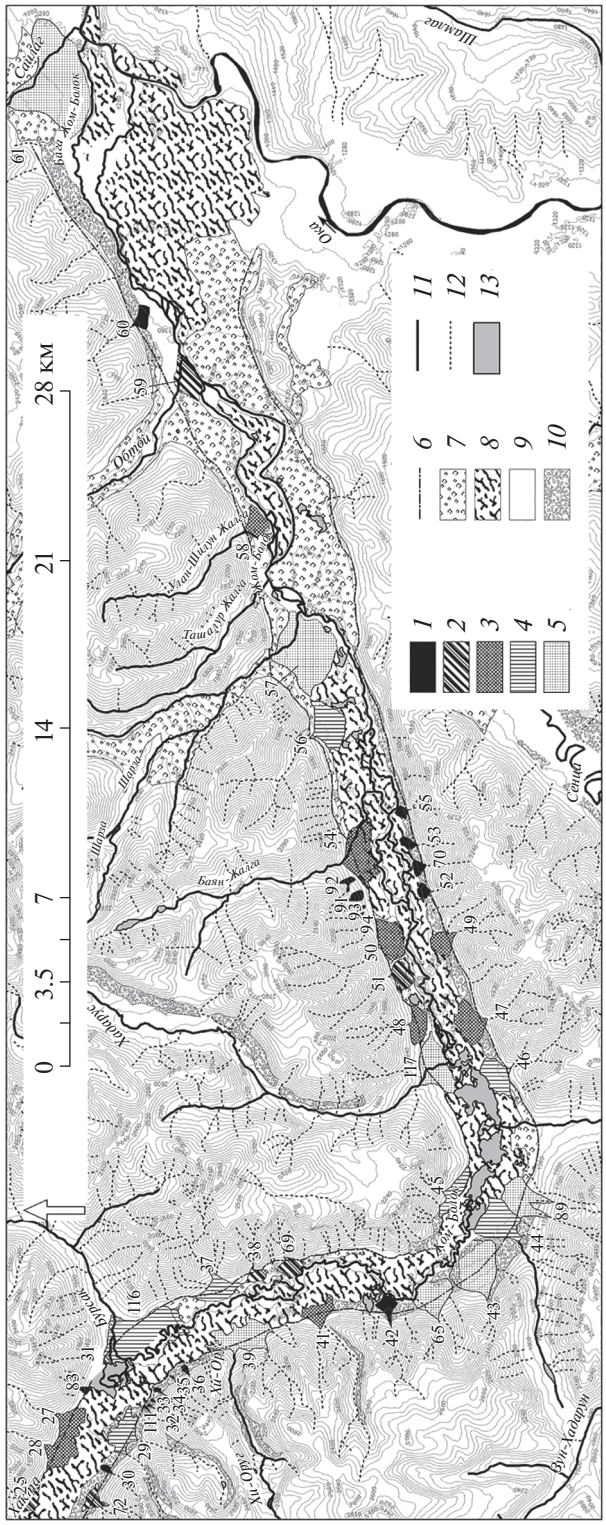


Рис. 2. Карта распространения конусов выноса в среднем и нижнем течении р. Жом-Болок.
1–5 – классы конусов выноса (см. табл. 1); *6* – граница днища долины; *7* – ледниковые отложения; *8* – базальтовые лавы; *9* – нерасчлененный комплекс поверхностей аллювиального генезиса (пойма, низкая терраса, террасоувал); *10* – нерасчлененный комплекс склоновых и ледниковых отложений; *11* – реки; *12* – временные водотоки; *13* – озера.

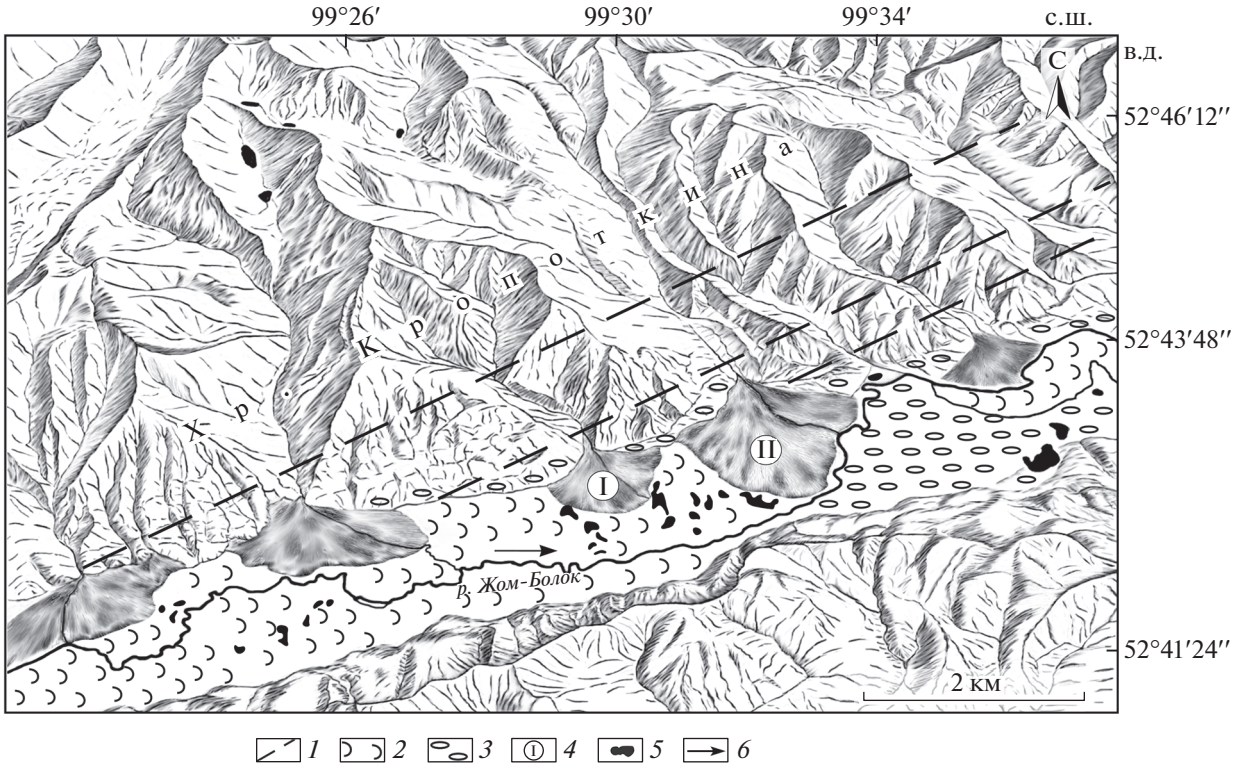


Рис. 3. Фрагмент долины р. Жом-Болок в ее нижнем течении.

1 – зона Окино-Жомболокского разлома; *2* – базальтовые лавы; *3* – позднеплейстоценовые ледниковые отложения; *4* – номера конусов выноса (I – № 56, II – № 57), промеры и анализ морфологии которых были проведены в полевых условиях 2018–2019 гг.; *5* – озера; *6* – направление течения р. Жом-Болок.

[14]. Разрывные нарушения обусловили и плановые очертания долины реки, на что указывают, в том числе, ее неоднократные повороты под прямым углом. Нижний участок долины, ориентированный ЗЮЗ-ВСВ, совпадает с активным Окино-Жомболокским разломом (рис. 3), который ограничивает Окинскую впадину с севера; западнее разлом прослеживается в верховьях долины р. Сенцы. Для него характерны сдвиговая и сбросо-сдвиговая составляющие, а потенциальная сейсмичность оценивается в 7–8 баллов [17]. К разлому приурочено большинство эпицентров современных и палеоземлетрясений региона магнитудой 4.1–5 [18, 19].

Таблица 1. Объемы конусов выноса в долине р. Жом-Болок

Классы	Объем, млн. м^3	Количество конусов
1	<1	66
2	1–2.5	14
3	2.5–5.0	12
4	5.0–7.5	8
5	7.5–20.0	6

Долина р. Жом-Болок (водоток 5-го порядка) имеет глубину 700–800 м относительно водораздельных поверхностей, абс. отметки которых достигают 1800–2400 м над у. м. и более. Сложены междуречья преимущественно протерозойскими метаморфическими породами и прорывающими их палеозойскими гранитоидами. Соответственно, среди обломочного материала, выносимого притоками, преобладают продукты разрушения метаморфических и магматических пород, слагающих борта долины. Они представлены обломками гранитов (иногда с признаками бластомилонитизации), диоритов, гранодиоритов и габбродиоритов, а также кварцитов, мраморов и др. Вдоль бортов долины отчетливо прослеживаются смещения по разлому и зоны повышенной трещиноватости, к которым приурочено активное развитие современных гравитационных процессов.

На формирование рельефа территории значительное влияние оказало оледенение, о чем свидетельствуют широко развитые экзарационные и аккумулятивные ледниковые формы. Сама долина-грабен р. Жом-Болок подверглась обработке ледником и сейчас морфологически представляет собой трог (рис. 4); в верховьях ее притоков наблюдаются многочисленные кары и цирки, ино-

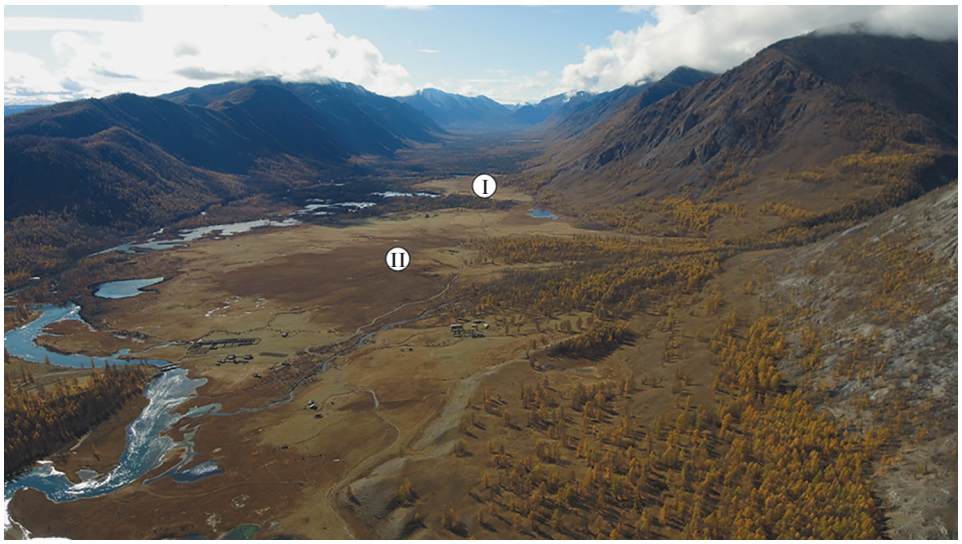


Рис. 4. Вид вверх по долине р. Жом-Болок в ее нижнем течении (снимок с БПЛА В. Пеллинена, 2019 г.). Цифрами обозначены конусы выноса у левого борта долины близ пос. Шарза: I – конус № 56, II – конус № 57.

гда с озерами. Обширные конечные и боковые морены дешифрируются здесь практически во всех речных долинах, а также на перевальных седловинах междуречья рек Сенца и Жом-Болок.

Ледниковые отложения представлены галечно-валунным материалом пестрого петрографического состава, обычно средней, иногда хорошей окатанности. Позднеплейстоценовое оледенение имело здесь горно-долинный характер, мощность ледников по оценкам исследователей [20, 21] была не менее 300–400 м. Конечные морены, возраст которых по данным датирования бериллиевым методом (^{10}Be) [21, 22] составляет 22–23 тыс. л. н., сохранились в долине р. Жом-Болок на отметках 1300–1400 м. Деградация оледенения началась около 16 тыс. л. н. [21]. Судя по анализу кернов донных отложений оз. Каскадное-1 [23], примерно 14.3 тыс. л. н. долина р. Жом-Болок и ее притоки уже были свободны ото льда до отметок около 2080 м над у. м.

В долине р. Сенцы (также водоток 5-го порядка) – левого притока Оки, впадающего выше р. Жом-Болок, хорошо сохранились серии последовательных конечноморенных валов общей протяженностью вдоль долины до 10 км. Выше них по течению (примерно в 18–20 км от устья) днище долины занимают отложения подпрудного палеоозера, сформировавшегося после деградации оледенения; вдоль бортов долины прослеживаются гряды боковых морен. Близкое строение имела бы и долина р. Жом-Болок, но около 13 тыс. л. н. (13.5–12.9 тыс. л. н. по [11] и 14.3–13.3 по [24]) в результате трещинного излияния в верховьях долины (падь Хи-Гол) ее днище на всем протяжении было перекрыто базальтовыми лавами. Длина потока составила около 70 км при ширине 2–4 км и мощности до 150 м [10] или даже 200 м [24]. Повторная активизация вулканической деятельности также наблюдалась около 7–5.5 тыс. л. н. [4, 25], последняя – в интервале 1.3–0.8 тыс. л. н. Однако более молодые излияния были менее мощными и их отложения распространены локально – небольшими пятнами среди более старых лав [10, 11]. В нижнем течении р. Жом-Болок лавы местами обрамлены фрагментами боковых морен, частично перекрытых коллювием, а примерно в 21–23 км от устья реки лавовый поток резко сужается, “прорываясь” через конечноморенные валы жомболокского ледника (см. рис. 2). Ниже (в 7–10 км от устья) он опять распластывается, перекрывая флювиогляциальный конус выноса [11], сформировавшийся в приустьевой части реки при деградации ледника и, возможно, при прорыве аналогичного сенцинскому подпрудного палеоозера.

Современный климат исследуемой территории резко континентальный, восточносибирского типа, для которого характерны значительные колебания суточных и годовых температур. Среднегодовая температура (метеостанция Орлик, абс. высота 1373 м) составляет –3.1°С. Годовое количество осадков невелико – 400–500 мм, причем 85–90% их выпадает в теплое время года; максимум приходится на июль. Район относится к зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород с температурами от –3°С до –5°С и мощностью от 100 до 400 м [26]. В базальтовых лавах мерзлотные процессы не идут, однако в долине р. Сенцы в тонкодисперсных озерных отложениях сформировались бугры пучения и термокарстовые озера[2] [27]. Питание рек территории

[2] В сентябре 2020 г. при бурении скважины в днище долины р. Сенца у пос. Шас-Нур (при непосредственном участии В.А. Пеллинена) на глубине 43 м были вскрыты под- или межмерзлотные (?) воды.

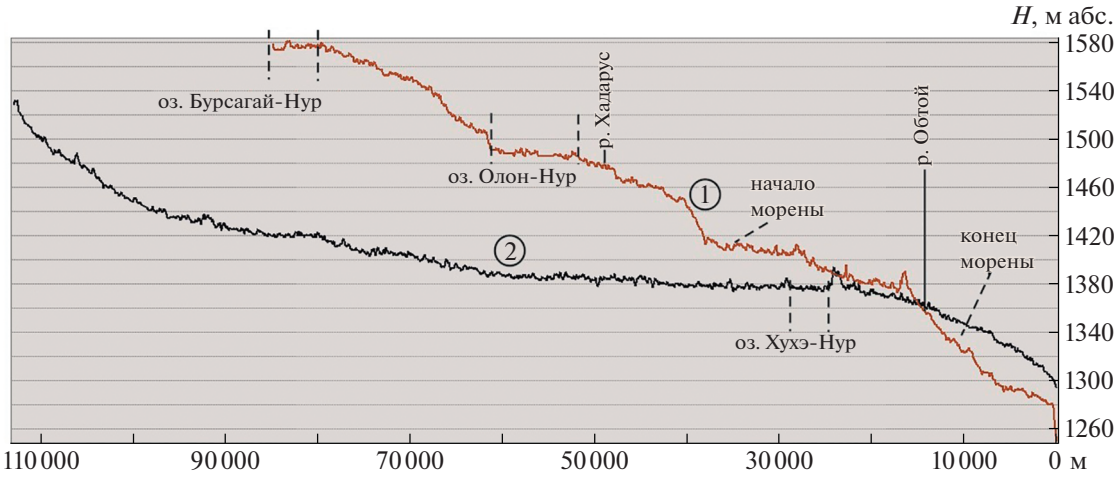


Рис. 5. Сравнение продольных профилей рек Жом-Болок (1) и Сенца (2).

осуществляется за счет атмосферных осадков, снеговых талых и подземных вод. Режим рек характеризуется весенне-летним половодьем; на многих из них существует возможность схода селевых потоков [28, 29]. Согласно исследованиям [30, 31], массовый сход селей на территории Восточного Саяна приходится на июль-август, его, как правило, вызывают затяжные дожди, завершающиеся ливнями. Накопление в долинах обломочного материала, достаточного для схода селя, занимает в среднем до 4–5 лет, однако крупные события происходят реже – раз в 15–23 года или даже в 30 лет [там же].

СТРОЕНИЕ ДНИЩА ДОЛИНЫ р. ЖОМ-БОЛОК

Базальтовые лавы, заполнившие днище троговой долины р. Жом-Болок около 13 тыс. л. н., имеют слабоволнистую поверхность со следами торошения. На таких участках рельеф лавового потока можно охарактеризовать в целом как “бугристо-западинный” с перепадами высот до 3–4 м, принимая во внимание то, что хаотично расположенные возвышенные участки представляют собой нагромождения базальтовых глыб. Примечательно и внутреннее строение лав, для которого характерно наличие большого количества протяженных пустот – лавовых туннелей, активно использующихся текущими водами. В верховьях долины современное русло реки не сформировано: сток идет под и внутри лавы по этим туннелям; поверхностный сток появляется только в среднем течении реки – ниже оз. Бурсагай-Нур. Скорость течения реки повсеместно превышает 1 м/с, в приустьевой части по данным [32] возрастая до 1.3–1.5 м/с.

Современное русло сформировалось в результате постепенного разрушения бортов и кровли лавовых туннелей потоками воды, причем сначала происходило образование цепочек проточных (русловых) озер (их мы и сейчас видим на отдельных участках реки), а только затем хорошо выраженного руслового лотка с порогами в местах выхода более прочных сливных лав. Местами русло реки разветвляется на рукава, которые соединяются пересыхающими в межень протоками с озерами, расположенными на формирующейся в паводки эрозионной пойме, на отдельных участках перекрытой тонким супесчаным материалом с включением гравия пород преимущественно гранитного состава. Высота поймы составляет 1–3 м над современным урезом реки. Меженный уровень воды в реке на 3–5 м ниже уровня лавового потока, общая глубина вреза в лавы достигает 6–7 м. Современный продольный профиль реки невыработанный, ступенчатый: к выположенным участкам профиля приурочены озеровидные расширения русла, к перегибам – порожисто-водопадные участки (рис. 5). В приустьевой части водоток разбивается на два рукава, один из которых заканчивается 14-метровым водопадом, второй – имеет множество порогов. Продольный профиль Жом-Болока резко отличается от такового р. Сенцы, расположенной в целом в аналогичных геоморфологических условиях, но без заполнения долины лавами.

В паводки при подъеме воды в р. Жом-Болок на 1–2 м и более прирусловая часть лавового потока затапливается и там идет активное дальнейшее разрушение кровли туннелей с формированием новых цепочек “пойменных” озер. Хотя в межень соединяющие их протоки преимущественно осушаются, но в озерах наблюдается те-

чение воды согласно общему уклону долины, что свидетельствует о сохранении внутрилавового стока даже при доминировании поверхностного, сконцентрированного в русле. В протоках формируется отмостка из слабоокатанных (0–1 класс) обломков лав, которые могут рассматриваться как “зачаточный” (или инициальный) аллювий. Среди галечного материала основного русла р. Жом-Болок обломков базальтовых лав довольно мало – от 0 до 4–10%, исключением являются лишь участки, расположенные ниже порогов, где доля базальтов в аллювии может возрастать до 40%.

На лавовый поток в среднем и нижнем течении реки опираются обширные конусы выноса ее притоков, в основе сложенные грубым галечно-валунным материалом (рис. 2). Сортировка отложений, которыми сложены конусы, типична для селей [33]: в вершинной части доминируют крупные валуны, средняя сложена галькой и мелкими и средними валунами с супесчаным и песчаным заполнителем, а дистальная представлена супесями с редкими прослоями гравия. Выше конусов по течению в основной долине часто наблюдаются небольшие озера или заболоченные участки, что свидетельствует о существовании здесь помех не только для поверхностного, но и для внутрилавового стока.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И РАЗВИТИЯ КОНУСОВ ВЫНОСА

Всего в долине р. Жом-Болок нами выделено 80 конусов выноса, опирающихся на лавовый поток. Их площадь варьирует от 0.04 до 3.3 км^2, а общий объем составляет около 210 млн м^3. Наиболее мощные конусы выноса в устьях притоков приурочены к участкам среднего и нижнего течения, где они занимают от 15 до 25% площади днища (рис. 2, табл. 1). При этом наиболее крупные конусы приурочены к левому борту долины – склонам хр. Кропоткина; их совокупный объем составляет более 98 млн м^3.

Преобладают конусы выноса с объемами менее 1 млн м^3 (1 класс), как правило, расположенные в устьях небольших водотоков 1-го, реже 2-го порядка. Наиболее крупные конусы объемом от 5 до 20 млн м^3 (4 и 5 классы) приурочены к устьям водотоков 3–4 порядка. Однако конусы выноса некоторых крупных притоков частично разрушены в результате боковой эрозии как р. Жом-Болок, так и самих притоков. Попытки восстановить их примерную изначальную площадь по аналогии с другими конусами долины, имеющими правильную веерообразную форму, показали, что в результате береговой эрозии могло быть размыто от 10 до 25% их изначального объема. Наиболее сильно разрушен конус в устье р. Обтой (№ 59).

Сложены конусы преимущественно грубым материалом, среди которого доминируют валуны гранитоидов, однако в дистальных частях преобладают маломощные (до 0.2 м) супесчано-суглинистые отложения с включением щебня базальтового состава, которые непосредственно контактируют с лавовым потоком, а также заполняют существующие в нем пустоты. Ближе к проксимальной части конуса мощность рыхлого материала постепенно увеличивается до 0.5 м, в нем прослеживается до трех слаборазвитых слоев погребенных почв толщиной до 5–6 см, отмечается горизонтальная слоистость по механическому составу, появляются включения гравия гранитного состава. В этом тонкодисперсном материале отмечены следы мерзлотных процессов: на поверхности конуса здесь наблюдаются полигоны неправильной формы размером около 3–4 м, ограниченные раскрытыми трещинами шириной до 1–3 см, которые прослеживаются на глубину до 0.3 м. Далее вверх по профилю конуса крутизна его поверхности постепенно увеличивается от 1–3° в дистальной части до 8–10° в проксимальной. Доля и размер крупнообломочного материала также возрастают – появляются галька и мелкие, а затем средние и крупные валуны (размером до 0.6–1.0 м), которые слагают конус с поверхности, формируя плотную отмостку. В составе валунного и галечного материала преобладают граниты, гранито-гнейсы, диориты, габброиды, реже – мраморы. Значительные участки поверхности конусов задернованы, а в проксимальной части они обычно покрыты лиственничным лесом: диаметр стволов отдельных экземпляров достигает 0.5 м, высота – до 15 м. На залесенных участках появляются задернованные ложбины шириной до 3–4 м и глубиной до 1–2 м, в днищах которых иногда отмечаются лишь маломощные ручейки с расходом <0.2 м^3/с без врезанных русел. Ложбины окаймлены валами высотой от 1 до 2 м, сложенными валунным материалом 1–2 класса окатанности, валуны слагают и днища ложбин. Более активные современные водотоки с расходом более 10 м^3/с нередко отмечаются не в центральной части конусов, а по их периферии – на границе конуса и борта долины. Вдоль русел водотоков периодически наблюдаются небольшие современные паводковые выбросы материала в виде гальки и песка. Подобное строение конусов свидетельствует о том, что в настоящее время они достаточно стабильны: не наблюдаются ни их активный рост, ни деградация (рис. 6).

Так как нам известно время наиболее мощного излияния, лавы которого заполнили долину практически целиком, т.е. фактически возраст поверхности лав, на которую опираются данные конусы, то мы можем примерно оценить темпы денудации в бассейнах притоков реки за последние 13 тыс. лет. Для этого были определены пло-

Рис. 6. Строение конуса II (№ 57) в устье р. Шарза.

1 – залесенные участки с грубообломочным, преимущественно валунным материалом; *2* – участки с редкой древесно-кустарниковой растительностью, сложенные в основном галечно-валунным материалом, периодически затрагиваемые разливами р. Шарза; *3* – зона с травянистой растительностью с преобладанием галечного материала с тонкообломочным заполнителем, иногда затрагиваемая разливами р. Жом-Болок; *4* – зона ежегодного разрушения конуса р. Жом-Болок в паводки.

щади водосборов 23 левобережных притоков р. Жом-Болок в его среднем и нижнем течении и рассчитана скорость денудации в их бассейнах (табл. 2). Данный показатель колеблется в достаточно широких пределах, в среднем достигая 23.67 мм/тыс. л. При этом для наиболее крупных водотоков 3–4 порядка (Хадарус, Шарза, Баян-Жалга и др.) он составляет в среднем 21.25 мм/тыс. л., а для небольших водотоков 1–2 порядка – 24.96 мм.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В целом полученные нами цифры несколько больше скорости денудации, рассчитанной для хр. Кропоткина за период юры-миоцена по результатам трекового анализа апатитов [15], которая составила 17.5 мм/тыс. л. Но с конца плиоцена начался период неотектонической активизации региона, который продолжался в течение всего четвертичного периода, соответственно с этим может быть связано и возрастание скорости денудации в речных бассейнах по периферии воздымающегося блока хр. Кропоткина, обрамленного зонами активных разломов.

