RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

# GEOMORPHOLOGY

Vol. 53 No. 1 January – March 2022

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, Novosibirsk

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

**A.V. Panin** – Ph.D. of Geographic Sciences, Institute of Geography RAS; 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 53, номер 1, 2022**

К истории геоморфологического картографирования Арктики

*Ф. А. Романенко, С. В. Харченко* 3

## МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Следы мощного речного стока в долинах рек бассейна Волги в поздневалдайскую эпоху

*В. Ю. Украинцев* 26

## НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

Геоморфология долины верхней Волги: история изучения и состояние проблемы (ст. 2. Верхневолжская низина)

*Д. В. Баранов* 35

Русловые процессы на полугорной реке (р. Белая, Западный Кавказ) (ст. 1. Горизонтальные деформации русла и сток воды как их основной фактор)

*И. Н. Каргаполова, И. В. Крыленко* 49

Озерно-ледниковая терраса в Изборско-Мальской долине: строение, возраст и механизм формирования

*Н. В. Карпухина, А. Н. Маккавеев, А. Л. Захаров, Е. А. Константинов, Р. Н. Курбанов, С. С. Бричева, Н. В. Сычев, Д. В. Баранов* 65

Аккумулятивные формы рельефа в долинах с газогидротермальными проявлениями (на примере водотоков ряда вулканических массивов Курило-Камчатского региона)

*Е. В. Лебедева, Р. В. Жарков* 81

## ИСТОРИЯ НАУКИ

Юрий Александрович Мещеряков – основоположник спутниковой географии

*Д. С. Асоян* 102

100-летний юбилей выдающегося российского ученого Юрия Александровича Мещерякова

*В. П. Чичагов* 112

# CONTENTS

**Vol. 53, No. 1, 2022**

History of geomorphological mapping in the Arctic

*F. A. Romanenko and S. V. Kharchenko* 3

## METHODS OF RESEARCH

Evidences of the high river runoff in the river valleys of the Volga basin during the Late glacial

*V. Yu. Ukraintsev* 26

## SHORT COMMUNICATIONS

Geomorphology of the Upper Volga River valley: study history and state of the problem (paper 2. The Upper Volga Lowland)

*D. V. Baranov* 35

Channel processes at a piedmont river (case study the Belaya River, Western Caucasus) (paper 1. Lateral channel migrations and water runoff as their main factor)

*I. N. Kargapolova and I. V. Krylenko* 49

Glaciolacustrine terrace in the Izborsko-Malskaya valley: structure, age and mechanism of formation

*N. V. Karpukhina, A. N. Makkaveyev, A. L. Zakharov, E. A. Konstantinov, R. N. Kurbanov, S. S. Bricheva, N. V. Sychev, and D. V. Baranov* 65

Accumulative landforms in valleys with gas-hydrothermal manifestations (on the example of watercourses of some volcanic massifs in the Kuril-Kamchatka region)

*E. V. Lebedeva and R. V. Zharkov* 81

## HISTORY OF SCIENCE

Yuri Aleksandrovich Meshcheryakov – founder of satellite geography

*D. S. Asoyan* 102

100th birth anniversary of Yuri Aleksandrovich Meshcheryakov – outstanding Russian scientist

*V. P. Chichagov* 112

*ГЕОМОРФОЛОГИЯ, 2022, том 53, № 1, с. 3–25*

*УДК 551.4:528.067.4(98)*

*Светлой памяти профессоров географического факультета МГУ*
*Георгия Ивановича Рычагова (1924–2020)*
*и Евгения Ивановича Игнатова (1938–2020)*

# К ИСТОРИИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ АРКТИКИ

**© 2022 г. Ф. А. Романенко[1,*], С. В. Харченко[1,2]**

[1]*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия*
[2]*Институт географии РАН, Москва, Россия*
**E-mail: faromanenko@mail.ru*

Поступила в редакцию 18.04.2021 г.
После доработки 29.09.2021 г.
Принята к публикации 11.10.2021 г.

В статье, написанной по опубликованным и архивным материалам, рассмотрена история картографирования рельефа Арктики в XIX–XXI вв. Охарактеризованы первые попытки составления карт рельефа и геоморфологического районирования в России и Европе в 1880–1910 гг. В Арктике первые геоморфологические работы и первые карты составляли Р. Кеттлиц, А. Армитедж, М.Н. Иванычук, геологи Горно-геологического управления ГУСМП. Научные основы методики картографирования разработаны К.К. Марковым, А.И. Спиридоновым, З.А. Сваричевской, ленинградской школой с использованием опыта М.М. Тетяева, И.Н. Гладцина и Я.С. Эдельштейна. Многие пионеры геоморфологического картографирования в Арктике репрессированы в 1930–1950 гг. Показано, что геоморфологическое картографирование на севере СССР было всегда тесно связано с геологической съемкой; его “золотым веком” стали 1950–1970 гг. – Государственные геологические съемки. Хотя геоморфологическая карта изъята из комплекта Госгеолкарты-1000 третьего поколения, рельеф остается одной из главных характеристик, которую используют сторонники разных концепций рельефообразования в Арктике для подтверждения своих взглядов. Существование нескольких принципов геоморфологического картографирования, разных концепций происхождения рельефа и рыхлых отложений, дискуссионность многих геолого-геоморфологических вопросов существенно обогащает общую теорию геоморфологии суши и дна полярных районов. Трудами сотен участников геологических и геоморфологических съемок Россия обладает серией качественных геоморфологических карт, не только констатирующих природную ситуацию, но и позволяющую углублять фундаментальные геоморфологические знания. Традиционная основа геоморфологии – пешее “исхаживание” неведомых земель, которых в Арктике пока немало, и поэтому можно констатировать дальнейшее развитие геоморфологической карты на совершенно новых цифровых и космических основах, которых даже не могли представить себе первые арктические геоморфологи.

*Ключевые слова:* геоморфологическая карта, Арктика, геологическая съемка, Арктикразведка

**DOI:** 10.31857/S0435428122010102

Геоморфологическое картографирование – важнейший метод не только исследований рельефа, но и общего географического познания, так как рельеф – один из главных компонентов географической среды [1]. Геоморфологическая карта дает “научно обоснованную, практически целеустремленную характеристику рельефа земной поверхности” [2, с. 8], ее составление завершает любое геоморфологическое исследование [3]. Интерес к нему то ослабевал, то усиливался вновь, в связи с расширением или сужением круга общегеоморфологических задач, в свою очередь связанных с современной социально-экономической ситуацией. Тем не менее всегда находятся научные и прикладные проблемы, решению которых составление геоморфологических карт или планов может существенно способствовать. Новый импульс геоморфологическому картографированию придало появление современных компьютерных методик обработки геоморфологических данных и дешифрирования космических снимков высокого разрешения с помощью разного рода ГИС, геологических программных пакетов, беспилотных летательных ап-

паратов, дифференциальных спутниковых навигаторов (DGPS) и иного цифрового арсенала. Карты получили точную геодезическую привязку, и оказалось, что многие виды данных удобно показывать на геоморфологической основе.

История геоморфологического картографирования Северной полярной области насчитывает немногим более ста лет, хотя первые попытки отражения рельефа на картах гораздо старше. Но они в значительной степени забыты, как и их создатели, и поэтому главная задача нашего сообщения – не только рассмотреть основные вехи становления карт рельефа в арктических и субарктических районах и вспомнить имена и судьбы этих пионеров, но и проследить эволюцию подходов к отображению на плоскости весьма сложных геоморфологических объектов Севера (авторы считают территорией своих интересов не только собственно Арктику, т.е. моря, острова и побережья Северного Ледовитого океана, но и прилегающие с юга районы).

При подготовке текста авторы использовали, наряду с опубликованными статьями, монографиями и картами, документы фонда Главного управления Северного морского пути (ГУСМП) в Российском государственном архиве экономики (РГАЭ), геологические отчеты Росгеолфонда, а также материалы собственных многолетних (с 1985 г.) полевых работ в разных районах Арктики.

## ОТРАЖЕНИЕ РЕЛЬЕФА СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ ДО ПОЯВЛЕНИЯ ГЕОМОРФОЛОГИИ

На первых картоподобных изображениях на стенах пещер (14–25 тыс. л. н.), папирусах и глиняных табличках (XIV–VII вв. до н. э.) изображений рельефа еще не было. На самой знаменитой и использовавшейся более тысячи лет карте Клавдия Птолемея (II в. н. э.) показаны горные хребты в виде протяженных двойных линий сложной конфигурации, часто пересекающихся. Иногда они ориентированы близко к истинному положению, чаще нет. Карта, как и большая часть других античных и средневековых карт, обрезана примерно по 60-й параллели.

На картах Генриха Мартеллуса (около 1490), Мартина Вальдзеемюллера (1507) и Франческо Роселли (1508) уже показано все северное побережье Азии. К этому времени геоморфологические наблюдения уже накапливались: например, ректор Сорбонны, затем Венского университета Альберт Саксонский (1316–1390) отметил, что эрозия снижает рельеф, а движения поверхности способствуют его воздыманию [4]. Элементы рельефа, главным образом водораздельные хребты, показаны на “Carta Marina” О. Магнуса 1539 г., картах А. Дженкинсона 1593 г., Г. Меркатора 1595 г., Исаака Массы “Novissima Russiae tabula” 1640 г., Сибири С.У. Ремезова 1697 г. в виде рядов более темных вытянутых облачков между реками или изгибающимися совокупностями отдельных гор. На карте Чукотки Тимофея Перевалова 1744 г. извилистые горные хребты в виде густой сети зубчатых линий занимают почти весь полуостров [5]. Действительно, большая часть Чукотки – это горы. На Генеральной карте Великой Северной экспедиции 1742 г. горные гряды показаны лишь на о-ве Вайгач, Югорском п-ове и Северо-Восточном Таймыре. В 1787 г. Г.А. Сарычев подробно и близко к действительности изобразил гранитные массивы Каменка, Летяткинский и мыса Большой Баранов восточнее устья Колымы [5].

В “Географическом Атласе Российской империи” 1824 г. на карте Архангельской губернии условными знаками показаны лишь уступы Кольского п-ова, горы Новой Земли и Вайгача, единичный хребет, перпендикулярный Зимнему берегу Белого моря, и некий хребет на левобережье Печоры [6]. То есть старые карты в лучшем случае отображали рельеф условно.

В 1683–1684 гг. английский натуралист Мартин Листер (1638–1711) предложил Королевскому обществу составлять карты песков и глин как одного из компонентов природной среды, самого важного для сельского хозяйства. Первые геологические карты появились в Европе в XVIII – начале XIX вв. (И.Э. фон Борн, 1789–1790; У.П.А. Дюфренуа и А.Э.О.Ж. Делесс, 1841 и др.), и после работ Уильяма Смита (1769–1839) в 1799–1815 гг. геологическое картирование стало основным методом геологических работ [4, 7]. И уже первые геологи обращали внимание на рельеф. Так, иностранный член-корреспондент Императорской академии наук Российской академии наук Жан Луи Жиро Сулави (1752–1813), составляя “карту рельефа провинции Виваре” (часть Лангедока, юг Франции), специально обращал внимание на формирование речных долин и образование вулканов [8, с. 36–37]. Он изготовил объемную модель рельефа провинции из глины.

Первые геологические карты двух районов Северной России – Северного Урала и Тимана составили в 1840-х гг. Г.П. Гельмерсен, Р.И. Мурчисон, А.А. Кейзерлинг. Г.П. Гельмерсен был автором первой геологической карты Европейской России (1865 г.).

К середине XIX в. появились уже другие виды геологических карт – гидрогеологические, палеогеографические (первую палеогеографическую карту России для юрского времени составил Г.А. Траутшольд в 1862 г. на основе “геогностической карты” Р. Мурчисона). А к первой трети XX века геологические карты начали разделять на карты со снятым четвертичным покровом, карты

четвертичных отложений, карты полезных ископаемых, тектонические и многие, многие другие виды. Разные страны создали государственные геологические службы (Англия – 1835, Канада – 1853, Франция – 1855, США – 1867, Германия – 1873, Япония – 1879) [7]. Учрежденный в России в 1882 г. Геологический комитет, директором которого назначили Г.П. Гельмерсена (1803–1885), руководил геологической съемкой до 1930 г., когда был ликвидирован, а его функции передали Главному геологоразведочному управлению.

В 1860 г. немецкий геолог К.Ф. Науманн (1797–1873) впервые выделил геоморфологию как самостоятельную науку, наряду с тектоникой и петрографией [7]. На восемь лет раньше он же предложил термин "морфология земной поверхности" [9]. В России впервые использовал термин "геоморфология" в 1914 г. В.Д. Ласкарев (1868–1954) [10], профессор Императорского Новороссийского университета в Одессе (сейчас – Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова). На рубеже веков он прошел стажировку в ведущих геологических музеях Вены, Цюриха, Женевы, Загреба, Белграда и был хорошо знаком с современной европейской геологией. В 1920 г. через Грецию он уехал в Белград, где работал до конца жизни и стал первым директором Геологического института Сербской академии наук и искусств [11, 12].

Становление геоморфологии в Европе связывают с именами немецких ученых: О. Пешеля (1826–1875), представителей Венской школы А. Пенка (1858–1945), Ф. Махачека (1876–1957) и Э. де Мартонна (1873–1955), а также географа из Гамбургского Колониального института С. Пассарге (1866–1958). Именно последний сделал попытку отразить на карте факторы рельефообразования на примере одного из районов Тюрингии [13], и его карты особенно тщательно разбирали затем К.К. Марков [14] и А.И. Спиридонов [15]. Пассарге составил атлас из восьми карт: топографической и растительности, геологической, крутизны склонов, форм долин, физической и химической устойчивости пород, почвенной, генетического развития рельефа. По мнению К.К. Маркова, это не собственно геоморфологические карты, а карты "для геоморфологии".

Во второй половине XIX века и в России стали появляться первые опыты картографирования рельефа, – карты геоморфологического районирования. Их историю совсем недавно анализировали [16], поэтому мы остановимся лишь на северных сюжетах. На орографической (гипсометрической) карте "южной половины Восточной Сибири, части Монголии, Маньчжурии и Сахалина" в масштабе 1:6720000 П.А. Кропоткина [17], как считал А.И. Спиридонов [2], появился элемент генетической интерпретации: там выделены цветом низменности, плоские возвышенности, нижние плоскогорья, альпийские горные страны, окраинные хребты плоскогорий, хребты, лежащие обеими подошвами на плоскогорье (нагроможденные) и глубоко врезанные в плоскогорье долины больших рек (въезды на плоскогорья).

Старший геолог Геологического комитета С.Н. Никитин (1851–1909), анализируя распространение разных типов послетретичных отложений, выделил на Севере европейской части России два района: "область ледниковых образований Финляндии и Олонецкого края" "с их ясно выраженными следами горных ледников" [18, с. 134] и "область Тимано-Уральского ледника с сильным развитием моренных отложений, движением ледников в направлении к северу, осложненным значительным участием морских осадков" [18, с. 136].

Л.С. Берг разделил на "морфологические области" Азиатскую Россию [19]. "Западно-Сибирскую низменность" он выделил в близких к современным границах. Весь Таймыр попал в "Северо-Сибирскую низменность" – этот теперь прочно устоявшийся термин ввел как раз Л.С. Берг. Приморские низменности Якутии, Верхоянский хребет, хребет Черского, Корякское нагорье вошли в "систему периферических областей Восточной Сибири", Северная и Восточная Чукотка – в "систему Чукотского полуострова".

Авторы вышеперечисленных опытов применяли, в первую очередь, морфологический принцип, выделяя низменности, горы, снабжая их качественной характеристикой (плоские, глубоко врезанные) и иногда определяя положение друг относительно друга (окраинные, нижние, нагроможденные). Иногда учитывался состав рыхлых отложений, которым сразу приписывался генезис: "моренные", "морские" и указывалось распространение: "с сильным развитием", "значительным участием".

Гораздо более детальную (так как располагал гораздо лучшими и подробными топографическими картами, которые для Азии отсутствовали) "морфологическую классификацию" Европейской России составил В.П. Семенов-Тян-Шанский [20]. Хотя она названа "морфологической", тем не менее, содержит в себе элементы генезиса (ледниковый и морской), принимает во внимание гидрографию (контуры, размеры и распространение озер) и геологическое строение (гранитный массив, конечные морены) и даже соотношение друг относительно друга ("внешние" и "внутренние" части).

А. Равнина, ледниковая часть.

I. Пояс твердых ледниковых накоплений (примерно западнее р. Онеги – *Ф.Р., С.Х.*).

1. Финский гранитный массив (восточная часть Фенноскандии – область лопастных озер).

Внутренние части:

1а) Кандалакшская озерная земля,

1б) Внутренняя Финско-Карельская озерная земля.

Наружные части:

1в) Кольский п-ов,

1г) Южная окраина Финского гранитного массива,

1д) Лапландская часть массива,

1е) Ботническое побережье.

II. Пояс северной морской трансгрессии (восточнее р. Мезени – *Ф.Р., С.Х.*).

1. Печорский край:

1а) Нижне-Печорская часть,

1б) Верхне-Печорская часть,

2) Тиманский кряж;

3. Придвинская речная область:

3а) Мезенская часть,

3б) Двинская часть,

Пояса I и II разделены узкой полосой (между Онегой и Мезенью) пояса III – Пояса рыхлых ледниковых накоплений. Здесь В.П. Семенов-Тян-Шанский выделил Озерную равнину (область больших округлых озер) и область конечных морен (малых лопастных озер).

Другие опыты составления карт рельефа под названием “Типы рельефа” или “Карты рельефа” того или иного региона, включенные, например, в фундаментальное издание “Россия. Полное географическое описание нашего отечества” (1899–1914) [21], одним из главных редакторов, авторов и составителей которого был В.П. Семенов-Тян-Шанский (1870–1942), по сути, представляют собой орографические карты, отражающие только поле высот.

Серию карт Новосильского и Черного уездов Тульской губернии “с элементами геоморфологии” (провальных образований, размыва, оползней и болот, районов размыва и заболачивания, водоносности, гипсометрическую и др., а для водосбора р. Красивой Мечи – карты провальных образований прогибов, оползней и болот, размыва и водоносности) составила в 1908–1917 гг. гидрологическая экспедиция тульской губернской земской управы под руководством А.С. Козменко [22]. В разные годы в ней сотрудничали гидрогеологи и геодезисты Ю.К. Зограф, Ф.В. Лунгерсгаузен, Б.А. Можаровский, Я.М. Катушов, Н.Г. Рыхальский, гидротехники Ф.В. Фойт, В.Д. Крашенинников, А.Б. Силин, А.С. Назаров, Я.А. Рогачев и др. А.И. Спиридонов [15, 2] считал работы А.С. Козменко (1878–1966) очень интересными для разработки методики картографирования, отметив, что его подход близок к предложенному С. Пассарге.

Таким образом, к началу XX века понятия геоморфологической карты и какого-либо понимания того, как их надо составлять, еще не было нигде в мире, хотя наука геоморфология уже определила свою область познания и предмет исследования. Более того, уже были написаны классические труды В.М. Дэвиса, Альбрехта и Вальтера Пенка, Д. Пауэлла, О. Пешеля, Э. Зюсса, С. Пассарге, геологов-четвертичников, которые дали общую картину развития новой науки.