На поверхности разломы выражены в виде многочисленных зон дробления и трещиноватости, вследствие чего коренные породы в бассейнах водотоков сильно дезинтегрированы. Активному проявлению гравитационных процессов способствует и высокая сейсмичность территории. Так, например, к зоне сочленения Главного Саянского и Окино-Жомболокского разломов приурочены сильнейшие палеоземлетрясения с магнитудой 6–7, происходившие около 400, 600, 1800, 4700, 7600 и 9800 л. н. [19, 34]. Непосредственно Окино-Жомболокский разлом относится к наиболее активным структурам региона [35]. Амплитуда смещений по нему в голоцене по данным [19] составила 60–70 м, а средняя скорость смещения соответственно 6–7 мм/год. К зоне разлома приурочены и современные (происходившие с 1900 г.) землетрясения магнитудой 4.1–5 [17–19]. В соответствии с данными О.В. Луниной и соавт. [36], сейсмогравитационные деформации (гравитационно-склоновые процессы, инициируемые сейсмическими толчками) могут развиваться уже при магнитуде 4.2, причем зона сейсмического воздействия может распростра-

Таблица 2. Параметры конусов выноса и скорости денудации в водосборных бассейнах левых притоков р. Жом-Болок за последние 13 тыс. лет

Конусы выноса				Водотоки			Скорость денудации, мм/тыс. л
№	площадь, км^2	объем, млн м^3	класс по объему	длина, м	порядок	площадь бассейна, км^2	
25	0.209	1.36	2	1659	2	5.89	17.8
27	0.444	4.49	3	2428	2	12.07	28.6
28	0.378	3.94	3	3491	1	9.40	32.2
31	0.135	1.33	2	1441	2	3.905	26.2
37	0.409	6.30	4	1779	3	8.724	55.6
38	0.131	1.45	2	1159	2	2.769	40.2
48	0.325	4.12	3	1676	2	4.53	70.0
50	0.551	4.50	3	2298	2	17.944	19.3
51	0.332	1.27	2	2526	2	6.124	15.9
54	0.918	4.37	4	4902	3	39.76	8.5
56	0.731	7.30	4	3121	3	16.27	34.5
57	2.049	12.12	5	9064	4	74.94	12.4
58	0.386	2.99	3	5812	3	17.94	12.8
60	0.181	0.83	1	2586	2	11.60	5.5
61	3.377	18.57	5	19021	4	41.42	34.5
69	0.228	1.76	2	1066	2	7.868	17.2
83	0.037	0.25	1	719	1	0.93	20.7
91	0.076	0.55	1	638	1	0.86	49.2
92	0.061	0.27	1	2538	1	0.85	24.4
93	0.008	0.05	1	313	1	0.60	6.4
94	0.005	0.004	1	685	1	0.41	0.8
116	2.026	5.46	4	9752	4	112.87	3.7
117	0.820	7.58	5	11910	3	72.58	8.0

няться на расстояние до 300 км от эпицентра. В результате сейсмических толчков, помимо обвалов, усиливаются также оползневые, лавинные процессы, активизируется и сход селей [37–39].

Бассейны небольших притоков практически целиком попадают в приразломные зоны повышенной трещиноватости, где материал на склонах подготовлен к транспортировке. Возможно, с этим связаны несколько более высокие темпы денудации в бассейнах водотоков низких порядков. У более крупных водотоков непосредственно в зоне разлома находятся лишь их приустьевые части. Однако в их долинах на спутниковых снимках хорошо дешифрируются значительные объемы ледникового материала. Они сформировали конусы выноса преимущественно за счет его переотложения, о чем свидетельствует хорошая обработка в них валунов и гальки. Конусы выноса таких притоков, как правило, более крупные, местами они практически перекрывают днище долины р. Жом-Болок. Очевидно, что часть материала, выносимого такими притоками, сразу же поступала непосредственно в русло основной реки. Кроме того, в периоды паводков и р. Жом-Болок, и его притоки размывают конусы выноса и уносят часть отложенного в них материала (о чем мы писали выше), который также принимает участие в формировании аллювия основной реки. Объем этого материала при расчетах не учитывался, т.е. реальные скорости денудации в крупных водотоках явно несколько выше, и мы можем считать полученные данные лишь среднеминимальными темпами денудации.

В чем же специфика формирования селевых конусов долины р. Жом-Болок? Сравнение современных продольных профилей этой реки и расположенного выше по течению соседнего притока р. Оки – р. Сенцы – позволило [4] заключить, что мощность жомболокского лавового потока в среднем течении реки может достигать 150 м (см.

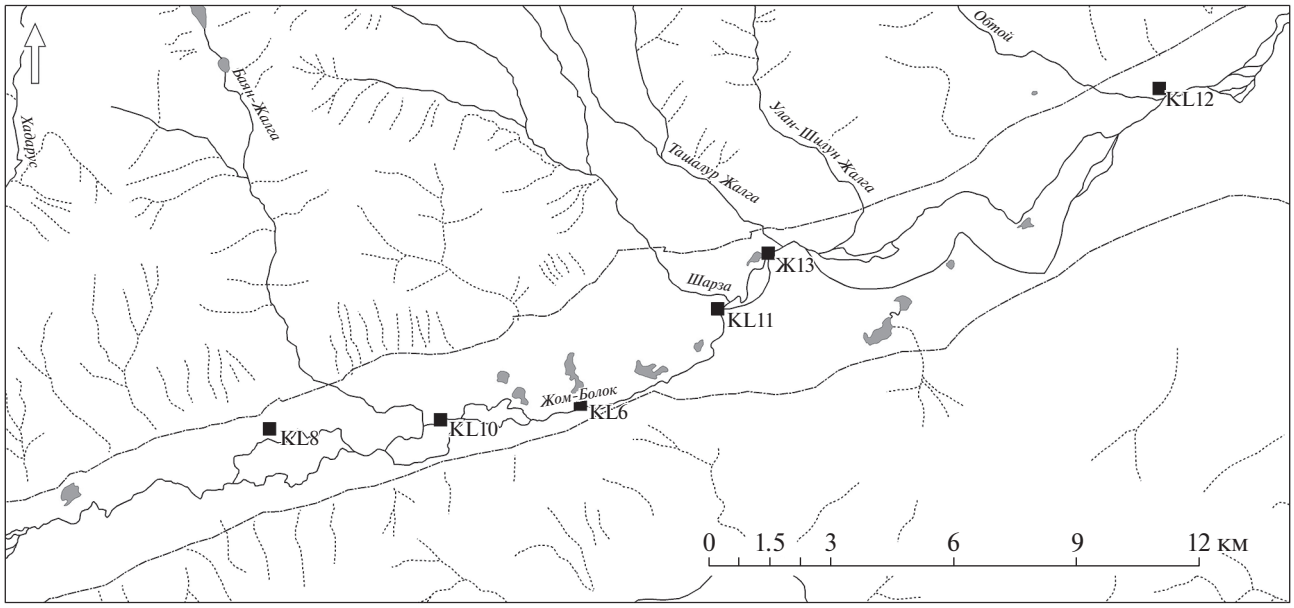


Рис. 7. Схема расположения точек отбора проб галечной фракции аллювия р. Жом-Болок.

рис. 5), такого же мнения придерживаются и другие исследователи [10, 24]. Следовательно, даже если мощность потока базальтов и несколько меньше, то после их излияния все боковые притоки р. Жом-Болок на рассматриваемом участке оказались перегорожены лавой с последующим формированием подпрудных озер, как это обычно и происходит в таких случаях [3, 9, 40]. Необходимо подчеркнуть, что висячих притоков в долине р. Сенцы, которую мы рассматриваем как долину-аналог, не затронутый вулканизмом, нет. Следовательно, скорее всего их не было и в долине р. Жом-Болок. Собственно, в верхнем течении реки три подпрудных озера сохранились и в настоящее время [41, 42]. Постепенно озера в приустьевых частях притоков были заполнены переотложенным селями ледниковым, флювиогляциальным и склоновым материалом; впоследствии зона аккумуляции распространилась и на поверхность лавового потока, и селевый материал частично перекрыл его. Таким образом, мы не можем исключать наличие переуглубленных врезов в приустьевых частях притоков р. Жом-Болок в его среднем и нижнем течении (выше гряд конечной морены). Если этот факт подтвердится, то можно будет говорить и о еще более значительных темпах денудации в бассейнах притоков по сравнению с рассчитанными.

Когда же были сформированы основные объемы конусов выноса? Весьма активное селеформирование нередко наблюдается на этапе деградации ледников, когда происходит переотложение ледникового материала талыми водами. Однако, по данным исследований на сопредельной территории [30, 43, 44], максимальная селевая активность региона пришлась на начало голоцена. В частности, С.А. Макаровым и А.А. Черкашиной [44] впервые были получены оценки возраста по ^{14}C погребенных слаборазвитых почв из голоценовых селевых конусов на правобережье р. Иркут у подножья хр. Мунку-Сардык. В результате ими выделено три этапа селевой активности голоцена: высокая (около 10 тыс. кал. л. н.), средняя (3 тыс. кал. л. н. – современность) и низкая (интервал между 10 и 3 тыс. кал. л. н.). Активизация селеформирования около 10 тыс. кал. л. н., по мнению исследователей, определялась тем, что количество осадков в начале голоцена превосходило современный уровень. Скорее всего, близкая ситуация была и в бассейне р. Жом-Болок.

Как повлияло формирование обширных конусов выноса на развитие долины р. Жом-Болок? Селеформирование в притоках оказало значительное влияние на развитие долины в поствулканический этап, в первую очередь, оно сказалось на плановых очертаниях ее современного русла. В частности, рост конусов вызывал его отжимание к противоположному борту долины: на снимках и картах это хорошо видно (см. рис. 4). Вынос тонкодисперсного материала приводил также к заполнению лавовых пустот и, соответственно, препятствовал подлавовому стоку. Это способствовало формированию озер и заболоченных участков в днище выше по течению обширных конусов выноса. С этим процессом мы отчасти связываем и появление поверхностного стока в долине р. Жом-Болок близ места впадения ее левого притока р. Бурсаг. Помимо увеличения вод-

Таблица 3. Состав галечной фракции аллювия р. Жом-Болок (нижнее течение)

№ точки	Петрографический состав, %					
	гранитоиды	гнейсы	габбро	кварциты	мраморы	молодые базальты
Русловой аллювий						
KL8	68	10	18	6	–	–
KL10	38	–	–	20	–	42
KL11	38	28	30	–	–	4
Ж13	83	–	–	7	–	10
KL12	58	4	2	22	6	8
Пойменный аллювий						
KL6	–	–	–	–	–	100

ности, важным фактором здесь оказался именно вынос рекой наряду с грубообломочным материалом и большого количества мелкообломочной составляющей, что привело к кольматированию внутрилавовых пустот и возникновению выше конуса выноса в долине р. Жом-Болок системы озер Бурсагай-Нур, которые фактически являются подпрудными. Сток из озер и положил начало современному руслу р. Жом-Болок. На космических снимках хорошо видно, как с ростом конуса русло реки постепенно смещалось к правому борту долины, о чем свидетельствуют фрагменты брошенных старых русел.

Кроме того, активный привнос селевого материала повлиял и на состав аллювия реки. Судя по данным петрографического (рис. 7, табл. 3) и минералогического анализов отложений в русле р. Жом-Болок, в них в настоящее время абсолютно доминирует материал, вынесенный притоками. То есть современный русловой аллювий р. Жом-Болок сформирован в значительной мере за счет перемытого материала конусов выноса, поэтому содержание обломков базальтов в нем, как правило, не превышает 4–10%. Что касается поймы, то участки, которые при полевых исследованиях мы изначально посчитали цокольными, на деле также оказались эрозионными: данные гранулометрического и минералогического анализов показали, что на коренном цоколе там залегает не супесчаный пойменный аллювий, а пролювий – отложения дистальной части конусов выноса.

ВЫВОДЫ

Анализ собранного материала позволяет заключить, что после излияния основного объема лав – на протяжении последних 13 тыс. лет – в приустьевых частях долин притоков р. Жом-Болок активно формировались селевые конусы выноса, которые смещали русло основной реки, способствовали кольматированию лавовых пустот и, как следствие, возникновению подпрудных озер в днище долины. Также они в значительной мере повлияли на состав современного аллювия р. Жом-Болок. Скорость денудации за рассматриваемый период в бассейнах левобережных притоков реки, дренирующих хр. Кропоткина, в среднем составила около 24 мм/тыс. л. Причем для водотоков 1–2 порядка этот показатель практически достигает 25 мм/тыс. л., а для водотоков 3–4 порядка – немногим превышает 21 мм/тыс. л. Однако в последнем случае очевидно, что это лишь среднеминимальная скорость, так как часть материала сразу же выносилась в русло р. Жом-Болок, а сами конусы выноса более крупных водотоков, сложенные преимущественно переотложенным селями позднеплейстоценового ледниковым и водно-ледниковым материалом, во многих случаях впоследствии оказались частично размыты.

БЛАГОДАРНОСТИ

Сбор данных осуществлен при поддержке РФФИ (проект № 18-05-00967), бурение в долине р. Сенцы проведено в рамках проекта № 20-45-380002, анализ материала выполнен в рамках госзаданий Института географии РАН № 0148-2019-0005, географического факультета МГУ № АААА-А16-116032810055-0 и Института земной коры СО РАН № РК АААА-А17-117022250069-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ярмолюк В.В., Лебедев В.И., Сугоракова А.М., Брагин В.Ю., Литасов Ю.Д., Прудников С.Т., Аракелянц М.М., Лебедев В.А., Иванов В.Г., Козловский А.М.* Восточно-Тувинский ареал новейшего вулканизма Центральной Азии: этапы, продукты и характер вулканической активности // Вулканология и сейсмология. 2001. № 3. С. 3–32.

2. *Ярмолюк В.В., Никифоров А.В., Иванов В.Г.* Строение, состав, источники и механизм долинных излияний лавовых потоков Жом-Болок (голоцен, Южно-Байкальская вулканическая область) // Вулканология и сейсмология. 2003. № 5. С. 41–59.
3. *Ярмолюк В.В., Козловский А.М., Кудряшова Е.А., Лебедев В.И., Сугоракова А.М.* Крупнейшие долинные излияния в кайнозое Азии: особенности строения, состава и условия формирования "лавовой реки" долины Малого Енисея // Вулканология и сейсмология. 2004. № 4. С. 3–20.
4. *Ivanov A.V., Arzhannikov S.G., Demonterova E.I., Arzhannikova A.V., and Orlova L.A.* Jom-Bolok Holocene volcanic field in the East Sayan Mts., Siberia, Russia: structure, style of eruptions, magma compositions, and radiocarbon dating // Bull. of Volcanol. 2011. Vol. 73. P. 1279–1294.
5. *Ivanov A.V., Demonterova E.V., Huaiyu H., Perepelov A.B., Travin A.V., and Lebedev V.A.* Volcanism in the Baikal rift: 40 years of active-versus-passive model discussion // Earth-Science Rewiews. 2015. Vol. 148. P. 18–43.
6. *Базаров Д.Б., Антощенко-Оленев И.В.* Селенгинское среднегорье и Джидинский горный район / Нагорья Прибайкалья и Забайкалья. М.: Наука, 1974. С. 163–210.
7. *Антощенко-Оленев И.В.* Кайнозой Джидинского района Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1975. 127 с.
8. *Лебедева Е.В.* Перестройки речной сети: причины и факторы // Геоморфология. 2012. № 3. С. 21–32.
9. *Лебедева Е.В.* Влияние лавовых потоков на строение долин и развитие речной сети // Геоморфология. 2016. 3. С. 78–91.
10. *Демонтерова Е.И, Аржанников С.Г., Аржанникова А.В., Иванов А.В.* Долина Вулканов в Восточном Саяне / Наука из первых рук. 2015. Т. 53/54. № 5/6. Код доступа https://scfh.ru/papers/dolina-vulkanov-v-vostochnom-sayane/
11. *Arzhannikov S.G., Ivanov A.V., Arzhannikova A.V., Demonterova E.I., Jolivet M., Voronin V.I., Buyantuev V.A., and Oskolkov V.A.* Age of Jombolok lava field (East Sayan): evidence from dendrochronology and radiocarbon dating // Russian Geology and Geophysics. 2017. Vol. 58. P. 20–36.
12. Francis Joseph's Land. – Land Viewer | EOS [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://eos.com/landviewer (дата обращения: 01.09.2020)
13. Лазерные дальномеры Leica DISTO, лазерные сканеры Leica, 3D обмеры [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://disto-leica.ru (дата обращения: 01.09.2020)
14. *Уфимцев Г.Ф., Немчинов В.Г.* Окинское плоскогорье в новейшей структуре юга Восточной Сибири // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 6. С. 979–987.
15. *Аржанникова А.В., Жоливе М., Аржанников С.Г., Вассалло Р., Шове А.* Возраст формирования и деструкции мезозой-кайнозойской поверхности выравнивания в Восточном Саяне // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 7. С. 894–905.
16. *Флоренсов Н.А.* Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1960. 177 с.
17. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Ангаро-Енисейская. Лист N-47 Нижнеудинск. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 652 с.
18. *Николаев В.В., Демьянович М.Г.* Сейсмотектоника Окинского плоскогорья (Восточный Саян) // Сейсмогеология Восточной части Алтае-Саянской горной области / Труды Ин-та геологии и геофизики. Новосибирск: Наука, 1978. Вып. 399. С. 42–48.
19. *Аржанникова А.В., Аржанников С.Г.* Сейсмотектоника Алтае-Саянской горной области [Электронный ресурс] // Тувинские землетрясения 2011–2012 гг. / Мат-лы науч. совещ. по базовому проекту ТувИКОПР СО РАН VIII.78.1.4 "Напряженное состояние сейсмоопасных зон Тувы: оценка сейсмической безопасности на основе сейсмических исследований и данных сети сейсмических станций". Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2014. С. 4–9. Электрон. версия печат. публ. – доступ из "Docplayer.ru".
20. *Олюнин В.Н.* Неотектоника и оледенение Восточного Саяна. М.: Наука, 1965. 127 с.
21. *Arzhannikov S.G., Braucher R., Jolivet M., Arzhannikova A.V., Vassallo R., Chauvet A., Bourlès D., and Chauvet F.* History of late Pleistocene glaciations in the central Sayan-Tuva Upland (southern Siberia) // Quaternary Science Reviews. 2012. Vol. 49. P. 16–32.
22. *Аржанников С.Г., Броше Р., Жоливе М., Аржанникова А.В.* К вопросу о позднеплейстоценовом оледенении юга Восточного Саяна и выделение конечных морен MIS 2 на основе бериллиевого датирования (^{10}Be) ледниковых комплексов // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 11. С. 1917–1933.
23. *Щетников А.А., Безрукова Е.В., Кербер Е.В., Белозерова О.Ю., Кузьмин М.И., Иванов Е.В., Крайнов М.А., Филинов И.А., Нечаев И.О.* Первые результаты тефрохронологических исследований позднеплейстоцен-голоценовых вулканических извержений в долине р. Жом-болок (Восточный Саян) // ДАН. 2019. Т. 486. № 3. С. 336–340.
24. *Shchetnikov A.A., Bezrukova E.V., and Krivonogov S.K.* Late Glacial to Holocene volcanism of Jom-Bolok Valley (East Sayan Mountains, Siberia) recorded by microtephra layers of the Lake Kaskadnoe-1 sediments // Journal of Asian Earth Sciences. 2019. Vol. 173. P. 291–303.
25. *Щетников А.А., Безрукова Е.В., Филинов И.А., Иванов Е.В., Кербер Е. В.* Озерный морфолитогенез в долине вулканов (Восточный Саян) // География и природные ресурсы. 2016. № 3. С. 33–38.
26. *Мельников Е.С., Гравис Г.Ф., Конченко Л.А., Молчанова Л.С.* Карта криогенных геологических процессов криолитозоны России (м-б 1:7500000) // Итоги фундаментальных исследований Земли в Арктике и Субарктике. Новосибирск: Наука, 1977. С. 279–286.
27. *Алексеев С.В., Алексеева Л.П., Светлаков А.А., Козырева Е.А., Васильчук Ю.К.* Литология и строение бугров пучения в долине р. Сенца (Окинское плоскогорье, Восточные Саяны) // Арктика и Антарктика. 2017. № 2. С. 136–149. https://doi.org/10.7256/2453-8922.2017.2.23037

28. *Захаров В.В., Кичигина Н.В.* Роль речного стока в формировании русловых процессов высокогорной области Восточного Саяна (в верховьях рек Иркута, Китоя, Оки) // Рельеф и экзогенные процессы гор / Мат-лы Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 100-летию Л.Н. Ивановского. Иркутск: Ин-т географии СО РАН, 2011. Т. 2. С. 76–79.
29. *Масютина Ю.А.* Экзогенный морфогенез Окинского плоскогорья (Восточный Саян). Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Томск: ТГУ, 2019. 23 с.
30. *Лапердин В.К., Тржцинский Ю.Б.* Экзогенные геологические процессы и сели Восточного Саяна. Новосибирск: Наука, 1977. 103 с.
31. *Перов В.Ф.* Селеведение. Уч. пособие. М.: Географический ф-т МГУ, 2012. 272 с.
32. *Выркин В.Б., Опекунова М.Ю.* Особенности строения речных долин на территории Окинского плоскогорья // География и природные ресурсы. 2015. № 2. С. 106–113.
33. *Лаврушин Ю.А.* Особенности динамик и высокоскоростного осадконакопления водокаменных селевых потоков горных долин и склонов / Бюл. комис. по изуч. четвертич. периода. 2018. № 76. С. 110–134.
34. *Смекалин О.П., Чипизубов А.В., Имаев В.С.* Палеоземлетрясения Прибайкалья: методы и результаты датирования // Геодинамика и тектонофизика. 2010. № 1. С. 55–74.
35. *Лунина О.В.* Цифровая карта разломов для плиоцен-четвертичного этапа развития земной коры юга Восточной Сибири и сопредельной территории Северной Монголии // Геодинамика и тектонофизика. 2016. Т. 7. № 3. С. 407–434.
36. *Лунина О.В., Андреев А.В., Гладков А.А.* Закономерности проявления и модели локализации опасных геологических процессов при сейсмогенной активизации разломов на юге Сибири и в Монголии // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 8. С. 1294–1313.
37. *Казаков Н.А.* О возможном механизме формирования сейсмогенных лавин // Мат-лы гляциол. исслед. 2000. Вып. 88. С. 102–106.
38. *Казаков Н.А.* Сейсмогенные факторы селевого процесса в низкогорье (на примере о. Сахалин) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2007. № 1. С. 75–81.
39. *Kazakov N. and Kudryavtsev S.* Conditions of formation of seismogenic landslides on Sakhalin Island. Selected issues, MATEC Web of Conferences. 2019. Vol. 265. 04012 doi.org/ https://doi.org/10.1051/matecconf/2019265004012
40. *Лебедева Е.В.* Виды воздействия вулканической и поствулканической деятельности на флювиальный рельеф // Геоморфология. 2019. № 4. С. 49–66.
41. *Сковитина Т.М.* Плотинные озера Саяно-Байкальской Становой горной области // Геоморфология. 2002. № 3. С. 79–88.
42. *Щетников А.А.* Озера Окинского плоскогорья // Геоморфология. 2002. № 3. С. 88–95.
43. *Kadetova A.V., Rybchenko A.A., Kozireva E.A., and Pellinen V.A.* Debris flows of 28 June 2014 near the Arshan village (Siberia, Republic of Buryatia, Russia) // Landslides. 2016. Vol. 13. No. 1. P. 129–140. https://doi.org/10.1007/s10346-015-0661-7
44. *Макаров С.А., Черкашина А.А.* Изучение селевой активности по данным радиоуглеродного датирования гумусовых горизонтов погребенных голоценовых почв // Геоморфология. 2020. № 1. С. 96–106.

Debris cones in Zhom-Bolok river valley (Eastern Sayan): structure, formation features and impact on the development of the watercourse

E. V. Lebedeva[a,#], D. V. Mishurinsky[a,b,##], V. A. Pellinen[c,###], T. M. Skovitina[c,####], and D. V. Mikhalev[b,#####]

[a] *Institute of Geography RAS, Moscow, Russia*
[b] *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*
[c] *Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch RAS, Irkutsk, Russia*
[#] *E-mail: ekaterina.lebedeva@gmail.com*
[##] *E-mail: mishurinsk@mail.ru*
[###] *E-mail: vadim.a.pellinen@ya.ru*
[####] *E-mail: skovit@crust.irk.ru*
[#####] *E-mail: mikhalev.dmitry@gmail.com*

The bottom of the trough of Zhom-Bolok River along the entire length (about 70 km) was covered by flow of basaltic lavas about 13 ka BP. At present, extensive debris cones formed by river's tributaries that mainly composed of debris flows material are developed on top of the lava flow. Eighty cones with a total volume of 210 million m^3 were recorded in the valley; the largest of them are located in the middle and lower reaches of the river, where they occupy from 15 to 25% of valley's bottom surface area. During the last 13 ka the average denudation rate in the catchment areas of the Zhom-Bolok River' tributaries, draining Kropotkin Ridge, was 0.024 mm per year. Obviously, this rate is only the average minimum, because in some cases, the cones of larger streams are partially washed away by the river. Soil development and forest coverage on the debris cones at present indicate that at present the debris flow activity is low. According to research data in the adjacent territory, the peak of debris flow formation activity occurred at the beginning of the Holocene. Along with the

effusion of lavas, the removal of significant volumes of loose material by tributaries influenced the morphology and development of the Zhom-Bolok river valley. In the post-eruptive period, the runoff initially went through lava tubes. It is partially preserved to this day. Cones development caused the filling of lava cavities with loose material, preventing the intralava drain, and promoted the formation of lakes at the bottom of the valley and the displacement of the river channel. The total incision of the river into the lava flow during the post-eruptive stage reached 6–7 m. During floods, an erosive floodplain is actively formed in the valley, including due to erosion of the distal parts of the cones. The results of petrographic and mineralogical analyzes of the Zhom-Bolok river channel alluvium suggest that currently it is mostly dominated by material carried by tributaries with the content of basalt fragments not exceeding 10%.

Keywords: debris flow, river channel, debris cone, lava flow, dammed lake, denudation, Buryatia, East Siberia

ACKNOWLEDGMENTS

The data were collected with support of the RFBR (project No. 18-05-00967), drilling in the Sentsa river valley was carried out within the framework of the project No. 20-45-380002, the analysis of results was done in the frame of the topics of the State Administration of the Institute of Geography RAS No. 0148-2019-000, Faculty of Geography Lomonosov Moscow State University No. AAAA-A16-116032810055-0 and Institute of the Earth's Crust No. RK AAAA-A17-117022250069-1.