## НАЧАЛО ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ В СССР

Геоморфологическое картографирование в РСФСР/СССР зародилось в Петрограде в стенах учебного Географического института, существовавшего в 1918–1925 гг. [23, 24]. Кафедрой геоморфологии в нем несколько лет заведовал известный геолог-тектонист М.М. Тетяев (1882–1956). Именно он разработал методику и составил первую геоморфологическую карту Саблинского учебного полигона (пос. Ульяновка Тосненского района Ленинградской области), которая не была опубликована и погибла в годы войны. Геоморфологическая практика в Саблине проводится с 1920 г. До войны ее вели известные геоморфологи, заведующие кафедрой геоморфологии Я.С. Эдельштейн (1869–1952) и И.Н. Гладцин (1884–1942?). М.М. Тетяев и Н.В. Потулова руководили практикой будущего академика К.К. Маркова (1905–1980), и именно он [14] обратил внимание на важность геоморфологического картографирования. Марков дополнил и углубил принципы, разработанные, но не опубликованные Тетяевым, составляя первую геоморфологическую карту Ленинградской области. Статья 1929 г. стала вехой в истории геоморфологической карты. Марков проанализировал работы С. Пассарге и других немецких географов (H. Gehne, K. Mayer, W. Creutzburg, A. Penck и др.). Он предложил отображать на геоморфологической карте триаду: “морфографический элемент”, т.е. особенности внешнего облика, происхождение и возраст рельефа, и поддержал идею геологов Х. Вебера и А. Геттнера сопровождать карты рельефа профилями, что актуально до сегодняшнего дня. До сих пор эта триада лежит в основе большей части методик картографирования рельефа, которые разрабатывались затем в Саблине Е.В. Рухиной (1909–1992), Е.Н. Азбукиной (1917–1992), Г.С. Ганешиным (1918–1989), А.К. Рюминым (1919–1988) и проводились как площадным, так и маршрутным способами [25]. О.М. Знаменская (1905–1998) организовала и двадцать лет вела учебный многодневный съемочный маршрут по Карелии. Геоморфологическое картографирование (картирование) по-

прежнему входит в программу учебной геоморфологической практики в Саблине [26].

В первом отечественном учебнике по геоморфологии Я.С. Эдельштейн [27] говорит, что разработка "общепринятой" легенды для геоморфологической карты – дело будущего. Он приводит две геоморфологических карты Подмосковья разных масштабов со ссылкой на И. Шпрейцера, и карту геоморфологических районов восточной части Алакульской впадины, составленную по легенде З.А. Сваричевской. Работу И. Шпрейцера – одного из забытых пионеров геоморфологического картографирования Подмосковья, авторам пока найти не удалось: в основополагающих трудах близкого времени Б.М. Даньшина [28], Н.Е. Дика, В.Г. Лебедева, А.И. Соловьева и А.И. Спиридонова [29] ссылок на его работы нет, а есть лишь упоминание. Многие указания Я.С. Эдельштейна в настоящее время общеприняты: например, что для составления геоморфологической карты необходимы как топографическая, так и геологическая карты. Также он впервые выделяет морфографические и морфогенетические карты. Целый раздел в учебнике посвящен формам микрорельефа, главным образом криогенного. Он написан в основном по материалам И.Н. Гладцина [30, 31], который в 1921 г. участвовал во второй экспедиции А.Е. Ферсмана в Хибины. После войны Я.С. Эдельштейн, редактируя первые девять томов "Геологии СССР", настоял, чтобы в их структуру обязательно входили главы "геоморфология" и "четвертичные отложения" [32].

После отъезда К.К. Маркова в Москву разработку легенды для геоморфологической карты продолжила будущий профессор кафедры геоморфологии ЛГУ З.А. Сваричевская (1911–1993), тогда аспирантка И.Н. Гладцина. По его инициативе данную тему включили в план научно-исследовательских работ кафедры геоморфологии и Географо-экономического НИИ (ГЭНИИ) ЛГУ. В результате З.А. Сваричевская разработала "первую в стране и мире" [26, с. 6] систему условных обозначений для геоморфологической карты крупного масштаба [33]. Ко многим терминам имеются пояснения, немецкие и английские аналоги. К легенде приложены составленные З.А. Сваричевской в 1934 г. карта южного склона Восточного Тарбагатая и две карты (цветная и черно-белая) бассейна р. Чары в Забайкалье (по картам Е.В. Павловского). Один экземпляр изданной легенды она подарила А.П. Жузе и К.К. Маркову, подписавшись одной буквой "С".

В основе легенды З.А. Сваричевской [33, с. 6–7] лежит три "принципа": "морфографический элемент", "способ образования (генезис) форм рельефа", и "геологический возраст рельефа". Выделено три типа рельефа: скульптурно-тектонический, скульптурный, аккумулятивный, которые отражаются штриховкой. Цветом передается десять основных "морфогенных объектов" (имеется в виду генезис форм, созданных разными агентами): речная, озерная, морская, ледниковая, водно-ледниковая, эоловая, вулканическая, денудационная, карстовая и биогенная деятельность. Под денудационной деятельностью имеется в виду главным образом плоскостной смыв. Примеры денудационного рельефа: пенеплен, мелкосопочник, горно-останцовый рельеф. Для каждого из трех типов рельефа предусмотрен свой способ цветовой заливки.

В "морфографической" части легенды, например, для ледникового рельефа, предусмотрены следующие знаки (разные типы черно-белой штриховки):

холмисто-моренный рельеф в горах;

краевой, холмисто-моренный рельеф на равнине;

донно-моренный рельеф;

водно-ледниковая равнина и зандры;

равнина водно-ледникового размыва;

флювиогляциальный конус (шлейф);

озерно-котловинный рельеф;

холмистый рельеф концевых частей ледника (моренный чехол);

термокарстовый рельеф (рельеф ископаемого льда).

З.А. Сваричевская впервые предложила систему условных обозначений для техногенного рельефа, поддержав в этом А.Е. Ферсмана. К нему отнесены карьеры, выемки, искусственно-выровненный рельеф, искусственно-холмистый рельеф (отвалы), берега искусственных бассейнов, провальный рельеф (обрушившиеся своды подземных выработок), разработанные склоны, искусственные оползни, отвалы.

Формирующие процессы разбиты на три группы: денудационно-тектонические процессы; процессы сноса, скульптуры; аккумулятивные процессы. Также З.А. Сваричевская предлагает отмечать на картах "возраст" и "литологию пород, на которых развилась данная форма", что отражается отдельными колонками в легенде. Специальные знаки предусмотрены для тундровых медальонов (отнесены к биогенному рельефу), для отнесенных к ледниковому рельефу форм морозного вспучивания, байджерахов, термокарстовых воронок, булгунняхов, а также заплечиков. Последний термин сейчас используется в металлургии и полиграфии, его применение в геоморфологии нам неизвестно.

И.Н. Гладцин, заведуя кафедрой геоморфологии и всячески способствуя развитию на ней самых разных направлений, написал первый в стране учебник по региональной геоморфологии [34]. На севере Европейской части СССР он выделил

несколько геоморфологических районов: Кольскую горную область (весь Кольский п-ов), Северо-западную область сельг (Карелия), область конечных морен (близкую по контурам к "поясу рыхлых ледниковых накоплений" В.П. Семенова-Тян-Шанского), Мезенско-Канинскую бугристую тундру, Северо-Двинскую область древних ложбин, Тиманский "остаточный кряж", Северо-восточную область тундровых равнин, ограничивающую с севера Верхне-Печорскую равнину. Наконец, с востока область районирования ограничена горной областью Северного Урала и Пайхоя. Особенно подробно и с любовью И.Н. Гладцин характеризует Кольскую горную область, где побывал сам. Учебник очень информативен, так как его автор критически проанализировал большое количество литературы, в том числе на немецком языке, которым превосходно владел. В.П. Чичагов [35, 36] особо отмечает не потерявшие актуальности работы Ивана Николаевича, обобщающие его хибинские наблюдения, по формированию криогенного микрорельефа – каменных многоугольников.

В Москве разработка легенд и составление геоморфологических карт велись в Институте географии под руководством Г.Д. Рихтера (Геоморфологическая карта Европейской части СССР в м-бе 1:2500000), и в Московском университете (Б.В. Добрынин, И.С. Щукин). До войны была составлена серия мелкомасштабных геоморфологических карт Европейской части СССР и Кавказа.

В 1936 г. Л.С. Берг дополнил свое районирование 1913 г. Он четко сформулировал его критерии: характер рельефа, характер складчатости – наличие крупных складок, и время самых интенсивных складчатых дислокаций [37]. По новым материалам он выделил "Среднесибирское плоскогорье"; "Северосибирскую" и ее продолжение "Колымскую низины" (под этим термином имеется в виду низменность, внутри которой находятся горные участки, в данном случае – Юкагирское плоскогорье, и предложенная С.В. Обручевым Колымская низменность); "Западноазиатскую низину", куда включил Таймыр и Северную Землю; "систему Чукотского полуострова". "Система периферических областей Восточной Сибири"; в другом месте статьи названа "мезозойская и частично третичная складчатость периферических областей Восточной Сибири". Вместо Полярного и Приполярного Урала выделен только Северный Урал севернее 61.4° с.ш.

Перечисленные работы были существенно дополнены в Институте географии АН СССР под руководством К.К. Маркова [38], в основу которого легли материалы уже совершенно другого, гораздо более высокого уровня, чем те, которыми располагали Л.С. Берг и В.П. Семенов-Тян-Шанский.

Главные работы по разработке теории геоморфологического картографирования с середины 1930-х гг. развернулись в МГУ Алексеем Ивановичем Спиридоновым (1910–2000) при поддержке И.С. Щукина (1885–1986). Именно А.И. Спиридонов стал классиком и основоположником "производственного" геоморфологического картографирования (которое он называл именно "картографированием", в отличие от ленинградских геоморфологов и геологов). Первая работа по этому вопросу выполнена им в возрасте 24 лет – 2 июня 1934 г. он выступил с докладом, который затем опубликовал [15] на совместном заседании физико-географического сектора НИИ географии МГУ и географического отдела МОИП. При подготовке доклада Алексей Иванович обобщил собственный опыт составления в 1932 г. (вместе с М. Анисимовой, И. Заруцкой, Л. Семихатовой) геоморфологической карты бассейна р. Москвы выше устья р. Истры. Эта работа выполнялась под руководством А.А. Борзова (которого А.И. всегда считал своим учителем, о чем часто говорил на лекциях, которые одному из авторов еще посчастливилось слушать) и А.С. Баркова. Они стали пионерами геоморфологического картографирования в Москве. Несмотря на то что данная статья считается первой статьей А.И. Спиридонова [39], она таковой не является. Ей предшествовала небольшая заметка "О картах энергии рельефа" [40], основанная на анализе работ немецких географов.

Интерес к картографированию появился у А.И. Спиридонова во время работы в 1931–1935 гг. в Центральном научно-исследовательском институте геодезии, аэросъемки и картографии (ЦНИИГАиК) и сохранился до конца жизни – одна из последних статей об энергии рельефа опубликована в 1994 г., через 59 лет [41], а одна из последних статей о геоморфологических картах – в 1991 г. [42]. Методика А.И. Спиридонова основана на детальном обдумывании всех предшествующих опытов, его работы восхищают тщательностью и основательностью, глубоким проникновением в суть обсуждаемого вопроса. Видимо, во многом именно поэтому его труды [2, 43, 44 и др.] до сих пор лежат в основе современных методов полевых геоморфологических съемок, несмотря на гигантский шаг технологий.

Среди задач геоморфологии он видел [15]:

исследование геологической структуры рельефа и установление геологического возраста и морфологического строения отправного рельефа;

выяснение ведущих внешних эрозионно-аккумулятивных сил, определяющих развитие форм рельефа и строение современного рельефа,

установление стадии его развития, геологический возраст террас и распределение их;

определение возраста и синхронизация террас одной речной долины с другой.

Геологический возраст рельефа должен обязательно указываться на карте.

А.И. Спиридонов предложил, чтобы "...каждый геоморфолог при полевых исследованиях ставил своей непременной задачей составить геоморфологическую карту района своего исследования по тому принципу, который он считает сам наиболее приемлемым. По мере накопления таких региональных геоморфологических карт по разным районам, разными методами составленных, легче и основательнее будет решаться вопрос об общих принципах составления геоморфологических карт" [15, с. 232]. Данная идея реализовалась очень скоро, в процессе Государственной геологической съемки.

Но пока, несмотря на значительные успехи составления геоморфологических карт в СССР, до начала масштабных геологосъемочных работ в послевоенное время они оставались только опытами. По разным методикам в разных коллективах составлялись главным образом мелкомасштабные карты и карты районирования. Еще не хватало ни опыта, ни полевых материалов, ни межрегиональных сравнений и, главное, "социального заказа". Геология и тесно связанная с ней геоморфология еще не превратились в отрасль производства. Активное развитие теория геоморфологического картографирования и районирования получила лишь во второй половине XX века [45].

С горечью отметим, что ленинградская геоморфологическая школа – колыбель геоморфологического картографирования, подверглась жестоким репрессиям в годы сталинского террора [25]. В 1930-е гг. арестовали и отправили на о-в Вайгач П.В. Виттенбурга (1884–1968), на канал Москва–Волга – Б.Л. Личкова (1888–1966), на Беломорканал – Н.Н. Соколова (1895–1977). Арестованная во время блокады, погибла В.Ф. Филипович (1909–1942). Неоднократно увольняли С.С. Шульца (1898–1981), которого фактически спас Д.И. Мушкетов (1882–1938), позже расстрелянный. Трагически погиб И.Н. Гладцин, оставленный в Пушкине на подпольную работу из-за великолепного знания немецкого языка и, по несогласованию, ошибочно расстрелянный партизанами.

В 1949 г. по "красноярскому делу" арестовали М.М. Тетяева и 79-летнего Я.С. Эдельштейна, только что (к юбилею) награжденного орденом Ленина. 31 марта 1949 г. он был арестован, на допросы его водили под руки, 80-летие он встретил в тюрьме. 28 октября 1950 г. Особое совещание при МГБ СССР приговорило его к 25 годам ИТЛ по статьям 58–1а, 58–7, 58–10, 58–11 [46]. 21 января 1952 г. Заслуженный деятель науки РСФСР, кавалер орденов Ленина и Трудового Красного знамени, один из основоположников отечественной геоморфологии вообще и геоморфологии Арктики, в частности, скончался в тюремной больнице в Ленинграде на 83-м году жизни. Через два года, 31 марта 1954 г. (ровно через пять лет после ареста), в самом начале периода реабилитаций, его полностью оправдали.

## ПЕРВЫЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОПЫТЫ В АРКТИКЕ

Наверное, первую геоморфологическую карту в Арктике составили участники английской экспедиции Ф. Джексона (1860–1938) на Землю Франца-Иосифа (ЗФИ) морской офицер, метеоролог и астроном Альберт Армитедж (1864–1943) и врач и геолог Реджинальд Кеттлиц (1860–1916). В архиве Королевского географического общества в Лондоне хранится карта мыса Флора на о-ве Нортбрук, где экспедиция зимовала в 1894–1897 гг. Цветами и значками на ней показано большое количество геологических, геоморфологических и гляциологических объектов: "стратифицированные скальные обнажения", "осыпь, не полностью перекрывающая стратифицированные мягкие юрские породы", "верхний и нижний уровни поднятых пляжей", "осыпные склоны", "базальтовые уступы", нунатаки, "бровка плато, свободная от снега летом", "недавняя береговая линия", "скалы Галли", "выступ стратифицированной скалы", "ледяной купол", "ледяная пропасть", "фирн или лед ледника", "канал в фирне", "фирновый или ледяной склон" и др. Отдельно показаны палеонтологические объекты – "Ammonites ishmae", "череп кита".

Здесь мы снова встречаем имя уже упомянутого нами выше А.А. Кейзерлинга, пионера геологического картографирования Тимана. Именно он при съемке в бассейне р. Ижмы в 1846 г. описал аммонита, который сейчас известен как *Arcticoceras ishmae* по месту его находки (устное сообщение Т.А. Яниной). То есть Кеттлиц и Армитедж были знакомы с его трудами, а в книге самого Ф. Джексона [47] сообщается, что впервые данный вид ископаемого обнаружен А. Кейзерлингом на р. Ижме.

Экспедиция Джексона присвоила имя "Долина ветров" глубокой долине, рассекающей два участка скального плато близ мыса Флора с высотными отметками 303 и 308 м. На советской топографической карте 1956 г. сохранилось и название "Долина ветров", и "скалы Галли" восточнее ее. Кеттлиц [48] в совместных маршрутах с Ф. Нансеном после легендарной встречи на мысе Флора (после зимовки Нансена и Я. Иохансена в каменной полуземлянке) предположил и обосно-

вал гипотезу о современном подъеме ЗФИ, которая в настоящее время общепринята.

Геологическая съемка, начавшаяся в России в XIX веке, продолжилась и после революции. В некоторых районах Арктики она интенсивно велась в конце 1920-х годов под руководством ОГПУ. Нефть, газ, уголь разведывали на р. Ухте, на Полярном и Приполярном Урале, полиметаллические руды, медь, флюорит – на о-ве Вайгач и в окрестностях Амдермы. После создания в 1931 г. Дальстроя и в 1932 г. – Главного управления Северного морского пути (ГУСМП), интенсивные геологоразведочные и съемочные работы развернулись на Западном Таймыре (уголь), на Чукотке и Колыме (олово, золото, уголь), в районе Нордвика (уголь, каменная соль, нефть), в Есть-Енисейском районе (нефть), в районе Норильска (медь, никель, уголь). Созданная в 1920 г. Северная научно-промысловая экспедиция (с 1925 – Институт по изучению Севера, с 1930 – Всесоюзный Арктический институт – ВАИ) обследовала все новые и новые районы Новой Земли. Многочисленные морские экспедиции ГУСМП открывали новые острова в Карском море. Но геоморфологические работы оставались пока единичными.

В 1931–1932 гг. в бухте Тихой на Земле Франца-Иосифа (третья зимовка на ЗФИ) зимовал геоморфолог М.Н. Иванычук (1894–1937), выпускник Пражского университета, ученик С.Л. Рудницкого (1877–1937), основателя первого в Украине географического Института географии и картографии в Харькове, академика АН УССР. Хотя термин “геоморфология” еще не очень укоренился в научных кругах, Иванычук едет на зимовку не только заместителем начальника, но и в качестве именно геоморфолога. И поясняет в примечании, что геоморфолог – это “географ (!), изучающий формы поверхности земли, их развитие, группирование и распределение” [49, с. 7]. Санная партия М.Н. Иванычука в апреле 1932 г. открыла острова Комсомольские [50], собрала сведения о рельефе о-вов Хейса, Алджер и Земля Вильчека, и обнаружила сильные приливные течения в Австрийском канале. После возвращения в Харьков М.Н. Иванычук подготовил цикл лекций “География Советской Арктики” и выпустил две книги – о зимовке на ЗФИ и об ... Антарктиде, собрав там все имеющиеся на тот момент сведения об этом континенте [51].

М.Н. Иванычука и его учителя С.Л. Рудницкого постигла одна и та же трагическая судьба. Арестованного по делу несуществующей “Украинской воинской организации”, Михаила Николаевича расстреляли 10 августа 1937 г. в Харькове. Степана Львовича арестовали уже в 1933 г., а созданный им институт ликвидировали в 1934 г. 3 ноября 1937 г. после четырех лет Свирьлага, Белбалтлага и Соловецкого лагеря С.Л. Рудницкого расстреляли в Сандормохе в районе Медвежьегорска [52]. В заключении он написал книгу “Эндогенная динамика земной коры”, рукопись которой не сохранилась. М.Н. Иванычук реабилитирован 9 сентября 1958 г., С.Л. Рудницкий – 11 мая 1965 г.

До войны геоморфологи работали также на о-ве Врангеля в 1929 г. (В.П. Кальянов, 1897–1972 [53]) и в 1938 г. (К.К. Марков), в Анадырском крае и на Западном Таймыре в 1931–1941 гг. (Н.А. Меньшиков, 1902–?), на о-вах Вайгач и Колгуев в 1934 г. (Н.А. Солнцев). Как правило, геоморфологические работы выполнялись попутно и создавали первые представления о рельефе плохо изученных участков арктической суши. Детальные работы Н.А. Солнцева (1902–1991) на о-ве Колгуев легли в основу его монографии [54]. Качество геологической съемки было настолько высоко, что многие геоморфологические наблюдения, сделанные тогда, имеют до сих пор большой интерес. Так, начальник зимовочной геологической экспедиции 1935–1936 гг. на р. Пясину Н.Н. Мутафи (1910–1941) не только обнаружил качественное месторождение каменного угля (известное как “шахта Северная”), но и впервые подробно охарактеризовал рельеф и четвертичные отложения Западного Таймыра [55, 56]. Он выделил несколько конечно-моренных гряд (в том числе знаменитые Моккориттские гряды), подробно описал современный рельеф и процессы его динамики в дельте Пясины, выявив ее молодой возраст. Н.Н. Мутафи умер в 1941 г. в блокадном Ленинграде на рабочем месте.

К.К. Марков работал на о-ве Врангеля в августе 1938 г. в составе комплексной экспедиции АН СССР под руководством палеонтолога Р.Ф. Геккера [57]. В ней участвовали также ботаник Б.Н. Городков, мерзлотовед С.П. Качурин, биолог Л.А. Портенко, микробиолог А.Е. Крисс, анатом А.Н. Дружинин, техники, рабочие и административный состав. Они стали героями фильма, который снимали кинооператор К.Н. Писанко с помощником, наверное, первого фильма о геоморфологе в Арктике. К.К. Марков [58] обследовал окрестности бухты Роджерса и пересек остров с севера на юг, посетив его высшую точку – гору Советскую (1107 м). Он выделил пять геоморфологических районов: низменную прибрежную равнину тундры Академии, полосу низких гор северной половины острова, средневысотные горы центральной части острова, плато восточной части острова и приподнятую прибрежную равнину южной части острова; и четыре типа криогенного микрорельефа – пятен-медальонов и трещин усыхания. Тундру Академии он считал частью шельфа со скальным цоколем, перекрытым аллювием, а четвертичное оледенение полностью

отрицал. Работы Маркова продолжила М.Т. Кирюшина.

В 1941–1942 гг. в бассейне р. Пясины от Норильских озер до устья р. Пуры, по притокам Икону, Дудыпте, Агапе, Янгоде и Пуре работал В.Н. Сакс (1911–1979), создатель стратиграфической шкалы четвертичного периода, которая до сих пор лежит в основе современной стратиграфии, хотя и подвергается критике. В.Н. Сакс составил "схему геоморфологии бассейна р. Пясины", выделив современные речные долины, древние речные, озерные и морские террасы, водораздельные плато, камовые ландшафты, холмисто-моренные ландшафты разного возраста, мелкосопочные ландшафты предгорий, трапповые плато и горные ландшафты Бырранга [59]. Из перечня условных обозначений видно, что вместе с рельефом пока картографируются и ландшафты, т.е. каждый специалист тогда понимал карту рельефа по-своему. Отдельную работу В.Н. Сакс посвятил мерзлоте, тогда еще не слишком частому сюжету [60].

## НАЧАЛО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ

Катализатором работ по организации "производственного" геологического и геоморфологического картографирования гигантских просторов СССР стала оборонная необходимость, потребность в радиоактивном сырье. Его остро не хватало, требовались источники непосредственно на территории СССР. Уже в 1944 г., на ранней стадии атомного проекта, стало ясно, что поиски нового типа полезных ископаемых требуют коренной перестройки всей системы поисков и разведки. Необходима была сплошная геологическая съемка всей территории СССР. Первые листы Государственной геологической карты СССР м-ба 1:1000000 ("миллионки") вышли из печати еще в 1936–1938 гг., но самые грандиозные геологосъемочные мероприятия развернулись в первое послевоенное десятилетие, в 1946–1956 гг. Именно тогда по всей стране тысячи полевых партий впервые в таких масштабах по единой методике начали составление геологических карт. В отчетный комплект по каждому листу входили собственно карта фактического материала, геологическая карта, карта четвертичных отложений, карта полезных ископаемых, геоморфологическая карта.

Главным методом работы стал метод "исхаживания", когда выделенный партии участок (планшет) покрывался сетью пешеходных (санных, вездеходных) маршрутов и точек наблюдения. Выработались определенные кондиции для съемочных работ разного масштаба, регламентировались расстояния между маршрутами, между точками на маршруте, частота опробования, отбора образцов, разведочного бурения (при съемке крупного масштаба). В состав каждой партии входили инженеры – геологи, коллекторы, радиометрист, радисты, каюры или оленьи пастухи, или вездеходчики.

Для геологического изучения Арктики в структуре ГУСМП 10 июля 1948 г. на базе научно-исследовательского отдела (НИО) ГГУ был организован НИИ геологии Арктики (НИИГА), легендарное научное учреждение, первым директором которого стал Б.В. Ткаченко (1907–1990), ученым секретарем – М.Ф. Лобанов (1910–1966). В 1981 г. НИИГА переименовали, и сейчас изучение геологического строения арктических побережий и шельфа успешно продолжает ВНИИОкеангеология имени И.С. Грамберга. Практически все сотрудники НИИГА 1940–1960-х гг. стали классиками полярной геологии, их труды используются до сих пор. Одним из выдающихся результатов их работы в части фиксации арктического рельефа является Геоморфологическая карта Северного Ледовитого океана [61].

В первые послевоенные годы геологи были вооружены весьма примитивным полевым снаряжением, часто не имели никакого транспорта, кроме собственных ног, и обладали весьма скудными запасами продовольствия. У них не было ни связи, ни оружия, ни необходимой обуви и одежды для защиты от холода, дождя и снега. Сотни килограммов образцов каменного материала они переносили в рюкзаках иногда за десятки километров от базы, вброд переходя холодные и бурные реки, ночуя в драных брезентовых палатках в худых спальных мешках – все это также приходилось нести на спине. Даже полевые дневники, куда при любой погоде записывали наблюдения, геологи часто на первых порах сшивали сами из школьных тетрадей. Приходилось проявлять редкостную изобретательность, и рабочие геологических партий, и сами геологи становились мастерами выживания в Арктике. Появились фантастические "экспедиционные кадры" (термин употребил Олег Куваев в романе "Территория"), умевшие выполнять все виды работ – от выпечки хлеба в земляной печи до постройки лодок и пошива парусов для них. По всей Арктике славился изобретательностью геолог Владимир Анатольевич Вакар (1900–1971). "Этот необычайно подвижной человек, несмотря на пургу и жестокие морозы, ежедневно пробегал на лыжах десятки километров..." [62]. В обиход многих геологических партий вошли "вакар-штаны", "вакар-палатка", "вакар-спальник", "вакар-рубаха" и др., и лишь "вакар-обед", когда в одной миске смешивались суп, второе и компот, не получил широкого распространения.

Постепенно организация и оснащение полевых работ улучшались, появились вездеходы, тракторы, легкие самолеты, наладились отношения с местными колхозами, которые с удовольствием предоставляли геологам за деньги оленей и лошадей вместе с пастухами-оленегонами и коноводами; перестали быть дефицитом необходимые для анализов бромоформ и канадский бальзам (в РГАЭ сохранилась переписка по этому поводу ГУСМП с Советом Министров и стенограммы заседаний последнего), повысилось качество подготовки геологов, коллекторов, радиометристов, качество самих приборов. Не изменились лишь условия работы – Арктика всегда оставалась Арктикой, и на кладбищах северных поселков встречаются могилы геологов, замерзших, утонувших, травмированных, заболевших. Так, на "верхнем" кладбище о-ва Диксон похоронен Иван Григорьевич Рябинин (1926–26.06.1954), сотрудник геологической экспедиции Н-85 (арктические экспедиции советских времен имели свои номера с индексами: у НИИГА – Н, у АНИИ – А), умерший из-за анемии мозга после переохлаждения во время переправы вброд через р. Убойную [63]. В пос. Звездном на о-ве Врангеля у бухты Сомнительной похоронен сотрудник НИИГА геолог И.В. Евстифеев (1900–1953) [64]. Но часто у брошенных поселков на брошенных кладбищах не сохранилось даже табличек.

Памятником геологам-съемщикам стали прекрасные геологические карты 1950-х гг., до сих пор сохранившие свою научную ценность. Они и объяснительные записки к ним используются в научных статьях и монографиях, несмотря на появление десятков новых методов и составление геологических карт уже третьего поколения. Более того, до многих посещенных в те годы районов, островов и побережий современные исследователи так и не сумели больше добраться. Никогда ранее ни одно государство не тратило столько усилий и средств на геологическую съемку.

Но для составления геологической и геоморфологической карт нужна была топографическая основа, и ее отсутствие стало главной проблемой съемки. В Арктике оставались еще многочисленные "белые пятна". Так, даже в самом доступном и изученном арктическом архипелаге – Новой Земле, к осени 1949 г. не было нанесено на карты 42% территории [65, л. 64–85]. Грандиозную задачу картографирования всей территории СССР можно было выполнить только на основе аэрофотосъемки, а ее организация требовала еще более крупных вложений в создание аэропортов с технической и ремонтной базой, метеослужбой, снабжение аэропортов топливом, подготовку кадров и обеспечение их хотя бы минимальным жильем. Необходимо было оснастить самолеты Полярной авиации фотокамерами, обучить штурманов-съемщиков, организовать проявку пленок, изготовление накидных монтажей и самих контактных отпечатков, т.е. оснастить и обеспечить реактивами и оборудованием фотолаборатории.

Фактически выполнение геологической съемки вызвало появление целой отрасли производства, причем в кратчайшие сроки и в тяжелых условиях послевоенной бедности. Возникли десятки поселков с населением несколько сотен человек в каждом, соединенных авиа- и пароходным (летом) сообщением с материком. В недрах ГУСМП была создана в соответствии с Постановлением СНК СССР № 16143-р от 7 августа 1944 г. и приказом начальника ГУСМП № 273 от 4 ноября 1944 г. специализированная организация, объединявшая аэрофото- и геологосъемочную роли – трест "Арктикразведка" [66]. Вклад этой организации в исследование Арктики значительно превышает ее известность, а ведь именно она способствовала ликвидации последних "белых пятен" на территории СССР (на Северо-Восточном Таймыре), освоению Северного Таймыра и Северной Якутии, составлению первых современных геологических карт, и сыграла одну из главных ролей в находке Таймырского мамонта (мамонт Портенко или Жигарева-Коржикова). Сохранившиеся аэрофотоснимки (АФС) Арктикразведки имеют уникальную ценность для реконструкции динамики природной среды Арктики, так как это первые реальные изображения поверхности Земли. Увы, АФС тех лет почти не осталось. В честь Арктикразведки назван ледник на Земле Вильчека – одном из самых крупных островов восточной части Земли Франца-Иосифа, а в честь НИИГа – ледник на севере Земли Георга в том же архипелаге. В дальних уголках Арктики сохранились поставленные Арктикразведкой знаки. Столбик 1952 г. на мысе Оловянном о. Октябрьской Революции на Северной Земле – символический памятник астроному С.В. Жарову (1911–1952), сотруднику Северной аэрофотосъемочной экспедиции. Он пропал во время полевых работ и, несмотря на тщательные поиски, так и не был обнаружен.

На Северной Земле появилась и одна из первых геоморфологических карт нового поколения. В этом архипелаге в 1948–1951 гг. в очень сложных условиях работала зимовочная экспедиция НИИГА под руководством Б.Х. Егиазарова (1918–1992). Около четверти рабочего времени отнимала транспортировка грузов, и столько же – плохая погода. Сотрудник экспедиции С.В. Воскресенский составил первую геоморфологическую карту острова в м-бе 1:500000, выделив на ней два уровня рельефа и множество конечноморенных образований [67]. Вместе с Н.Г. Загорской [68, 69] и В.Ф. Медведевым в рамках работ экспедиции он продолжил картографирование остальных островов. Карты, составленные позд-

нее, сохраняют многие особенности рельефа, выделенные тогда.

В результате многолетней работы на всю Арктику были составлены Государственные геологические карты “миллионного” масштаба, в комплект каждого листа которой входила геоморфологическая карта того же масштаба. Здесь мы касаемся лишь нескольких эпизодов этого гигантского проекта. Эпопея первой “миллионной” съемки заслуживает подробного описания.

## РАСЦВЕТ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Выполняя геологическую съемку, геологи собрали по всей Арктике огромное количество полевого материала, который требовал систематизации и, главное, разработки унифицированной легенды и методики ее составления (здесь уместно вспомнить уже цитировавшуюся нами идею А.И. Спиридонова [15]). Нельзя было допустить, чтобы на соседних листах использовались разные легенды. К тому времени А.И. Спиридонов выпустил первое издание своего труда [2], и именно его идеи легли в основу такой легенды. Сотрудник НИИГА В.В. Ермолов разработал методические рекомендации по составлению среднемасштабных геоморфологических карт именно для северных районов. Предложенная им легенда “...наиболее близка к легенде, опубликованной в 1952 г. А.И. Спиридоновым. Ее сущность заключается в выделении генетически однородных поверхностей и геометрически правильной рисовке границ между ними...” [70, с. 3]. И снова сравним с предложением А.И. Спиридонова [15, с. 229]: “В основу построения геоморфологической карты нужно положить выделение участков земной поверхности с точки зрения стадии развития рельефа, на которой последний в настоящее время находится”.

Такой подход стал теперь главным. В приложении к брошюре Ермолова находится фрагмент составленной автором по аэрофотоснимкам и материалам партии Л.А. Чайки геоморфологической карты северного побережья озера Таймыр между реками Северная и Постоянная. Рядом располагалась полярная станция Бухта Ожидания, где в конце 1940-х – начале 1950-х гг. базировались многочисленные съемочные экспедиции НИИГА, работавшие на Таймыре. Удивительно, но в брошюре отсутствуют специфические арктические и северные детали, специфика арктического рельефа в рекомендациях никак не отражена, кроме как в специальных обозначениях для мерзлотных форм рельефа.

В подготовке пособия В.В. Ермолова участвовал другой очень известный геолог НИИГА С.А. Стрелков (1921–1977), выпускник упомянутой нами кафедры геоморфологии Ленинградского университета, затем сотрудник Института геологии и геофизики СО АН СССР (Новосибирск) и Геологического института КНЦ РАН (г. Апатиты). Он стал главным редактором “Геоморфологической карты Советской Арктики” м-ба 1:2500000, изданной в 1961 г. [71, 72], которая обобщила геоморфологические работы Государственной геологической съемки первого поколения.

Легенда этой карты содержит уже многие привычные современным геоморфологам элементы. Качественный цветовой фон отдан однородным поверхностям, которые делятся по нескольким характеристикам. На самом высоком уровне классификации: тип рельефа (аккумулятивные и выработанные поверхности с плоским и холмистым рельефом); затем степень отражения в современном рельефе скального фундамента (отражает, отражает лишь крупные черты, не отражает) и затем – генезис, для которого предусмотрен свой фон для каждого типа рельефа. Характерно большое количество значковых обозначений.

Карта до сих пор остается важным источником геоморфологической информации.

Огромный объем фактического материала, большой практический опыт составления региональных геоморфологических карт вызвал в 1950–1970-е гг. настоящий расцвет геоморфологического картографирования. Активнейшие работы продолжались в Ленинграде – во ВСЕГЕИ, НИИГА, ВНИИОкеангеологии, ЛГУ, производственных организациях (С.В. Эпштейн, Г.С. Ганешин, Ю.Ф. Чемеков, А.К. Рюмин и мн. др.). Так как Ленинград был центром геолого-геоморфологических исследований Арктики, то именно там создавались геоморфологические карты миллионного, а затем и двухсоттысячного масштаба в ходе Государственных геологических съемок. ВСЕГЕИ стал центром разработки методики составления геоморфологических карт, рассылая методические рекомендации во все производственные съемочные организации. В Субарктике геоморфологическое картографирование активно развивалось в недрах созданной в 1945 г. московской “Аэрогеологии” (в 1945–1949 гг. – Главное аэрогеологическое управление, с 1949 – Всесоюзный аэрогеологический трест), чьи экспедиции очень много работали на Севере, в частности, в самых удаленных и труднодоступных местах Якутии.

Разнообразные геоморфологические карты и схемы арктического побережья составляла в отделе полярных стран ААНИИ группа геоморфологов и физико-географов (Р.И. Юнак, И.В. Семенов, Р.К. Сиско, В.М. Макеев и др.) [73–75]. Впервые под руководством Л.С. Говорухи в 1967 г. был обследован обнаруженный только в 1951 г. в

результате аэрофотосъемки ледниковый узел в горах Бырранга [76]. В 1970–1990-е гг. сотрудники отдела полярных стран ААНИИ и ЛГУ В.М. Макеев, Д.Б. Малаховский и Д.Ю. Большиянов [77–79] продолжили геоморфологические работы С.В. Воскресенского и Н.Г. Загорской на Северной Земле, где провели на всех островах архипелага обширный комплекс геоморфологических и палеогеографических исследований. Их базой стал научный стационар "Купол Вавилова", организованный Л.С. Говорухой (1932–2009) в 1975 г., который функционировал до 1989 г. [80]. Большой фактический материал по строению рельефа собрали сотрудники НПО "Севморгеология" (Е.Н. Ленькин, В.А. Марковский и др.), при геологической съемке м-ба 1: 200000 [81]. В 2013 г. в северной части о. Большевика ААНИИ организовал новую исследовательскую станцию "мыс Баранова", где продолжаются геолого-геоморфологические и географические работы.

Одновременно работы по методике картографирования велись в МГУ, где ими многие годы руководила профессор Н.В. Башенина (1913–1994). По ее инициативе были созданы лаборатория геоморфологического картографирования на кафедре геоморфологии МГУ, которая работала в тесном сотрудничестве с Комиссией по геоморфологической съемке и картированию Международного географического союза, организованной Ю.А. Мещеряковым и Я. Демеком [82]. Развивался морфоструктурный подход в составлении геоморфологических карт [83, 84]. Разработанная "Легенда геоморфологической карты Советского Союза" м-ба 1:50000–1:25000 [85], в силу масштаба заметно более подробно отражает формы мезо-, микро- и нанорельефа.

И эта легенда состоит из двух разделов, сформированных по уже знакомым нам признакам:

проявления эндогенных факторов в формировании рельефа (значки и линейные знаки);

формы и элементы форм, созданные экзогенными факторами (качественный фон, 12 подразделов), в том числе формы морозно-солифлюкционного и мерзлотного происхождения, а также созданные совокупным действием нивальных, нивально-водных, ледниковых, солифлюкционных и гравитационных процессов и созданные деятельностью человека (только значки).

К каждому разделу приложен большой список значковых обозначений ко всем подразделам. Легенда предусматривает также обозначения для генетических типов и литологического состава рыхлых отложений (системы значков) и даже рисунки сеток для обозначения возраста элементов рельефа (штриховки). Вот тут нам кажется более удачным предложение С.С. Воскресенского (1913–1993) отображать возраст на карте индексами, а не штриховкой. Впервые о необходимости указания возраста говорил А.И. Спиридонов.