REFERENCES

1. Yarmolyuk V.V., Lebedev V.I., Sugorakova A.M., Bragin V.Yu., Litasov Yu.D., Prudnikov S.T., Arakelyants M.M., Lebedev V.A., Ivanov V.G., and Kozlovskii A.M. *Vostochno-Tuvinskii areal noveishego vulkanizma Tsentral'noi Azii: etapy, produkty i kharakter vulkanicheskoi aktivnosti* (The Eastern Tuva region of recent volkanism in Central Asia: periods, products and types of volkanic activity). *Vulkanologiya i seismologiya*. 2001. No. 3. P. 3–32. (in Russ.)
2. Yarmolyuk V.V., Nikiforov A.V., and Ivanov V.G. *Stroenie, sostav, istochniki i mekhanizmy dolinnyh izliyanii lavovyh potokov Zhom-Bolok (golocen, Yuzhno-Baikal'skaya vulkanicheskaya oblast'* (Structure, composition, sources and mechanism of valley eruptions of lava flows Zhom-Bolok (Holocene, South Baikal volcanic region)). *Vulkanologiya i seismologiya*. 2003. No. 5. P. 41–59. (in Russ.)
3. Yarmolyuk V.V., Kozlovskij A.M., Kudryashova E.A., Lebedev V.I., and Sugorakova A.M. *Krupneishie dolinnye izliyaniya v kainozoe Azii: osobennosti stroeniya, sostava i usloviya formirovaniya "lavovoi reki" doliny Malogo Eniseya* (Largest valley outpourings in the Cenozoic of Asia: features of the structure, composition and conditions of formation of the "lava river" of the Maly Yenisei valley). *Vulkanologiya i seismologiya*. 2004. No. 4. P. 3–20. (in Russ.)
4. Ivanov A.V., Arzhannikov S.G., Demonterova E.I., Arzhannikova A.V., and Orlova L.A. Jom-Bolok Holocene volcanic field in the East Sayan Mts., Siberia, Russia: structure, style of eruptions, magma compositions, and radiocarbon dating. *Bull. of Volcanol*. 2011. Vol. 73. P. 1279–1294.
5. Ivanov A.V., Demonterova E.V., Huaiyu H., Perepelov A.B., Travin A.V., and Lebedev V.A. Volcanism in the Baikal rift: 40 years of active-versus-passive model discussion. *Earth-Science Rewiews*. 2015. Vol. 148. P. 18–43.
6. Bazarov D.B. and Antoschenko-Olenev I.V. *Selenginskoe srednegor'e i Djidinskii gornii raion / Nagor'ya Pribaikal'ya i Zabaikal'ya* (The Selenga middle mountains and the Djindinsky mountain region / Highlands of Baikal and Transbaikalia). Moscow: Nauka (Publ.), 1974. 163–209 p. (in Russ.)
7. Antoschenko-Olenev I.V. *Kainozoi Djidinskogo raiona Zabaikal'ya* (Cenozoic of the Dzhidinsky region of Transbaikalia). Novosibirsk: Nauka (Publ.), 1975. 127 p. (in Russ.)
8. Lebedeva E.V. *Perestroiki rechnoi seti: prichiny i factory* (Reconstruction of the river network: causes and factors). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2012. No. 3. P. 21–32. (in Russ.)
9. Lebedeva E.V. *Vliyanie lavovykh potokov na stroenie dolin i razvitie rechnoi seti* (The influence of lava flows on the structure of valleys and the development of the river network). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2016. No. 3. P. 78–91. (in Russ.)
10. Demonterova E.I., Arzhannikov S.G., Arzhannikova A.V., and Ivanov A.V. *Dolina Vulkanov v Vostochnom Sayane* (Valley of Volcanoes in Eastern Sayan). *Nauka iz pervykh ruk* (Publ.). 2015. Vol. 53/54. No. 5/6. URL: https://scfh.ru/papers/dolina-vulkanov-v-vostochnom-sayane/ (in Russ.)
11. Arzhannikov S.G., Ivanov A.V., Arzhannikova A.V., Demonterova E.I., Jolivet M., Voronin V.I., Buyantuev V.A., and Oskolkov V.A. Age of Jombolok lava field (East Sayan): evidence from dendrochronology and radiocarbon dating. *Russian Geology and Geophysics*. 2017. Vol. 58. P. 20–36.
12. Francis Joseph's Land. - Land Viewer | EOS [Electronic data]. Access way: https://eos.com/landviewer (access date: 01.09.2020)
13. Lazernye dal'nomery Leica DISTO, lazernye skanery Leica, 3D obmery [Electronic data]. Access way: https://disto-leica.ru (access date: 01.09.2020)
14. Ufimtsev G.F. and Nemchinov V.G. *Okinskoe ploskogor'e v noveishei strukture yuga Vostochnoi Sibiri* (Okinskoe plateau in the newest structure of the South of Eastern Siberia). *Geologiya i geofizika*. 2001. Vol. 42. No. 6. P. 979–987. (in Russ.)
15. Arzhannikova A.V., Zholive M., Arzhannikov S.G., Vassallo R., and Shove A. *Vozrast formirovaniya i destruktsii mezozoi-kainozoiskoi poverhnosti vyravnivaniya v Vostochnom Sayane* (Age of formation and destruction of the Mesozoic-Cenozoic alignment surface in the

Eastern Sayan). *Geologiya i geofizika*. 2013. Vol. 54. No. 7. P. 894–905. (in Russ.)

16. Florensov N.A. *Mezozoiskie i kainozoiskie vpadiny Pribaikal'ya* (Mesozoic and Cenozoic depressions of the Baikal region). Leningrad: AN SSSR (Publ.), 1960. 177 p. (in Russ.)
17. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federacii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Angaro-Enisejskaya. List N-47 Nizhneudinsk*. Ob"yasnitel'naya zapiska. SPb.: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI (Publ.), 2012. 652 p. (in Russ.)
18. Nikolaev V.V. and Dem'yanovich M.G. *Seismotektonika Okinskogo ploskogor'ya (Vostochnyi Sayan)* (Seismotectonics of the Okinskoe plateau (Eastern Sayan)). *Seismogeologiya Vostochnoi chasti Altae-Sayanskoi gornoi oblasti: Trudy In-ta geologii i geofiziki*. Novosibirsk: Nauka (Publ.), 1978. Vol. 399. P. 42–48. (in Russ.)
19. Arzhannikova A.V. and Arzhannikov S.G. *Seismotektonika Altae-Sayanskoi gornoi oblasti* (Seismotectonics of the Altai-Sayan mountain region) *[Elektronnyi resurs], Tuvinskie zemletryaseniya 2011–2012 gg.: Mat-ly nauchn. Soveshch. po Bazovomu proektu TuvIKOPR SO RAN VIII.78.1.4 "Napryazhennoe sostoyanie seismoopasnykh zon Tuvy: otsenka seismicheskoi bezopasnosti na osnove seismicheskikh issledovanii i dannykh seti seismicheskikh stancii"*. Kyzyl: TuvIKOPR SO RAN (Publ.), 2014. P. 4–9. – Elektron. versiya pechat. publ. – Dostup iz "Docplayer.ru". (in Russ.)
20. Olyunin V.N. *Neotektonika i oledenenie Vostochnogo Sayana*. (Neotectonics and glaciation of the Eastern Sayan.). Moscow: Nauka (Publ.), 1965. 127 p. (in Russ.)
21. Arzhannikov S.G., Braucher R., Jolivet M., Arzhannikova A.V., Vassallo R., Chauvet A., Bourlès D., and Chauvet F. History of late Pleistocene glaciations in the central Sayan-Tuva Upland (southern Siberia). *Quaternary Science Reviews*. 2012. Vol. 49. P. 16–32.
22. Arzhannikov S.G., Broshe R., Zholive M., and Arzhannikova A.V. *K voprosu o pozdnepleistocenovom oledenenii yuga Vostochnogo Sayana i vydelenie konechnyh moren MIS 2 na osnove berillievogo datirovaniya (^{10}Be) lednikovyh kompleksov* (On the late Pleistocene glaciation of the South of the Eastern Sayan and identification of MIS 2 terminal moraines based on beryllium Dating (^{10}Be) of glacial complexes). *Geologiya i geofizika*. 2015. Vol. 56. No. 11. P. 1917–1933. (in Russ.)
23. Shchetnikov A.A., Bezrukova E.V., Kerber E.V., Belozerova O.Yu., Kuz'min M.I., Ivanov E.V., Krajnov M.A., Filinov I.A., and Nechaev I.O. *Pervye rezul'taty tefrohronologicheskih issledovanii pozdnepleistocen-golocenovyh vulkanicheskih izverzhenii v doline r. Zhombolok (Vostochnyi Sayan)* (First results of tephrochronological studies of late Pleistocene-Holocene volcanic eruptions in the Zhom-Bolok river valley (Eastern Sayan)). *DAN*. 2019. Vol. 486. No. 3. P. 336–340. (in Russ.)
24. Shchetnikov A.A., Bezrukova E.V., and Krivonogov S.K. Late Glacial to Holocene volcanism of Jom-Bolok Valley (East Sayan Mountains, Siberia) recorded by microtephra layers of the Lake Kaskadnoe-1 sediments. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2019. Vol. 173. P. 291–303.
25. Shchetnikov A.A., Bezrukova E.V., Filinov I.A., Ivanov E.V., and Kerber E.V. *Ozernyi morfolitogenez v doline vulkanov (Vostochnyi Sayan)* (Lake morpholithogenesis in the valley of volcanoes (Eastern Sayan)). *Geografiya i prirodnye resursy*. 2016. No. 3. P. 33–38. (in Russ.)
26. Mel'nikov E.S., Gravis G.F., Konchenko L.A., and Molchanova L.S. *Karta kriogennykh geologicheskikh processov kriolitozony Rossii (m-b 1:7500000)* (Map of cryogenic geological processes in the cryolithozone of Russia (m-b 1:7500000). *Itogi fundamental'nykh issledovanii Zemli v Arktike i Subarktike*. Novosibirsk: Nauka (Publ.), 1977. P. 279–286. (in Russ.)
27. Alekseev S.V., Alekseeva L.P., Svetlakov A.A., Kozyreva E.A., and Vasil'chuk Yu.K. *Litologiya i stroenie bugrov pucheniya v doline r. Sentsa (Okinskoe ploskogor'e, Vostochnye Sayany)* (Lithology and structure of heaving mounds in the Sentsa river valley (Okinskoe plateau, Eastern Sayans)). *Arktika i Antarktika*. 2017. No. 2. P. 136–149. https://doi.org/10.7256/2453-8922.2017.2.23037 (in Russ.)
28. Zakharov V.V., Kichigina N.V. *Rol' rechnogo stoka v formirovanii ruslovykh processov vysokogornoi oblasti Vostochnogo Sayana (v verhov'yakh rek Irkuta, Kitoya, Oki)* (The role of river flow in the formation of riverbed processes in the high-mountain region of the Eastern Sayan (in the upper reaches of the Irkut, Kitoy, and Oka rivers)). *Rel'ef i ekzogennye processy gor: materialy Vseros. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem, posvyashch. 100-letiyu* L.N. Ivanovskogo. Irkutsk: Institute of geography SO RAS (Publ.), 2011. Vol. 2. P. 76–79. (in Russ.)
29. Masyutina Yu.A. *Ekzogennyi morfogenez Okinskogo ploskogor'ya (Vostochnyi Sayan)*. PhD thesis. Tomsk: TGU (Publ.), 2019. 23 p. (in Russ.)
30. Laperdin V.K. and Trzhcinskiy Yu.B. *Ekzogennye geologicheskie processy i seli Vostochnogo Sayana* (Exogenous geological processes and debris flows of the Eastern Sayan). Novosibirsk: Nauka (Publ.), 1977. 103 p. (in Russ.)
31. Perov V.F. *Selevedenie* (Debris flows). Moscow: Geograficheskii f-t MGU (Publ.), 2012. 272 p. (in Russ.)
32. Vyrkin V.B. and Opekunova M.Yu. *Osobennosti stroeniya rechnykh dolin na territorii Okinskogo ploskogor'ya* (Features of the structure of river valleys on the territory of the Okinskoe plateau). *Geografiya i prirodnye resursy*. 2015. No. 2. P. 106–113. (in Russ.)
33. Lavrushin Yu.A. *Osobennosti dinamik i vysokoskorostnogo osadkonakopleniya vodokamennykh selevykh potokov gornykh dolin i sklonov* (Features of dynamics and high-speed sedimentation of water-stone mudflows in mountain valleys and slopes). *Byulleten' Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*. 2018. No. 76. P. 110–134. (in Russ.)
34. Smekalin O.P., Chipizubov A.V., and Imaev V.S. *Paleozemletryaseniya Pribaikal'ya: metody i rezul'taty datirovaniya* (Paleoearthquakes of the Baikal region: methods and results of Dating). *Geodinamika i tektonofizika*. 2010. No. 1. P. 55–74. (in Russ.)
35. Lunina O.V. *Tsifrovaya karta razlomov dlya pliotsenchetvertichnogo etapa razvitiya zemnoi kory yuga Vo-*

stochnoi Sibiri i sopredel'noi territorii Severnoi Mongolii (Digital fault map for the Pliocene-Quaternary stage of development of the earth's crust in the South of Eastern Siberia and the adjacent territory of Northern Mongolia). *Geodinamika i tektonofizika*. 2016. Vol. 7. No. 3. P. 407–434. (in Russ.)

36. Lunina O.V., Andreev A.V., and Gladkov A.A. *Zakonomernosti proyavleniya i modeli lokalizatsii opasnykh geologicheskikh processov pri seismogennoi aktivizatsii razlomov na yuge Sibiri i v Mongolii* (Regularities of manifestation and localization models of dangerous geological processes during seismogenic activation of faults in southern Siberia and Mongolia). *Geologiya i geofizika*. 2014. Vol. 55. No. 8. P. 1294–1313. (in Russ.)
37. Kazakov N.A. *O vozmozhnom mekhanizme formirovaniya seismogennykh lavin* (Possible mechanism of formation of seismogenic avalanches). *Mat-ly glyaciol. issled*. 2000. Vol. 88. P. 102–106. (in Russ.)
38. Kazakov N.A. *Seismogennye faktory selevogo processa v nizkogor'e (na primere o. Sakhalin)* (Seismogenic factors of the mudflow process in the low mountains (on the example of Sakhalin)). *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. 2007. No. 1. P. 75–81. (in Russ.)
39. Kazakov N. and Kudryavtsev S. Conditions of formation of seismogenic landslides on Sakhalin Island. Selected issues, *MATEC Web of Conferences*. 2019. Vol. 265. 04012 https://doi.org/10.1051/matecconf/2019265004012
40. Lebedeva E.V. *Vidy vozdeistviya vulkanicheskoi i post-vulkanicheskoi deyatel'nosti na flyuvial'nyi rel'ef* (Types of impact of volcanic and post-volcanic activity on fluvial relief). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2019. No. 4. P. 49–66. (in Russ.)
41. Skovitina T.M. *Plotinnye ozera Sayano-Bajkal'skoi Stanovoi gornoi oblasti* (Dam lakes of the Sayano-Baikal Stanovoy mountain region). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2002. No. 3. P. 79–88. (in Russ.)
42. Shchetnikov A.A. *Ozera Okinskogo ploskogor'ya* (Lakes of the Okinskoye plateau). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2002. No. 3. P. 88–95. (in Russ.)
43. Kadetova A.V., Rybchenko A.A., Kozireva E.A., and Pellinen V.A. Debris flows of 28 June 2014 near the Arshan village (Siberia, Republic of Buryatia, Russia). *Landslides*. 2016. Vol. 13. No. 1. P. 129–140. https://doi.org/10.1007/s10346-015-0661-7
44. Makarov S.A. and Cherkashina A.A. *Izuchenie selevoi aktivnosti po dannym radiouglerodnogo datirovaniya gumusovykh gorizontov pogrebennykh golocenovykh pochv* (Study of mudflow activity based on radiocarbon dating of humus horizons of buried Holocene soils). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2020. No. 1. P. 96–106. (in Russ.)

ГЕОМОРФОЛОГИЯ, 2021, том 52, № 2, с. 89–99

ДИСКУССИИ

УДК 551.439/551.432.7→551.435.4

ГИГАНТСКАЯ ВУЛКАНО-ГЛЯЦИАЛЬНАЯ ПОСТРОЙКА (ТЮЙЯ) ГОРА ОЛИМП КАК ИНДИКАТОР ДРЕВНЕГО КРУПНОГО ОЛЕДЕНЕНИЯ МАРСА

© 2021 г. И. В. Мелекесцев[1,*]

[1] *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия*

**E-mail: dirksen@kscnet.ru*

Поступила в редакцию 08.11.2019 г.
После доработки 16.07.2020 г.
Принята к публикации 22.12.2020 г.

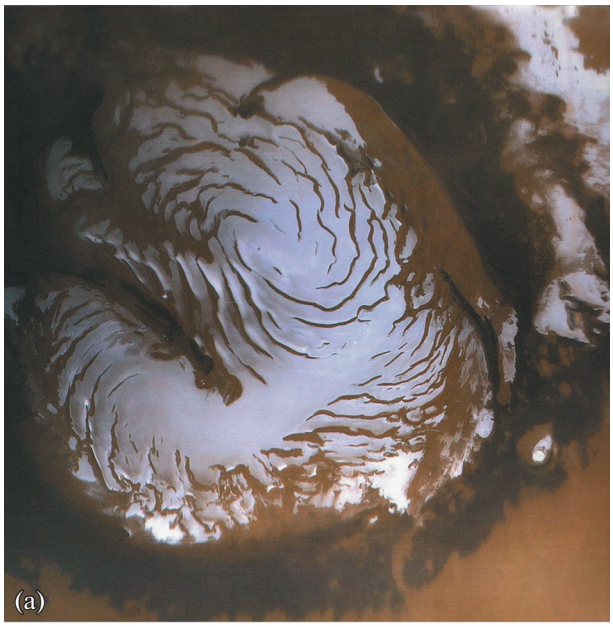
Гора Олимп (размер основания морфологически выраженной части 550 × 600 км, абсолютная высота вершины – 21.1 км, максимальная относительная высота – 21.9 км, объем – 2.4 × 10^6 млн км^3) – крупнейшее вулканическое сооружение не только на Марсе, но и на Земле. Дешифрирование закономерных сочетаний особенностей вулканических и ледниковых форм на Горе Олимп показало их кардинальное внешнее сходство с комплексом аналогичных форм на крупных тюйя молодых вулканических областей Земли. Это может свидетельствовать и об их одинаковом генезисе. Высота Олимпийского уступа (3–6 км), ограничивающего тюйя Гора Олимп, расположенную в низких широтах (центр 18°N, 113°W), позволяет предполагать, что во время ее формирования мощные ледниковые покровы располагались не только в околополярных областях Марса, но и за их пределами. Судя по распространению аккумулятивных образований, оледенение Горы Олимп было обширным (порядка 1.5–2 млн км^2), а мощность ледяной толщи (до 3–6 км) в центральной части ледника соответствовала высоте Олимпийского уступа. Хорошо дешифрирующиеся фрагменты ледникового рельефа указывают на многофазность оледенения, а их конфигурация – на четко выраженную асимметрию. В ЮЗ, З, СЗ, С и СВ секторах подножия вулкана Гора Олимп край ледника находился в 700–750 км от кратера вулкана, на других участках – в 500–600 км. На максимальное (1100 км, борозды Ахерон) расстояние от центра вулкана удалены колоссальными грязекаменными потоками типа лахаров ледниковые и водно-ледниковые образования, обогащенные вулканическими обломками. Эти потоки формировались в результате катастрофических разрушений стенок ледниковой котловины, в которой рос вулкан-тюйя Гора Олимп. Земной аналог подобного процесса – катастрофические исландские йокудльхлаупы, приуроченные к заполненным льдом кальдерам с растущими внутри них вулканами.

Ключевые слова: Марс, вулкан Гора Олимп, древний ледниковый покров, грязекаменные потоки, кальдера

DOI: 10.31857/S0435428121020073

ВВЕДЕНИЕ И ПРЕДЫСТОРИЯ ПРОБЛЕМЫ

Одна из характерных особенностей геоморфологии поверхности удаленных от Солнца планет земного типа (Земля – в 149.6 млн км, Марс – в 227.9 млн км) – наличие там современных обширных ледниковых покровов, расположенных в их околополярных областях: на Земле – в Антарктиде и Гренландии, на Марсе – полярные шапки на Северном и Южном полюсах (рис. 1). Прекрасно выраженная спиралевидная структура поверхности Северной и Южной шапок последнего обусловлена ротационным эффектом (один оборот вокруг своей оси с запада на восток, как и Земля, Марс совершает за 24.63 ч, один оборот вокруг Солнца (марсианский год) – за 669 сут) и общей пластичностью ледниковых масс. На обеих планетах мощность ледниковых щитов измеряется, как минимум, многими сотнями метров, однако их строение существенно различается. На Земле они полностью образованы льдом из замерзшей воды, а на Марсе – комбинацией инея углекислого газа и водяного льда. Толщина слоя инея в верхней части более крупной Северной полярной шапки Марса – несколько десятков сантиметров, а видимая вскрытая мощность пачки льда внизу – сотни метров. Предполагалось [2], что полная его мощность может достигать 2–4 км, как в Антарктиде. Однако после проведения в последнее десятилетие американскими исследователями радарной съемки [3, 4] выяснилось, что относительно чистый лед имеется только в верхней части разреза Северной полярной шапки, а ниже он сильно



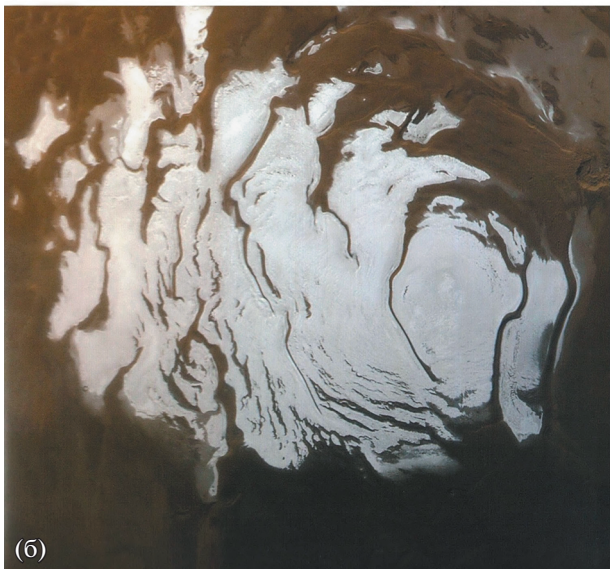


Рис. 1. Полярные шапки Марса: (а) – Северная и (б) – Южная [1].

обогащен многочисленными слоями, линзами и пачками песка и представлен в виде сложно построенной толщи – North Polar Layered Deposits (NPLD) – максимальной мощностью не менее 1.5–2 км. Сходное строение оказалось и у Южной полярной шапки. Там тоже доминирует аналогичная толща – Southern Polar Layered Deposits (SPLD), подошва которой находится на глубине около 1.5 км ниже ее кровли [5]; есть и "сухой лед" из твердой углекислоты. Обе полярные шапки Марса – современные, "живые", постоянно трансформирующиеся ледниковые образования, хотя и неизвестно, когда возникшие. Они прекрасно выражены в рельефе планеты, а их сезонная динамика четко прослеживается. Что касается однозначно достоверных следов более древних марсианских оледенений – аналогов пермского, карбонового, докембрийского оледенений Земли [6–8], морены которых в земных условиях погребены или уничтожены, то они, по данным автора настоящей статьи, пока не обнаружены, хотя рассуждений на эту тему и даже гипотез имеется много [2, 6–9]. Причем главной причиной служит не отсутствие на Марсе следов и форм самих древних оледенений, а только недостаточное развитие, во-первых, соответствующих целенаправленных исследований, обеспеченных необходимым объемом доступных крупномасштабных космических снимков поверхности Марса с высоким разрешением. Во-вторых, еще слабо разработана методика выявления и диагностирования на космических изображениях древних ледниковых образований, аналогичных по генезису таковым его современных полярных шапок.

Серьезным препятствием, по сравнению с Землей, служит и неполнота комплекса выраженных в рельефе марсианских ледниковых форм. Так, на Марсе вообще нет (и, вероятно, не было) характерных для альпийского рельефа настоящих скульптурных форм типа земных трогов и каров, несмотря на то, что крупные горные массивы с относительной высотой от 2 до 21.9 км и размером оснований 60–600 км распространены достаточно широко (см. табл. 1 в [10]). "Виноваты" в этом сухость и разреженность атмосферы Марса, которые имели место на большей части истории геологического развития планеты, бывшей раньше, как и сейчас, чаще всего, холодной безводной пустыней, несмотря на то, что похожих на кары обвальных и обвально-осыпных цирков на крутых склонах молодых ударных кратеров там имеется много. Хотя следы "влажного периода" [12] тоже, вроде бы, удалось установить при облете Марса "Маринером-9". Однако даже на самых высоких и крупных горных массивах, перечисленных в работах [2, 10, 12 и др.], таких скульптурных ледниковых форм по-прежнему не обнаружено. Дело в том, что абразивная деятельность марсианской пыли при любых скоростях марсианских ветров, включая максимальные (до 100 м/с и более [9]), не способна, в принципе, привести к возникновению каров и трогов. Правда, в какой-то степени роль каров могут выполнять достаточно крутые (20–25° по [2]) стенки верхних частей внутренних обрывов метеоритных кратеров с приуроченными к ним еще более крутосклонными вторичными обвальными цирками. Но появившиеся таким способом древние ледники остаются на дне кратеров, быстро погребаются ветровой пылью и, если и существуют, то дешифрированию по космическим изображениям не поддаются.

Что касается древних аккумулятивных образований ледникового генезиса, то при современном уровне исследований (преимущественно из космоса) выявить и диагностировать их чаще всего достаточно сложно. Во-первых, они, как и на Земле, должны быть очень похожи по геоморфологии и относительным высотам поверхности на намного большие по площади и распространенные на Марсе лавовые равнины. Это хорошо, в частности, отображено на геологической карте, опубликованной в работе А. Олби [13], где, предположительно, показано только распространение базальтов и андезитов. Во-вторых, мешает постоянно находящийся в состоянии динамики мощный покров ветровой пыли, который погребает подстилающий рельеф, включая и аккумулятивные образования древних ледников. Наконец, типичный аккумулятивный ледниковый рельеф, даже на Земле, характеризуется небольшими относительными высотами (порядка десятков метров, редко до 100–200 м) вершин положительных форм (холмов, гряд) над отрицательными (днищами котловин, рвов и др.). Не исключено и то, что на Марсе из-за недостатка грубообломочного материала поля развития древнего аккумулятивного ледникового рельефа могли иметь и намного меньшие относительные высоты, чем на Земле. Вполне возможно также допустить, что в современных марсианских условиях часть древней пылево-ледовой толщи вообще не оттаяла.

С учетом приведенных рассуждений и опыта собственных исследований вулканических областей (Камчатка, Курильские и Командорские острова, Исландия, Аляска), подвергавшихся оледенениям, к надежным и относительно легко дешифрируемым маркерам наличия древних ледниковых форм на Марсе следует относить лишь вулкано-гляциальные постройки (glaciovolcanic edifices) типа тюйя (tuya). Это обусловлено тем, что независимо от размера, типа вулканов (одноактные, многоактные, стратовулканы, щитовые вулканы и т.д.), все они обладают очень сходной морфологией, так как формировались в одинаковых условиях в проплавленной толще льда, в полостях с крутыми (до вертикальных) ледяными стенками. Причем размеры полостей определялись объемом выполнявших их изверженных магматических продуктов, которые слагают возникшие внутриледниковые постройки, а высота склонов последних – мощностью толщи проплавленных ледников. Физический облик (лавы, пирокластика) и химический состав (базальты, андезиты, дациты) извергаемых вулканических продуктов имеют второстепенное значение. Главное, чтобы они были сильно нагреты. Одной из характерных особенностей крупных земных тюйя, формировавшихся в ледниковые эпохи, являются большие относительные высоты мореного рельефа, оставленного их ледниками подножий. То же наблюдается и на подобных по размеру марсианских тюйя. Главная причина этого – повышенная обогащенность ледяной толщи извергнутым обломочным вулканическим материалом.

На Земле разные по морфологии и строению вулкано-гляциальные постройки типа тюйя присутствуют везде, где вулканизм и оледенения происходили одновременно: от Антарктиды до Исландии и Британской Колумбии Канады [15, 16 и др.]. Сходная ситуация была, вероятно, типична и для Марса в эпохи, когда вулканическая активность и масштабные оледенения сочетались там во времени [17]. По данным исследований автора статьи, наиболее яркий пример тюйя на Марсе – знаменитая Гора Олимп (вершина 18° ю.ш., 133° з.д. [1, 18]). На Земле выявлено и закартировано уже несколько сотен тюйя [19]. Наиболее “свежая” работа по классификации тюйя [20] опубликована в 2014 г. Земным минианалогом тюйя Гора Олимп с Олимпийским уступом, по нашим данным, является (см. ниже) самый высокий (5643 м) действующий вулкан Евразии – Эльбрус – с почти вертикальным 1000-метровым уступом – знаменитой “стеной Кюкюртлю”.

ГИГАНТСКАЯ ВУЛКАНО-ГЛЯЦИАЛЬНАЯ ПОСТРОЙКА – ТЮЙЯ ГОРА ОЛИМП НА МАРСЕ – И ЕЕ ЗЕМНЫЕ ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АНАЛОГИ: ГЕОМОРФОЛОГИЯ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

До начала 70-х годов XX века проблема взаимодействия вулканических и ледниковых процессов применительно к Марсу практически не рассматривалась. Это было связано с тем, что на Марсе давно были известны только Северная и Южная полярные шапки, наблюдавшиеся в телескоп, а вулканы еще не были открыты. На месте Горы Олимп астрономы видели только белое пятно, хотя и предполагали там возвышенность, покрытую снегом – Никс Олимпика (Снега Олимпа). Не обнаружены вулканы и на космических снимках отдельных участков сильно кратерированной поверхности Южного полушария Марса, сделанных с пролетных аппаратов “Маринер-4, 6, 7” [2]. Поскольку кратеры имели вид сильно разрушенных, то был сделан вывод, что Марс, с позиции динамической геологии и вулканологии, – “мертвая” планета.

Однако вскоре ситуация кардинально изменилась, когда с марсианских спутников “Маринер-9” в 1972 г. после окончания глобальной пылевой бури и “Марс-4 и 5” в 1976 г. была заснята почти вся поверхность планеты, причем многие участки с очень высоким разрешением. По этим и полученным позднее данным были составлены карты поверхности Марса: американская с масштабом

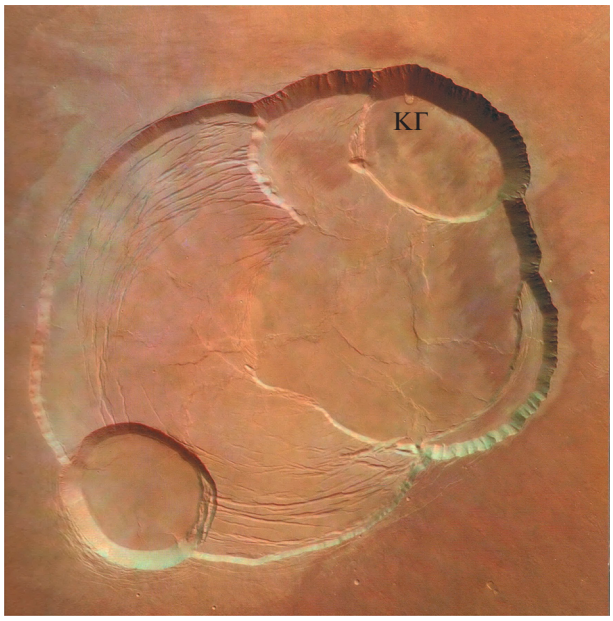


Рис. 2. Кальдерный 70-километровый комплекс на вершине вулкана Гора Олимп.

КГ – предполагаемый каменный глетчер (из [1], с дополнением автора).

по экватору 1:25000000 и российская – масштаб 1:26000000 [22]; обе с сечением горизонталей 1 км. Именно на них была показана и вулканическая возвышенность Фарсида с крупнейшими вулканами Арсия, Аскрийский, Павонис, Олимп. Размеры оснований перечисленных вулканов достигают 500–600 км, а площади – 200–300 тыс. км^2. Эти вулканы поднимаются над уровнем ареоида на 14–21 км. Максимальная же относительная высота постройки Гора Олимп над полукольцевой равниной у ее подножия в СЗ и С секторах – около 21.9 км. Намного большие абсолютные и относительные высоты марсианских вулканических построек, по сравнению с земными, объясняются меньшей (0.308 земной) там силой тяжести. Белое же пятно над предполагавшейся возвышенностью Никс Олимпика оказалось 1000-километровым в диаметре кольцевым облаком-вихрем, часто возникающим вокруг вершинной части вулкана Гора Олимп, как во время сильных ветров и над земными вулканами, выделяющими много газов – извергающимися или с активной фумарольной деятельностью.

Факт, что на Земле выделяющиеся над активными вулканами газы (преимущественно водяной пар и CO_2) служат причиной повышенной облачности и большего количества осадков по сравнению с прилежащими территориями [23], позволяет предполагать, что на гигантском (объем морфологически выраженной части постройки 2.4×10^6 км^3) вулкане Гора Олимп еще продолжается дегазация. В пользу гипотетически продолжающейся газовой активности вулканического аппарата Гора Олимп свидетельствует и его прекрасная сохранность, особенно вершинного кальдерного комплекса размером 72 × 81 км. Последний образован четырьмя (или пятью?) разноразмерными кальдерами гавайского типа (рис. 2). Диаметр самой старой, практически круглой, – около 70 км, а размер самой молодой, овальной – 30 × 19 км; на северном внутреннем уступе последней очень хорошо видна каплевидная форма типа земного каменного глетчера длиной ~4 км. Но это может быть и быстро замерзший оползень с концевой частью шириной ~1.5 км. Находящаяся в противоположном секторе почти круглая (19×18 км) впадина может быть и кальдерой (с большей вероятностью), и ударным кратером. Из-за своей великолепной сохранности вулканическая постройка Гора Олимп, по земным меркам, должна была бы завершить активный рост всего 10–20 тыс. л. н., а длительность ее формирования составила бы максимум 2–3 млн лет [21–23 и др.]. Марсианский же ее возраст точно не определен. Судя по очень небольшому количеству метеоритных кратеров на его склонах, можно утверждать только, что вулкан Гора Олимп – один из самых молодых на этой планете. Предполагается [1] даже, что он возник всего около 30 млн л. н.

Приблизительный объем морфологически выраженных частей перечисленных вулканов [10] равен 0.5–2.4 млн км^3. Это в 5–25 раз больше, чем у самого крупного на Земле острова-вулкана Гавайи [24]. Не случайна, вероятно, и приуроченность вулканов Арсиа, Аскрийский и Павонис к сводообразному поднятию Фарсида, которое можно рассматривать в качестве гигантского магматического “пузыря” с замерзшей коркой, прорванного под этими вулканами на заключительном этапе его формирования. По разработанной для земных вулканов классификации, названные вулканы должны быть отнесены к щитовым и щитообразным, увенчанным огромными (размером до 120 × 100 км) кальдерами и кальдерными комплексами гавайского типа. На Земле их аналоги – вулканы Мауна-Лоа (о-в Гавайи), Плоские сопки (Камчатка) и многие другие. Но их объем не превышает обычно 1000 км^3, а размер кальдер – 10–15 км. Многочисленные вулканические проявления были обнаружены на Марсе и в других местах, преимущественно, в Северном полушарии и в приэкваториальной зоне (знаменитая долина Маринер протяженностью более 4000 км). Их список и некоторые параметры приведены в табл. 1 в [11]. Диагностированы только крупнейшие положительные вулканические формы и кальдеры гавайского типа на вершинах вулканов. Вулканические кальдеры других типов, провальные кратеры над лавоводами и магводами, как правило, от ударных метеоритных

кратеров исследователями не отделялись. Действующие вулканы не обнаружены.

Относительно "повезло" современным ледниковым образованиям – Северной и Южной полярным шапкам, описанным, по сути дела, заново. На прекрасно выполненных космических изображениях (см. рис. 1) видна четкая спиралевидная структура их поверхности. Исследовано строение вещества самих покровов, а также динамика их изменения в летний и зимний марсианские периоды. Европейским спутником "Марс-экспресс" был даже обнаружен в 2005 г. [1] заполненный льдом кратер, расположенный за пределами ледяных шапок. Лед сохранился там, поскольку был укрыт от воздействия прямых солнечных лучей тенью, отбрасываемой крутыми склонами кратера. Предполагается, что подобные современные небольшие ледники, изолированные от полярных шапок Марса, существуют и в других местах. Но аккумулятивные и скульптурные формы, оставленные ледниками Северной и Южной полярных шапок, описаны не были; то же относится и к следам обработки современными ледниками подстилающих их пород.

Ситуация с объективно достоверной идентификацией реальных следов древних марсианских оледенений обстоит еще хуже: она пока не увенчалась успехом. Выдаваемые за следы якобы древних ледников формы рельефа и отложения могут иметь и другое происхождение, так как убедительных доказательств в работах астрономов, астрофизиков, физиков [2, 12, 26 и др.] не приводится. А полученные однозначные результаты изучения подобных образований на Марсе, в том числе и на вулканах, на современном этапе вообще единичны [17].

Поэтому, основываясь на изложенных выше соображениях, пришлось целенаправленно искать на Марсе именно гляциально-вулканические формы, которые обладали бы одинаковыми (или близкими) геоморфологическими диагностическими признаками и соответствующими изображениями на аэро- и космических снимках обеих планет. Что и удалось, в первом приближении, выполнить. Установлено, что на Земле одно из самых первых детальных описаний субгляциальных исторических и голоценовых вулканических извержений было в работе A. Noe-Nygaard [27], опубликованной в 1940 г. А термин "тюйя" появился и стал использоваться в 40-х годах XX века [17] при описании таких форм в Британской Колумбии Канады. В СССР этот термин был "узаконен" в 1984 г. в работе В.И. Влодавца "Справочник по вулканологии" [28], где было дано его определение со ссылкой на W.H. Mathews. Это плосковершинное, относительно изолированное вулканическое сооружение, генезис которого связывается с вулканической деятельностью

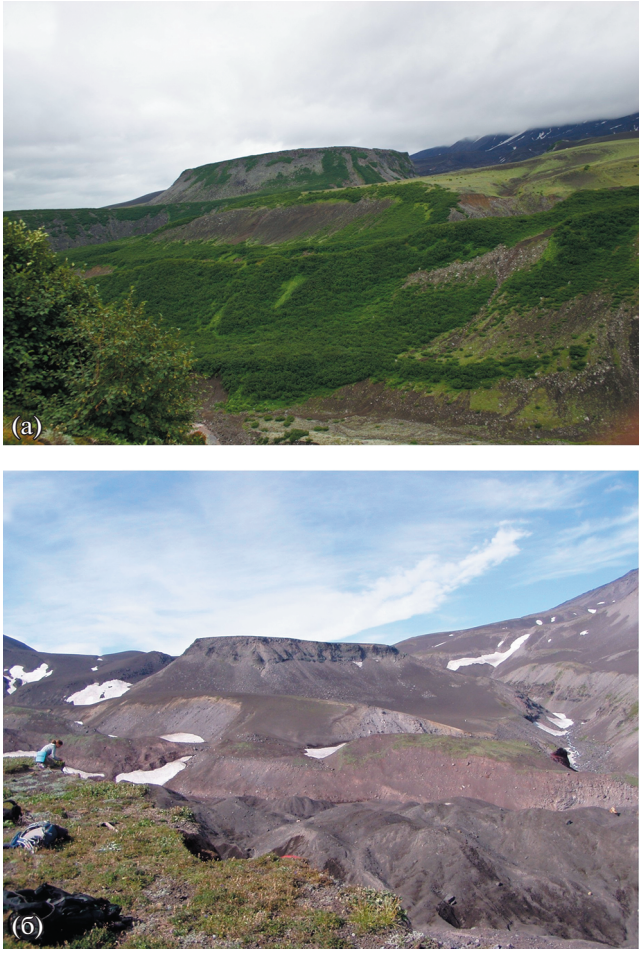


Рис. 3. Камчатские одноактные тюйя на северном подножии вулкана Авачинский: со слабовыпуклой (а) и с плоской (б) вершинной поверхностью. Фото Л.И. Базановой.

в пределах мощных ледников. Относительная высота тюйя – от 100–200 до 450 м, размер основания – 800–3200 м. По результатам проведенных автором настоящей статьи дешифрования аэрофотоснимков и полевых исследований, подвергшихся оледенению молодых вулканических районов Камчатки [23, 29], к главным диагностическим геоморфологическим признакам вытаявших тюйя необходимо отнести еще и ограничивающие их крутосклонные (30–60°) внешние уступы (рис. 3, 4).

На рис. 3 показаны бронированные лавой плосковершинные столовые горы типа тюйя (вверху – с слабовыпуклой вершиной, внизу – с плоской) на северном склоне вулкана Авачинский (Камчатка). Они были связаны с активностью одноактных вулканических центров под полупокровным ледником и возникли в конце позднего плейстоцена, проплавив в разных местах этот ледниковый покров общей площадью около

Рис. 4. Многоактный вулкан-тюйя Вилючинский (Камчатка). Черной линией показана бровка уступа тюйя. Фото В. Лазарева.

1500 км^2, который образовался в результате слияния ледников, начинавшихся на пяти вулканах Авачинской группы [30]. Толщина льда в местах появления проплавленных полостей была около 300–400 м, что близко высоте уступов тюйя. В настоящее время крутизна верхних частей этих уступов составляет 40–45°, а размеры оснований возникших тюйя примерно 1 × 2 км. Аналогичная картина была на вулкане Бакенинг [29].

На рис. 4 – вулкано-гляциальная постройка длительно (30–40 тыс. лет) формировавшегося многоактного вулкана Вилючинский (2731 м) в 45 км к ЮЗ от г. Петропавловск-Камчатский. Распространение его изверженных пород было ограничено почти со всех сторон мощными долинными ледниками. На представленной фотографии высота бровки 450–500-метрового уступа тюйя соответствует высоте вершинной поверхности (кровле) бывшего плейстоценового транзитного ледника, проходившего по троговой долине р. Паратунка. Деятельность вулкана Вилючинский прекратилась в первой половине голоцена, и он относится к потухшим [22]. Размер основания этой вулкано-гляциальной постройки – 7 × 8 км.

На Кавказе активным современным минианалогом тюйя Гора Олимп с субкруговым Олимпийским уступом высотой 3–6 км является Эльбрус. В настоящее время на Земле в молодых вулканических областях, подвергшихся плейстоценовому и голоценовому оледенениям (Исландия, Камчатка, Алеутские острова, Аляска, Британская Колумбия Канады, юг Чили, Антарктида), выявлены, диагностированы и описаны сотни тюйя разного размера и облика. В Антарктиде вытаяли и более старые тюйя [14].

Что касается предполагаемых тюйя на Марсе, то их удалось выявить гораздо позднее, в конце XX – начале XXI веков после публикации [1, 8 и др.] высококачественных, с высоким разрешением снимков марсианской поверхности, сделанных с американских и российских космических аппаратов. Наиболее ярким примером такого рода являются многочисленные изображения (рис. 5) разных лет самого высокого вулкана Гора Олимп [1, 8], имеющего типичные признаки грандиозной тюйя – вулкано-гляциальной постройки, крупнейшей из обнаруженных пока на обеих планетах. Площадь ее основания по подошве 3–6-километрового Олимпийского уступа [8, 18] ~300 тыс. км^2, размер – 500 × 600 км. Приблизительный объем вулканических пород морфологически выраженной части тюйя – порядка 2.4 млн км^3. Оставленные окружавшими со всех сторон Гору Олимп ледниками подножий аккумулятивные ледниковые образования разных типов великолепно видны на космических изображениях поверхности этого региона Марса. Поэтому они сравнительно легко картируются при проведении геоморфологического дешифрирования и позволяют достаточно точно определить конфигурацию и размеры былых ледников. Сразу следует отметить, что оледенение Горы Олимп было весьма обширным – порядка 1.5–2 млн км^2. Фронтальные части ледников в юго-западном, западном, северо-западном и северо-восточном секторах располагались в 700–750 км от кратера вулкана, в других секторах – в 500–600 км. При этом хорошо выделяющиеся участки ледникового рельефа указывают на многофазность и длительность оледенения.

На максимальном (1100 км, борозды Ахерон) расстоянии от центра вулкана дешифрируются следы колоссальных грязекаменных потоков типа лахаров, сложенные, по-видимому, обломками изверженных пород вулкана Гора Олимп, переотложенными ледниковыми и водно-ледниковыми образованиями. Потоки образовались в результате катастрофических разрушений ледяной стенки котловины, в которой формировался вулкан-тюйя Гора Олимп. Земной аналог подобного процесса – сильнейшие исландские йокудльхлаупы, приуроченные к заполненным льдом кальдерам с растущими внутри них вулканами.

Судя по высоте Олимпийского уступа (3–6 км), теоретически примерно равной мощности ледникового покрова в данном месте, подобная вулкано-гляциальная форма рельефа могла бы возникнуть в современную эпоху на Земле лишь в Антарктиде или Гренландии, если бы там был столь мощный вулканизм. А в плейстоцене при тех же условиях – еще и в пределах Фенноскандинавского и Северо-Американского ледниковых щитов.

На современных изображениях Олимпийского уступа (см. рис. 5) хорошо видно, что после возникновения его целостность была нарушена несколькими разновременными очень крупными сейсмотектоническими обвалами, вероятнее все-

го, связанными с пульсирующим характером эруптивной деятельности этого вулканического центра. Начало пульсаций, как и на земных вулканах, предварялось и сопровождалось марсотрясениями. Только на вулкане Гора Олимп марсотрясения были, очевидно, сильнее земных вулканических сотрясений, а грубообломочный материал обвалов распространялся минимум на многие десятки километров от уступа тюйя. Через образовавшиеся бреши в уступе изливались и лавы центрального щитообразного вулкана. Не исключено, что через эти же "прогалы" выходили и ледники, начинавшиеся на склонах последнего. Их появлению и существованию там, как и на земных активных вулканах, благоприятствовало повышенное количество выпадающих осадков [23].

В очень кратком варианте предполагаемая история формирования вулкано-гляциальной постройки Гора Олимп может быть представлена в следующем виде. На начальном этапе под существовавшим тогда мощным покровным ледником (или ледниковым щитом) стали происходить интенсивные большеобъемные трещинные лавовые излияния. Их породы проплавили в этом ледниковом покрове огромную (размером 500×600 км) полость с крутыми ледяными стенами высотой в несколько километров и начали с большой скоростью ее заполнять. Именно тогда, вероятно, и случались эпизоды катастрофических разрушений стенок этой котловины, сопровождаемые возникновением описанных выше лахароподобных потоков. На следующем этапе в связи с уменьшением продуктивности магматической активности произошла концентрация выноса магмы из ее очага с формированием единого подводящего канала и огромной постройки центрального типа – щитообразного вулкана Гора Олимп. На финальном этапе эруптивной активности на вершине вулкана возник комплекс из четырех – пяти (?) кальдер гавайского типа (см. рис. 2). Доминирующими центрами извержений лав стали радиальные трещины на склонах вулкана. Однако, вероятно, происходили и очень мощные эксплозивные извержения с выбросом и обвалом километровых блоков пород, слагавших вершинную часть вулкана, которые видны даже на космических снимках (см. рис. 2).

После прекращения извержений и исчезновения древнего ледникового покрова вулкан Гора Олимп стал не только самым высоким (по разным оценкам, до 27.4 км [11]), самым массивным (размер основания 500 × 600 км, площадь ~300 тыс. км^2) и объемным (>1 млн. км^3) единичным вулканическим сооружением из известных в Солнечной системе, но и самой крупной в ней вулкано-гляциальной постройкой типа тюйя.

Из диагностированных автором настоящей статьи предполагаемых относительно более мелких тюйя самой известной формой является знаменитый Марсианский сфинкс (рис. 6), изображенный в работе Ж.Ф. Родионовой [28]. Он стал "сфинксом" после съемки в 1978 г. с орбитального блока "Викинг" участка с расположенными вокруг него "пирамидами". В результате последующей съемки с высоким разрешением со спутника "Марс Глобал Сервейор" выяснилось, что это – своеобразная марсианская возвышенность, рассеченная трещинами [28]. Однако при проведении геоморфологического дешифрирования "сфинкс" оказался похожим на типичную земную форму тюйя (см. рис. 6). Там присутствовали и характерный для тюйя внешний уступ, и даже подобие небольшого вулканического аппарата.

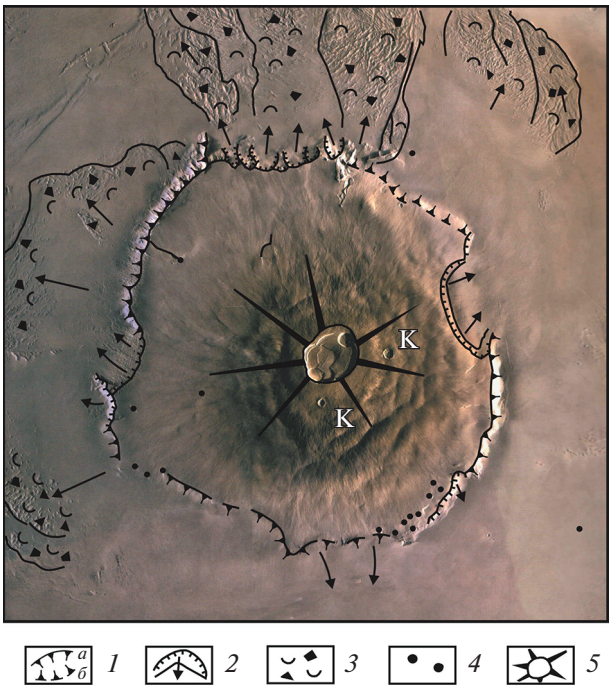


Рис. 5. Гигантская тюйя – вулкан Гора Олимп.
1 – внешний уступ тюйя (*а* – выраженный в рельефе, *б* – перекрытый, предположительно, лавой); *2* – обвальные цирки, стрелки показывают направление перемещенных масс; *3* – холмистый рельеф, сложенный лавой и мореной, перекрытый эоловым материалом; *4* – отдельно стоящие крутосклонные холмы (блоки перемещенных пород с размерами оснований 1–3 км); *5* – комплекс кальдер гавайского типа и вершинная часть вулканической постройки Гора Олимп (по [1], дешифрирование автора).

Еще один район с предполагаемыми тюйя – 120-километровый кратер Гусева (центр 15° с.ш., 185° з.д.). Тюйя (рис. 7) располагаются в южной части кратера – это Южные столовые горы в 30 км к югу от места посадки 3 января 2004 г. марсохода Spirit. Размер основания самой крупной тюйя 6 × 5 км. Ориентировочная высота ее уступа равна 500–600 м.

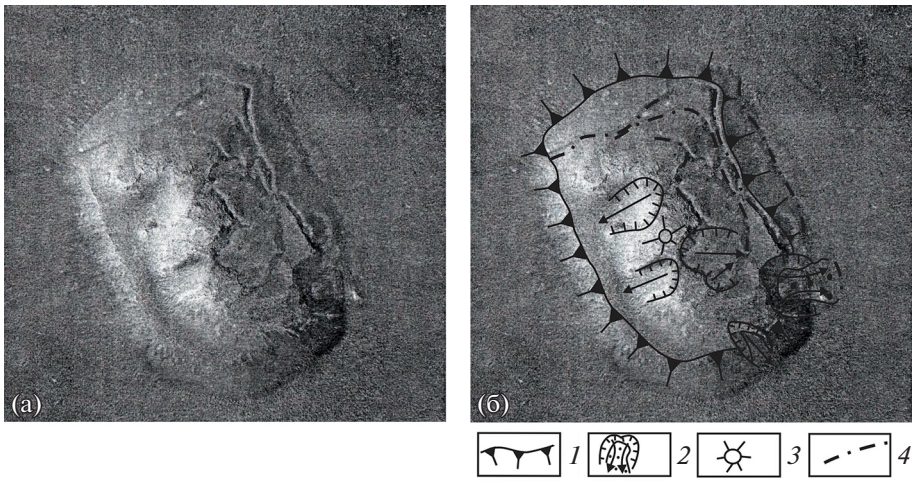


Рис. 6. Знаменитый Марсианский сфинкс – тюйя – на детальном снимке “Марс Глобал Сервейор”.
1 – внешний уступ тюйя; *2* – обвально-оползневые цирки и их отложения, стрелки показывают направление движения перемещенных масс; *3* – предполагаемый вулканический центр; *4* – гравитационные и вулкано-тектонические линейные нарушения (по [29], дешифрирование автора).

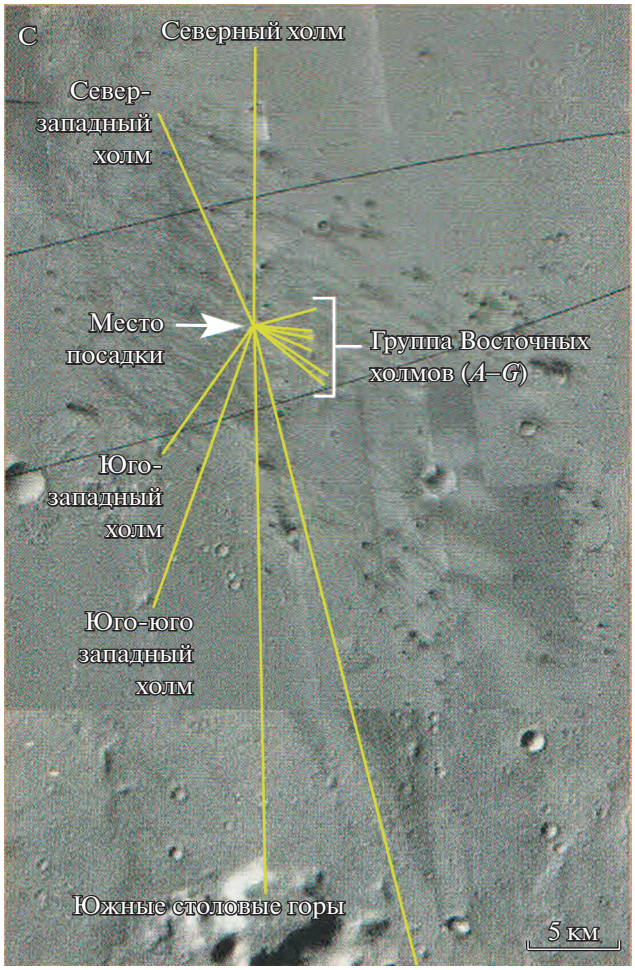


Рис. 7. Предполагаемые тюйя – Южные столовые горы – на дне 120-километрового кратера Гусева [13], около 30 км к Ю от места посадки американского космического аппарата Spirit 3 января 2004 г. [30, с. 26].