На основе принципов А.И. Спиридонова, Д.В. Борисевича, Н.В. Башениной и др. разрабатывались отраслевые легенды крупного и среднего 1:50000–1:200000 масштабов, адаптированные к специфике работ производственных организаций (например, [86]). Составленные в ЦНИГРИ и Северо-Восточном геологическом управлении, они имеют такую структуру:

Раздел 1. Формы и элементы форм рельефа;

А. Формы рельефа, созданные экзогенными процессами – с разделами: флювиальные формы рельефа (наиболее разработанному), с группой знаков для погребенных долин, формы, созданные комплексной денудацией, ледниковые и водноледниковые, нивальные, морозные и мерзлотные, морские, а также форм рельефа сложного генезиса;

Б. Формы рельефа, созданные эндогенными процессами – с разделами: формы и контуры форм рельефа, созданных тектоническими движениями и вулканическими формами рельефа;

Раздел 2. Геологическая нагрузка. Показаны генезис и состав отложений, цифрами – мощность рыхлых осадков, возраст – индексами;

Раздел 3. Гидрогеологические данные;

Раздел 4. Сведения о металлоносности – разделы по россыпной и коренной металлоносности, рекомендации по поисково-разведочным работам.

Геоморфологическая съемка стала одним из распространенных методов поисковых работ. О внимании, которое уделяли ей самые разные специалисты, говорит количество статей о геоморфологических картах в организованном в 1970 г. журнале "Геоморфология". Уже в первом номере журнала помещена большая статья Г.С. Ганешина [87] о создании геоморфологической карты миллионного масштаба, и с тех пор статьи на схожие темы публиковались регулярно. Удивительно, но количество статей о геоморфологическом картографировании (теоретические разработки и опыт составления) практически не менялось по десятилетиям: 1970-е – 24 статьи, 5 рецензий; 1980-е – 25 статей, 6 рецензий; 1990-е – 23 статьи, 3 рецензии; 2000-е – 24 статьи, рецензий нет; 2010-е – 25 статей, 2 рецензии/хроники. И это, несмотря на массовую цифровизацию и катастрофические последствия смены хозяйственного уклада и выпадения целых поколений специалистов, сменивших направление работы в сложные годы. То есть геоморфологическая карта остается и методом, и инструментом, и обобщением новой информации.

## ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА В ЗЕРКАЛЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ ДИСКУССИЙ

Вышесказанное остается особенно актуальным для обширных низменных равнин Севера, например, п-ов Ямальского, Гыданского и Тазовского, для Северо-Сибирской низменности, Приморских низменностей Якутии. Все палеогеографические реконструкции выполняются там не только на основании детального изучения рыхлых отложений, но и на тщательном анализе рельефа. Казалось бы, так происходит везде, а не только в Арктике. Но именно на гигантских просторах арктических равнин, часто поразительно плоских, с однородным на протяжении десятков километров геологическим строением именно рельеф (и иногда – только он) "хранит" нужную информацию.

Именно изучение рельефа позволило сотрудникам геологосъемочных экспедиций №№ Н-67а, Н-82 НИИГА в 1953–1954 гг. (Ю.Н. Кулаков, Ю.Н. Михалюк, В.А. Даценко, С.И. Симонов, Г.А. Значко-Яворский, В.Я. Кайялайнен, Ю.С. Куликов и др.) разработать представление о маломощном четвертичном ледниковом покрове Ямала, центр которого предполагался на Полярном Урале. Его следы они видели, прежде всего, в холмисто-западинном рельефе возвышенности Сопкай в излучине р. Щучьей, и лишь затем – в тонком плаще песчано-валунно-галечных отложений незначительной (8–10 м) мощности, распространенных южнее линии Белужий Нос – оз. Нейто – р. Венуйеуо [88].

Очень интенсивно шло картографирование Западной Сибири, где осваивались месторождения углеводородов, сопровождавшиеся интенсивными изысканиями. В основе геоморфологических карт лежали "маринистские" представления Г.И. Лазукова, Н.Г. Чочиа, И.Л. Кузина, П.П. Генералова и др. В концентрированном виде они попали в фундаментальный трехтомный "Атлас Тюменской области" (1971), для подготовки которого на географическом факультете МГУ была создана Тюменская комплексная экспедиция под руководством А.Г. Буренстама. В работах принимала участие целая группа ведущих специалистов факультета, начальником геоморфологического отряда была Н.М. Ульянова, одним из членов редакционной коллегии – легендарный Ю.Г. Эрвье – начальник Главтюменьгеологии, один из первооткрывателей Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

Ступенчатость и выровненность рельефа Ямала (с которыми трудно не согласиться на большей части полуострова) привели и другие группы исследователей, сотрудников Тюменской экспедиции геологического факультета МГУ под руководством В.Т. Трофимова, их коллег из ПНИИИСа и ВСЕГИНГЕО, к выделению серии разновозрастных (от второй половины среднего плейстоцена до голоцена) морских и озерно-аллювиальных (лагунных) террас. На такой "маринистской" основе Н.Г. Фирсовым построена опубликованная в 1975 г. геоморфологическая карта Ямала [89]. И в дальнейшем лестница террас севера Западной Сибири служила основой для безледникового сценария четвертичной истории этого региона.

Одновременно в 1975–1980 гг. на Ямале при геологической съемке м-ба 1:200000 сотрудники ПГО "Аэрогеология" (М.С. Долотов, В.М. Леонов, К.Е. Симонов, В.В. Соловьев, А.И. Спиркин, Н.П. Шелухин и др.) снова вернулись к покровному леднику. Он был реконструирован главным образом с помощью гляциогеоморфологического дешифрирования и центр его предполагался на Карском шельфе [90, 91]. Данный вывод геоморфологических работ подтвердили детальным изучением деформаций рыхлых толщ сотрудники ВСЕГЕИ [92 и др.] и рижского ВНИИМоринжгеология [93 и др.]. Сторонники "гляциализма" до самого конца 1990-х гг. уверенно утверждали, что ледник на Ямале растаял совсем недавно, не ранее 12–15 тыс. л. н. И только новые радиоуглеродные датировки совместной латвийско-американско-российской экспедиции, организованной В.Н. Гатауллиным [94], убедили общественность в ранневалдайском (ранневислинском) его возрасте. Тенденция к "удревнению" ямальского ледника сохраняется, во многом, из-за ступенчатости равнины Ямала.

Дискуссия не теряет остроты. Так, на геоморфологической схеме 1:500000, составленной Е.П. Козловым и С.Г. Черданцевым под редакцией И.Л. Кузина в 2000 г. и входящей в комплект геологической карты м-ба 1:200000, южнее Бованенковского ГКМ на левом борту долины Мордыяхи показаны исключительно морские террасы и их склоны [95]. На более новой геоморфологической схеме 1:2500000, составленной Д.В. Назаровым, Д.А. Костиным, М.А. Шишкиным и Я.Э. Файбусовичем (комплект "миллионной" карты третьего поколения, 2014), в точности в этом же районе показана Лыяхинская озерно-ледниковая терраса [96]. Не входя в детали дискуссии, отметим только, что особенности рельефа – один из важных аргументов, и авторы противоположных концепций используют геоморфологическую карту и результаты геоморфологического дешифрирования для подтверждения своих взглядов.

В 1980–1990-х гг. профессор кафедры геоморфологии ЛГУ А.Н. Ласточкин разработал теорию системно-геоморфологического анализа и новый тип легенды геоморфологических карт [97–100 и др.]. Они успешно применялись на практике, особенно петербургскими геоморфологами, в том

числе при картографировании рельефа океанского дна. Он впервые отражается на картах третьего поколения. Кроме триады К.К. Маркова (морфология, генезис и возраст), специальными знаками показывалась геометрическая структура рельефа, в том числе его линии (гребни, долины, перегибы и др.). Но главный принцип остался: основные единицы картографирования – "элементарные поверхности, неделимые и однородные в данном масштабе в морфологическом, генетическом и возрастном отношении" [101; 102, с. 14].

Значительному улучшению геоморфологического картографирования дна Северного Ледовитого океана способствовало издание ВНИИОкеангеология в 1999 г. карты "Рельеф дна Северного Ледовитого океана" (1999), в основу которой легли все полученные к тому времени материалы. Появились и крупные геоморфологические обобщения, например, Г.Д. Нарышкина, С.Л. Никифорова. Использовались материалы более ранних обзорных карт Я.Я. Гаккеля, В.Д. Дибнера, О.В. Суздальского и др.

Судя по сегодняшнему вектору развития геоморфологического картографирования, особенно за рубежом, возможно использование передовых методов классификации территории (числовой и объективной) применительно к данным цифровых моделей рельефа и космическим снимкам. Автоматизированные классификации, при известных их недостатках, позволяют воспроизводить (конечно, механистически) логику проведения границ на традиционных, составленных экспертами геоморфологических картах, детализировать границы с карт мелкого масштаба, в соответствии с пространственным распределением морфометрических характеристик (напр., [103]). А морфометрия рельефа во многих случаях явным или неявным (через пространственные комбинации форм, "геоморфологические катены") образом позволяет устанавливать положение геологических и геоморфологических границ. Относительно недавно, почти на всю площадь Российской Арктики, появилась высокодетальная модель высот ArcticDEM (ArcticDEM – Polar Geospatial Center) [104]. С ней мы связываем возможный скачок в направлении автоматизации картографирования арктического рельефа по дистанционным данным. Отдельно подчеркнем, что качество автоматизированных классификаций рельефа по моделям высот и аэрокосмоснимкам, в первую очередь, зависит от соответствия реальной геоморфологической обстановке существующих карт рельефа и их легенд, Попытки привести картографическую информацию о рельефе с карт, созданных в докомпьютерную эпоху, и использовать ее при проведении научных исследований, создания статистических моделей распознавания форм и типов рельефа, ГИС-продуктов ведутся в различных организациях (напр., [105]).

Пока перспектив для активизации производственного геоморфологического картографирования немного. Теперь при составлении комплекта листов Государственной геологической карты м-ба 1:1000000 третьего поколения не предусматривается составление геоморфологической карты того же масштаба, но лишь – схемы или карты гораздо более мелкого м-ба 1:2500000 [106]. В комплекты геологической карты м-ба 1:200000 вместо геоморфологической карты того же масштаба входит геоморфологическая схема м-ба 1:500000. Более мелкий масштаб – меньше детальность и выше возможность для неподкрепленных фактами "идеологических" реконструкций.

Тем не менее продолжают появляться прекрасные геоморфологические карты, составленные в привычной, классической манере. Так, специалисты Полярной морской геологоразведочной экспедиции (ПМГРЭ) создали серию геоморфологических карт Арктики и Антарктики разного масштаба. Например, в музее Баренцбурга выставлена замечательная "Геоморфологическая карта центральной части о. Западный Шпицберген" в м-бе 1:50000, составленная в 2012 г. В.В. Шариным, А.С. Окуневым и Е.И. Лазаревой под редакцией Е.А. Гусева. Ленинградская школа арктического геоморфологического картографирования не только сохранилась, но и успешно развивается.

## НЕКОТОРЫЕ ВЫВОДЫ

Таким образом, геоморфологическое картографирование Арктики началось в конце XIX в., когда геоморфология только-только появилась. До войны шло интенсивное развитие методики составления карт, в первую очередь, в Ленинграде. Увы, многие пионеры геоморфологических исследований в Арктике стали жертвами репрессий. Расцвет геоморфологического картографирования пришелся на 1950–1970-е гг., что связано с проведением Государственных геологических съемок. Трудами сотен участников этих работ Россия обладает серией качественных геоморфологических карт Арктики, не только констатирующих природную ситуацию, но и позволяющую углублять фундаментальные геоморфологические знания.

Принципы картографирования, разработанные К.К. Марковым, З.А. Сваричевской, а затем расширенные и углубленные А.И. Спиридоновым, Н.В. Башениной, до сих пор лежат в основе составления карт, удачно сочетаясь с новым подходом А.Н. Ласточкина. Многообразие точек зрения на происхождение и возраст арктического ре-

льефа и рыхлых отложений очень обогащает практическую работу по картографированию рельефа арктических побережий, морей и островов, позволяя сторонникам альтернативных гипотез творчески подходить к поиску аргументов в рельефе для защиты своих взглядов. Вместе с тем мы вынуждены констатировать, что единой методики геоморфологического картографирования пока не существует, что и мешает применять этот очень эффективный метод при производственных работах. Но геоморфология – еще очень молодая наука, особенно геоморфология полярных широт. Человечество стоит на пороге качественно нового этапа их освоения, и геоморфологические карты – его помощники.

Подробный анализ существующих карт полярных регионов, вкупе с доступными сейчас детальными цифровыми моделями рельефа и иными видами данных дистанционного зондирования Земли, с привлечением современных методов статистических классификаций могут позволить оценить разные легенды и конкретные карты, формализовать (насколько возможно) экспертные правила проведения геоморфологических границ при картографировании рельефа в регионе.

Авторы отдают себе отчет в том, что в силу ограниченности формата статьи не назвали многих и многих геоморфологов и геологов, которые вложили невероятное количество сил и энергии в дело составления карт рельефа Севера. За рамками остались морфоструктурное картографирование, прекрасные региональные геоморфологические карты, составленные сотрудниками Томского университета, Хабаровского института водных и экологических проблем, Магаданского СВКНИИ, Тихоокеанского института географии и других организаций. Мы были вынуждены остановиться лишь на нескольких эпизодах. И склоняем голову перед величием духа, перед необъятностью и тщательностью гигантской работы, проделанной отечественными геологами и геоморфологами в Арктике и Субарктике.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы искреннее благодарят за ценные консультации сотрудников географического факультета профессора Т.А. Янину, А.Ф. Романенко, профессора Д.Ю. Большиянова (СПбГУ–ААНИИ), к.г.-м.н. Е.А. Гусева (ВНИИОкеангеология), доцента Н.М. Ежову (Мурманский колледж искусств), В.М. Мельника (Ассоциация “Морское наследие: исследуем и сохраним”). Данная работа выполнялась в условиях карантина и самоизоляции, поэтому авторы считают своим долгом выразить особую признательность работникам библиотек, которые делают доступными их фонды. Удавалось находить многие редкие издания, чтение которых коренным образом обогатило работу. Это Президентская библиотека им. Б.Н. Ельцина (https://www.prlib.ru), библиотека РГО (https://lib.rgo.ru), Киберленинка (https://cyberleninka.ru), Государственная публичная историческая библиотека России (http://elib.shpl.ru), Центральная научная сельскохозяйственная библиотека (http://www.cnshb.ru). Необходимо также поблагодарить модераторов сайтов “Полярная почта” (http://www.polarpost.ru) и “Кольские карты” (https://kolamap.ru), на которых также размещены редкие тексты, а также редакцию журнала “Геоморфология”, выпустившую диск со всеми статьями, опубликованными в журнале в 1970–2018 гг.

Исторический обзор изученности рельефа российской части Арктики выполнен в рамках госзадания кафедры геоморфологии и палеогеографии Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова № АААА-А16-11632810089-5. Анализ легенд опубликованных геоморфологических карт выполнен по гранту Российского научного фонда (проект № 19-77-10036).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Панов Д.Г.* Общая геоморфология. М.: Высш. шк., 1966. 427 с.
2. *Спиридонов А.И.* Геоморфологическое картографирование. М.: Географгиз, 1952. 186 с.
3. *Щукин И.С.* Общая геоморфология. Т. 1. М.: Изд-во МГУ, 1960. 614 с.
4. *Cailleux A.* Histoire de la géologie. Paris: Presses universitaires de France, 1968. 128 p.
5. Атлас географических открытий в Сибири и Северо-Западной Америке XVII–XVIII вв. / Под ред. А.В. Ефимова. М.: Наука, 1964. 134 с.
6. Российская Арктика: пространство, время, ресурсы. Атлас. М.: Фонд НИР, ООО “Феория”, 2019. 796 с.
7. *Хаин В.Е., Рябухин А.Г.* История и методология геологических наук. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 222 с.
8. Иностранные члены Российской академии наук. XVIII–XXI вв. Геология и горные науки. М.: Геофизический центр РАН, 2012. 504 с.
9. *Симонов Ю.Г.* Геоморфология. Методология фундаментальных исследований. СПб.: Питер, 2005. 427 с.
10. *Ласкарев В.Д.* Общая геологическая карта Европейской России. Лист 17. // Тр. Геол. комитета. Новая сер. Вып. 77. Петроград: Типография М.М. Стасюлевича, 1914. 710 с.
11. *Амброз Ю.О.* Ласкарєв Володимир Дмитрович // Професори Одеського (Новоросійського) університету: біогр. словник. Т. 3. Одесса: Астропринт, 2000. С. 204–206.
12. Ласкарев Владимир Дмитриевич | Персона – Russian Serbia [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://russianserbia.com/show_person?id=134 (дата обращения: 01.01.2021).
13. *Passarge S.* Morphologisher Atlas. Hamburg: L. Friederichsen&Co, 1914. P. 22.
14. *Марков К.К.* О геоморфологической карте // Геол. вестн. 1929. Т. 7. Вып. 1–3. С. 34–41.