Необходимо отметить, что тюйя Гора Олимп и тюйя в южной части кратера Гусева находятся в низких приэкваториальных широтах, но этого все же слишком мало, чтобы судить о масштабе и типе древнего оледенения, его возрасте. Не исключено, что рассматриваемое древнее оледенение, пока условно названное автором статьи олимпийским, могло быть, в отличие от современного оледенения Марса, и планетарным. На это, в частности, указывает и предполагаемая очень большая (3–6 км), судя по высоте уступа тюйя, мощность льда вокруг вулкано-гляциальной формы Гора Олимп. Предварительный ответ на такой вопрос, возможно, будет получен после проведения детального дешифрирования имеющихся изображений с высоким разрешением 100–200-километровой полосы марсианской поверхности вдоль меридиана, проходящего через тюйя Гора Олимп, Северную и Южную полярные шапки.

КРАТКОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная статья – еще один призыв к детальному изучению следов древних оледенений на Марсе, вероятно, более близком по истории геологического развития к Земле, чем другие планеты земного типа – Меркурий и Венера. Дело в том, что это необходимо для сравнения на обеих планетах масштабов и характера оледенений древних эпох (от раннего протерозоя до конца палеозоя), так как на Земле следы столь древних оледенений были уничтожены или оказались малодоступными для исследования в результате размыва и погребения под более молодыми геологическими образованиями. На Марсе же они еще часто хорошо выражены в рельефе.

Результаты проведенного дешифрирования показали, что единственными постройками, близкими по своей морфологии и механизму возникновения на Земле и на Марсе, являются вулкано-гляциальные формы рельефа типа тюйя. Однако приведенные выше примеры – несомненно, лишь очень небольшая часть реально существующих на Марсе выраженных в рельефе подобных древних вулкано-гляциальных форм. Но их масштабное выявление, диагностирование и картирование – дело будущего и объект изучения для большого, специально созданного, высокопрофессионального международного коллектива. Необходимым условием должна быть и максимальная доступность полученных изображений съемок поверхности планеты на всех широтах.

Предполагается, что главными потенциальными объектами для будущего изучения гляциально-вулканических форм, помимо окрестностей вулканов, могут стать районы распространения столовых гор и куполов. Особое внимание должно быть обращено на поиск и тщательное исследование современных аналогов следов бывших оледенений – результата взаимодействия вулканических процессов и ледников в областях, регулярно оставляемых после отступания Северной и Южной полярных шапок Марса при сокращении их площадей или исчезновении. Лишь только тогда, возможно, удастся реконструировать реальные масштабы, тип и другие характеристики оледенений этой планеты.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарен своим коллегам О.В. Дирксену и Л.И. Базановой за обсуждение проблемы и помощь в подборе материалов для статьи, Р.Р. Курмашовой – за подготовку статьи к печати.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Спарроу Дж.* Планеты. Путешествие по Солнечной системе. СПб.: Амфора, ТИД Амфора, 2008. 224 с.
2. *Маров М.Я.* Планеты Солнечной системы. М.: Наука, 1986. 320 с.
3. *Nerozzi S. and Holt J.W.* Earliest accumulation history of the north polar layered deposits, Mars from SHARAD Icarus 308. 2018. P. 128–137.
4. *Nerozzi S. and Holt J.W.* Buried Ice and Sand Caps at the North Pole of Mars: Revealing a Record of Climate Change in the Cavi Unit With SHARAD // Geophysical Research Letters. 2019. Vol. 46. P. 7278–7286.
5. *Orosei1 R., Lauro S.E., Pettinelli E., Cicchetti A., Coradini M., Cosciotti B., Di Paolo1 F., Flamini E., Mattei E., Pajola M., Soldovieri F., Cartacci M., Cassenti F., Frigeri A., Giuppi S., Martufi R., Masdea A., Mitri G., Nenna C., Noschese R., Restano M., and Seu R.* Radar evidence of subglacial liquid water on Mars // Science. 2018. Vol. 361. P. 490–493.
6. *Чумаков Н.М.* Докембрийские тиллиты и тиллоиды. М.: Наука. 1978. 202 с.
7. *Чумаков Н.М.* Следы позднепермского оледенения на Колыме: отзвук гондванских оледенений на Северо-Востоке Азии? // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1994. Т. 2. № 5. С. 70–82.
8. *Галимов Э.М.* Оледенения в истории Земли, биосфера и низкая светимость Солнца // Природа. 2019. № 6. С. 44–52.
9. *Ксанофомалити Л.В.* Парад планет. М.: Наука, 1997. 256 с.
10. *Zimbelman J.R.* Volcanism on Mars // Encyclopedia of Volcanoes (Editor-in-Chief *H. Sugurdsson*). Academic press. London. 2000. P. 771–783.
11. *Ксанофомалити Л.В.* Горные потоки и бассейны на Марсе // Марс: великое противостояние / ред. В.Г. Сурдин. М.: Наука, 2004. С. 199–207.
12. *Олби А.* Загадочные ландшафты Марса. Космос // Альманах. 2006. С. 154–161.
13. *Мелекесцев И.В.* Гора Ранняя и обрыв Шеридана в Антарктиде – самые старые на Земле и высокоширотные тюйя на Земле // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2011. № 1. С. 142–146.
14. *Schopka H., Gudmundsson M.T., and Tuffen H.* The formation of Helgafell, Southwest Iceland, a monogenetic subglacial // J. Volcanol. Geotherm. Res. 2006. Vol. 152. P. 359–377.
15. *Mathews W.H.* "Tuyas", flat-topped volcanoes in Northen British Columbia // Am. J. Sci. 1947. Vol. 245. P. 560–570.
16. *Бурба Г.А.* Номенклатура деталей рельефа Марса. М.: Наука, 1981. 86 с.
17. *Smellie J.I.* Subglacial eruption / Sigurdsson H., Houghton B., McNutt S.R., Stix (Eds.). Enciclopedia of Volcanoes. Academic Press. London. 2000. P. 403–418.
18. *Russel J.K., Edwards B.R., Porrit L., and Ruane C.* Tuyas: a descriptive genetic classification // Quaternary Science Reviews. 2014. Vol. 87. P. 70–81.
19. Марс: великое противостояние. М.: Наука, 2004. 224 с.
20. Гипсометрическая карта Марса / Ю.А. Илюхина. М.: Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ, 2004.
21. *Мелекесцев И.В.* Вулканизм и рельефообразование. М.: Наука, 1980. 212 с.
22. Volcanism in Hawaii / Decker R.W., Wright T.L., and Stauffer P.H. (Eds.). Vol. 1. U.S. Geological Survey Professional Paper 1350. U.S. Government Printing office, Washington. 1987. 840 p.
23. Новейший и современный вулканизм на территории России / Отв. ред. Л.И. Лаверов. М.: Наука, 604 с.
24. *Allen C.C.* Volcano-ice interactions on Mars // J. Geophys. Res. 1979. Vol. 84. P. 8048–8059.
25. *Noe-Nygaard A.* Sub-glacial volcanic activity and recent times (Studies in the palagonite-system of Iceland № 1) // Folia Geogr. Danica. 1940. Vol. 1. No. 2. 67 p.
26. *Влодавец В.И.* Справочник по вулканологии. М.: Наука, 1984. 340 с.
27. *Мелекесцев И.В., Дирксен О.В., Гирина О.А.* Гигантский эксплозивно-обвальный цирк и обломочная

лавина на вулкане Бакенинг (Камчатка, Россия) // Вулканология и сейсмология. 1998. С. 12–24.

28. *Мелекесцев И.В., Краевая Т.С., Брайцева О.А.* Рельеф и отложения молодых вулканических районов Камчатки. М.: Наука, 1970. 103 с.
29. *Родионова Ж.Ф.* Краткая история карты Марса // Марс: Великое противостояние. М.: Наука, 2004. С. 183–198.
30. *Массер Дж.* Красная планета не жалует незваных гостей. Космос // Альманах. 2006. С. 162–167.

Gigantic volcano-glacial edifice (tuya) Olympus Mountain as an indicator of extensive ancient glaciation in Mars

I. V. Melekestsev[a,#]

[a] *Institute of Volcanology and Seismology far Eastern Branch of RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia*

[#] *E-mail: dirksen@kscnet.ru*

Olympus Mons (basement dimension – 550 × 600 km, absolute height – 21.1 km, relative elevation – 21.9 km, volume – 2.4 × 10^9 km^3) is the largest volcanic edifice on Mars as well as on Earth. Comparative analysis, aimed to find the regular combinations between volcanic and glacial forms at Olympus Mons revealed their similarity to terrestrial volcanic landform, tuya. This, probably, testifies to their similar origin. Olympus Scarp, 3–6 km in height, bounding Olympus Mons, suggests that, during the formation of Olympus Mons vast glaciers existed beyond the polar regions. The distribution of extensive glacial moraines allowed to estimate the area of glaciation to be equal to 1.5–2 × 10^6 km^2, as well as ice sheet thickness of 3–6 km, comparable to the recent height of Olympus Scarp. Several moraine lobes point to multiple phases of glaciations. The directions of the lobe propagation record the asymmetry in glaciers distribution. Edge of the glacier was located 700–750 km away from the crater in the South-western, Western, North-western, Northern, and North-eastern section of the volcano, and 500–600 km away elsewhere. Some of the glacial and fluvioglacial deposits disperse to the maximum extent of 1100 km, probably by giant mud flows, similar to terrestrial Jökulhlaup in Iceland ice-covered volcanoes. Such floods form when the heated during the eruption water melts the ice wall around the erupting vent and outbursts from the volcanic edifice.

Keywords: Mars, volcano Olympus Mountain, ancient ice sheet, volcanic mudflows, caldera

ACKNOWLEDGEMENTS

The author thanks his colleagues O.V. Dirksen and L.I. Bazanova for the discussion of the problem and help in the finding and selection of materials for the article; R.R. Kurmashova – for the manuscript preparation.

REFERENCES

1. Sparrow G. The Planets. *Planety. Puteshestvie po Solnechnoi sisteme* (Planets. A journey through the Solar System). SPb.: Amfora (Publ.), 2008. 224 p.
2. Marov M.Ya. *Planety Solnechnoi sistemy* (Planets of the Solar System). M.: Nauka (Publ.), 1986. 320 p. (in Russ.)
3. Nerozzi S. and Holt J.W. Earliest accumulation history of the north polar layered deposits, Mars from SHARAD Icarus 308. 2018. P. 128–137.
4. Nerozzi S. and Holt J.W. Buried Ice and Sand Caps at the North Pole of Mars: Revealing a Record of Climate Change in the Cavi Unit With SHARAD. *Geophysical Research Letters*. 2019. Vol. 46. P. 7278–7286.
5. Orosei1 R., Lauro S.E., Pettinelli E., Cicchetti A., Coradini M., Cosciotti B., Di Paolo1 F., Flamini E., Mattei E., Pajola M., Soldovieri F., Cartacci M., Cassenti F., Frigeri A., Giuppi S., Martufi R., Masdea A., Mitri G., Nenna C., Noschese R., Restano M., and Seu R. Radar evidence of subglacial liquid water on Mars. *Science*. 2018. Vol. 361. P. 490–493.
6. Chumakov N.M. *Dokembriskie tillity i tilloidy* (Precambrian tillites and tilloids). M.: Nauka (Publ.), 1978. 202 p. (in Russ.)
7. Chumakov N.M. *Sledy pozdnepermskogo oledeneniya na Kolyme: otzvuk gondvanskikh oledenenii na severo-vostoke Azii?* (Traces of Late Permian glaciation on the River Kolyma: the echo of. Gondwana glaciations in North-East Asia). *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya*. 1994. Vol. 2. No. 5. P. 70–82. (in Russ.)
8. Galimov E.M. *Oledeneniya v istorii Zemli, biosfera i nizkaya svetimost' Solntsa* (Glaciations in the History of the Earth. Biosphere. Low Luminosity of the Sun). *Priroda*. 2019. No. 6. P. 44–52. (in Russ.)
9. Ksanofomaliti L.V. *Parad Planet* (Parade of planets). M.: Nauka (Publ.), 1997. 256 p. (in Russ.)
10. Zimbelman J.R. Volcanism on Mars // Encyclopedia of Volcanoes. H. Sugurdsson (Ed.). Academic press. London. 2000. P. 771–783.
11. Ksanofomaliti L.V. *Gornye potoki i basseiny na Marse* (Mountain streams and pools on Mars). *Mars: Velikoe protivostoyanie*. Surdin V.G. Ed. M.: Nauka (Publ.), 2004. P. 199–207. (in Russ.)
12. Albee A. *Zagadochnye landshafty Marsa. Kosmos* (The Unearthly Landscapes of Mars. Space). *Almanakh*. 2006. S. 154–161.
13. Melekestsev I.V. *Gora Rannyaya i obryv Sheridana v Antarktide – samye starye i vysokoshirotnye tuya na Zemle* (Mount Early and Sheridan Cliff in Antarctica are the oldest and highest latitude tyuyas on Earth). *Vestnik*

KRAUNTS. Nauki o Zemle. 2011. No. 1. P. 142–146. (in Russ.)

14. Schopka H., Gudmundsson M.T., and Tuffen H. The formation of Helgafell, Southwest Iceland, a monogenetic subglacial. *J. Volcanol. Geotherm. Res*. 2006. Vol. 152. P. 359–377.
15. Mathews W.H. "Tuyas", flat-topped volcanoes in Northen British Columbia. *Am. J. Sci*. Vol. 245. P. 560–570.
16. Burba G.A. *Nomenklatura detalei rel'efa Marsa* (Nomenclature of Mars relief details). M.: Nauka (Publ.), 1981. 86 p. (In Russ.)
17. Smellie J.I. Subglacial eruption. Sigurdsson H., Houghton B., McNutt S.R., Stix (Eds.). *Enciclopedia of Volcanoes. Academic Press*. London. 2000. P. 403–418.
18. Russel J.K., Edwards B.R., Porrit L., and Ruane C. Tuyas: a descriptive genetic classification. *Quaternary Science Reviews*. 2014. Vol. 87. P. 70–81.
19. *Mars: Velikoe protivostoyanie* (The Greatest Opposition of Mars). Surdin V.G. (Ed.). M.: Nauka (Publ.), 2004. 224 p. (in Russ.)
20. *Gipsometricheskaya karta Marsa* (Hypsometric map of Mars). Yu.A. Ilyuhina (Ed.). M.: Gosudarstvennyi Astronomicheskii Institut im. P.K. Shternberga MGU (Publ.), 2004.
21. Melekestsev I.V. *Vulkanism i rel'efoobrazovanie* (Volcanism and relief formation). M.: Nauka (Publ.), 1980. 212 p.
22. Volcanism in Hawaii. Decker R.W., Wright T.L., Stauffer P.H. (Eds.). Vol. 1. U.S. Geological Survey Professional Paper 1350. U.S. Government Printing office, Washington. 1987. 840 p.
23. *Noveishii i sovremennyi vulkanizm na territorii Rossii* (Modern and Holocene volcanism in Russia). L.I. Laverov (Ed.). M.: Nauka (Publ.), 2005. 604 p. (in Russ.)
24. Allen C.C. Volcano-ice interactions on Mars. *J. Geophys. Res*. 1979. Vol. 84. P. 8048–8059.
25. Noe-Nygaard A. Sub-glacial volcanic activity and recent times (Studies in the palagonite-system of Iceland No. 1). *Folia Geogr. Danica*. 1940. Vol. 1. No. 2. 67 p.
26. Vlodavets V.I. *Spravochnik po vulkanologii* (Handbook on Volcanology). M.: Nauka (Publ.), 304 p. (in Russ.)
27. Melekestsev I.V., Dirksen O.V., and Girina O.A. *Gigantskii eksplozivno-obval'nyi tsirk i oblomochnaya lavina na vulkane Bakening (Kamchatka, Rossiya)* (A Giant Explosive-Landslide Cirque and a debris avalanche on Bakening Volcano (Kamchatka, Russia)). *Vulkanologiya i Seismologiya*. 1998. No. 3. P. 265–279. (in Russ.)
28. Melekestsev I.V., Kraevaya T.S., and Braitseva O.A. *Rel'ef i otlozheniya molodykh vulkanicheskikh raionov Kamchatki* (Relief and Deposits of Young Volcanic regions of Kamchatka). M.: Nauka (Publ.), 103 p.
29. Rodionova Zh. F. *Kratkaya istoriya karty Marsa* (A brief history of the map of Mars). Mars: Velikoe protivostoyanie Surdin V.G. (Ed.). M.: Nauka (Publ.), 2004. P. 183–198. (in Russ.)
30. Musser J. *Krasnaya planeta ne zhaluet nezvanykh gostei. Kosmos* (The Red Planet does not favor uninvited guests. Space). *Almanakh*. 2006. P. 162–167.

ГЕОМОРФОЛОГИЯ, 2021, том 52, № 2, с. 100–106

ИСТОРИЯ НАУКИ

УДК 551.4 (092)

О.К. ЛЕОНТЬЕВ – ВЫДАЮЩИЙСЯ МОРСКОЙ ГЕОМОРФОЛОГ (К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

© 2021 г. В. И. Мысливец[1,*], С. И. Антонов[1,]**

[1]*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия*

** E-mail: myslivets@yandex.ru*

*** E-mail: ser11131134@yandex.ru*

Поступила в редакцию 05.07.2020 г.
После доработки 20.08.2020 г.
Принята к публикации 06.10.2020 г.

В 2020 г. исполнилось 100 лет со дня рождения О.К. Леонтьева – крупного отечественного ученого-географа, одного из основоположников науки о геоморфологии берегов, геоморфологии морского дна, физической географии Мирового океана; основателя университетской школы морской геоморфологии. Им впервые разработаны учебные курсы по морской геологии для студентов-океанологов, по геоморфологии морских берегов и дна океана для студентов-геоморфологов, по физической географии океана для студентов физико-географов. В качестве природной лаборатории им и его коллегами было выбрано Каспийское море с его разнообразием тектонических условий и меняющимся уровенным режимом. Наряду с этим экспедиционные исследования проводились на берегах многих морей и в дальних океанских рейсах. В настоящей работе дается обзор основных научных достижений профессора О.К. Леонтьева.

Ключевые слова: О.К. Леонтьев, геоморфология морских берегов, геоморфология морского дна, физическая география океана, планетарные морфоструктуры, фундаментальные характеристики Мирового океана, батиграфическая кривая, университетская школа морской геоморфологии

DOI: 10.31857/S0435428121010107

Олег Константинович Леонтьев – профессор Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, заслуженный деятель науки РСФСР, основатель университетской школы морской геоморфологии. Родился 19 февраля 1920 г. в г. Уяр Красноярского края в семье служащего (отец – горный техник, мать – учительница). В 1938 г. поступил на географический факультет Московского университета. Участник Великой Отечественной войны 1941–1945 гг. С отличием окончил университет в 1948 г. Среди его наставников были профессора К.К. Марков, Н.Н. Зубов, И.С. Щукин, И.О. Брод, В.П. Зенкович. Под руководством последнего в 1951 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему: “Геоморфология дагестанского побережья Каспийского моря”. Прошел путь от ассистента до профессора кафедры геоморфологии Географического факультета. В 1955 г. подготовил монографию “Геоморфология морских берегов и дна”, представленную затем как диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук. В 1960 г. стал профессором, а в 1961 г. – заведующим кафедрой геоморфологии географического факультета Московского университета, которой руководил 25 лет (до 1986 г.). Создал в составе кафедры Лабораторию Морской геоморфологии и Береговую экспедицию, исследовавшую морские берега СССР. Ввел в программу подготовки студентов-геоморфологов учебные

курсы: “Геоморфология морских берегов”, “Морская геология”, “Физическая география Мирового океана”, которые сам и читал на протяжении двух десятилетий. Его же усилиями были организованы учебные практики студентов на морских побережьях (Крым, Дагестан).

Изучал строение и развитие берегов многих морей: Каспийского, Черного, Охотского, Желтого (КНР), Адриатического (Албания). Исследовал восточное побережье США (в рамках 7-го конгресса ИНКВА) и берега острова Куба. Работал в двух дальних океанских рейсах (2-й рейс НИС “Академик Курчатов”, 1967 г.) в Индийский океан и в юго-западную часть Тихого океана (6-й рейс НИС “Дмитрий Менделеев”, 1971 г.).

Олег Константинович Леонтьев – один из основоположников науки об океане в нашей стране. Как геоморфолога, его интересовало взаимодействие морских вод с берегами и дном; как географ он принял участие в развитии новой отрасли наук о Земле – географии океана. Мировой океан занимает 71% земной поверхности, и любые исследования его происхождения и развития представляют вклад в еще одну науку – планетологию. Поэтому интересы О.К. Леонтьева включали проблематику четырех научных направлений – геоморфологии морских берегов, геоморфологии дна океана, физической географии океана и планетологии.

ГЕОМОРФОЛОГИЯ МОРСКИХ БЕРЕГОВ

Методика полевых исследований. С самого начала своей научной деятельности О.К. Леонтьев выше всего ценил достоверность и надежность фактов, лежащих в основе дальнейших построений. В ходе исследований берегов он усовершенствовал методику работ, включавшую как маршрутные исследования побережья, так и изучение рельефа и геологического строения подводного берегового склона, с использованием инструментальной съемки по сетке поперечных к простиранию берега галсов; эхолотных промеров и отбора проб (рыхлого грунта и коренных пород).

Сейчас, благодаря применению GPS-приемников, организация исследований береговой зоны носит не такой громоздкий характер, однако основные принципы полевых работ практически не изменились.

Изучение вещественного состава береговых наносов и прибрежных отложений представляло собой закономерное продолжение полевых исследований. Вещественный состав отобранных образцов подвергался комплексному изучению в специальной лаборатории, где выполнялись гранулометрические, минералогические виды исследований, велась подготовка образцов для спорово-пыльцевого анализа и др. Наиболее интересные пробы направлялись на определение абсолютного возраста.

Морфология и динамика берегов. *Развитие профиля подводного берегового склона в условиях изменений уровня моря.* В 1949 г. в Докладах АН СССР появляется статья О.К. Леонтьева, в которой изложены его представления о развитии подводного берегового склона при повышении или понижении уровня бассейна. Показано, в частности, что понижение уровня приводит не к механическому приращению суши, а сопровождается аккумуляцией береговых наносов. Это первое научное открытие Олега Константиновича легло в основу его кандидатской диссертации (1951).

Открытие это не случайно было сделано на Каспии. Из всех наших морей он имеет наиболее изменчивый уровень. Его понижение в 1930–1970-е годы сменилось в 1978 г. повышением, и в первоначальную модель пришлось вносить коррективы. Это было сделано коллективом профессора О.К. Леонтьева в статье, вышедшей уже после кончины руководителя (1988).

Унаследованное развитие береговых процессов. Изучая берега Каспия, О.К. Леонтьев обратил внимание на неоднократное возобновление процессов аккумуляции на некоторых участках, происходящее после очередной смены регрессивного этапа трансгрессивным. Это возобновление было им названо “явлением унаследованности береговых форм” и объяснялось приуроченностью к тектонически поднимающимся структурам с регулярным обновлением уклонов подводного берегового склона.

Структурная геоморфология морских побережий. Побережья Каспия с богатыми залежами углеводородного сырья испытывают движения различной интенсивности и знака, что может быть зафиксировано с помощью структурно-геоморфологических методов. Работая в тресте “Дагнефть”, О.К. Леонтьев разработал новое направление береговой науки – структурную геоморфологию морских побережий. Съемки подводного берегового склона разных районов каспийского побережья и прилегающих территорий позволили показать, что не только общие черты, но и детали геологической структуры и тектоники находят свое отражение в морском рельефе и могут быть зафиксированы структурно-геоморфологическими методами. Один из этих методов – изучение унаследованности береговых процессов и форм.

Палеогеография побережий. Смены трансгрессий и регрессий оставляли следы на берегах Каспийского моря. О.К. Леонтьев (совместно с П.В. Федоровым) составил первую детальную схему плейстоценовой истории Каспия, подтвержденную богатым фактическим материалом. Был проведен анализ высот береговых линий, изучено

строение аккумулятивных и абразионных террас, происхождение аккумулятивных форм разного возраста, генезиса бэровских бугров. Особое значение Олег Константинович придавал прогнозу поведения Каспийского моря в ближайшем будущем.

Когда падение уровня моря сменилось в конце 1970–1980-х годов его подъемом и затоплением освоенной прибрежной полосы, составление правильного прогноза стало чрезвычайно актуальным, и многие специалисты и организации занялись этим. В основу большинства многочисленных прогнозов были положены гидрометеорологические данные и построенные на их основе модели. Из многих прогнозов оправдался один, составленный коллегой Олега Константиновича, профессором кафедры геоморфологии МГУ Г.И. Рычаговым и основанный на палеогеографических данных.

Геоморфология дна океана. В 1955 г. О.К. Леонтьев опубликовал свою первую книгу – "Геоморфология морских берегов и дна". Это был первый отечественный труд, посвященный рельефу дна морей и океанов (вышедшая раньше монография М.В. Кленовой называлась "Геология моря"). Да и за рубежом рельеф морского дна был описан только в сводке Ж. Буркара "Рельеф дна океанов и морей", вышедшей в 1949 г. (русский перевод – в 1953 г.). В это время геоморфология морского дна была изучена совершенно недостаточно, но это не помешало О.К. Леонтьеву сделать несколько крупных и подтвердившихся позднее обобщений.

Система срединных хребтов. В упомянутой книге О.К. Леонтьева (с. 359–360) сказано, что на дне каждого из океанов существуют крупные меридиональные хребты, которые своими южными окончаниями смыкаются с полосой поднятий, окружающих Антарктиду; вся эта система хребтов характеризуется высокой сейсмичностью и вулканизмом. Это значит, что впервые в научной литературе сформулировано представление о единой системе срединно-океанических хребтов – крупнейшем открытии XX века не только в морской геологии, тектонике, геоморфологии, но и в науках о Земле в целом! Второй раз о них было сказано два года спустя, в 1957 г., в монографии Б. Хейзена, М. Тарп и Д. Юинга. Вся вторая половина XX века ушла на осмысление роли срединных хребтов в развитии нашей планеты, изучение их региональных, геохимических, биологических и других особенностей – в дополнение к тем аспектам, которые уже были обозначены.

Планетарные морфоструктуры дна океана. О.К. Леонтьеву удалось внести порядок и простоту в кажущийся хаос подводного рельефа. Учитывая особенности строения земной коры, он сводит все разнообразие подводного рельефа к **четырем** планетарным морфоструктурам – **подводным окраинам материков, зонам перехода от океана к материку, ложу океана и срединно-океаническим хребтам.**

Генетические типы шельфа. В своей первой книге о геоморфологии морских берегов и дна О.К. Леонтьев выделил три генетических типа шельфа: трансгрессивный, выработанный и аккумулятивный. С тех пор прошло более полувека – никто не опроверг эту концепцию и не выделил какой-то новый тип.

Эволюционный ряд переходных областей. В 1970-х годах О.К. Леонтьев, исходя из концепции первичности океанов, предложил свой вариант решения проблемы переходных зон с их островными дугами, глубоководными желобами, сейсмофокальными зонами и другими, до сих пор иногда не вполне ясными, особенностями. Применив сравнительно-географический метод, он расположил региональные типы переходных областей в порядке усложнения. На первом месте стояла эмбриональная переходная область желоба Витязя, далее шла Марианская переходная область с самым глубоким в Мировом океане желобом, затем Курильская, Японская с Индонезийским и Восточнотихоокеанским подтипами и, в завершение этого ряда, – Средиземноморская. Было доказано, что эволюция переходных зон идет в сторону увеличения доли материковой коры – то есть дно океана через механизм переходной зоны превращается в материк.

Первая книга О.К. Леонтьева – 1955 года – была написана с позиций вторичного образования океанов В.В. Белоусова. Затем Олег Константинович в соответствии с новыми фактами стал сторонником концепции первичности океанов. Типы переходных областей выделены им, исходя из этих представлений. Однако даже с позиций господствующей ныне концепции мобилизма типизация О.К. Леонтьева не потеряла своего значения.

Вертикальные движения океанского дна. В числе дальних экспедиций О.К. Леонтьева есть рейсы в Индийский (1967) и Тихий (1971) океаны, где ученый изучал коралловые атоллы. В ходе наблюдений с использованием сравнительно-географического метода ему удалось описать морфологические особенности восходящих и нисходящих рядов развития атоллов, оказавшихся чуткими индикаторами вертикальных тектонических движений океанского дна.

Экзогенное рельефообразование на дне Мирового океана. На рубеже 1970–1980-х годов появляются несколько статей О.К. Леонтьева, посвященных гигантским аккумулятивным хребтам на дне океана, деятельности мутьевых потоков и созданным ими абиссальным каналам с прирусловыми валами, рельефообразующей роли осадконакопления

и придонных течений. Эти работы обобщили появившийся новый фактический материал и показали, что роль экзогенного фактора в океане не менее важна, чем на суше.

Фундаментальные морфометрические характеристики океанов. В конце 1970-х годов О.К. Леонтьевым и его сотрудниками (С.А. Лукьяновой, Г.Д. Соловьевой, Л.И. Калининой, Л.Г. Никифоровым и др.) был составлен ряд карт Мирового океана – планетарных морфоструктур, типов берегов, донных отложений, вертикальных движений дна и других. При этом карты дна океана были построены в равновеликой проекции Вернера в модификации В.О. Муревскиса; по ним с использованием электронного планиметра были получены площадные характеристики. Это позволило пересчитать подводную часть гипсографической кривой Земли и построить оригинальную батиграфическую кривую Мирового океана и его составляющих. Были получены также площади планетарных морфоструктур; площади, занятые различными типами осадков; размеры площадей поднятий и опусканий с разными амплитудами и другие фундаментальные планетарные характеристики Земли.

Структурно-геоморфологический анализ берегов и дна Мирового океана. По составленной карте масштаба 1: 2 500 000 была измерена длина берегов разных типов и определено их соответствие тем или иным структурно-тектоническим элементам материков, крупных и небольших островов. На этой основе был проведен структурно-геоморфологический анализ берегов Мирового океана. По картам вертикальных движений морского дна был выполнен структурно-геоморфологический анализ дна Мирового океана. Оба вида работ прежде в таком масштабе не выполнялись.

Несмотря на то что интерпретация данных по берегам и дну океана проводилась с фиксистских позиций, лежащие в ее основе численные показатели имеют объективный характер и вряд ли будут опровергнуты в обозримом будущем.

Новозеландский микроконтинент – седьмой материк планеты. Чаще всего микроконтинентами называют блоки материковой коры, окруженные корой океанического типа, как Сейшельская банка в Индийском океане. К 1980-м годам появились данные о строении земной коры в различных удаленных районах Мирового океана, в том числе вокруг Новой Зеландии. О.К. Леонтьев обратил внимание на то, что не только большая часть мелководий вокруг этих островов имеет кору континентального или близкого к нему типа, но и тектонический план региона не позволяет считать его обычным микроконтинентом. Для него характерно присутствие древнего, видимо, докембрийского, ядра, окруженного более молодыми тектоническими зонами. Такой структурный план типичен для настоящих материков. Вокруг мелководий хорошо выражены материковые склоны и материковые подножия. Эти и другие особенности позволили О.К. Леонтьеву прийти к выводу, что Новозеландский массив – не просто микроконтинент, а скорее, седьмой материк планеты: площадь континентальной земной коры в его пределах составляет около 4 млн км^2. Для сравнения: площадь Австралии – 7.7 млн км^2. Особенность Новозеландского микроконтинента в том, что он более чем на 70% находится ниже уровня Мирового океана.

Классификации и картографирование морского рельефа. Большой опыт работы по составлению карт привел О.К. Леонтьева к необходимости разработки основ классификации берегов. В основе этой классификации лежал главный рельефообразующий фактор береговой зоны – волнение; начиналась классификация с мало измененных морем берегов, затем все в большей мере учитывалось воздействие волнового фактора, а завершалась классификация перечнем неволновых факторов развития берегов. Эти принципы лежат в основе всех карт берегов, составленных О.К. Леонтьевым и его коллегами. Они же применены в капитальной монографии “Берега” (серия “Природа Мира”).

Одно из уникальных достижений О.К. Леонтьева – изображение дна океана на Геоморфологической карте Мира масштаба 1:15 000 000, изданной в серии карт для высшей школы (сама серия тоже уникальна). Разработка классификации, легенды, способов показа геоморфологических объектов накладывает дополнительную ответственность на авторов и редакторов карты, в данном случае – профессоров Н.В. Башениной и О.К. Леонтьева.

Физическая география Мирового океана. В 1970-х годах по инициативе академика К.К. Маркова стало развиваться новое направление в науках о Земле – физическая география Мирового океана. На географическом факультете МГУ это направление нашло отражение в трудах сотрудников кафедр общей физической географии, океанологии, геоморфологии и палеогеографии. О.К. Леонтьев также разрабатывал ряд проблем, а в 1982 г. выпустил книгу “Физическая география Мирового океана”. Она содержит обзор природы океана по компонентам, затем региональный обзор, и в заключение анализ общих вопросов – физико-географических зон на поверхности и дне океана, вертикальной и циркумконтинентальной зональности, вопросов районирования, проблемы ландшафтов Мирового океана, происхождения водной массы и впадины Мирового океана. Книгу пронизывает представление об океане как о саморегулирующейся системе.

Планетология. Глобальный характер океанических форм Земли предполагает необходимость планетологического подхода к их изучению. Поэтому понятен интерес Олега Константиновича к проблемам планетологии и его членство в Международной ассоциации планетологов.

***

В 1970–1980-е годы О.К. Леонтьев был членом Комитета прибрежной океанографии Международного географического союза и членом-корреспондентом нескольких Комиссий этой организации – по береговой геоморфологии и по геоморфологическому картографированию, участником Рабочей группы "Морские берега" Совета по проблемам Мирового океана АН СССР, членом Совета по проблемам изучения Каспийского моря при АН СССР, экспертом Высшей аттестационной комиссии (ВАК), членом экспертной Комиссии при Комитете по присуждению Ленинских и Государственных премий СССР, членом редколлегии журнала "Геоморфология".

О.К. Леонтьев – автор более 300 научных работ, из которых 28 – монографии и учебники; руководитель более 30 аспирантов. Он был великолепным лектором, производящим впечатление не артистизмом и ораторским искусством, а логичностью и ясностью изложения. Студенты любили Олега Константиновича за простоту и доступность, но в то же время глубоко уважали, понимая величину его научного авторитета. Среди его наиболее известных учеников – Н.А. Айбулатов, Ю.С. Долотов, Л.А. Жиндарев, Е.И. Игнатов, Л.Г. Никифоров, Г.А. Сафьянов, Б.Н. Котенев.

В память о профессоре О.К. Леонтьеве его именем названа подводная гора в юго-восточной части Тихого океана в координатах 23°26′4 ю.ш. и 83°19′3 з.д. Минимальная глубина вершины – 480 м, относительная высота – 2000 м. Гора открыта и обследована в 1979 г. научно-промысловым судном "Звезда". Название "гора Леонтьева" предложено директором ВНИРО Б.Н. Котеневым в 1993 г. Название внесено в официальный Газетир ГЕБКО.

Здесь перечислены лишь главные, приоритетные научные заслуги Олега Константиновича. Нет возможности рассказать о его обобщениях по неволновым факторам развития береговой зоны, о выделенном им новом типе берегов и многом другом.

О.К. Леонтьева нет с нами более тридцати лет. Изменились технические средства изучения берегов и океанов, что позволило специалистам сделать важные открытия, в том числе – глубоководной гидротермальной бескислородной фауны, нового типа рельефа морского дна – флюидогенных форм, термокарстового рельефа и погребенных эрозионных форм на шельфах высоких широт, борозд ледового выпахивания в вершинных частях хребта Ломоносова и другие. В чем-то условия изучения морского рельефа даже ухудшились: наша страна теперь не участвует в Международном проекте глубоководного бурения; резко уменьшились возможности участия в рейсах научных судов. Несмотря на это, ученики О.К. Леонтьева и его последователи продолжают начатое им дело – изучение берегов и дна Мирового океана.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена по теме госзадания АААА-А16-11632810089-5 "Эволюция природной среды, динамика рельефа и геоморфологическая безопасность природопользования".

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

1. *Леонтьев О.К.* Геоморфология морских берегов и дна. М.: Изд-во МГУ, 1955. 337 с.
2. *Леонтьев О.К.* Основы геоморфологии морских берегов (учебное пособие). М.: Изд-во МГУ, 1961. 418 с.
3. *Башенина Н.В., Леонтьев О.К., Пиотровский М.В., Симонов Ю.Г.* Методическое руководство по геоморфологическому картированию и производству геоморфологической съемки в масштабе 1:50000 – 1:25000. М.: Изд-во МГУ, 1962. 203 с.
4. *Леонтьев О.К.* Краткий курс морской геологии (учебное пособие). М.: Изд-во МГУ, 1963. 463 с.
5. *Леонтьев О.К., Фотеева Н.И.* Геоморфология и история развития северного побережья Каспийского моря. М.: Географический ф-т МГУ, 1965. 152 с.
6. *Леонтьев О.К., Халилов А.И.* Природные условия формирования берегов Каспийского моря. Баку: Изд-во АН АзССР, 1965. 206 с.
7. *Леонтьев О.К.* Дно океана. М.: Мысль, 1968. 320 с.
8. *Ионин А.С., Каплин П.А., Леонтьев О.К., Медведев В.С., Никифоров Л.Г., Павлидис Ю.А., Щербаков Ф.А.* Особенности формирования рельефа и современных осадков прибрежной зоны дальневосточных морей СССР. М.: Наука, 1971. 180 с.
9. *Leontjew O.K.* Dno oceanu. Warshawa: Wydawnictwo Geologiczne, 1973. 292 c.
10. *Леонтьев О.К., Сафьянов Г.А.* Каньоны под морем. М.: Мысль, 1973. 261 с.
11. *Агаджанян А.К., Воронов А.Г., Игнатьев Г.М., Каплин П.А., Леонтьев О.К., Медведев В.С., Никифоров Л.Г.* География атоллов юго-западной части Тихого океана. М.: Наука, 1973. 142 с.
12. *Леонтьев О.К., Никифоров Л.Г., Сафьянов Г.А.* Геоморфология морских берегов (учебное пособие). М.: Изд-во МГУ, 1975. 335 с.
13. *Леонтьев О.К., Маев Е.Г., Рычагов Г.И.* Геоморфология берегов и дна Каспийского моря. М.: Изд-во МГУ, 1977. 210 с.

14. *Клиге Р.К., Леонтьев О.К., Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г., Шлейников В.А.* Уровень, берега и дно океана. М.: Наука, 1978. 191 с.
15. *Леонтьев О.К., Рычагов Г.И.* Общая геоморфология. М.: Высш. шк., 1979. 319 с.
16. *Воскресенский С.С., Леонтьев О.К., Спиридонов А.И., Лукьянова С.А., Ульянова Н.С., Ананьев Г.С., Андреева Т.С., Варущенко С.И., Спасская И.И.* Геоморфологическое районирование СССР и прилегающих морей. М.: Высш. шк., 1980. 343 с.
17. *Зенкович В.П., Каплин П.А., Леонтьев О.К., Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г., Попов Б.А.* Морская геоморфология. Терминологический справочник. М.: Мысль, 1980. 280 с.
18. *Никифоров Л.Г., Космынин В.Н., Щербаков Ф.А., Борсук О.А., Коротаев В.Н., Леонтьев О.К., Свиточ А.А.* Острова западной части Индийского океана. М.: Изд-во МГУ, 1982. 200 с.
19. *Леонтьев О.К.* Морская геология (основы геологии и геоморфологии дна Мирового океана). М.: Высш. шк., 1982. 342 с.
20. *Леонтьев О.К.* Физическая география Мирового океана. М.: Изд-во МГУ, 1982. 198 с.
21. *Рычагов Г.И., Леонтьев О.К., Никифоров Л.Г., Лукашов А.А., Игнатов Е.И., Болысов С.И.* Специальная учебная геоморфологическая практика в Дагестане. М.: Изд-во МГУ, 1984. 130 с.
22. *Ананьев Г.С., Леонтьев О.К.* Геоморфология материков и океанов. М.: Изд-во МГУ, 1987. 273 с.
23. *Каплин П.А., Леонтьев О.К., Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г.* Берега. Серия “Природа мира”. М.: Мысль, 1991. 479 с.
24. *Ананьев Г.С., Аристархова Л.Б., Болысов С.И., Воскресенский С.С., Кленов В.И., Коротаев В.Н., Лебедев С.А., Леонтьев О.К., Литвин Л.Ф., Лукашов А.А., Лукьянова С.А., Лютцау С.В., Мысливец В.И., Никифоров Л.Г., Постоленко Г.А., Сафьянов Г.А., Симонов Ю.Г., Спиридонов А.И., Хмелева Н.В., Чалов Р.С.* Проблемы теоретической геоморфологии. М.: Изд-во МГУ, 1999. 511 с.

O.K. Leontiev – an outstanding marine geomorphologist (on the 100th anniversary of birth)

V. I. Myslivets[a, #] and S. I. Antonov[a, ##]

[a] *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*

[#] *E-mail: myslivets@yandex.ru*

[##] *E-mail: ser11131134@yandex.ru*

Year 2020 is the 100th anniversary of the birth of O.K. Leontiev, the Russian scientists, geographer, one of the founders of coastal geomorphology, marine geomorphology, and physical geography of the World oceans. Leontiev was the founder of the University School of Marine Geomorphology. He was the first to develope training courses in marine geology for oceanology students, geomorphology of coasts and ocean floor for students – geomorphologists, physical geography of the ocean for physical geography students. The Caspian Sea with variety of tectonic conditions and a changing sea-level regime was chosen by him and his colleagues as a natural laboratory. In addition, he carried out expeditionary studies along the coast of many seas and during long ocean voyages. This paper gives an overview of the main scientific achievements of Professor O.K. Leontiev.

Keywords: O.K. Leontiev, coastal geomorphology, seabed geomorphology, ocean physical geography, planetary morphostructures, fundamental characteristics of the oceans, bathygraphic curve, university school of marine geomorphology

ACKNOWLEDGMENTS

The work was carried out on the topic of the state assignment AAAA-A16-11632810089-5 “Evolution of the natural environment, earth surface dynamics and geomorphological safety of nature management”.

REFERENCES

1. Leontiev O.K. *Geomorfologiya morskikh beregov i dna.* (Geomorphology of sea coast and sea floor). M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1955. 337 p. (in Russ.)
2. Leontiev O.K. *Osnovy geomorfologii morskikh beregov (uchebnoe posobie).* (Fundamentals of geomorphology of sea coasts (textbook). M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1961. 418 p. (in Russ.)
3. Bashenina N.V., Leontiev O.K., Piotrovskij M.V., and Simonov Yu.G. *Metodicheskoe rukovodstvo po geomorfologicheskomu kartirovaniyu i proizvodstvu geomorfologicheskoi s’emki v masshtabe 1:50000 – 1:25000.* (Guidelines for geomorphological mapping and production of geomorphological surveys at a scale of 1:50000 – 1:25000). M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1962. 203 p. (in Russ.)
4. Leontiev O.K. *Kratkii kurs morskoi geologii (uchebnoe posobie).* (A short course in marine geology (study guide). M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1963. 463 p. (in Russ.)

5. Leontiev O.K. and Foteeva N.I. *Geomorfologiya i istoriya razvitiya severnogo poberezh'ya Kaspiiskogo morya*. (Geomorphology and development history of the northern coast of the Caspian Sea). M.: Izd-vo MGU, Geograficheskii f-t (Publ.), 1965. 152 p. (in Russ.)
6. Leontiev O.K. and Halilov A.I. *Prirodnye usloviya formirovaniya beregov Kaspiiskogo morya*. (Natural conditions for the formation of the shores of the Caspian Sea). Baku: Izd-vo AN Az. SSR (Publ.), 1965. 206 p. (in Russ.)
7. Leontiev O.K. *Dno okeana*. (Ocean floor). M.: Mysl' (Publ.), 1968. 320 p. (in Russ.)
8. Ionin A.S., Kaplin P.A., Leontiev O.K., Medvedev V.S., Nikiforov L.G., Pavlidis Yu.A., and Shherbakov F.A. *Osobennosti formirovaniya rel'efa i sovremennykh osadkov pribrezhnoi zony dal'nevostochnykh morei SSSR*. (Features of the formation of relief and modern sediments of the coastal zone of the Far Eastern seas of the USSR). M.: Nauka (Publ.), 1971. 180 p. (in Russ.)
9. Leontjew O.K. Dno oceanu. (Ocean floor). Warshawa: Wydawnictwo geologiczne (Publ.), 1973. 292 p.
10. Leontiev O.K. and Saf'ianov G.A. *Kan'ony pod morem*. (Canyons under the sea). M.: Mysl' (Publ.), 1973. 261 p. (in Russ.)
11. Agadzhanian A.K., Voronov A.G., Ignatiev G.M., Kaplin P.A., Leontiev O.K., Medvedev V.S., and Nikiforov L.G. *Geografiya atollov yugo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana*. (The geography of the atolls of the southwestern Pacific). M.: Nauka (Publ.), 1973. 142p. (in Russ.)
12. Leontiev O.K., Nikiforov L.G., and Saf'ianov G.A. *Geomorfologiya morskikh beregov (uchebnoe posobie)*. (Geomorphology of sea coasts (study guide). M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1975. 335 p. (in Russ.)
13. Leontiev O.K., Maev E.G., and Rychagov G.I. *Geomorfologija beregov i dna Kaspiiskogo morya*. (Geomorphology of the coast and bottom of the Caspian Sea) M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1977. 210 p. (in Russ.)
14. Klige R.K., Leontiev O.K., Luk'ianova S.A., Nikiforov L.G., and Shlejnikov V.A. *Uroven', berega i dno okeana*. (The level, coast and bottom of the ocean). M.: Nauka (Publ.), 1978. 191 p. (in Russ.)
15. Leontiev O.K. and Rychagov G.I. *Obshchaya geomorfologiya*. (General geomorphology). M.: Vysshaya shkola (Publ.), 1979. 319 p. (in Russ.)
16. Voskresenskii S.S., Leontiev O.K., Spiridonov A.I., Luk'ianova S.A., Ul'ianova N.S., Ananiev G.S., Andreeva T.S., Varushhenko S.I., and Spasskaja I.I. *Geomorfologicheskoe raionirovanie SSSR i prilegayushchikh morei*. (Geomorphological zoning of the USSR and adjacent seas). M.: Vysshaya shkola (Publ.), 1980. 343 p. (in Russ.)
17. Zenkovich V.P., Kaplin P.A., Leontiev O.K., Luk'ianova S.A., Nikiforov L.G., and Popov B.A. *Morskaya geomorfologiya. Terminologicheskii spravochnik*. (Marine geomorphology. Terminological reference). M.: Mysl' (Publ.), 1980. 280 p. (in Russ.)
18. Nikiforov L.G., Kosmynin V.N., Shherbakov F.A., Borsuk O.A., Korotaev V.N., Leontiev O.K., and Svitoch A.A. *Ostrova zapadnoi chasti Indiiskogo okeana*. (Islands of the Western Indian Ocean). M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1982. 200 p. (in Russ.)
19. Leontiev O.K. *Morskaya geologiya (osnovy geologii i geomorfologii dna Mirovogo okeana)*. (Marine geology (the basics of geology and geomorphology of the bottom of the oceans). M.: Vysshaya shkola (Publ.), 1982. 342 p. (in Russ.)
20. Leontiev O.K. *Fizicheskaya geografiya Mirovogo okeana*. (Physical geography of the World ocean). M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1982. 198 p. (in Russ.)
21. Rychagov G.I., Leontiev O.K., Nikiforov L.G., Lukashov A.A., Ignatov E.I., and Bolysov S.I. *Special'naya uchebnaya geomorfologicheskaya praktika v Dagestane*. (Special educational geomorphological practice in Dagestan). M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1984. 130 p. (in Russ.)
22. Ananiev G.S. and Leontiev O.K. *Geomorfologiya materikov i okeanov*. (Geomorphology of continents and oceans). M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1987. 273 p. (in Russ.)
23. Kaplin P.A., Leontiev O.K., Luk'ianova S.A., and Nikiforov L.G. *Berega. Ser.* "*Priroda mira*". (Coasts. Series "Nature of the world".) M.: Mysl' (Publ.), 1991. 479 p. (in Russ.)
24. Ananiev G.S., Aristarkhova L.B., Bolysov S.I., Voskresensky S.S., Klenov V.I., Korotaev V.N., Lebedev S.A., Leontiev O.K., Litvin L .F., Lukashov A.A., Luk'ianova S.A., Luttsau S.V., Myslivets V.I., Nikiforov L.G., Postolenko G.A., Safianov G.A., Simonov Yu.G., Spiridonov A.I., Khmeleva N.V., and Chalov R.S. *Problemy teoreticheskoi geomorfologii*. (Problems of theoretical geomorphology). M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1999. 511 p. (in Russ.)

ГЕОМОРФОЛОГИЯ, 2021, том 52, № 2, с. 107–116

ИСТОРИЯ НАУКИ

УДК 551.4(092)

ГЕОМОРФОЛОГИЯ В ТРУДАХ ВЫДАЮЩЕГОСЯ РОССИЙСКОГО ГЕОГРАФА ГЕОРГИЯ НИКОЛАЕВИЧА ВЫСОЦКОГО (1865–1940)

© 2021 г. В. П. Чичагов[1,*]

[1] *Институт географии РАН, Москва, Россия*

**E-mail: chichagov@mail.ru*

Поступила в редакцию 24.08.2020 г.
После доработки 02.12.2020 г.
Принята к публикации 22.12.2020 г.

Среди учеников и последователей В.В. Докучаева почетное место занимает выдающийся российский географ Георгий Николаевич Высоцкий (1865–1940), который внес большой вклад в развитие отечественной физической географии, почвоведения, геоботаники, лесоведения, лесомелиорации, гидрологии, климатологии, гидрогеологии и зоологии. Г.Н. Высоцкий испытал сильное влияние В.В. Докучаева, восприняв всю его концепцию, полно использовал и всесторонне развил его учение и следовал его главному завету – познавать всю единую, цельную, неразделимую природу, смотреть на нее глазами географа. Он – талантливый исследователь и практик – учил как переделывать природу в интересах более полного соответствия ее потребностям человека. Геоморфологические представления Высоцкого пока не обобщены. Впервые проанализированы составленные им оригинальные картографические материалы геоморфологического содержания: карта бассейнов рек европейской части России, детальная орографическая карта Ергеней, карта осадков, ветров и июльской влажности воздуха, сводная карта равнодействующих ветров Украины; карта комбинации почвенного и рельефного планов района Сарепты, карта сухих степей европейской России, а также геологический и геоботанический профили через восточный склон Ергеней. Г.Н. Высоцкий создал серию широко используемых ныне научных терминов: микрорельеф, плакор, импульверизация, псевдофибры, десукция, пермацидные почвы, дигрессия, демутация, арены, экотоп и др.

Ключевые слова: геоморфологические описания, морфология водоразделов, строение долинно-балочной сети, микрорельеф

DOI: 10.31857/S0435428121020036

ВВЕДЕНИЕ

Среди учеников и последователей В.В. Докучаева – Г.Ф. Морозова, Г.И. Танфильева, А.Н. Краснова, В.И. Вернадского, Ф.Ю. Левинсон-Лессинга, Г.Д. Глинки, П.В. Отоцкого, Л.С. Берга, С.С. Неуструева, Б.А. Келлера, В.Н. Сукачева, Л.И. Прасолова и Б.Б. Полынова – почетное место занимает известный российский географ Георгий Николаевич Высоцкий (фото). Он был признанным авторитетом в самых различных областях знаний наук о Земле: физической географии, почвоведении, геоботанике, лесоведении, лесомелиорации, гидрологии, климатологии, гидрогеологии и зоологии. Его работы также содержат интересный геоморфологический материал.

Избранные труды Г.Н. Высоцкого опубликованы в 1960 г. [1]. Два обстоятельных автобиографических очерка помещены в журнале “Почвоведение” в 1941 г. [2] и в качестве введения к его известной работе “О гидрологическом и метеоро-

логическом влиянии лесов" [3], впервые опубликованной в 1911 г. под несколько иным названием: "О гидроклиматическом значении лесов для России" [4]. Анализу научного наследия Г.Н. Высоцкого посвящено много работ – от энциклопедических изданий в БСЭ, Ботанической энциклопедии и др. – до статей в журналах "Почвоведение" [2], "Лесное хозяйство" [5], "Природообустройство" [6] и проч. Выделяется специальное монографическое исследование А.Г. Исаченко о Г.Н. Высоцком как выдающемся отечественном географе [7].

В приведенных публикациях, к сожалению, практически не упоминается о геоморфологических представлениях и аспектах, содержащихся в трудах Г.Н. Высоцкого. Предлагаемая работа имеет целью восполнить этот пробел. Ученый умело сочетал научные и практические исследования, постоянно изучал и использовал рельеф исследуемых территорий в целях различных наук о Земле; научную литературу – отечественную и мировую в этой области – он знал в совершенстве.

Повторим: Высоцкий наиболее полно использовал и всесторонне развил учение В.В. Докучаева. "Высоцкий испытал на себе особенно сильное влияние самого Докучаева, от которого он воспринял широту взгляда на природу, идею живой и "мертвой" природы, и Морозова, научившего его смотреть на лес глазами географа, сам явился виднейшим представителем докучаевской школы". [7, с. 19].