15. *Спиридонов А.И.* К вопросу о геоморфологической карте // Уч. зап. Моск. гос. ун-та. Вып. 5. География. 1936. С. 217–235.
16. *Кузьмин С.Б.* Геоморфологическое районирование в России // Геоморфология. 2020. № 4. С. 100–115.
17. *Кропоткин П.А.* Общий очерк орографии Восточной Сибири // Зап. ИРГО по общей географии. 1875. Т. 5. С. 1–93.
18. *Никитин С.Н.* Послетретичные отложения Германии в их отношении к соответственным образованиям России // Изв. Геол. Комитета. 1886. Т. V. № 3–4. С. 133–185.
19. *Берг Л.С.* Опыт разделения Сибири и Туркестана на ландшафтные и морфологические области // Сб. в честь семидесятилетия Дмитрия Николаевича Анучина. М.: Издание Императорского об-ва любителей естествознания, антропологии и этнографии, состоящего при Моск. ун-те, 1913. С. 117–151.
20. *Семенов-Тян-Шанский В.П.* Типы местностей Европейской России и Кавказа: очерк по физической географии в связи с антропогеографией // Зап. ИРГО по общей географии. 1915. Т. 51. 114 с.
21. Россия. Полное географическое описание нашего отечества: настольная и дорожная книга для русских людей [в 20 т.] / Под ред. В. П. Семенова-Тян-Шанского. СПб.: Издание А.Ф. Девриена, 1899–1914.
22. *Козменко А.С.* Организация гидрологического исследования Тульской губернии (1908–1917 гг.). Книга I // Вестн. Воронежского гос. ун-та. Сер. география, геоэкология. 2011. № 1. С. 201–215.
23. *Марков К.К.* Тридцать лет со времени организации высшего географического учебного заведения в нашей стране (1916–1946) // Вопр. географии. 1947. Вып. 3. С. 206–209.
24. *Золотницкая Р.Л.* К истории основания географических институтов в Петрограде. Их роль в развитии отечественной географии // Изв. РГО. 1998. Т. 130. Вып. 6. С. 92–97.
25. Столетие кафедры геоморфологии СПбГУ / Под общ. ред. А.Н. Ласточкина и Д.Ю. Большиянова; Авторы-сост. Д.В. Лопатин, А.И. Жиров, С.Ф. Болтрамович. СПб.: Изд-во ААНИИ, 2018. 160 с.
26. *Болтрамович С.Ф., Волкова Т.М., Жиров А.И., Лопатин Д.В., Постнов И.С., Сытина И.А.* Методическое руководство по учебной полевой геоморфологической практике на базе Саблинской научно-учебной станции СПбГУ. СПб.: РЕНОВА, 2012. 70 с.
27. *Эдельштейн Я.С.* Основы геоморфологии. М.: Учпедгиз, 1938. 328 с.
28. *Даньшин Б.М.* Геологическое строение и полезные ископаемые Москвы и ее окрестностей. М.: Изд-во МОИП, 1947. 308 с.
29. *Дик Н.Е., Лебедев В.Г., Соловьев А.И., Спиридонов А.И.* Рельеф Москвы и Подмосковья. М.: Гос. изд-во географической лит-ры, 1949. 196 с.
30. *Гладцин И.Н.* Каменные многоугольники // Изв. ГГО. 1928. Т. 60. Вып. 2. С. 305–322.
31. *Гладцин И.Н.* Каменные многоугольники // Изв. ГГО. 1936. Т. 68. Вып. 6. С. 71–80.
32. *Ганешин Г.С., Чемеков Ю.Ф., Эпштейн С.В.* Яков Самойлович Эдельштейн (к столетию со дня рождения) // Геоморфология. 1970. № 3. С. 96–99.
33. *Сваричевская З.А.* Легенда для геоморфологической карты крупного масштаба. Под ред. И.Н. Гладцина // Тр. ГЭНИИ по физико-географическому отделу. Вып. 13. Л.: ГЭНИИ, 1937. 21 с.
34. *Гладцин И.Н.* Геоморфология СССР. Л.: Учпедгиз, 1939. 384 с.
35. *Чичагов В.П.* Труды талантливого отечественного геоморфолога Ивана Николаевича Гладцина (1884–1942) // Геоморфология. 2015. № 2. С. 100–106.
36. *Чичагов В.П., Кошкарев А.В.* Отечественное геоморфологическое картографирование // Геоморфология и картография: мат-лы XXXIII Пленума Геоморфологической комиссии РАН. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2013. С. 10–15.
37. *Берг Л.С.* Рельеф Сибири, Туркестана и Кавказа // Уч. зап. Моск. гос. ун-та. Вып. 5. География. 1936. С. 28–93.
38. Геоморфологическое районирование СССР. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1947. 172 с.
39. Памяти Алексея Ивановича Спиридонова // Геоморфология. 2001. № 2. С. 108–109.
40. *Спиридонов А.И.* О картах энергии рельефа // Изв. ГГО. Т. 67. Вып. 5. 1935. С. 607–610.
41. *Спиридонов А.И.* Энергия рельефа // Геоморфология. 1994. № 2. С. 71–74.
42. *Дао Динь Бак, Нгуен Куанг Ми, Спиридонов А.И.* Геоморфологическая карта Вьетнама // Вестн. МГУ. Сер. география. № 1. 1991. С. 101–104.
43. *Спиридонов А.И.* Основы общей методики полевых геоморфологических исследований и геоморфологического картографирования. М.: Высш. шк., 1970. 456 с.
44. *Спиридонов А.И.* Геоморфологическое картографирование. М.: Недра, 1975. 184 с.
45. Геоморфологическое районирование СССР и прилегающих морей. М.: Высш. шк., 1980. 343 с.
46. *Эдельштейн Яков Самойлович* (Самуилович) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://bessmertnybarak.ru/books/person/1729892 (дата обращения: 01.01.2021).
47. *Jackson F.G. A thousand days in the Arctic*. L.& N.Y.: Harper & Brothers, 1899. Vol. I. 589 p.; Vol. II. 615 p.
48. *Koettlitz R.* Observations on the Geology of Franz-Josef Land // Quarterly Journal of the Geological Society. 1898. Vol. 54. P. 620–645.
49. *Иванычук М.* 14 месяцев на Земле Франца-Иосифа. Харьков: Український робітник, 1934. 126 с.
50. *Иванычук М.Н.* Заметка по картографии Земли Франца-Иосифа (Комсомольские острова) // Arctica. Кн. 2. 1934. С. 97–100.
51. *Войславський Л.* Український географ і дослідник Арктики (Про М.М. Іваничука) // Реабілітовані історією. Харківська область: Книга друга. Київ–Харків: Оригінал, 2014. С. 105–111.
52. Рудницкий Степан Львович [Электронный ресурс]. Режим доступа: https:// bessmertnyba-

rak.ru/rudnitskiy_stepan_lvovich / (дата обращения: 01.01.2021).

53. *Кальянов В.П.* Геоморфология и геология острова Врангеля // Уч. зап. МГУ. Сер. География. 1946. Вып. 119. Кн. 2. С. 100–112.

54. *Солнцев Н.А.* Снежники как геоморфологический фактор. М.: Географиздат, 1949. 92 с.

55. *Мутафи Н.Н.* Геологическое строение и угленосность района низовьев реки Пясины // Тр. Арктического ин-та. 1939. Т. 126. С. 7–87.

56. *Мутафи Н.Н.* Геология и угленосность низовьев реки Пясины // Тр. НИИГА. 1950. Т. 2. 88 с.

57. *Крайний Северо-Восток Союза ССР. Т. I.* Остров Врангеля. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 212 с.

58. *Марков К.К.* Геоморфологический очерк острова Врангеля // Крайний Северо-Восток Союза ССР. Т. I. Остров Врангеля. М.: Изд-во АН СССР, 1952. С. 25–48.

59. *Сакс В.Н.* К геоморфологии бассейна реки Пясины // Тр. Горно-геологического управления ГУ СМП. 1945. Вып. 21. С. 44–58.

60. *Сакс В.Н.* Некоторые данные о вечной мерзлоте в бассейне р. Пясины // Тр. Горно-геологического управления ГУ СМП. 1945. Вып. 21. С. 29–43.

61. *Дибнер В.Д.* Геоморфологическая карта Северного Ледовитого океана // Тр. Науч.-исслед. ин-та геол. Арктики. Т. 143. М.: Недра, 1965. С. 341–345.

62. *Соколов-Микитов И.С.* Избранное. М.–Л.: ОГИЗ Гослитиздат, 1948. 579 с.

63. *Погребицкий Ю.Е.* Письмо Ф.А. Романенко, 1999. Архив авторов.

64. *Белов М.И.* По следам полярных экспедиций. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 144 с.

65. Сводки и отчеты по ГГУ ГУСМП (особая папка) о радиоактивных элементах в северо-западной части Таймырского полуострова 1948–1950 // РГАЭ. Фонд 9570. Оп.4. Дело 235. 308 лл.

66. *Романенко Ф.А.* Первые шаги аэрофотосъемки в высоких широтах // Земля из космоса. Вып. 10. 2011. С. 17–23.

67. *Егиазаров Б.Х., Воскресенский С.В.* Геологическое строение о-ва Большевик (Северная Земля) // Тр. НИИГА. 1951. Т. XXV. 74 с.

68. *Загорская Н.Г.* Северная Земля // Четвертичные отложения Советской Арктики // Тр. НИИГА. 1959. Т. 91. С. 113–123.

69. *Загорская Н.Г.* Характер древнего оледенения почти равнин по материалам современного оледенения архипелага Северной Земли // Вопр. географии. 1959. Вып. 46. С. 14–27.

70. *Ермолов В.В.* Вопросы составления геоморфологических карт при среднемасштабной комплексной геоморфологической съемке Северных регионов // Тр. НИИГА. 1958. Т. 83. 32 с.

71. *Стрелков С.А., Загорская Н.Г.* Геоморфологическая карта центральной части Севера СССР в масштабе 1:2500000. Общие проблемы геоморфологии // Тр. I Пленума Геоморфологической комиссии РАН. 1960.

72. *Стрелков С.А., Загорская Н.Г., Мартынов В.Т.* Геоморфологическая карта Советской Арктики / под ред. С.В. Эпштейна. М.: Гостехнаучиздат, 1961. 10 с.

73. Таймыро-Североземельская область. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 374 с.

74. Ямало-Гыданская область. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 310 с.

75. Атлас Арктики. М.: ГУГК, 1985. 204 с.

76. *Макеев В.М.* Памяти Л.С. Говорухи (1932–2009) // Изв. РГО. 2010. Т. 142. Вып. 4. С. 91.

77. *Макеев В.М.* Геоморфологические исследования Североземельской экспедиции ААНИИ о. Октябрьской Революции в 1974–1976 гг. // Тр. ААНИИ. 1941. Т. 367. С. 111–119.

78. Исследования ледникового покрова и перигляциала Северной Земли // Тр. ААНИИ. 1981. Т. 367. 176 с.

79. *Большиянов Д.Ю., Макеев В.М.* Архипелаг Северная Земля (оледенение, история развития природной среды). СПб.: Гидрометеооиздат, 1995. 216 с.

80. *Большиянов Д.Ю.* “Купол Вавилова”: 42 года спустя // Российские полярные исследования. 2016. № 2 (24). С. 38–41.

81. Северная Земля. Геологическое строение и минерагения. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2000. 187 с.

82. Нина Викторовна Башенина (1913–1994) // Геоморфология. 1995. № 1. С. 110–111.

83. *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. 202 с.

84. Геоморфологическое картирование / под ред. Н.В. Башениной. М.: Высш. шк., 1977. 375 с.

85. Легенда геоморфологической карты Советского Союза масштаба 1:50000–1:25000 / Башенина Н.В., Леонтьев О.К., Симонов Ю.Г., Выскребенцева В.С., Заруцкая И.П. М.: Геогр. ф-т МГУ, 1960.

86. *Лапин С.С., Синюгина Е.А., Терехова В.Е.* Объяснительная записка к условным обозначениям геоморфологических карт масштабов 1:50000 и 1:200000. Магадан: ЦНИГРИ-СВГУ, 1971. 20 с.

87. *Ганешин Г.С.* Геоморфологическая карта СССР масштаба 1:1000000 и некоторые вопросы крупномасштабной геоморфологической съемки // Геоморфология. 1970. № 1. С. 53–60.

88. *Соколов В.Н.* Геология и перспективы нефтегазоносности арктической части Западно-Сибирской низменности // Тр. НИИГА. Т. 100. Л.: Гостоптехиздат, 1960. 156 с.

89. Полуостров Ямал / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1975. 280 с.

90. *Астахов В.И.* Геологические доказательства центра плейстоценового оледенения на Карском шельфе // Докл. АН СССР. 1976. Т. 231. № 5. С. 1178–1181.

91. *Долотов М.С., Шелухин Н.П., Спиркин А.И., Соловьев В.В., Леонов В.М., Симонов К.Е., Гилод Д.А., Мелихов В.Р.* Отчет по аэрофотогеологическому картированию масштаба 1:200000 п-ова Ямал за 1975–1981 гг. М.: Аэрогеология, 1981. 372 с.

92. *Каплянская Ф.А., Тарноградский В.Д.* Реликтовые глетчерные льды на севере Западной Сибири и их роль в строении районов плейстоценового оледенения криолитозоны // ДАН. 1976. Т. 231. № 5. С. 1185–1187.

93. *Гатауллин В.Н.* Верхнечетвертичные отложения западного побережья полуострова Ямал: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Л. 1988. 26 с.

94. *Forman S.L., Ingolfsson O., Gataullin V., and Manley W.* Late Quaternary stratigraphy, glacial limits, and paleoenvironments of the Marresale area, western Yamal Peninsula, Russia // Quatern. Res. 2002. Vol. 57. P. 355–370.

95. R-42-XV. Геоморфологическая схема, м-б 1:500000 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://geo.mfvsegei.ru/200k/r-42/r-42-15/32/index.html (дата обращения: 01.01.2021).

96. R-42. Геоморфологическая схема, 1:2500000. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://vsegei.ru/ru/info/pub_ggk1000-3/Zapadno-Sibirskaya/r-42.php (дата обращения: 01.01.2021).

97. *Ласточкин А.Н.* Системно-структурная ориентация геоморфологического картографирования // Геоморфология. 1984. № 2. С. 47–56.

98. *Ласточкин А.Н.* Системно-морфологическое основание наук о Земле. СПб.: СПбГУ, 2002. 762 с.

99. *Ласточкин А.Н.* Идеология традиционного и современного (морфодинамического) геоморфологического картографирования // Геоморфология и картография / Мат-лы XXXIII Пленума Геоморфологической комиссии РАН. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2013. С. 23–28.

100. *Лопатин Д.В., Сытина И.А., Нефедов Д.А.* Петербургская школа геоморфологического картографирования К.К. Маркова и ее современное развитие // Вестн. СПбГУ. Сер. 7. 2014. Вып. 2. С. 190–195.

101. *Зинченко А.Г., Ласточкин А.Н.* Методика геоморфологического картографирования шельфа и континентального склона Российской Федерации (применительно к задачам Госгеолкарты-1000). М.: ЗАО "Геоинформмарк", 2001. 34 с.

102. Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1000000 (третьего поколения). СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. 198 с.

103. *Marmion M., Hjort J., Thuiller W., and Luoto M.* A comparison of predictive methods in modelling the distribution of periglacial landforms in Finnish Lapland // Earth Surface Processes and Landforms. 2008. No. 33. P. 2241–2254.

104. ArcticDEM – Polar Geospatial Center [Электронный ресурс]. URL: https://www.pgc.umn.edu/data/arcticdem/ (дата обращения: 10.04.2020).

105. *Буланов С.А.* Картографические проекты геоморфологической комиссии РАН масштаба 1:2500000 и возможности использования их материалов в современных ГИС // Геоморфология и картография: материалы XXXIII Пленума Геоморфологической комиссии РАН. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2013. С. 20–23.

106. Требования по созданию дополнительных карт и схем к комплекту Госгеолкарты-1000/3. Геоморфологическая карта. СПб.: ВСЕГЕИ, 2005.

## History of geomorphological mapping in the Arctic

**F. A. Romanenko[a,#] and S. V. Kharchenko[a,b]**

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

[b] *Institute of Geography RAS, Moscow, Russia*

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

The article is based on review of published and archived materials related to the history of the mapping the Arctic Relief in the XIX–XXI centuries. The first attempts to represent relief and geomorphological zoning in the map format in Russia and Europe goes back to 1880–1910. In the Arctic, the first geomorphological works and the first maps were produced by R. Koettlitz, A. Armitage, M.N. Ivanychuk, geologists of the mining and geological department of GUSMP. Scientific foundations of mapping techniques developed by K.K Markov, A.I. Spiridonov, Z.A. Svarichevskaya, Leningrad school of geomorphological mapping, using the experience M.M. Tetyaeva, I.N. Gladcin and Ya.S. Edelstein. Unfortunately, many pioneers of geomorphological mapping in the Arctic were repressed in the 1930–1950s. It is shown that geomorphological mapping in the north of the USSR was always closely connected with geological survey. Its "golden age" falls into 1950–1970s. – State geological survey. Although geomorphological map was excluded from the compilation of the State Geolmap-1000 third-generation kit, but the analysis of relief remains one of the main method of investigation in supporting different concepts of relief formation in the Arctic. Principles of geomorphological mapping, different concepts of origin of the relief and unconsolidated deposits, discussion of many geological and geomorphological issues significantly enrich the general theory of terrestrial and marine geomorphology of the Polar regions. Because of the contribution of hundreds of participants of geological and geomorphological surveys, Russia has a series of high-quality geomorphological maps that are not only accurately illustrate the land surface, but also shows the deep fundamental geomorphological knowledge. The advancement of geomorphological mapping in the Arctic would be based on traditional approach of geomorphology, walking across unknown land, which still remains plenty the Arctic has so far, and complemented with new digital and space bases research. That further development could not even be imagined by the first arctic geomorphologists.

*Keywords:* geomorphological map, Arctic, geological survey, Arcticrazvedka

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors sincerely thank for the valuable consultations of the staff of the Faculty of Geography Professor T.A. Yanina, A.F. Romanenko, Professor D.Yu. Bolshiyanov (St. Petersburg State University–AARI), Ph.D. E.A. Guseva (VNIIOkeangeology), Associate Professor N.M. Ezhova (Murmansk College of Arts), V.M. Melnik (Association "Marine Heritage: Research and Preserve"). This work was carried out in conditions of quarantine and self-isolation, so the authors consider it their duty to express special gratitude to the library workers who make their collections available. It was possible to find many rare publications, the reading of which radically enriched the work. These are the Presidential Library named after B.N. Yeltsin (https://www.prlib.ru), the library of the Russian Geographical Society (https://lib.rgo.ru). Cyberleninka (https://cyberleninka.ru), State Public Historical Library of Russia (http://elib.shpl.ru), Central Scientific Agricultural Library (http://www.cnshb.ru). It is also necessary to thank the moderators of the sites "Polar Mail" (http://www.polarpost.ru) and "Kola Maps" (https://kolamap.ru), which also contain rare texts, as well as the editorial board of the journal "Geomorfologiya (Geomorphology RAS)", which released a CD with all the articles published in the journal in 1970-2018.

A historical review of study of the landforms of the Russian part of Arctic was carried out under the state assignment of the Department of Geomorphology and Palaeogeography of the Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University No. AAAA-A16-11632810089-5. The analysis of the geomorphological maps legends was funded by the Russian Science Foundation, No. 19-77-10036.

## REFERENCES

1. Panov D.G. *Obshchaya geomorfologiya* (General geomorphology). Moscow: Vysshaya shkola (Publ.), 1966. 427 p. (in Russ.)
2. Spiridonov A.I. *Geomorfologicheskoe kartografirovanie* (Geomorphological mapping). Moscow: Geografgiz (Publ.), 1952. 186 p. (in Russ.)
3. Shchukin I.S. *Obshchaya geomorfologiya. T. 1* (General geomorphology. Vol. 1). Moscow: Izd-vo MGU (Publ.), 1960. 614 p. (in Russ.)
4. Cailleux A. *Histoire de la géologie*. Paris: Presses universitaires de France (Publ.), 1968. 128 p.
5. *Atlas geograficheskikh otkrytii v Sibiri i Severo-Zapadnoi Amerike XVII–XVIII vv.* (Atlas of geographical discoveries in Siberia and North-West America XVII–XVIII cent.). A.V. Efimov (Ed.). Moscow: Nauka (Publ.), 1964. 134 p. (in Russ.)
6. *Rossiiskaya Arktika: prostranstvo, vremya, resursy. Atlas* (The Russian Arctic: space, time, resources. Atlas). Moscow: Fond NIR, OOO "Feoriya" (Publ.), 2019. 796 p. (in Russ.)
7. Khain V.E. and Ryabukhin A.G. *Istoriya i metodologiya geologicheskikh nauk* (History and methodology of geological sciencies). Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta (Publ.), 1997. 222 p. (in Russ.)
8. *Inostrannye chleny Rossiiskoi akademii nauk. XVIII–XXI vv. Geologiya i gornye nauki* (Foreign members of the Russian Academy of Sciences. XVIII–XXI centuries Geology and mining sciences). Moscow: Geofizicheskii tsentr RAN (Publ.), 2012. 504 p. (in Russ.)
9. Simonov Yu.G. *Geomorfologiya. Metodologiya fundamental'nykh issledovanii* (Geomorphology. Methodology of basic researches). Sankt-Peterburg: Piter (Publ.), 2005. 427 p. (in Russ.)
10. Laskarev V.D. *Obshchaya geologicheskaya karta Evropeiskoi Rossii. List 17.* (General geological map of European Russia. Sheet 17). *Trudy Geologicheskogo komiteta. Novaya seriya. Vol. 77.* Petrograd: Tipografiya M.M. Stasyulevicha (Publ.), 1914. 710 s. (in Russ.)
11. Ambroz Yu.O. *Laskarev Volodimir Dmitrovich* (Laskarev Vladimir Dmitrievich). *Profesori Odes'kogo (Novorosiys'kogo) universitetu*: biogr. slovnik. Vol. 3. Odessa: Astroprint (Publ.), 2000. P. 204–206 (In Ukr.).
12. Laskarev Vladimir Dmitrievich. Persona – Russian Serbia [Electronic data]. Access way: https://russianserbia.com/show_person?id=134 (access date: 01.01.2021). (in Russ.)
13. Passarge S. *Morphologisher Atlas*. Hamburg: L. Friederichsen&Co (Publ.), 1914. P. 22.
14. Markov K.K. *O geomorfologicheskoi karte* (About a geomorphological map). *Geologicheskii vestnik*. 1929. Vol. 7. No. 1–3. P. 34–41. (in Russ.)
15. Spiridonov A.I. *K voprosu o geomorfologicheskoi karte* (On the problem of a geomorphological map). *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya*. 1936. P. 217–235. (in Russ.)
16. Kuz'min S.B. *Geomorfologicheskoe raionirovanie v Rossii* (Geomorphological zoning in Russia). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2020. No. 4. P. 100–115 (in Russ.)
17. Kropotkin P.A. *Obshchii ocherk orografii Vostochnoi Sibiri* (The general review of the East Siberia orography). *Zapiski IRGO po obshchei geografii*. SPb. 1875. Vol. 5. P. 1–93. (in Russ.)
18. Nikitin S.N. *Posletretichnye otlozheniya Germanii v ikh otnoshenii k sootvetstvennym obrazovaniyam Rossii* (Post-tertiary sediments of the Germany in comparison with related geological creatures in Russia). *Izvestiya Geologicheskogo Komiteta*. SPb. 1886. Vol. 5. No. 3–4. P. 133–185. (in Russ.)
19. Berg L.S. *Opyt razdeleniya Sibiri i Turkestana na landshaftnye i morfologicheskie oblasti* (An experiment of the Siberia and Turkestan division into landscape and morphological regions). *Sb. v chest' semidesyatiletiya Dmitriya Nikolaevicha Anuchina*. M.: Izdanie Imperatorskogo ob-va lyubitelei estestvoznaniya, antropologii i etnografii, sostoyashchego pri Moskovskom universitete (Publ.), 1913. P. 117–151. (in Russ.)
20. Semenov-Tyan-Shanskii V.P. *Tipy mestnostei Evropeiskoi Rossii i Kavkaza: ocherk po fizicheskoi geografii v svyazi s antropogeografiei* (Terrain types of the European Russia and Caucasus: essay on physical geography in the relation with anthropogeography). *Zapiski IRGO po obshchei geografii*. 1915. Vol. 51. 114 p. (in Russ.)
21. *Rossiya. Polnoe geograficheskoe opisanie nashego otechestva: nastol'naya i dorozhnaya kniga dlya russkikh lyudei [v 20 t.]* (Russia. Full geographical description of own homeland: desk- and road-book for Russians [at

the 20 vol.]. Semenov-Tyan-Shanskii V.P. (Ed.). Sankt-Peterburg: Izdanie A.F. Devriena (Publ.), 1899–1914. (in Russ.)