С.С. Соболев справедливо считал, что Г.Н. Высоцкий "был наиболее последовательным учеником и сотрудником В.В. Докучаева, единственным учеником, полностью освоившим эти основные идеи своего учителя и развившим их дальше" [8, с. 90]. "Высоцкий же воспринял всю концепцию Докучаева в целом, следуя главному завету Докучаева – изучать всю единую, цельную, неразделимую природу" [7, с. 20]. Выдающийся геоботаник и большой знаток степной и полупустынной растительности Е.М. Лавренко, сравнивая Г.Н. Высоцкого с двумя другими учениками В.В. Докучаева – Г.И. Танфильевым и А.Н. Красновым, писал: "Проникновенностью, тонкостью и, я бы сказал, изяществом наблюдений в природе, а также глубиной анализа природных явлений Г.Н. Высоцкий превосходит двух предыдущих ученых, но уступает им в географическом кругозоре и эрудиции" [9, с. 58]. К последним словам этой цитаты мы вернемся в конце статьи. В.Н. Сукачев считал главной заслугой Г.Н. Высоцкого, что он подошел к проблеме степного лесоразведения с *широкой географической точки зрения* (курсив В.Н. Сукачева – *В.Ч.*). В.В. Докучаев, Г.Н. Высоцкий, В.Р. Вильямс и П.А. Костычев "создали нашу науку о степном лесоразведении, которая может рассматриваться как одна из ветвей экспериментальной географии и которая учит, как переделывать природу в интересах более полного соответствия ее интересам человека" [10, с. 12]. При этом Г.Н. Высоцкий призывал не упускать из вида ни одной из ее важнейших сторон. Отсюда следует логическая связь между его трудами, которую он сам рассмотрел следующим образом:

"1. Изучение почв, их водного и солевого режима и лесорастительных свойств – для выбора и создания более лесопригодных условий.

2. Изучение микроклимата и лесного климата, влияния леса на климат окружающих пространств ("пертиненции") – как основы агролесомелиорации и мелиорации климата в широком смысле.

3. Гидроклиматические исследования в тесной связи с почвенно-гидрологическими – для целей сельского хозяйства, а также водного хозяйства (регулирование режима рек в частности).

4. Изучение природной степной и лесной растительности (в тесной связи с условиями ее произрастания), ее изменений под влиянием деятельности человека – с целью сохранить, улучшить и правильно распределить леса, выгоны, пастбища и т.д.

5. На основании изучения природной растительности и условий местопроизрастания – создание новых типов смешения древесных пород, новых более устойчивых и более производительных насаждений в степи" [11, с. 33].

Г.Н. Высоцкий изучал закономерности в строении почвенного покрова, связанные с рельефом, считал, что ничто так как рельеф не усложняет, не разнообразит, не переформировывает все прочие условия жизни природы. В 1906 г. Г.Н. Высоцкий опубликовал разработанную им ороклиматическую классификацию почв, которая отражала разнообразие почв в зависимости от климата и рельефа. По мнению А.Г. Исаченко, основное содержание созданной им классификации в том, что "в каждой климатической зоне почвенный покров образует целую серию разновидностей в различных условиях рельефа, и в то же время сходные положения в рельефе дают в разных зонах ряды аналогичных почвенных образований" [7, с. 33]. Поэтому во впадинах с близким залеганием грунтовых вод почвы характеризуются скоплением растворимых соединений, на дренированных, более или менее поднятых участках обычно преобладают процессы выноса солей. Так рельеф интенсивно влияет на почвообразование главным образом через водный режим. Г.Н. Высоцкий также отмечал, что "почвы северных и южных склонов также отличаются друг от друга вследствие различных тепловых условий, а следовательно, разной интенсивности испарения и, опять же, водного режима" [там же]. Г.Н. Высоцкий неоднократно обращал внимание на ряд особенностей почвооб-

разования, протекающего на разных по водопроницаемости грунтах, таких как песок, а также на выходах известняка, мела и др.

КАРТА БАССЕЙНОВ РЕК ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ

В работе "О гидрологическом и метеорологическом влиянии лесов" [3] Г.Н. Высоцким опубликована "Карта бассейнов стока Европейской части СССР", в главных чертах созданная им ранее [4]. На карте выделены четыре главных бассейна стока: A – рек бассейнов Белого и Баренцева морей; B – рек бассейна Балтийского моря; C – бассейна Черного и D – Каспийского морей. Впервые схема бассейнов была наполнена своеобразным ареальным и линейным содержанием. Разорванными ареалами показаны области с осадками более и менее 500 мм/год. Первые области показаны на западе и восточной окраине европейской части и на Кавказе, вторые – в Западном Причерноморье и Крыму. Азовское море охарактеризовано смешанным типом осадков. Линейных типов два. С СВ на ЮЗ центральную часть Русской равнины пересекает "приблизительная грань сырой лесной и засушливой степной зон". Второй – "проект Понто-Каспийского канала" показан двойной линией, которая берет начало на северо-восточной окраине Азовского моря, пересекает равнины Предкавказья, северную часть Каспия и оканчивается на его восточном берегу в районе Мангышлака, скорее всего, близ порта Шевченко (в настоящее время Актау). Позже отечественные ученые начнут развивать бассейновое направление в геоморфологии.

ОРОГРАФИЧЕСКАЯ КАРТА ЕРГЕНЕЙ

Упоминавшаяся выше знаменитая монография Г.Н. Высоцкого "Ергеня, культурно-фитологический очерк" 1915 г. [11] начинается с мелкомасштабной карты Ергеней. Она составлена ученым на основании многолетних маршрутов и охватывает засушливую область Ергеней – правобережья Волги от Царицына (Волгоград) до Ставрополя и придонских равнин. Эта карта интересна во многих отношениях, начиная с выбора территории. Она дает правильное представление как об основных чертах рельефа Волго-Донского междуречья (будущего участка Волго-Донского канала), гирлянды Сарпинских озер, Манычской впадины и др., а также и о более мелких формах эрозионного рельефа – "долинах-балках". Последние нанесены с удивительной точностью, и их строение рассматривается в разделе "Эрозионная сеть Ергеней". На орографической карте впервые "Ергеня" показаны в "первозданном" виде, когда еще не было сплошной детальной инструментальной съемки и не построены крупные гидротехнические сооружения, существенно изменившие природу региона. Таким образом, карта представляет серьезную историческую и научную ценность.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ – ОРОГРАФИЧЕСКИЕ ОПИСАНИЯ

Мне довелось проводить геоморфологические исследования в Ергенях в 2000–2007 гг., и я знаком с научной литературой по этому уникальному асимметричному малоамплитудному поднятию. "Ергеня" Г.Н. Высоцкого до сих пор остаются примером комплексного географического – классического изучения этого засушливого меридионального поднятия. Г.Н. Высоцкий охарактеризовал Ергени как гряду с абс. высотами 220 м, образованную антиклинальной складкой, "проходящей с севера на юг от Царицыно-Сарептского колена Волги. Она является продолжением Приволжской возвышенности до Манычской ложбины, имея далее в виде прямого продолжения восточный край Ергеней, подмывавшийся в прошлом водами послетретичной Арало-Каспийской трансгрессии. Водораздел Ергеней придвинут к восточному краю возвышенности, имея более отлогий западный и более крутой сильно дренированный многочисленными балками и глубокими речными долинами восточный скат. Узкая полоса восточного склона Ергеней представляет довольно резкую грань в климатическом, почвенном и флористическом отношении, несколько обостренную также разностью геологического происхождения поверхностных пород" [11, с. 288]. Ученый справедливо отметил, что "от самой высшей точки гребня Ергеней... отходит почти под прямым углом к западу (точнее – к ЗСЗ) гребень боковой гряды, постепенно понижающейся к западу" [11, с. 4]. Это – водораздел между Западным Манычем и р. Сала.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА – ПЛАСТИКА РЕЛЬЕФА

В монографии "Ергеня" Г.Н. Высоцкий отметил, что в основании разреза поднятия Ергеней залегают плотные, темные, во влажном состоянии синевато-черные или синевато-темно-серые водоупорные нижнетретичные глины (рис. 1). На них лежат водопроницаемые, слабосцементированные "песчаники-пески" с многочисленными включениями более плотных и более прочных каменистых включений и прослоек "жернового песчаника" олигоценового возраста. Они играют существенную роль в гидрографических условиях Ергеней. Южнее Элисты песчаники перекрываются слоем сарматского известняка, широко распространенного далее к югу, за долиной Маныча. Третичные отложения были выведены на днев-

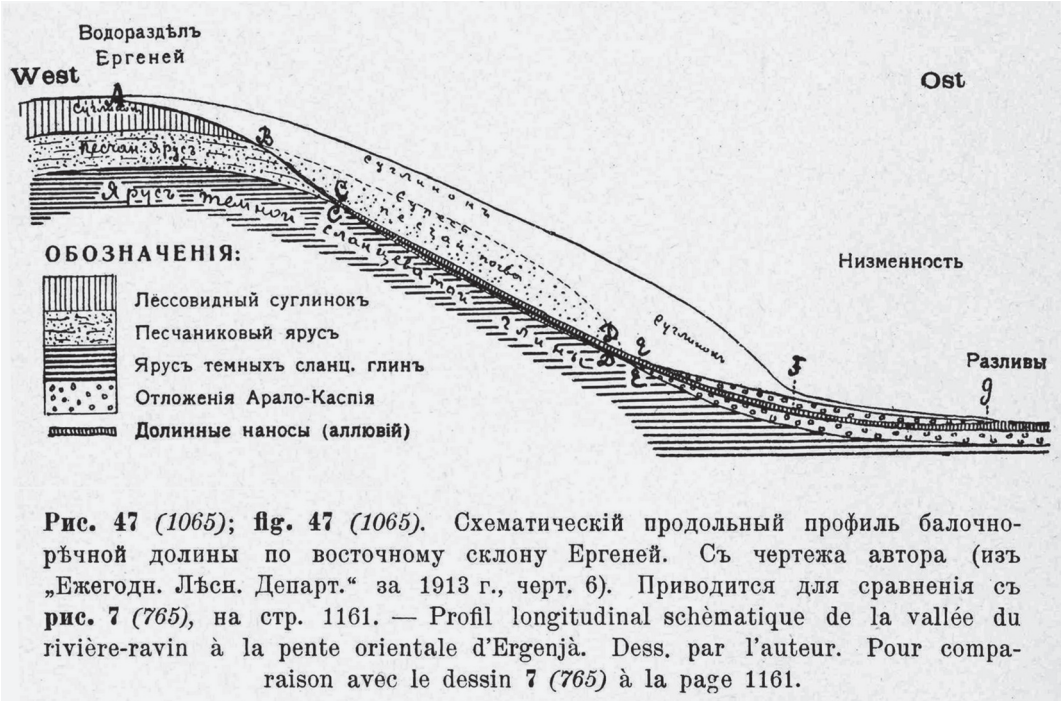


Рис. 47 *(1065)*; **fig. 47** *(1065)*. Схематическій продольный профиль балочно-рѣчной долины по восточному склону Ергеней. Съ чертежа автора (изъ „Ежегодн. Лѣсн. Департ.“ за 1913 г., черт. 6). Приводится для сравненія съ **рис. 7** *(765)*, на стр. 1161. — Profil longitudinal schèmatique de la vallée du rivière-ravin à la pente orientale d'Ergenjà. Dess. par l'auteur. Pour comparaison avec le dessin **7** *(765)* à la page 1161.

Рис. 1. Схематический продольный профиль балочно-речной долины восточного склона Ергеней. Обозначения на рисунке составил Г.Н. Высоцкий [10, рис. 47, стр. не указана, приложение].

ную поверхность в результате образования крупной антиклинальной складки, которая создала современные Ергени. “Эта складка местами осложнена местными, более мелкими дислокациями, особенно в том узле, откуда отходит вышеупомянутая Надманычская западная гряда. Над песчаным ярусом залегает более или менее мощный покров глин и суглинков, происхождение которого еще не вполне установлено” [11, с. 6]. По И.В. Мушкетову это лёссовидные суглинки или лёссы, перекрытые аллювием многочисленных “балочно-речных” долин восточного склона Ергеней. За прошедшее более века время накопился новый материал, и были применены новые методы изучения рельефа Ергеней, в частности компьютерное моделирование. В последней работе такого рода по геологии и тектонике Ергеней М.Л. Копп и соавт. показали, что тектоническое строение антиклинальной структуры поднятия Г.Н. Высоцкого оказалось гораздо более сложным и что в формировании рельефа регионального Приволжско-Ергенинского уступа значительную роль играют разрывные нарушения [12]. Однако геологическое строение Ергеней, описанное Г.Н. Высоцким, авторам этой работы удалось только детализировать. Так, темные глины они стали относить к майкопской свите верхнего олигоцена – нижнего миоцена, “песчаники-пески” – к ергенинской свите верхнего понта – нижнего плиоцена; “покров глин и суглинков” Г.Н. Высоцкого получил название “эолово-делювиальных нижне-верхнечетвертичных суглинков” [12], а не “лёссов” И.В. Мушкетова. Представления о тектоническом строении Ергеней удалось существенно уточнить, показав возможное положение флексурно-разрывных зон регионального уступа и серию второстепенных разломов, контролирующих пилообразный в плане рисунок подножья уступа. Но, может быть, о них писал Г.Н. Высоцкий, называя их “местными, более мелкими дислокациями”?

МОРФОЛОГИЯ ВОДОРАЗДЕЛОВ

Г.Н. Высоцкий уделял значительное внимание изучению рельефа водораздельных пространств: “...водоразделы бывают очень различных форм и разных природных особенностей. Одни из них представляют собой резкие *гребни,* другие же простираются в виде очень плоских, более или менее широких возвышенных равнин – *плакоров*, по которым зачастую самую водораздельную черту бывает трудно заметить. Между этими двумя крайностями – все переходные формы” [13, с. 108].

Гребень, по мнению ученого, – это обычно горно-каменистый, очень резкий, круто поднятый водораздел, “большей частью выгрызенный”, вследствие чего напоминает гребешок или пилу с

неравномерными зубьями. Условия для формирования почв и растительности здесь минимальные.

Шпиль – сглаженный, округленный гребень, без острых выступов, но, все же, не резко выделяющийся со склонами с маломощными, легко смываемыми почвами умеренной мощности; относительно благоприятен для "лесодревесной или кустарниковой растительности".

Увалы – плосковыпуклые гряды, обычно в степях и лесостепи с мягким, увалистым слабо расчлененным рельефом. Почвы обычно не смыты или слабо смыты. Понижения представлены седловинами.

Плакоры, или ровняди – очень плоские, широкие равнинные водоразделы с полным (или почти полным) отсутствием смыва почвы. Характерен микрорельеф микрозападин, приводящий к комплексности почв различного орошения "по количеству и разного по времени поверхностного застоя воды... По склонам, где оживляется поверхностный сток частью от вод осадков, такой микрорельеф исчезает и переходит в другого рода комплекс – ложбинно-увалистый" [там же]. Ученый отмечает, что водоразделы получают больше осадков, чем прилегающие к ним склоны, за счет выпадающих осадков, а также конденсирующихся "горизонтальных". В некоторых местах к водоразделам подходят "карнизы крутых боков" балочных или речных долин, а по водоразделам распространены "холмы-шиши" и более древние искусственные курганы.

Г.Н. Высоцкий настаивал на большом значении водоразделов в научном и практическом – в основном сельскохозяйственном отношениях и лесоразведении и отнес их к особому отделу, считая, что водоразделы имеют много общих черт:

"1) их повышенность над соседними склонами и долинами;

2) их несколько (немного) большее увлажнение атмосферными осадками и большая обдуваемость;

3) относительно *большая выщелоченность* их почвы;

4) большей частью (кроме ровнядей) *отдаленность уровня грунтовых вод* и их меньшая общая засоленность;

5) особенно благоприятные гидрологические условия приводораздельных *ложбин, опушек и прочих потускул и амфитеатров* (на стр. 119 ученый дает объяснение введенному им термину "амфитеатр", понимая под ним "такие приводораздельные места, где нагорные ложбины стока располагаются веерообразно, сходя к верховьям рек или крупных балок, или расположены по заворотам водоразделов, по их внутренним сторонам. Здесь происходит некоторая концентрация сбегающих вод и сметаемых снегов");

6) *ухудшение условий шишей, карнизов и курганов*, но улучшение условий прикурганных выемок;

7) *микрокомплекс плакоров*, особенно в полупустыне (Ергеня);

8) возможность некоторого добавочного *орошения* наносами снега с более пониженных мест склонов (единственный природный путь переноса влаги снизу вверх в непарообразном виде);

9) плоские водоразделы (плакоры) имеют почву, *наименее смываемую и наименее размываемую,* удобную для обработки;

10) на нашей великой равнине распространены почти исключительно *плакоры и увалы* (на севере в моренной области – еще холмы, которые мы не рассматриваем) и различные между ними переходные формы" [13, с. 112].

ЭРОЗИОННАЯ СЕТЬ ЕРГЕНЕЙ

Г.Н. Высоцкий детально изучил строение "балочно-речных систем" поднятия (11, с. 297–301). "Густо бороздящие восточный склон Ергеней долины трудно назвать каким-нибудь определенным термином. Скорее всего, это нечто среднее между речными долинами и балками. В общем, они между собой довольно однообразны. Начинаются ложбинами у водораздела Ергеней, быстро понижаются по восточному склону, местами особенно в верховьях, довольно глубоко врезываясь, а затем расширяясь и расплываясь к основанию этого склона и, наконец, развиваясь в пониженные места низменной Прикаспийской степи, образуя более или менее широкие разливы, саги, озера. Летом водоток по руслам этих балок-речек пересыхает" [11, с. 297–298]. Ученый делит эти эрозионные системы на три связанные постепенными переходами главные части: верхнюю – вершинную, среднюю и нижнюю.

Вершинные части систем представляют "ложбины, начинающиеся на водораздельном плато, чаще по его седловинам, едва заметными желобками или западинками, постепенно углубляющимися, превращающимися в более или менее округлобокие балочки или в резко выраженные овраги, прорезывающие покровный лёссовидный суглинок или супесь, до появления по бокам (бортам – *В.Ч.*) значительных песчаных обнажений. Здесь уровень грунтовых вод обыкновенно отдален от поверхности, а почва-грунт обладает достаточно высоким запасом пресной влаги от талых снегов и более сильных дождевых стоков" [11, с. 298].

Срединные части имеют довольно расширенные долины, борта которых сложены песчаными породами. "Из-под песков, а местами среди песчаного слоя, выступают грунтовые воды хорошего качества – пресные. Чаще, и более обильные

выходы хороших грунтовых вод находятся в основаниях или в нижних частях склонов... Такие места с обильными пресноводными источниками – самые ценные в Ергенях не только для лесоводства, но также для садоводства и огородничества (с поливною самотечною водою)" [11, с. 299].

Низинные части балочно-речных долин имеют значительную ширину и местами в них заходят террасы Прикаспийской низменности морского генезиса. В основании аллювия речных террас залегают водоупорные породы разного возраста и генезиса, поэтому Г.Н. Высоцкий считает возможным здесь сооружение крупных плотин для орошения. В то же время он предупреждает о том, что значительное задерживание сточных вод в балочно-речных долинах Ергеней, "несомненно, должно приносить ущерб Низменной степи" [11, с. 300]. В связи с этим необходимо рациональное экономическое сопоставление "предполагаемой пользы с вероятным ущербом".

Особняком выглядят изученные и систематизированные Г.Н. Высоцким, связанные с современным рельефом грунтовые воды. В статье "О гидрологическом и метеорологическом влиянии лесов" [3] Г.Н. Высоцкий привел результаты детального изучения гидрологического режима степных и полупустынных почв и предложил различать в наших степях следующие типы грунтовых вод: "1. *диспульсивные,* 2. *инфильтрационные (инфильтративные),* 3. *коррективные* или *выпотные*". Вслед за этим он показал влияние леса на почвы: "1. *в образовании пульсивных полос* в местах снежных отложений (в опушках или снегосборных полосах), где раньше господствовал диспульсивный режим; 2. *в усилении резкости проявления диспульсивных почв* от усиленного иссушения диспульсивной подпочвы; 3. *в понижении уровня грунтовых вод*, где они доступны влиянию его глубоко уходящих корней; 4. *в вызывании коррективного водоподъема в более резких проявлениях* и наиболее широких площадях, чем при растительности травянистой".

ОПИСАНИЯ ПЕСЧАНОГО РЕЛЬЕФА И РОЛИ СКОТОБОЯ В ЕГО СОЗДАНИИ

Интересными являются приведенные в монографии "Ергеня" данные об антропогенной природе песчаного рельефа Ергеней. Г.Н. Высоцкий приходит к выводу о незначительной площади его развития и о слабой степени изменения хозяйственной деятельностью. Ученый считал, что влияние человеческой деятельности на растительность степей проявляется сначала в так называемом скотобое. Он показал, что на начальном этапе освоения степной равнины скотобой полезен, на среднем этапе – оптимален, а на заключительном – вреден, приводит к выбиванию растительности и активизации дефляции.

При изучении песчаного рельефа южной части Русской равнины Г.Н. Высоцкий умело использовал и применял геоморфологические термины и определения. Так, в работе "Степи Европейской России" он писал: "Пески уральские, астраханские и терские в общем значительно отличаются как своей высокой всхолмленностью, большей подвижностью, так и более южной флорой с кустарниками значительной величины от песков Ергеней, Сыртов и песков более северной части области Каспийской трансгрессии, начиная с бассейна Еруслана" [14, с. 63]. Обширные Рынпески, по его мнению, представляют громадные площади барханов, созданные в последнее время, благодаря увеличению пастбищ.

Если в степи пасется небольшое количество скота, то степная растительность не теряет своего исходного "первобытного" состояния, более того, "умеренный выпас целины необходим, так как без этого накопляются обильные отмершие части растений... и покрывающий почву густым войлоком более старый мертвый покров препятствует нормальному весеннему обновлению растительности" [11, с. 25]. И далее Г.Н. Высоцкий пишет, что с ростом населения его влияние на "жизнь природы" становится все больше и больше, он начинается с чрезмерного проявления скотобоя и заканчивается "полным уничтожением естественного покрова и изменением строения почвы" [11, с. 26]. Г.Н. Высоцкий ссылается на мнение Н.А. Димо и Б.А. Келлера о том, что "еще относительно недавно, до распространения на юге Царицынского уезда земледельческой культуры, сама ли типчаково-пиретровая формация... или растительные ассоциации весьма близкие к ней, из которых она развивалась, благодаря человеку, занимала здесь значительно большее пространство, чем занимает эта формация теперь" [15, с. 51]. Весьма обоснован палеогеографический вывод Г.Н. Высоцкого о том, что изученный им процесс "надвигания полыней на Ергеня и разростании (так у Высоцкого – *В.Ч.*) полыней среди некультурных степных водоразделов нет никакого основания связывать это явление с мнимым усушением (так у Высоцкого – *В.Ч.*) климата, которого в новейшее время, в сущности, не замечается" [11, с. 59]. Доказывая правоту своего утверждения, ученый ссылается на мнение Л.С. Берга о том, что "ни о беспрерывном усыхании земли со времени окончания ледникового периода, ни о беспрерывном усыхании в течение исторического периода не может быть и речи" [16, с. 51].

МОРФОЛОГИЯ И СТРОЕНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА

Г.Н. Высоцкий в своих почвенно-фитологических исследованиях большое внимание уделял

роли микрорельефа в формировании почв равнинных степей и полупустынь и, в частности, в северной части Ергеней. Он писал: "Уже у Мушкетова и Краснова встречаются указания на связь почв и растительности с мелкими изменениями рельефа поверхности степи (теперь это называется микрорельефом), вследствие чего степь местами становится пестрою..., но наиболее полно и тщательно это явление было изучено... Н.А. Димо и Б.А. Келлером, которые дали ему название "комплексная полупустыня" [11, с. 18]. Приводя среднее соотношение между распространением почв выщелоченных западин, полупустынными и солонцеватыми: 10:50:40, Г.Н. Высоцкий отмечает, что степь пестрится еще множеством невысоких холмиков, образованных сусликами, выбрасывающими при рытье своих жилищ на поверхность почвы более или менее значительное количество земли из различных почвенно-грунтовых горизонтов до 2 м (чаще до 1.5 м) глубины. Эти холмики, разбросанные по степи более или менее равномерно, однако, избегают западин с темноцветными почвами-солодями.

Г.И. Высоцкий детально проанализировал изменение почвенного покрова в связи с крутизной склонов на равнине Ергеней: "С увеличением общей равнинности степи, с увеличением ее холмистости и уклонов, комплекс почв и растительных сообществ изменяется в направлении увеличения преобладания полупустыни над всеми прочими; иначе говоря, степь становится однообразнее. Даже количество сусликовых холмиков убывает до 1% и ниже от всей площади" [11, с. 20].

Особое внимание Г.Н. Высоцкий уделял изучению отрицательных форм микрорельефа. В монографии он приводит "Карту комбинации почвенного и рельефного планов детальной (добавим – инструментальной – *В.Ч.*) почвенной съемки" Н.А. Димо близ Сарепты (южная окраина современного Волгограда и крайний север Ергеней) [11], на которой показана сложнейшая система микрозападин разного размера, морфологии и глубины. Вспоминая труды Г.Н. Высоцкого, изучение микрорельефа представляется важным, но ныне незаслуженно забытым компонентом геоморфологических исследований.

МОРФОКЛИМАТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ЮГА РУССКОЙ РАВНИНЫ

Как отмечалось в начале работы, в своих исследованиях Г.Н. Высоцкий большое внимание уделял ороклиматическим процессам. На основании использования имевшейся в то время научной информации и результатов собственных наблюдений им составлена серия оригинальных морфоклиматических схем, имеющих прямое отношение к геоморфологии. Из них наиболее интересны для нас три:

1. Сводная схема (ученый называет ее картой) равнодействующих ветров на Украине позволяет судить о том, что Ергени, несмотря на малую абсолютную высоту, служат климатическим разделом в регионе.

2. Схема осадков, ветров и июльской влажности воздуха южной части Русской равнины к югу от широты Воронеж–Саратов более сложна. На ней показано стрелками среднее годовое направление равнодействующих ветров. В Царицыне и севернее, в Приволжской возвышенности преобладают северо-западные ветры, а в Ергенях, кроме их северной окраины, господствуют восточные. В южной части Ергеней должно выпадать осадков несколько больше, чем в северной, "где изогиета в 300 мм заходит даже за Дон" [11, с. 9]. Влажность воздуха на протяжении вегетационного периода – с апреля по октябрь – отличается важной особенностью: вдоль меридиана Ергеней минимум приходится на район Царицына, а южнее, в Элисте и к Манычу относительная, а тем более абсолютная, влажность медленно возрастают. Наибольшие амплитуды – "разности" – температурного режима воздуха приходятся на февраль, а в мае, июне и июле "температурные различия между севером и югом совершенно стираются" [11, с. 10].