22. Kozmenko A.S. *Organizatsiya gidrologicheskogo issledovaniya Tul'skoi gubernii (1908–1917 gg.). Kniga I* (The hydrological surveys of the Tula province (1908–1917). Vol. I.) *Vestn. Voronezhskogo gos. un-ta. Ser. Geografiya, geoekologiya* 2011. No. 1. P. 201–215. (in Russ.)
23. Markov K.K. *Tridtsat' let so vremeni organizatsii vysshego geograficheskogo uchebnogo zavedeniya v nashei strane (1916–1946)* (Thirty years since the organization of a higher geographical educational institution in our country (1916–1946)). *Voprosy geografii*. 1947. Vol. 3. P. 206–209. (in Russ.)
24. Zolotnitskaya R.L. *K istorii osnovaniya geograficheskikh institutov v Petrograde. Ikh rol' v razvitii otechestvennoi geografii* (On the history of the founding of geographical institutes in Petrograd. Their role in the development of domestic geography). *Izvestiya RGO*. 1998. Vol. 130. Iss. 6. P. 92–97. (in Russ.)
25. *Stoletie kafedry geomorfologii SPbGU* (Centenary of the Department of Geomorphology, St. Petersburg State University). Lastochkin A.N., and Bol'shiyanov D.Yu. (Eds.). Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo AANII (Publ.), 2018. 160 p. (in Russ.)
26. Boltramovich S.F., Volkova T.M., Zhirov A.I., Lopatin D.V., Postnov I.S., and Sytina I.A. *Metodicheskoe rukovodstvo po uchebnoi polevoi geomorfologicheskoi praktike na baze Sablinskoi nauchno-uchebnoi stantsii SPbGU* (Methodological guide to educational field geomorphological practice on the basis of the Sablinskaya scientific and educational station of St. Petersburg State University). Sankt-Peterburg: RENOVA (Publ.), 2012. 70 p. (in Russ.)
27. Edel'shtein Ya.S. *Osnovy geomorfologii* (Fundamentals of Geomorphology). Moscow: Uchpedgiz (Publ.), 1938. 328 p. (in Russ.)
28. Dan'shin B.M. *Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye Moskvy i ee okrestnostei* (Geological structure and minerals of Moscow and its environs). Moscow: MOIP (Publ.), 1947. 308 p. (in Russ.)
29. Dik N.E., Lebedev V.G., Solov'ev A.I., and Spiridonov A.I. *Rel'ef Moskvy i Podmoskov'ya* (Landforms of the Moscow and Moscow region). Moscow: Gos. izd-vo geograficheskoi lit-ry (Publ.), 1949. 196 p. (in Russ.)
30. Gladtsin I.N. *Kamennye mnogougol'niki* (Stone polygons). L.–M.: Izvestiya GGO (Publ.), 1928. Vol. 60. No. 2. P. 305–322. (in Russ.)
31. Gladtsin I.N. *Kamennye mnogougol'niki* (Stone polygons). L.–M.: Izvestiya GGO (Publ.), 1936. Vol. 68. No. 6. P. 71–80. (in Russ.)
32. Ganeshin G.S., Chemekov Yu.F., and Epshtein S.V. *Yakov Samoilovich Edel'shtein (k stoletiyu so dnya rozhdeniya)* (Yakov Samoilovich Edelstein (on the centenary of his birth)). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1970. No. 3. P. 96–99. (in Russ.)
33. Svarichevskaya Z.A. *Legenda dlya geomorfologicheskoi karty krupnogo masshtaba* (Legend for a large-scale geomorphological map). *Trudy GENII po fiziko-geograficheskomu otdelu*. Vol. 13. Leningrad: GENII (Publ.), 1937. 21 p. (in Russ.)
34. Gladtsin I.N. *Geomorfologiya SSSR* (Geomorphology of the USSR). Leningrad: Uchpedgiz (Publ.), 1939. 384 p. (in Russ.)
35. Chichagov V.P. *Trudy talantlivogo otechestvennogo geomorfologa Ivana Nikolaevicha Gladtsina (1884–1942)* (Works of the talented Russian geomorphologist Ivan Nikolaevich Gladtsin (1884–1942)). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2015. No. 2. P. 100–106. (in Russ.)
36. Chichagov V.P. and Koshkarev A.V. *Otechestvennoe geomorfologicheskoe kartografirovanie* (Russian geomorphological mapping). *Geomorfologiya i kartografiya: mat-ly XXXIII Plenuma Geomorfologicheskoi komissii RAN*. Saratov: Izd-vo Sarat. un-ta (Publ.), 2013. P. 10–15. (in Russ.)
37. Berg L.S. *Rel'ef Sibiri, Turkestana i Kavkaza* (Landforms of the Siberia, Turkestan and Caucasus). *Uchenye zapiski MGU. Ser. 5. Geografiya*. 1936. P. 28–93. (in Russ.)
38. *Geomorfologicheskoe raionirovanie SSSR* (Geomorphological zoning of the USSR). M.–L.: Izd-vo AN SSSR (Publ.), 1947. 172 p. (in Russ.)
39. *Pamyati Alekseya Ivanovicha Spiridonova* (In memory of Aleksei Ivanovich Spiridonov). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2001. No. 2. P. 108–109. (in Russ.)
40. Spiridonov A.I. *O kartakh energii rel'efa* (About terrain's energy maps). L.: Izvestiya GGO (Publ.), 1935. Vol. 67. No. 5. P. 607–610. (in Russ.)
41. Spiridonov A.I. *Energiya rel'efa* (Terrain's energy). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1994. No. 2. P. 71–74. (in Russ.)
42. Dao Din' Bak, Nguen Kuang Mi, and Spiridonov A.I. *Geomorfologicheskaya karta V'etnama* (Vietnam geomorphic map). *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya*. 1991. No. 1. P. 101–104.
43. Spiridonov A.I. *Osnovy obshchei metodiki polevykh geomorfologicheskikh issledovanii i geomorfologicheskogo kartografirovaniya* (Fundamentals of the general methodology of field geomorphological research and geomorphological mapping). Moscow: Vysshaya shkola (Publ.), 1970. 456 p.
44. Spiridonov A.I. *Geomorfologicheskoe kartografirovanie* (Geomorphological mapping). Moscow: Nedra (Publ.), 1975. 184 p. (in Russ.)
45. *Geomorfologicheskoe raionirovanie SSSR i prilegayushchikh morei* (Geomorphological zoning of the USSR and adjacent seas). M.: Vysshaya shkola (Publ.), 1980. 343 p. (in Russ.)
46. Edel'shteyn Yakov Samoylovich (Samuilovich) [Electronic data]. Access way: https://bessmertnybarak.ru/books/person/1729892 (access date: 01.01.2021). (in Russ.)
47. Jackson F. G. A thousand days in the Arctic. L.& N.Y.: Harper & Brothers, 1899. Vol. I. 589 p.; Vol. II. 615 p.
48. Koettlitz R. Observations on the Geology of Franz-Josef Land. *Quarterly Journal of the Geological Society*. 1898. Vol. 54. P. 620–645.
49. Ivanychuk M. *14 mesyatsev na Zemle Frantsa-Iosifa* (14 months in Franz Josef Land). Khar'kov: Ukraïnskiy robitnik (Publ.), 1934. 126 p. (in Ukr.)
50. Ivanychuk M. N. *Zametka po kartografii Zemli Frantsa-Iosifa (Komsomol'skie ostrova)* (Note on the cartogra-

phy of Franz Josef Land (Komsomolsky Islands)). *Arctica*. 1934. No. 2. P. 97–100. (in Russ.)

51. Voislavs'kii L. *Ukraïns'kii geograf i doslidnik Arktiki* (Pro M.M. Ivanichuka). *Reabilitovani istorieyu. Kharkivs'ka oblast': Kniga druga*. Kiïv – Kharkiv: Original, 2014. P. 105–111. (in Ukr.)
52. Rudnitskii Stepan L'vovich [Electronic data]. Access way: https://bessmertnybarak.ru/rudnitskiy_stepan_l-vovich/ (access date: 01.01.2021).
53. Kal'yanov V.P. *Geomorfologiya i geologiya ostrova Vrangelya* (Geomorphology and geology of the Vrangel Island). *Uchenye zapiski MGU. Ser. 5. Geografiya*. 1946. Vol. 119. No. 2. P.100–112. (in Russ.)
54. Solntsev N.A. *Snezhniki kak geomorfologicheskii faktor* (Snowfields as a geomorphological factor). Moscow: Geografizdat (Publ.), 1949. 92 p. (in Russ.)
55. Mutafi N.N. *Geologicheskoe stroenie i uglenosnost' raiona nizov'ev reki Pyasiny* (Geological structure and coal content of the lower reaches of the Pyasina River). *Trudy Arkticheskogo instituta*. 1939. Vol. 126. P. 7–87. (in Russ.)
56. Mutafi N.N. *Geologiya i uglenosnost' nizov'ev reki Pyasiny* (Geology and coal content of the lower reaches of the Pyasina River). *Trudy NIIGA*. 1950. Vol. 2. 88 p. (in Russ.)
57. *Krainii Severo-Vostok Soyuza SSR. Tom I. Ostrov Vrangelya* (Far North-East of the USSR. Volume I. Wrangel Island). Moscow: Izd-vo AN SSSR (Publ.), 1952. 212 p. (in Russ.)
58. Markov K.K. *Geomorfologicheskii ocherk ostrova Vrangelya* (Geomorphological sketch of Wrangel Island). *Krainii Severo-Vostok Soyuza SSR. Tom I. Ostrov Vrangelya*. Moscow: *Izd-vo AN SSSR* (Publ.), 1952. P. 25–48. (in Russ.)
59. Saks V.N. *K geomorfologii basseina reki Pyasiny* (On the geomorphology of the Pyasina river basin). *Trudy Gorno-geologicheskogo upravleniya GU SMP*. 1945. Vol. 21. P. 44–58. (in Russ.)
60. Saks V.N. *Nekotorye dannye o vechnoi merzlote v basseine r. Pyasiny* (Some data on permafrost in the Pyasina river basin). *Trudy Gorno-geologicheskogo upravleniya GU SMP*. 1945. Vol. 21. P. 29–43. (in Russ.)
61. Dibner V.D. *Geomorfologicheskaya karta Severnogo Ledovitogo okeana* (Geomorphological map of the Arctic Ocean). *Tr. Nauch.-issled. in-ta geol. Arktiki. Vol. 143*. Moscow: Nedra (Publ.), 1965. P. 341–345. (in Russ.)
62. Sokolov-Mikitov I.S. *Izbrannoe* (Selected Essays). Moscow–Leningrad: OGIZ Goslitizdat (Publ.), 1948. 579 p. (in Russ.)
63. Pogrebitskii Yu.E. *Pis'mo F.A. Romanenko* (Letter to the F.A. Romanenko), 1999. F.A. Romanenko's private archive. (in Russ.)
64. Belov M.I. *Po sledam polyarnykh ekspeditsii* (In the footsteps of polar expeditions). Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.), 1977. 144 p. (in Russ.)
65. *Svodki i otchety po GGU GUSMP (osobaya papka) o radioaktivnykh elementakh v severo-zapadnoi chasti Taimyrskogo poluostrova 1948–1950* (Summaries and reports on GGU GUSMP (special folder) about radioactive elements in the northwestern part of the Taimyr Peninsula 1948–1950). *RGAE. Fond 9570. Op. 4. Delo 235*. 308 p. (in Russ.)
66. Romanenko F.A. *Pervye shagi aerofotos"emki v vysokikh shirotakh* (The first steps of aerial photography at high latitudes). *Zemlya iz kosmosa*. 2011. Vol. 10. P. 17–23. (in Russ.)
67. Egiazarov B.Kh. and Voskresenskii S.V. *Geologicheskoe stroenie o-va Bol'shevik (Severnaya Zemlya)* (Geological structure of Bolshevik Island (Severnaya Zemlya)). *Trudy NIIGA*. 1951. Vol. XXV. 74 p. (in Russ.)
68. Zagorskaya N.G. *Severnaya Zemlya* (Severnaya Zemlya). *Chetvertichnye otlozheniya Sovetskoi Arktiki. Trudy NIIGA*. 1959. Vol. 91. P. 113–123. (in Russ.)
69. Zagorskaya N.G. *Kharakter drevnego oledeneniya pochti ravnin po materialam sovremennogo oledeneniya arkhipelaga Severnoi Zemli* (The nature of the ancient glaciation of peneplains based on the materials of the modern glaciation of the Severnaya Zemlya archipelago). *Voprosy geografii*. 1959. Vol. 46. P. 14–27. (in Russ.)
70. Ermolov V.V. *Voprosy sostavleniya geomorfologicheskikh kart pri srednemasshtabnoi kompleksnoi geomorfologicheskoi s"emke Severnykh regionov* (Issues of drawing up geomorphological maps for medium-scale complex geomorphological survey of the Northern regions). *Trudy NIIGA*. 1958. Vol. 83. 32 p. (in Russ.)
71. Strelkov S.A. and Zagorskaya N.G. *Geomorfologicheskaya karta tsentral'noi chasti Severa SSSR v masshtabe 1:2500000* (Geomorphological map of the central part of the North of the USSR on a scale of 1:2500000). *Obshchie problemy geomorfologii. Trudy I Plenuma Geomorfologicheskoi komissii RAN*. 1960. (in Russ.)
72. Strelkov S.A., Zagorskaya N.G., and Martynov V.T. *Geomorfologicheskaya karta Sovetskoi Arktiki* (Geomorphological map of the Soviet Arctic). Moscow: *Gostekhnauchizdat* (Publ.), 1961. 10 p. (in Russ.)
73. *Taimyro-Severozemel'skaya oblast'* (Taimyr-Severozemelsk region). Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.), 1970. 374 p. (in Russ.)
74. *Yamalo-Gydanskaya oblast'* (Yamalo-Gydan region). Lenongrad: Gidrometeoizdat (Publ.), 1977. 310 p. (in Russ.)
75. *Atlas Arktiki* (Atlas of the Arctic). Moscow: GUGK (Publ.), 1985. 204 p. (in Russ.)
76. Makeev V.M. *Pamyati L.S. Govorukhi (1932–2009)* (In memory of L.S. Govorukha (1932–2009)). *Izvestiya RGO*. 2010. Vol. 142. No. 4. 91 p. (in Russ.)
77. Makeev V.M. *Geomorfologicheskie issledovaniya Severozemel'skoi ekspeditsii AANII o. Oktyabr'skoi Revolyutsii v 1974–1976 gg.* (Geomorphological studies of the Severozemelskaya expedition of the AARI is. October Revolution in 1974–1976). *Trudy AANII*. 1941. Vol. 367. P. 111–119. (in Russ.)
78. *Issledovaniya lednikovogo pokrova i periglyatsiala Severnoi Zemli* (Research of the ice sheet and periglacial of Severnaya Zemlya). *Tr. AANII*. 1981. Vol. 367. 176 p. (in Russ.)
79. Bol'shiyanov D.Yu. and Makeev V.M. *Arkhipelag Severnaya Zemlya (oledenenie, istoriya razvitiya prirodnoi sredy)* (Archipelago Severnaya Zemlya (glaciation, history of the development of the natural environment)). Sankt-Peterburg.: Gidrometeooizdat (Publ.), 1995. 216 p. (in Russ.)
80. Bol'shiyanov D.Yu. *"Kupol Vavilova": 42 goda spustya* ("Vavilov's Ice Cap": 42 Years Later). *Rossiiskie po-*

*lyarnye issledovaniya*. 2016. No. 2 (24). P. 38–41. (in Russ.)

81. *Severnaya Zemlya. Geologicheskoe stroenie i minerageniya* (Severnaya Zemlya. Geological structure and minerageny). Sankt-Peterburg.: VNIIOkeangeologiya (Publ.), 2000. 187 p. (in Russ.)
82. Nina Viktorovna Bashenina (1913–1994). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1995. No. 1. P. 110–111. (in Russ.)
83. Bashenina N.V., Leont'ev O.K., Piotrovskii M.V., and Simonov Yu.G. *Metodicheskoe rukovodstvo po geomorfologicheskomu kartirovaniyu i proizvodstvu geomorfologicheskoi s"emki v masshtabe 1:50000 – 1:25000* (Methodological guidelines for geomorphological mapping and production of geomorphological surveys at a scale of 1:50000–1:25000). Moscow: Izd-vo MGU (Publ.), 1962. 202 p. (in Russ.)
84. *Geomorfologicheskoe kartirovanie* (Geomorphological mapping). Bashenina N.V. (Ed.). Moscow: Vysshaya shkola (Publ.), 1977. 375 p. (in Russ.)
85. *Legenda geomorfologicheskoi karty Sovetskogo Soyuza masshtaba 1:50000–1:25000* (Legend of the geomorphological map of the Soviet Union at a scale of 1:50000–1:25000). Bashenina N.V., Leont'ev O.K., Simonov Yu.G., Vyskrebentseva V.S., and Zarutskaya I.P. (Eds.). Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU (Publ.), 1960. (in Russ.)
86. Lapin S.S., Sinyugina E.A., and Terekhova V.E. *Ob"yasnitel'naya zapiska k uslovnym oboznacheniyam geomorfologicheskikh kart masshtabov 1:50000 i 1:200000* (Explanatory note to the symbols of geomorphological maps of scales 1:50000 and 1:200000). Magadan: TsNIGRI-SVGU (Publ.), 1971. 20 p. (in Russ.)
87. Ganeshin G.S. *Geomorfologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:1000000 i nekotorye voprosy krupnomasshtabnoi geomorfologicheskoi s"emki* (Geomorphological map of the USSR on a scale of 1:1000000 and some issues of large-scale geomorphological survey). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1970. No. 1. P. 53–60. (in Russ.)
88. Sokolov V.N. *Geologiya i perspektivy neftegazonosnosti arkticheskoi chasti Zapadno-Sibirskoi nizmennosti. Tr. NIIGA. T. 100* (Geology and prospects of oil and gas content of the Arctic part of the West Siberian lowland. Proceedings of NIIGA. Vol. 100). Leningrad: Gostoptekhizdat (Publ.), 1960. 156 p. (in Russ.)
89. *Poluostrov Yamal* (Yamal Peninsula). Trofimov V.T. (Ed.). Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta (Publ.), 1975. 280 p. (in Russ.)
90. Astakhov V.I. *Geologicheskie dokazatel'stva tsentra pleistotsenovogo oledeneniya na Karskom shel'fe* (Geological evidence of the center of the Pleistocene glaciation on the Kara shelf). *Dokl. AN SSSR*. 1976. Vol. 231. No. 5. P. 1178–1181. (in Russ.)
91. Dolotov M.S., Shelukhin N.P., Spirkin A.I., Solov'ev V.V., Leonov V.M., Simonov K.E., Gilod D.A., and Melikhov V.R. *Otchet po aerofotogeologicheskomu kartirovaniyu masshtaba 1:200000 po-va Yamal za 1975–1981 gg.* (Report on aerial photo-geological mapping at a scale of 1:200,000 of the Yamal Peninsula for 1975–1981). Moscow: Aerogeologiya (Publ.), 1981. 372 p. (in Russ.)
92. Kaplyanskaya F.A. and Tarnogradskii V.D. *Reliktovye gletchernye l'dy na severe Zapadnoi Sibiri i ikh rol' v stroenii raionov pleistotsenovogo oledeneniya kriolitozony* (Relict glaciers in the north of Western Siberia and their role in the structure of the Pleistocene glaciation regions of the cryolithozone). *Doklady Academii Nauk*. 1976. Vol. 231. No. 5. P. 1185–1187. (in Russ.)
93. Gataullin V.N. *Verkhnechetvertichnye otlozheniya zapadnogo poberezh'ya poluostrova Yamal* (Upper Quaternary deposits of the western coast of the Yamal Peninsula). PhD Thesis. Leningrad. 1988. 26 p. (in Russ.)
94. Forman S.L., Ingolfsson O., Gataullin V., and Manley W. Late Quaternary stratigraphy, glacial limits, and paleoenvironments of the Marresale area, western Yamal Peninsula, Russia. *Quatern. Res*. 2002. Vol. 57. P. 355–370.
95. *R-42-XV. Geomorfologicheskaya skhema m-b 1:500000* (R-42-XV. Geomorphological scheme, scale of 1:500000) [Electronic data]. Access way: http://geo.mfvsegei.ru/200k/r-42/r-42-15/32/index.html (access date: 01.01.2021). (in Russ.)
96. *Nauchno-issledovatel'skii geologicheskii institut* (Research Geological Institute) [Electronic data]. Access way: https://vsegei.ru/ru/info/pub_ggk1000-3/Zapadno-Sibirskaya/r-42.php (access date: 01.01.2021). (in Russ.)
97. Lastochkin A.N. *Sistemno-strukturnaya orientatsiya geomorfologicheskogo kartografirovaniya* (System-structural orientation of geomorphological mapping). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1984. No. 2. P. 47–56. (in Russ.)
98. Lastochkin A.N. *Sistemno-morfologicheskoe osnovanie nauk o Zemle* (Systemic morphological basis of Earth sciences). Sankt-Peterburg: SpbGU (Publ.), 2002. 762 p. (in Russ.)
99. Lastochkin A.N. *Ideologiya traditsionnogo i sovremennogo (morfodinamicheskogo) geomorfologicheskogo kartografirovaniya* (Ideology of traditional and modern (morphodynamic) geomorphological mapping). *Geomorfologiya i kartografiya: mat-ly XXXIII Plenuma Geomorfologicheskoi komissii RAN*. Saratov: Izd-vo Sarat. un-ta (Publ.), 2013. P. 23–28. (in Russ.)
100. Lopatin D.V., Sytina I.A., and Nefedov D.A. *Peterburgskaya shkola geomorfologicheskogo kartografirovaniya K.K. Markova i ee sovremennoe razvitie* (St. Petersburg school of geomorphological mapping of K.K. Markov and its modern development). *Vestnik SPbGU. Ser. 7*. 2014. Vol. 2. P. 190–195. (in Russ.)
101. Zinchenko A.G. and Lastochkin A.N. *Metodika geomorfologicheskogo kartografirovaniya shel'fa i kontinental'nogo sklona Rossiiskoi Federatsii (primenitel'no k zadacham Gosgeolkarty-1000)* (Methods of geomorphological mapping of the shelf and continental slope of the Russian Federation (in relation to the tasks of the State Geological Map-1000)). Moscow: ZAO "Geoinformmark", 2001. 34 p. (in Russ.)
102. *Metodicheskoe rukovodstvo po sostavleniyu i podgotovke k izdaniyu listov gosudarstvennoy geologicheskoy karty Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:1000000 (tret'ego pokoleniya)* (Methodological guidelines for the compilation and preparation for publication of sheets of the state geological map of the Russian Federation at

a scale of 1:1000000 (third edition)). Sankt-Peterburg.: VSEGEI (Publ.), 2009. 198 p. (in Russ.)

103. Marmion M., Hjort J., Thuiller W., and Luoto M. A comparison of predictive methods in modelling the distribution of periglacial landforms in Finnish Lapland. *Earth Surface Processes and Landforms*. 2008. No. 33. P. 2241–2254.

104. ArcticDEM – Polar Geospatial Center [Electronic data]. Access way: https://www.pgc.umn.edu/data/arcticdem/ (access date: 10.04.2020).

105. Bulanov S.A. *Kartograficheskie proekty geomorfologicheskoi komissii RAN masshtaba 1:2500000 i vozmozhnosti ispol'zovaniya ikh materialov v sovremennykh GIS* (Cartographic projects of the Geomorphological Commission of the Russian Academy of Sciences at a scale of 1:2500000 and the possibility of using their materials in modern GIS). *Geomorfologiya i kartografiya: materialy XXXIII Plenuma Geomorfologicheskoi komissii RAN*. Saratov: Izd-vo Sarat. un-ta (Publ.), 2013. P. 20–23. (in Russ.)

106. *Trebovaniya po sozdaniyu dopolnitel'nykh kart i skhem k komplektu Gosgeolkarty-1000/3. Geomorfologicheskaya karta* (Requirements for the creation of additional maps and diagrams for the set of State Geological Map – 1000/3. Geomorphological map). Sankt-Peterburg: VSEGEI (Publ.), 2005. (in Russ.)

*ГЕОМОРФОЛОГИЯ, 2022, том 53, № 1, с. 26–34*

## МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*УДК 551.4.036→551.89(282.247.41)*

# СЛЕДЫ МОЩНОГО РЕЧНОГО СТОКА В ДОЛИНАХ РЕК БАССЕЙНА ВОЛГИ В ПОЗДНЕВАЛДАЙСКУЮ ЭПОХУ

**© 2022 г. В. Ю. Украинцев[1,2,*]**

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

[2]*Институт водных проблем РАН, Москва, Россия*

**E-mail: ukraintsev@igras.ru*

Поступила в редакцию 29.06.2021 г.
После доработки 25.09.2021 г.
Принята к публикации 11.10.2021 г.

Большие палеорусла – это геоморфологический феномен. Выполнен обзор ландшафтно-геоморфологических следов больших палеорусел на поймах рек бассейна Волги, рассмотрены закономерности их распространения, предложено усовершенствование методики анализа рельефа речных пойм по материалам дистанционного зондирования. На основе анализа спутниковых снимков высокого разрешения и цифровых моделей рельефа в речных долинах бассейна Волги закартировано более 1700 участков с большими палеоруслами. Морфология палеорусел отражает ландшафтно-климатические отличия северных и южных частей бассейна. Географическое распространение больших палеорусел свидетельствует, что на Восточно-Европейской равнине длительность и выраженность палеоклиматических эпизодов высокого речного стока была максимальной в полосе, занимаемой современными степями и лесостепями, а к северу и югу от этой полосы эпизоды высокого стока убывали и поэтому оставили меньше геоморфологических следов в речных долинах.

*Ключевые слова:* большие палеорусла, Волга, палеоландшафты, позднеледниковье, макроизлучины

**DOI:** 10.31857/S0435428122010126

## ВВЕДЕНИЕ

Речные излучины являются характерной формой флювиального рельефа практически любой речной долины. При этом на поймах речных долин присутствуют не только современные излучины, формирующие русло, но и те, которые были оставлены рекой и ныне представляют собой староречья (палеорусла), часто занятые озерами-старицами. Также часто сохраняются следы миграции русла по дну долины – пойменные гривы, меандровые цирки и т.д. В большинстве случаев старицы соразмерны современным излучинам. Однако иногда на поймах встречаются участки палеорусел, заметно превышающие по размеру современные аналоги. Такие староречья называют “большими палеоруслами” (large paleochannels), а если они имеют меандрирующую форму – большими меандрами, или макроизлучинами [1]. Большие палеорусла наиболее часто встречаются в речных долинах на равнинах Северного полушария в перигляциальной зоне последнего оледенения [2–5]. Их крупный размер обычно объясняется формированием в эпохи повышенного стока рек [1, 5]. Макроизлучины хорошо выражены на космоснимках (рис. 1), цифровых моделях рельефа (ЦМР) высокого разрешения и топографических картах. Их свежий облик также говорит о том, что они сформировались сравнительно недавно – после максимума последнего оледенения. На Восточно-Европейской равнине следы высокого стока ранее изучены в бассейнах Дона [6, 7], Днепра [4, 8–10], Волги [11–13]. Из названных бассейнов именно водосбор р. Волги имеет особое значение в связи с тем, что с его историей увязывается целый ряд нерешенных палеогеографических проблем. Одна из таких проблем – позднечетвертичная история Каспийского моря, для понимания и объяснения которой ключевое значение имеют изменения стока Волги [14].

С момента выхода последних публикаций, посвященных палеопотамологии бассейна Волги, прошло более десяти лет, за которые произошел технологический скачок в дистанционных исследованиях и была усовершенствована методика палеопотамологических реконструкций [15]. Выполненные ранее исследования больших палеорусел в бассейне Волги базировались на изучении снимков проекта Landsat 7 с разрешением 30–60 м, что не позволяло уверенно дешифрировать пойменный рельеф не только на малых, но и на средних реках. Результатом этого явилось представление о неравномерном покрытии бассейна форма-

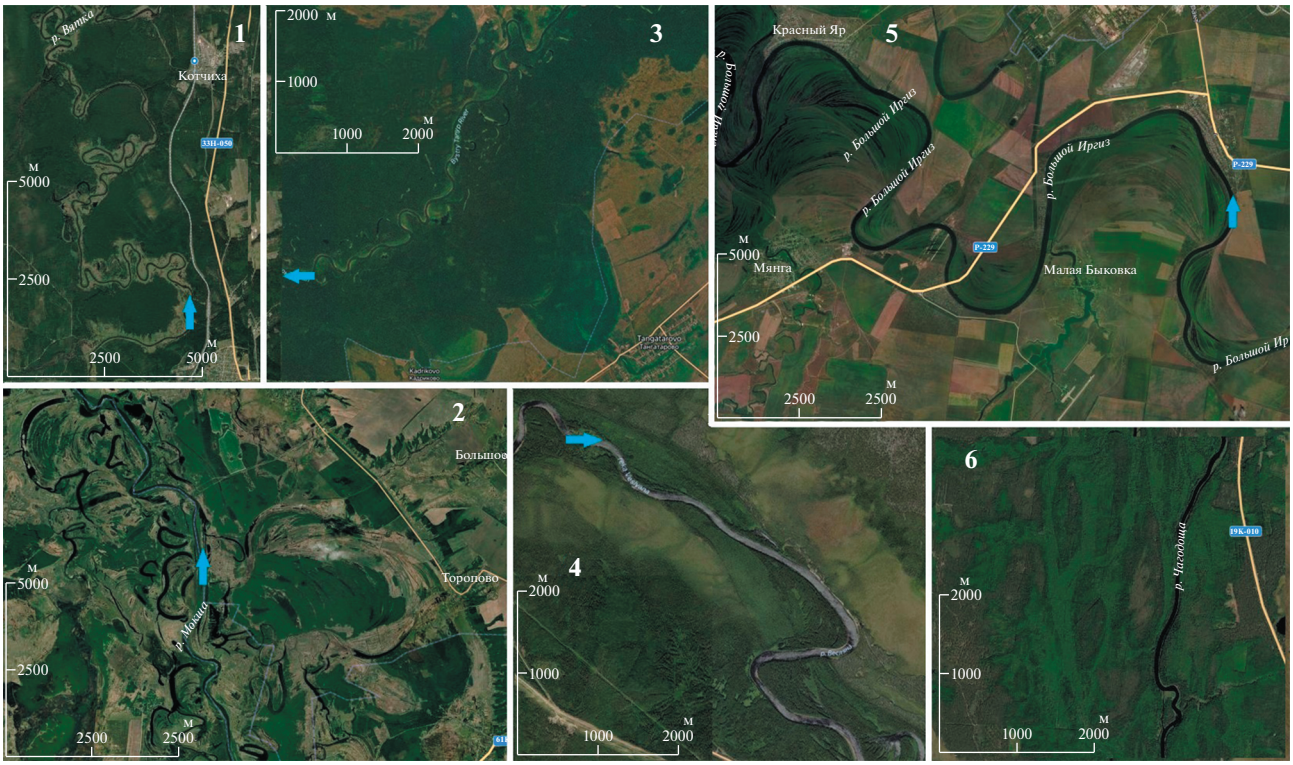



**Рис. 1.** Типы больших палеорусел в бассейне Волги (снимки ESRI).

*1* – унаследованные макроизлучины (верховья р. Вятки, восток Кировской области); *2* – макроизлучины-староречья (низовья р. Мокши, восток Рязанской области); *3* – меандровые цирки (низовья р. Танып, северо-запад Башкирии); *4* – прямолинейное (низовья р. Весляны, северо-запад Пермского края); *5* – системы крупных грив (низовья р. Б. Иргиз, север Саратовской области); *6* – разветвленные (низовья р. Чагоды, юго-запад Вологодской области).

ми палеорусового рельефа, необходимыми для проведения последующих количественных реконструкций стока. Находки больших палеорусел в бассейнах Волги выше г. Плёс и верхней–средней Камы были единичны [11].

Целью данного исследования является обзор распространения геоморфологических следов повышенного речного стока в бассейне Волги, установление географических закономерностей их распространения, а также усовершенствование методических аспектов применения данных дистанционного зондирования в целях палеофлювиальных реконструкций.

## БАССЕЙН ВОЛГИ В ПОЗДНЕВАЛДАЙСКУЮ ЭПОХУ

Во время максимума последнего оледенения покровное оледенение занимало всю северо-западную часть бассейна Волги вплоть до середины нынешнего Рыбинского водохранилища [16], хотя ледниковый сток был незначительным [17]. Также оледенением были покрыты верховья Волги в пределах Валдайской гряды [18]. На СЗ бассейна (до озера Белого) ледник существовал вплоть до 17 тыс. л. н., после чего отступил и более в бассейн Волги не возвращался [16]. Примерно в это же время, в раннем дриасе, начинается раннехвалынская трансгрессия на юге, длившаяся до позднего дриаса, воды Каспия проникали в бассейн Волги вплоть до Балакова (Саратовская область) [19]. В это же время отмечаются высокий речной сток и формирование больших палеорусел [20]. Уже тогда существовали явные широтные ландшафтно-климатические различия [21]. По этой причине имеющиеся реконструкции стока поздневалдайских рек Восточно-Европейской равнины [4] отражают увеличение слоя стока с юга на север подобно тому, как он изменяется и в современную эпоху. Следует отметить, что происходило плавное потепление в раннем дриасе с оптимумом в бёллинг-аллерёде, а затем резкое похолодание в позднем дриасе, продолжавшееся до конца плейстоцена. В течение всей поздневалдайской эпохи бассейн Волги почти полностью относился к зоне многолетней мерзлоты [21].

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Бассейн Волги разделяется на пять соразмерных подбассейнов: верхней Волги до впадения Оки, Оки, средней Волги между впадением Оки и

Камы, Камы, нижней Волги после слияния с Камой. Распознавание элементов палеофлювиального рельефа на речных поймах проводилось по спутниковым снимкам и цифровым моделям рельефа (ЦМР). В первую очередь использовались детальные снимки (с разрешением до первых метров) компаний *ESRI* и *Yandex*, в меньшей степени – *Google* и *Bing*, а также ЦМР *ALOS 3D* с разрешением 30 м от *JAXA*. Для работы применялись геоинформационные системы *SAS Planet*, где производился поиск больших палеорусел, и *Arcmap 10.3*, где выполнялись обзор ЦМР и создание рисунков, а также систематизировались данные. Выведение итоговых значений количества участков, их анализ и построение диаграмм происходило в программе *Microsoft Office Excel*.

Сначала были выделены границы бассейна, для чего были выгружены все листы ЦМР, затрагивающие бассейн Волги (около 270 штук). Также из базы данных работы [22] были выгружены в векторном виде имеющиеся речные микробассейны для всей Восточно-Европейской равнины, имеющие довольно высокую точность границ. Площади микробассейнов были сравнены с данными из справочника “Основные гидрологические характеристики рек бассейна Волги”, что облегчило выделение границ. Затем были выполнены проверка и отрисовка общих границ.

Поиск больших палеорусел проводился начиная с верховий Волги и далее вниз по течению в каждом локальном бассейне с различимой на снимках поймой. Для облегчения поиска использовалась ЦМР, где сразу видно ширину днища долины, а также размер речного бассейна. Была принята классификация больших палеорусел из работы [6] с цифровой кодировкой: унаследованные (1), старицы (2), меандровые цирки (3), прямолинейные (4), системы крупных грив (5) и разветвленные (6) (см. рис. 1). Следы высокого стока привязывались к гидрологически однородным участкам (одна точка на карте – один участок), в каждом из которых должно быть несколько (не менее трех–четырех) больших палеорусел. Все участки были систематизированы в соответствии с принятой классификацией. Чтобы избежать ошибок в идентификации макроизлучин, которые могут иметь геологическую природу или не иметь очевидных морфометрических отличий от крупных голоценовых излучин [1], выделялись только участки, где макроизлучины располагаются сериями, имеют четкую обтекаемую форму и не менее чем полутора–двукратно больший (по сравнению с современными излучинами на том же участке реки) размер. В неоднозначных случаях шаг потенциальных макроизлучин сравнивался с шириной современного русла: шаг современных излучин превышает ширину русла в среднем в 5.7 раза [23]; для макроизлучин шаг должен быть больше современной ширины не менее чем в 10 раз [1]. Также не учитывались врезанные макроизлучины, у которых шпора имеет нефлювиальное происхождение (у речных шпор высота обычно не превышает 8–10 м, поскольку больший врез был маловероятен за промежуток времени позднеледниковье–голоцен).