3. Схематическая, весьма оригинальная карта районирования сухих степей на юге европейской России. Западную часть, равнины Нижнего Дона, частично Поволжье и Заволжье, а также Предкавказье занимает черноземная степь. Южнее ее западной части выделена Понтическая степь. К востоку от нее распространены Задонская, Заволжская и Кавказская степи. Равнины Северного Прикаспия отнесены к полупустыням.

"...Сухая степь не образует в Европейской России сплошной полосы, а составляет три обособленных района, разделенных Волжским сдвигом, обусловленным значительной разницей высот и климатических элементов правого нагорного и левого низинного боков речной долины и Кубанско-Донским "мостиком" увеличенных осадков" [11, с. 287]. Г.Н. Высоцкий подчеркивает климатическую природу распределения почвенного и растительного покровов. "Объединенные характером преобладающих типов почв и бывшего целинного растительного покрова, зависящих главным образом от влажности климата..., причем уменьшение осадков в известных пределах компенсируется сокращением теплого периода влагорасхода (на севере и востоке), и увеличением влажности воздуха (приморье); эти три района, равно как и отдельные части их, особенно более вытянутого по меридиану Задонского района вдоль Ергеней и южнее..., весьма существенно различаются по температурным условиям зимне-весеннего влагоперераспределения" [11, с. 288].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Г.Н. Высоцкий не был геоморфологом, но постоянно изучал современный рельеф – преимущественно закономерности в строении почвенного покрова, связанные с рельефом и, как мы отмечали выше, считал, что *ничто так как рельеф, не усложняет, не разнообразит, не переформировывает все прочие условия жизни природы.*

Вклад в геоморфологию Г.Н. Высоцкого очень своеобразен, хотя по современным меркам и невелик. Но, впрочем, и не мал. Им составлена картосхема бассейнов рек европейской части России, орографическая картосхема Ергеней, выявлена связь строения рельефа Ергеней и геологическим строением, разработана классификация водоразделов засушливых территорий; изучена морфология чрезвычайно своеобразных эрозионных форм восточного склона Ергеней и показан характер их верхних, средних и нижних частей; составлены описания эолового песчаного рельефа и подробно рассмотрена роль деятельности человека в его формировании. Особенно много сделал Г.Н. Высоцкий в изучении микрорельефа, что выгодно отличает его от современных почвоведов, а также геоморфологов. Наконец, ученому принадлежат весьма содержательные морфоклиматические схемы, имеющие значение для понимания особенностей формирования экзогенного рельефа.

Географический смысл исследований ученого заключается в стремлении использовать для анализа механизмов изучаемых природных процессов в сложных равнинных системах: рельеф и почвы, рельеф и климат, рельеф и сток, рельеф и лесоразведение, рельеф и пашня и др. Эта главная особенность научного творчества Г.Н. Высоцкого без сомнения позволяет считать его одним из крупнейших географов XX века.

В начале статьи были приведены слова Е.М. Лавренко о том, что Г.Н. Высоцкий уступал Г.И. Танфильеву и Г.Ф. Морозову в географическом кругозоре и эрудиции. Не считаю себя вправе спорить с глубоко чтимым мною Е.М. Лавренко, но замечу, что географический кругозор Г.Н. Высоцкого значительно отличался от кругозора других учеников В.В. Докучаева и, если можно так выразиться, проявлялся более широко в анализе более тонких связей и взаимоотношений природных компонентов с современным рельефом. Что же касается научной эрудиции Г.Н. Высоцкого, то ознакомление с его работами и, прежде всего, с “Ергенями” показало безукоризненное использование ученым всех имевшихся в то время научных работ.

Можно с уверенностью сказать, что его научные и практические разработки были успешно использованы в разработке планов преобразования природы нашей страны во второй половине XX века. Содержание публикаций Г.Н. Высоцкого свидетельствует, что он был убежденным патриотом России.

Ознакомление с трудами ученого показывает высокий научный потенциал, а также, к сожалению, их несправедливо редкое цитирование и использование. Приведенные выше данные позволяют судить о большом интересе Г.Н. Высоцкого к строению рельефа и его роли в формировании климата, почв, их водному режиму и растительности. Ученый относился к славной когорте географов-докучаевцев, и светлая память о нем и его географических трудах заслуживает сохранения в умах современных ученых, а его труды – более полно использоваться.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках темы Государственного задания ИГРАН № 0148-2019-0005.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Высоцкий Г.Н.* Избранные труды. М.: Сельхозгиз, 1960. 435 с.
2. Георгий Николаевич Высоцкий и его труды (Автобиография) // Почвоведение. 1941. № 3. С. 13–37.
3. *Высоцкий Г.Н.* О гидрологическом и метеорологическом влиянии лесов. 2-е изд. М.–Л: Гослесбумиздат, 1952. 112 с.
4. *Высоцкий Г.Н.* О гидроклиматическом значении лесов для России // Лесной журнал. 1911. XLI. С. 119–158.
5. *Пятницкий С.С.* Г.Н. Высоцкий как образец ученого // Лесное хозяйство. 1998. № 4. С. 10–11.
6. *Рулев А.С., Пугачева А.М.* От “Ергеня” Георгия Николаевича Высоцкого до “Ергеня” XXI века // Природообустройство. 2015. № 1. С. 23–26.
7. *Исаченко А.Г.* Георгий Николаевич Высоцкий выдающийся отечественный географ. Л.: Изд-во ЛГУ, 1953. 60 с.
8. *Соболев С.С.* Георгий Николаевич Высоцкий // Сов. агрономия. 1948. № 8. С. 76–83.
9. *Лавренко Е.М.* Значение работ В.В. Докучаева для развития русской геоботаники // Докучаев и география. М.: Изд-во АН СССР, 1946. С. 47–64.
10. *Сукачев В.Н.* Из теории проблемы преобразования природы наших степей путем лесонасаждений // Вопр. географии. 1949. Сб. 14. С. 14–29.
11. *Высоцкий Г.Н.* Ергеня, культурно-фитологический очерк // Тр. Бюро по прикладной ботанике. Т. VIII, 10–11. Петроград: Тип. Маттисена в Юрьеве, 1915. С. 1113–1436.
12. *Копп М.Л., Егоров Е.Ю., Зарщиков А.А.* О происхождении Приволжско-Ергенинского новейшего уступа // Изв. вузов. Геология и разведка. 1999. № 4. С. 27–37.
13. *Высоцкий Г.Н.* Об условиях лесопроизрастания и лесопроизведения в степях // Высоцкий Г.Н. Из-

бранные труды. М.: Гос. изд-во сельхоз. лит-ры, 1960. С. 121–155.

14. *Высоцкий Г.Н.* Степи Европейской России // Высоцкий Г.Н. Избранные труды. М.: Гос. изд-во сельхоз. лит-ры, 1960. С. 5–69.

15. *Димо Н.А., Келлер Б.А.* В области полупустыни. Саратов: Изд-во Саратовск. Губернского ведомства. Почвенная лаборатория. 1907. 508 с.

16. *Берг Л.С.* Об изменениях климата в историческую эпоху // Землеведение. 1911. № 3. С. 5–74.

Geomorphology in works of outstanding Russian geographer Georgy Vysotsky (1865–1940)

V. P. Chichagov[a,#]

[a] *Institute of Geography RAS, Moscow, Russia*

[#] *E-mail: chichagov@mail.ru*

Georgy Vysotsky, outstanding Russian geographer, is remembered by his valuable contributions in the development of physical geography, soil science, geobotany, forestry, forest restoration, hydrology, climatology, hydrogeology and zoology of Russia. G.N. Vysotsky's scientific views was influenced by Vasily Dokuchaev, a giant figure of Russian geography, who's main principle was to study nature as a single and undivided whole looking at it through the eyes of geographer. Vysotsky was a talented scientist and a no less talented practical worker who taught how nature could be changed to fully fit the interests of man. However, his contribution to geomorphology have not been fully studied and summarized yet. This article fills the gap: it contains and analyzes his original cartographic geomorphological materials: a map of the river basins of the European part of Russia, detailed orographic map of the Ergeni, a map of precipitation, winds and air humidity in July; a summary map of resultant winds of Ukraine; a map of combination of the soil and relief plans of the Sarepta district, a map of dry steppes of European Russia as well as the geobotanical profile across the eastern slope of the Ergeni. Georgy Vysotsky created a series of new scientific terms that are widely used today: *illuviy* (illuvium), *mikrorelief* (microrelief), *plakor* (flat interfluve), *impulverizatsia* (saltation), *psevdofibry* (dense horizons), *desuktsia* (desuction), *permatsidnye pochvy* (percolative regime of soils), *digressia* (pasture digression), *demutatsia* (pasture restoration), *areny* (arenas), *ekotop* (ecotope), etc.

Keywords: outstanding geographer, follower of Dokuchaev, soil and vegetation cover, geomorphological descriptions, morphology of watersheds, structure of a network of valleys and gullies, microrelief, overbrowsing

ACKNOWLEDGMENTS

The study was performed within the framework of the state-ordered research theme of the Institute of Geography RAS No. 0148-2019-0005.

REFERENCES

1. Vysotskii G.N. *Izbrannye trudy* (Selected Works). M.: Selkhozgiz (Publ.), 1960. 435 p. (in Russ.)
2. *Georgii Nikolaevich Vysotskii i ego trudy (Autobiography)* (Georgy Nikolaevich Vysotsky and his works (Autobiography)). *Pochvovedenie*. 1941. No. 3. P. 13–37. (in Russ.)
3. Vysotskii G.N. *O gidrologicheskom i meteorologicheskom vliyanii lesov* (On the hydrological and meteorological effects of forests). M.–L.: Goslesbumizdat (Publ.), 1952. 112 p. (in Russ.)
4. Vysotskii G.N. *O gidroklimaticheskom znachenii lesov dlya Rossii* (On the hydroclimatic effects of forests for Russia). *Lesnoi zhurnal.* 1911. XLI. P. 119–158. (in Russ.)
5. Pyatnitskii S.S. *G.N. Vysotskii kak obrazets uchenogo* (G.N. Vysotsky as an example of a scientist). *Lesnoe khozyaistvo.* 1998. No. 4. P. 10–11. (in Russ.)
6. Rulev A.S. and Pugacheva A.M. *Ot "Ergenya" Georgiya Nikolaevicha Vysotskogo do "Ergenya" XXI veka* (From "Yergen" by Georgy Nikolaevich Vysotsky to "Yergen" of the XXI century). *Prirodoobustroistvo*. 2015. No. 1. P. 23–26. (in Russ.)
7. Isachenko A.G. *Georgii Nikolaevich Vysotskii vydayushchiisya otechestvennyi geograf* (Georgy Nikolaevich Vysotsky an outstanding Russian geographer). Leningrad: Izd-vo Lening. gos. univer. (Publ.), 1953. 60 p. (in Russ.)
8. Sobolev S.S. *Georgii Nikolaevich Vysotskii* (Georgy Nikolaevich Vysotsky). *Sovetskaya agronomiya*. 1948. No. 8. P. 76–83. (in Russ.)
9. Lavrenko E.M. *Znachenie rabot V.V. Dokuchaeva dlya razvitiya russkoi geobotaniki* (The significance of V.V. Dokuchaev for the development of Russian geobotany). *Dokuchaev i geografiya*. M.: Izd-vo AN SSSR (Publ.), 1946. P. 47–64. (in Russ.)
10. Sukachev V.N. *Iz teorii problemy preobrazovaniya prirody nashikh stepei putem lesonasazhdenii* (From the theory of the problem of transforming the nature of our steppes through afforestation). *Voprosy geografii*. 1949. Sb. 14. S. 14–29. (in Russ.)
11. Vysotskii G.N. *Ergenya, kulturno-fitologicheskii ocherk* (Ergenya, cultural and phytological sketch). *Trudy*

Byuro po prikladnoi botanike. Petrograd: Tip. Mattisena v Yureve (Publ.), 1915. T. VIII. P. 321. (in Russ.)

12. Kopp M.L., Egorov E.Yu., and Zarshchikov A.A. *O proiskhozhdenii Privolzhsko-Ergeninskogo noveishego ustupa* (About the origin of the Privolzhsko-Ergeninsky newest ledge). *Izv. VUZov. Geologiya i razvedka*. 1999. No. 4. P. 27–37. (in Russ.)
13. Vysotskii G.N. *Ob usloviyakh lesoproizrastaniya i lesoproizvedeniya v stepyakh* (On the conditions of forest growth and forest production in the steppes). Vysotskii G.N. *Izbrannye trudy.* M.: Gos. izd-vo selkhoz. lit-ry (Publ.), 1960. P. 121–155. (in Russ.)
14. Vysotskii G.N. *Stepi Evropeiskoi Rossii* (Steppes of European Russia). *Vysotskii G.N. Izbrannye trudy.* M.: Gos. izd-vo selkhoz. lit-ry (Publ.), 1960. P. 5–69. (in Russ.)
15. Dimo N.A. and Keller B.A. *V oblasti polupustyni* (In the semi-desert area). Saratov: Izd-vo Saratovskogo Gubernskogo vedomstva. Pochvennaya laboratoriya (Publ.), 1907. 508 p. (in Russ.)
16. Berg L.S. *Ob izmeneniyakh klimata v istoricheskuyu epokhu* (Climate change in the historical era). *Zemlevedenie.* 1911. No. 3. P. 5–74. (in Russ.)

ГЕОМОРФОЛОГИЯ, 2021, том 52, № 2, с. 117–120

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

DOI: 10.31857/S0435428121020139

Научно-практический рецензируемый журнал “Геоморфология” – единственный в России специальный журнал, посвященный изучению рельефа Земли и формирующих его процессов. С 1970 г. он регулярно выходит 4 раза в год и в 2020 г. отметил свой полувековой юбилей. С 2021 г. журнал выходит в бóльшем объеме, чем в предыдущие годы и другом формате. В связи с этим его тематика расширена в рамках специальности 25.00.25 – “ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ЭВОЛЮЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ”.

Журнал “Геоморфология” призван содействовать разработке общих теоретических, методических и прикладных проблем ***геоморфологии и палеогеографии четвертичного периода.*** Цель журнала – представить исследования, направленные на понимание происхождения, истории развития, механизмов формирования, динамики рельефа земной поверхности и связанных с ним других компонентов геосистем. Принимаются к публикации ***оригинальные исследования*** и ***обзорные статьи*** о строении и развитии рельефа Земли и других планет. В журнале получают освещение фундаментальные и прикладные вопросы по следующим тематическим направлениям:

– ***теория, методы и технологии исследований современного и палеорельефа*** (геоморфологическое картографирование, ГИС-технологии, применение данных дистанционного зондирования, математическое пространственное и динамическое моделирование, количественные измерения рельефообразующих процессов, получение и интерпретация геохронологических данных, реконструкции палеорельефа, история геоморфологии);

– ***региональные исследования современного и палеорельефа*** (тектонический, вулканический, сейсмогенный, флювиальный, гравитационный, гляциальный, перигляциальный, мерзлотный, карстовый, аридный и эоловый, береговой и морской, биогенный и антропогенный рельеф, формы выветривания, геоморфологическая опасность и риск, реликтовый рельеф).

Приветствуются ***междисциплинарные статьи***, направленные на выявление связей рельефа и рельефообразующих процессов с почвообразованием, гидрологическими процессами, неотектоникой, четвертичной геологией, ландшафтно-геохимическими условиями, условиями жизни древнего человека (геоархеология), палео- и современной экологической обстановкой.

Правила оформления статей

Редакция просит авторов при подготовке статей руководствоваться изложенными ниже правилами. Обратите внимание, что резюме является основным источником информации о статье. **Резюме, подготовленное не в соответствии с требованиями журнала, может быть основанием для возврата статьи авторам без проведения рецензирования. Статьи, оформленные не по правилам, не рассматриваются по существу.** Правила оформления статьи и списка литературы могут меняться по требованию издательства. Актуальный вариант на текущий момент размещен на сайте журнала.

Общие правила

Статья должна быть подписана всеми авторами, что дает право журналу на ее публикацию в бумажном и (или) электронном формате и размещение на сайте журнала (издательства). К статье необходимо приложить заполненную форму подтверждения оригинальности материалов и авторский договор (https://geomorphology.igras.ru).

В журнале публикуются только исследовательские статьи, обзоры, научные сообщения по тематике журнала. Принимается только новый, ранее не опубликованный материал. Нельзя направлять в редакцию работы, напечатанные или находящиеся на рассмотрении в иных изданиях.

Датой поступления статьи считается время получения редакцией первоначального варианта рукописи.

Плата за публикацию рукописей не взимается.

Авторы обязаны руководствоваться публикационной этикой COPE. Для опубликования материалов других авторов (фотографии, рисунки, карты и др.) необходимо получить разрешение на использование материалов (см. https://www.pleiades.online/ru/authors/permission/).

Рецензентами статей являются специалисты в данной области из научных учреждений и ВУЗов России и зарубежных стран. Все статьи проходят проверку на плагиат.

Оформление статьи

Вся статья (таблицы, примечания, заголовки, иностранные вставки, список литературы, подрисуночные подписи и др.) набирается на компьютере – **шрифт 12 через 1.5 интервала с полями: верхнее – 3 см, левое – 3 см, нижнее – 2 см, правое – 1.5 см**. Большие статьи желательно дробить на разделы с подзаголовками (необходимо четко обозначить соподчинение подзаголовков между собой).

Весь объем статьи, включая список литературы и подрисуночные подписи, **не должен превышать**: для работ, имеющих общее значение, – **25 стр**. текста; для научных сообщений, посвященных частным вопросам, и работ по методике научных исследований – **20 стр**. Размер обзорных и заказных статей может быть увеличен по предварительному согласованию с редколлегией и редакцией.

В конце статьи на отдельных страницах прилагаются обязательно **на русском и английском языках: 1) список литературы (References), 2) резюме объемом не менее 250 слов, отражающее основную идею и выводы автора, и 5–7 ключевых слов, 3) данные об авторах, 4) подрисуночные подписи**, а также **5) таблицы (только на русском языке) – все на отдельных страницах**. Нумерация страниц должна быть сплошной, включая список литературы, резюме, таблицы и подрисуночные подписи.

Единицы физических величин даются по системе СИ. В **десятичных дробях употребляется точка**: **0.35.**

Используются только “**кавычки**”, но не «кавычки».

Буква “**ё**” везде заменяется на “е”, кроме фамилий и особых случаев (лёссы, аллерёд).

Нумерация сносок дается не постраничная, а **сквозная цифровая**.

Никакие сокращения слов в тексте, кроме общепринятых сокращений метрических мер, механических, тепловых, магнитных и прочих единиц измерений и т.д. и т.п. и пр., не допускаются.

Список литературы с порядковыми номерами **дается не в алфавитном порядке, а по упоминанию в тексте**, независимо от языка, на котором дана работа. В него включаются только работы, на которые имеются ссылки в тексте статьи **с указанием всех фамилий авторов**. Сокращение и др. (et al.) не допускается. В ссылке на работу, помечаемой в тексте, дается в квадратных скобках только порядковый номер работы и, если необходимо (в случае приведения цитаты в тексте) – страница. Цитаты даются только на языке оригинала. То есть, например, цитирование У. Черчиля идет на английском.

Для английской версии весь список литературы (**References**) должен быть на латинице, при подготовке используется справочник CASSI (https://cassi.cas.org/search.jsp). Названия русских книг и статей переводятся, для названий журналов и издательств дается транслитерация, в конце в скобках указывается язык статьи – (in Russ.). Список литературы в латинице можно готовить с помощью систем транслитерации свободного доступа (http://www.translit.ru) и переводчика Google с последующим редактированием транслитерации и перевода (буква «ё» транслитерируется символом “e”, «й» – “i”, «х» – “kh”, «ц» – “ts”, «щ» – “shch”, «ы» – “y”, «э» – “e”, «ю» – “yu”, «я» – “ya”). Поскольку возможны различные варианты транслитерации фамилий, рекомендуется использование данных с сайта www.elibrary.ru.

Просьба строго придерживаться правил оформления списка литературы, обращая особое внимание на знаки препинания между словами. По возможности указывается DOI статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чалов Р.С.* Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.

2. *Renwick W.H., Smith S.V., Bartley J.D., and Buddemeier R.W.* The role of impoundments in the sediment budget of the conterminous United States // Geomorphology. 2005. Vol. 154. No. 71. P. 99–111.

3. История озер СССР. История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки / Д.Д. Квасов, Г.Г. Мартинсон, А.В. Раукас. Л.: Наука, 1990. 280 с.

4. *Амантов А.В., Амантова М.Г.* Развитие котловины Ладожского озера с позиций ледниковой теории // Региональная геология и металлогения. 2014. № 59. С. 5–14.

5. *Рулева С.Н.* Морфология и динамика русла верхней и средней Оби и влияние на них гидротехнических мероприятий. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1988. 30 с.

6. *Голосов В.Н.* Количественная оценка перераспределения наносов в верхних звеньях флювиальной сети: достижения и проблемы // Геоморфология. 2008. № 3. С. 29–37.

REFERENCES

1. Chalov R.S. *Ruslovedeniye: teoria, geografia, praktika. Tom 1: Ruslovye processy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnih rusel* (Riverbed science: theory, geography, practice. Vol. 1: Riverbed processes, mechanism, forms of manifestations and conditions of formations of riverbeds).Moscow: LKI (Publ.), 2008. 608 p.

2. Renwick W.H., Smith S.V., Bartley J.D., and Buddemeier R.W. The role of impoundments in the

sediment budget of the conterminous United States. *Geomorphology*. 2005. Vol. 154. No. 1. P. 99–111.

3. *Istoriya ozer SSSR. Istoriya Ladozhskogo, Onezhskogo, Pskovsko-Chudskogo ozer, Bajkala i Hanki* (History of the USSR lakes. The history of the Ladoga, Onega, Peipsi Lakes, Lake Baikal and Khanka). D.D. Kvasov, G.G. Martinson, and A.V. Raukas (Eds.). L.: Nauka (Publ.), 1990. 280 p.

4. Amantov A.V. and Amantova M.G. Development of the Ladoga Lakebasin from the standpoint of the glacial theory. *Reg. geol. metallogen*. 2014. No. 59. P. 5–14. (in Russ.)

5. Rulyova S.N. *Morfologiya i dinamika rusla verkhney i sredney Obi i vliyanie na nih gidrotekhnicheskikh meropriyatiy* (Morphology and dynamics of river channel of Upper and Middle Ob River and influencing of hydrotechnic events). PhD thesis. Moscow: MSU, 1988. 30 p.

6. Golosov V.N. A quantitative assessment of deposits redistribution in the upper links of fluvial network: Achievements and problems. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2008. No. 3. P. 29–37 (in Russ.).

Рисунки

Рисунки штриховые и полутоновые (**не более 3–4 рис.**) **представляются отдельно от рукописи** и ни в коем случае не вставляются в текст статьи! Все рисунки, схемы, графики, карты должны быть четко выполнены в размере, обеспечивающем ясность понимания всех деталей. Надписи на рисунках следует, по возможности, заменять цифровыми или буквенными обозначениями, объясняемыми в тексте статьи или в подписях к рисункам. **Рисунки могут быть представлены и в цвете, но быть однозначно читаемы в черно-белом варианте. Выбор варианта печати определяется редакцией.**

Электронный вариант рисунков должен быть только в графическом формате – JPEG, TIF с разрешением не менее 300 dpi.

Редколлегия журнала "Геоморфология" расширила возможности интернет-страницы журнала **(http://geomorphology.igras.ru)**, где размещаются переведенные авторами **резюме объемом не менее 250 слов, ключевые слова, а также англоязычный вариант цитируемой литературы** (References) – что требуют международные системы цитирования. По желанию автора возможно размещение на сайте электронного варианта его статьи в формате pdf.

Резюме

Резюме является основным источником информации в отечественных и зарубежных информационных системах и базах данных, индексирующих журнал. По нему читателю должна быть понятна суть исследования и стоит ли ему обращаться к тексту статьи для получения более подробной информации. В резюме должны быть указаны: основная **цель** написания статьи, то есть, какая проблема (вопрос) в ней решена; указаны **объект исследования** и основные использованные **методы**; основной **результат** (с цифрами, при их наличии) и его краткое обсуждение; главные **выводы**.

Редколлегия журнала призывает обратить серьезное внимание на содержание резюме и рекомендует придерживаться следующих правил при их составлении:

1. По возможности не повторяйте названия статьи. Если оно звучит следующим образом: "Такие-то и такие-то особенности экзогенных процессов там-то и там-то", не начинайте автореферат фразой: "В статье рассмотрены такие-то и такие-то особенности экзогенных процессов там-то и там-то". Сразу берите быка за рога: "Установлено, что экзогенные процессы в таком-то районе отсутствуют!"

2. Избегайте фраз типа "Проведены исследования того-то и сего-то". Раз уж Вы публикуете статью, ясно, что до этого провели какие-то исследования. Если вам непременно хочется подчеркнуть, что результаты не из пальца высосаны, пишите: "В результате таких-то исследований показано, что...".

3. Вообще, избегайте формы "отчета о деятельности" для аттестационной комиссии. Пишите не о том, как много Вы работали, а о результатах этой работы.

4. Если Вами получены какие-то цифры – скорости денудации, количество стадий развития, возраст, число террас и т.п., не ограничивайтесь утверждением, что вы установили это число, а приведите его, например, 2.87–3.12 мм/год, (если, конечно, цифр получилось не слишком много). Если Вы обнаружили конкретное проявление общей закономерности, не пишите: "Установлено, что климатические особенности региона влияют на ход экзогенных процессов" – укажите, в чем конкретно состоит это влияние.

5. Из резюме (включая и название статьи) в общем случае должно быть ясно, что и где исследовалось, каким методом, какие конкретные результаты получены, и (если есть возможность) какие выводы более общего характера следуют из этих результатов. Если статья методическая, нужно кратко описать предлагаемый метод. Если же Вы предались философическим размышлениям о судьбах геоморфологии, не поленитесь указать, в чем Вы видите ее спасение, а в чем главную опасность.

В конце статьи должны быть перечислены благодарности и отдельно – источники финансирования, в том числе гранты.

Благодарности приводятся на русском и английском языках. Примеры оформления:

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор признателен за помощь А.Ю. Иванову. Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект № 11-11-11111.

ACKNOWLEDGMENTS

The author is grateful of A.Yu. Ivanov for the help. The study was funded by the Russian Foundation of Basic Research, No. 11-11-11111.

В конце статьи автор указывает полностью на русском и английском языках фамилию, имя и отчество, место работы. На русском – ученое звание и должность, домашний и служебный адреса, номера телефонов, а также адреса электронной почты.

Наш журнал распространяется только по подписке. Редакция не располагает дополнительными экземплярами журнала.

Электронный вариант рукописи (текста и рисунков) отправляется авторами в редакцию через редакционную систему Издательства https://publish.sciencejournals.ru/login либо по E-mail (geomorfologiya@mail.ru), или на сайт журнала (https://geomorphology.igras.ru).