Относительные значения обилия больших палеорусел по природным зонам были получены путем приведения абсолютного их количества к площади, которую занимает природная зона в бассейне Волги. Для этого границы современных природных зон в бассейне Волги (по [24–26]) были оцифрованы, что помогло установить их реальную площадь. Получившиеся полигоны были искусственно уравнены, как если бы все природные зоны в бассейне Волги занимали одинаковые площади, равной 230 517 км$^2$, а количества участков – пересчитаны с приведением к этой искусственной площади, а затем просуммированы. Абсолютное значение новой суммы было принято за 100%, а пересчитанное количество участков определенного типа в природных зонах с одинаковыми площадями – за относительное значение (вес, занимаемый в природной зоне).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С использованием космоснимков и ЦМР в бассейне Волги удалось выявить более 1700 участков со следами высокого стока – большими палеоруслами типа 1, реже – типов 2 и 3, меньше всего – типов 4, 5 и 6 (табл. 1, рис. 2). В целом встречаемость падает от унаследованных палеорусел (встречаются чаще всего) до разветвленных, которые редки. Результаты были обобщены на рис. 3, (а), где представлено количество тех или иных типов больших палеорусел в каждом подбассейне. Распределение больших палеорусел по природным зонам показано в абсолютном (табл. 2) и относительном (рис. 3, б) выражении.

Больше всего палеорусел обнаруживается в южной части бассейна Волги, причем прослеживается корреляция между географической широтой и частотой их встречаемости. На рис. 3, (а) видно, что встречаемость увеличивается от средней тайги до степи, а затем, в полупустыне, снова падает. Это может быть объяснено несколькими причинами. Во-первых, в позднеледниковье произошло смещение гидрологических условий. Вероятно, в то время область, имеющая наивысший речной сток, располагалась южнее (из-за трансформации климата, а также многолетнего промерзания грунтов), в том числе на широтах нынешней степи (что косвенно подтверждается картой 2 из работы [27]). Соответственно, к югу и к северу показатели речного стока падали. Во-вторых, реки северной части бассейна расположены в зоне распространения плейстоценовых оледенений. Обычно они имеют относительно узкие

**Таблица 1.** Распределение участков с большими палеоруслами по подбассейнам (цифровые обозначения 1–6 см. в тексте)

| Тип | Верхняя Волга | Ока | Средняя Волга | Кама | Нижняя Волга | Всего |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 115 | 136 | 178 | 168 | 508 | 1105 |
| 2 | 15 | 95 | 64 | 111 | 238 | 523 |
| 3 | 25 | 119 | 99 | 109 | 155 | 507 |
| 4 | 19 | 94 | 64 | 31 | 85 | 293 |
| 5 | 27 | 75 | 67 | 52 | 52 | 273 |
| 6 | 23 | 8 | 17 | 4 | 34 | 86 |
| Всего | 164 | 309 | 326 | 295 | 618 | 1712 |

долины и поймы, а борта русел часто сложены плотными моренными суглинками. Это ограничивало возможности для горизонтальных русловых деформаций, а узость пойм препятствовала сохранности геоморфологических следов деятельности древних рек. В то же время реки в южной части бассейна обычно имеют хорошо разработанные древние долины с широкими поймами, в пределах которых могли как формироваться, так и сохраняться следы миграции речных русел за длительный промежуток времени.

Типы больших палеорусел также зависят от географического положения реки, что видно из рис. 3, (б). Унаследованные макроизлучины до-

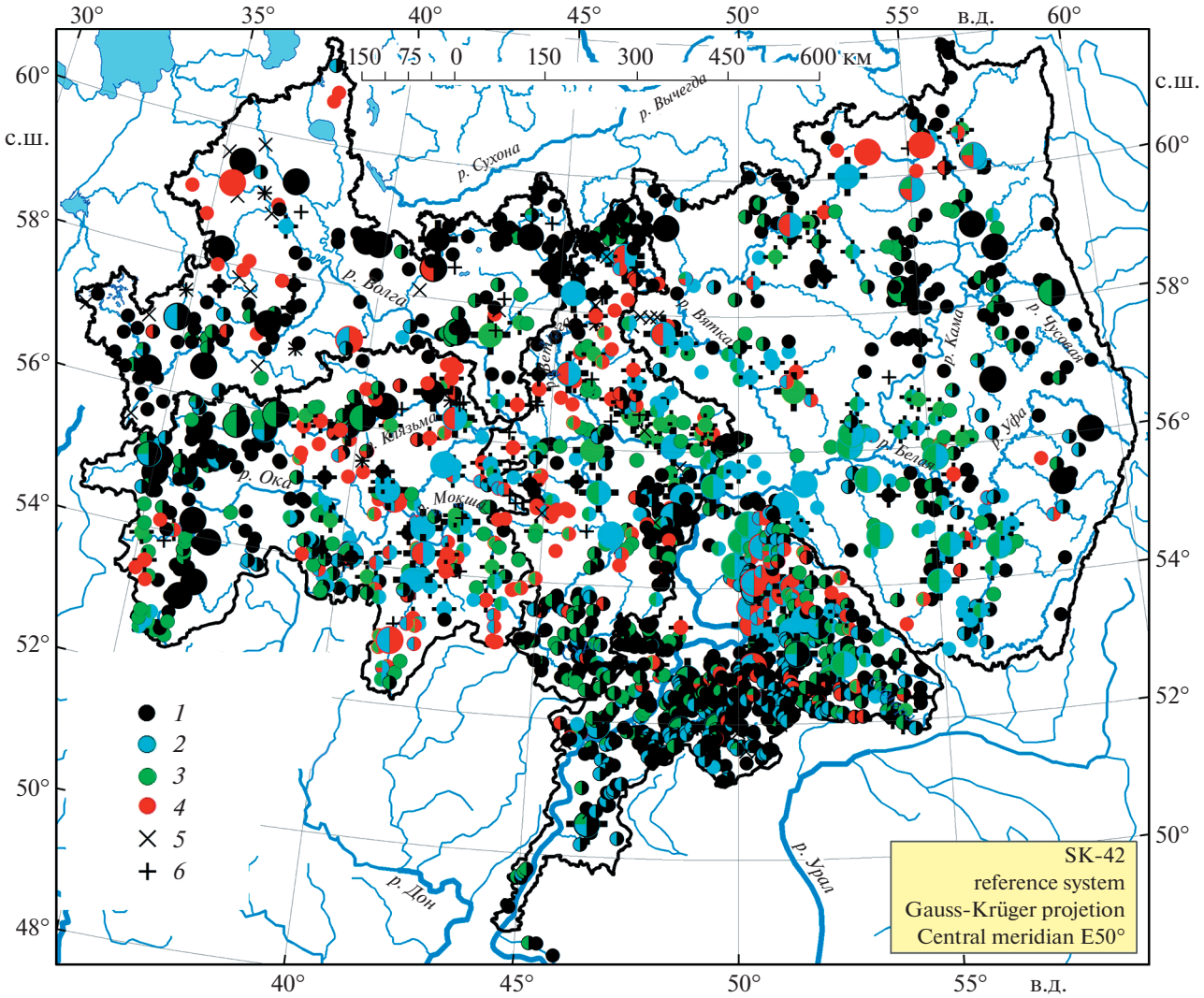



**Рис. 2.** Распространение участков с большими палеоруслами разных типов в бассейне Волги. Усл. обозначения *1–6* см. рис. 1.

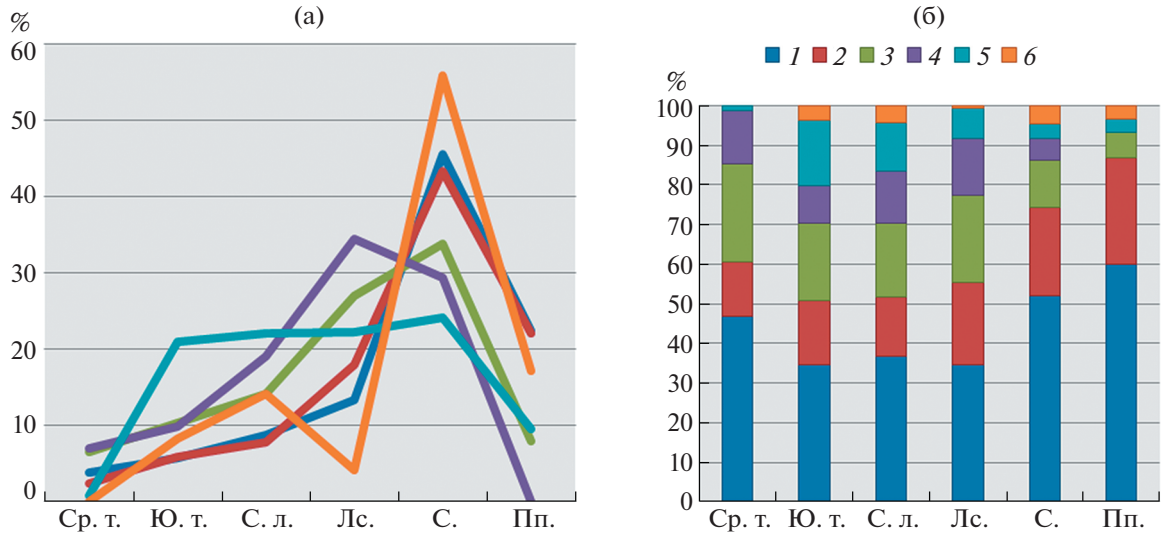



**Рис. 3.** Встречаемость разных типов больших палеорусел по природным зонам: (а) – общее число выявленных участков, (б) – относительная встречаемость.
Ср. т. – средняя тайга, Ю. т. – южная тайга, С. л. – смешанные леса, Лс. – лесостепь, С. – степь, Пп. – полупустыня.
Усл. обозначения *1–6* см. рис. 1.

минируют во всех зонах. Меандровые цирки занимают второе место по встречаемости в лесной зоне, к югу они уступают макроизлучинам-старицам. По всей видимости, в лесной зоне из-за более узких пойм чаще происходило размывание бортов долин и формирование цирков, в то время как на юге ширина пойм не ограничивала меандрирование. Тип 4 также чаще распространен в лесной зоне, что, вероятно, говорит о более низком росте стока (по сравнению со степями) во время позднеледниковья. То есть в ряде случаев рост стока не доводил до трансформации типа русловых процессов из прямолинейного в меандрирующий, либо меандрирование не было устойчивым. Бóльшая встречаемость макроизлучин типа 5 в лесной зоне, видимо, говорит о том, что голоценовый сток рек, который там был выше, чем на юге, способствовал формированию более широкого пояса меандрирования и частичному уничтожению стариц, но сохранению следов крупных грив. Разветвленных палеорусел больше всего в пределах границ последнего оледенения и хвалынской трансгрессии, что может говорить о том, что они сформировались в первом случае под действием талых ледниковых вод, а во втором – устьевых процессов. Все это говорит о том, что морфология палеорусел отражает ландшафтно-климатические отличия (неоднородность) северных и южных частей бассейна.

При рассмотрении самих участков порой заметны различия в возрасте излучин – как по их форме и ландшафтным особенностям (например, по наличию и оттенкам растительности заметна степень заполненности стариц пойменным аллю-

**Таблица 2.** Распределение участков с большими палеоруслами по природным зонам

| Тип | Средняя тайга | Южная тайга | Смешанные леса | Лесостепь | Степь | Полупустыня | Всего |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 38 | 258 | 163 | 267 | 360 | 18 | 1104 |
| 2 | 11 | 121 | 66 | 162 | 155 | 8 | 523 |
| 3 | 20 | 144 | 83 | 168 | 84 | 2 | 501 |
| 4 | 11 | 72 | 58 | 112 | 38 | | 291 |
| 5 | 1 | 123 | 54 | 58 | 25 | 1 | 262 |
| 6 | | 27 | 19 | 6 | 32 | 1 | 85 |
| Всего | 60 | 488 | 280 | 459 | 406 | 19 | 1712 |
| S, км$^2$ | 131641 | 608080 | 253490 | 271013 | 107926 | 10949 | 1383099 |
| S, % | 10% | 44% | 18% | 20% | 8% | 1% | |

вием), так и по степени близости к современному руслу и расположению в том или ином поясе меандрирования, которые также различимы. Также на реках с большим количеством найденных участков (например, на р. Самаре) нередко можно отметить изменение типов больших палеорусел при движении вверх по долине – в верховьях рек, где поймы узки, преобладает тип 1; ниже по течению появляются типы 2 и 3 (при этом тип 1 может сохраняться или исчезать) и, наконец, в среднем и нижнем течении появляются типы 4 и 5.

Наиболее надежные с точки зрения оценки возраста начала формирования типы больших палеорусел – 2, 4 и 5 – имеют наиболее выраженный микрорельеф, указывающий на формирование макроизлучин в относительно недавнем прошлом, в отличие от других типов, которые могли начать формироваться и раньше. Первые также встречаются чаще всего на юге и несколько меньше – в центре бассейна Волги. Стоит отметить, что крупные гривистые системы иногда можно увидеть в пределах современного пояса меандрирования, чаще в северной части бассейна. Они возникают в ходе роста аномально крупных современных излучин, которые иногда появляются при переформировании серий голоценовых излучин. Врезанные макроизлучины типа 1 и 3 (последние чаще всего расположены далеко от современного русла), наоборот, обычно не несут в себе выраженных геоморфологических следов блуждания реки, и потому могут иметь более древний возраст начала формирования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большие палеорусла и следы их формирования широко распространены во всех частях бассейна Волги. Встречаемость больших палеорусел в целом и отдельных их типов имеют черты широтной зональности. Больше всего больших палеорусел в степной зоне; по направлению на север и юг их встречаемость падает. Это связано с различиями в строении долин северной и южной частей бассейна, что обусловило и разные условия для образования и сохранности геоморфологических следов палеорусловой динамики. Второй фактор – палеоклиматический: географическое распространение больших палеорусел свидетельствует, по-видимому, что на Восточно-Европейской равнине общее число и суммарная длительность палеоклиматических эпизодов высокого речного стока были максимальные в полосе, занимаемой современными степями и лесостепями. К северу и югу от этой полосы эпизоды высокого стока убывали и поэтому оставили меньше геоморфологических следов в речных долинах. Выделение больших палеорусел, имеющих, по литературным данным, поздневалдайский возраст, и их отчленение от более древних должно происходить по определенным критериям – ландшафтно-морфологическим, т.е. степени выраженности вееров блуждания (гривистых систем, самих палеорусел) и характеру распространения влаголюбивой растительности, и морфометрическим (превышение высоты шпоры унаследованных макроизлучин над руслом).

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования проводились при поддержке Российского научного фонда (морфометрические исследования – проект № 17-17-01289, палеогидрологические реконструкции – проект № 19-17-00215) и Программы фундаментальных исследований РАН (тема госзадания № 0148-2019-0005).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Панин А.В., Сидорчук А.Ю.* Макроизлучины (“большие меандры”): проблемы происхождения и интерпретации // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2006. № 6. С. 14–22.
2. *Сидорчук А.Ю., Борисова О.К., Панин А.В.* Поздневалдайские палеорусла рек Русской равнины // Изв. РАН. Сер. геогр. 2000. № 6. С. 73–78.
3. *Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Борисова О.К.* Позднеледниковые палеорусла рек Западной Сибири // Изв. РАН. Сер. геогр. 2008. № 2. С. 67–75.
4. *Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., and Borisova O.K.* Surface runoff to the Black Sea from the East European Plain during Last Glacial Maximum–Late Glacial time // Spec. Pap. Geol. Soc. Am. 2011. T. 473. C. 1–25. https://doi.org/10.1130/2011.2473(01)
5. *Vandenberghe J. and Sidorchuk A.* Large palaeomeanders in Europe: Distribution, formation process, age, environments and significance // Palaeohydrology. Springer, Cham, 2020. P. 169–186. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23315-0_9
6. *Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Власов М.В.* Мощный поздневалдайский речной сток в бассейне Дона // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 1. С. 118–129. https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-118-129
7. *Матлахова Е.Ю., Панин А.В., Беляев В.Р., Борисова О.К.* Развитие долины Верхнего Дона в конце позднего плейстоцена // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2019. № 3. С. 83–92.
8. *Borisova O., Sidorchuk A., and Panin A.* Palaeohydrology of the Seim River basin, Mid-Russian Upland, based on palaeochannel morphology and palynological data // Catena. 2006. T. 66. No. 1–2. C. 53–73. https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.07.010
9. *Panin A.V., Adamiec G., Arslanov K.A., Bronnikova M.A., Filippov V.V., Sheremetskaya E.D., Zaretskaya N.E., and Zazovskaya E.P.* Absolute chronology of fluvial events in the upper Dnieper river system and its palaeogeographic implications // Geochronometria. 2014. T. 41. No. 3. C. 278–293. https://doi.org/10.2478/s13386-013-0154-1
10. *Panin A., Adamiec G., Buylaert J.-P., Matlakhova E., Moska P., and Novenko E.* Two Late Pleistocene cli-

mate-driven incision/aggradation rhythms in the middle Dnieper River basin, west-central Russian Plain // Quaternary Science Reviews. 2017. T. 166. C. 266–288. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.12.002

11. *Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., and Borisova O.K.* Morphology of river channels and surface runoff in the Volga River basin (East European Plain) during the Late Glacial period // Geomorphology. 2009. T. 113. No. 3–4. C. 137–157. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.03.007
12. *Брылев В.А., Мозжерин В.В., Панин А.В., Сидорчук А.Ю.* Палеопотамология речной системы Волги // Эрозионные и русловые процессы. 2010. С. 116–147.
13. *Чернов А.В.* Морфология и история развития долины реки Москвы в позднеледниковье и голоцене // Геоморфология. 2021. Т. 52. № 4. С. 79–96.
14. *Kislov A.V., Panin A., and Toropov P.* Current status and palaeostages of the Caspian Sea as a potential evaluation tool for climate model simulations // Quaternary International. 2014. T. 345. C. 48–55. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.05.014
15. *Sidorchuk A.Yu., Ukraintsev V.Yu., and Panin A.V.* Estimating Annual Volga Runoff in the Late Glacial Epoch from the Size of River Paleochannels // Water Resources. 2021. Vol. 48. No. 6. P. 864–876. https://doi.org/10.1134/S0097807821060178
16. *Astakhov V., Shkatova V., Zastrozhnov A., and Chuyko M.* Glaciomorphological map of the Russian Federation // Quaternary International. 2016. T. 420. C. 4–14. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.09.024
17. *Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., and Ukraintsev V.Yu.* The Contribution of Glacial Melt Water to Annual Runoff of River Volga in the Last Glacial Epoch // Water Resources. 2021. Vol. 48. No. 6. P. 877–885. https://doi.org/10.1134/S0097807821060142
18. *Маккавеев А.Н., Фаустова М.А., Карпухина Н.В.* Максимальная граница Скандинавского ледникового покрова в валдайскую (вислинскую) эпоху и особенности рельефа его периферической зоны // Геоморфология. 2020. № 3. С. 3–19. https://doi.org/10.31857/S0435428120030098
19. *Kurbanov R., Murray A., Thompson W., Svistunov M., Taratunina N., and Yanina T.* First reliable chronology for the Early Khvalynian Caspian Sea transgression in the Lower Volga River valley // Boreas. 2021. Vol. 50 (1). P. 134–146. https://doi.org/10.1111/bor.12478
20. *Panin A. and Matlakhova E.* Fluvial chronology in the East European Plain over the last 20 ka and its palaeohydrological implications // Catena. 2015. T. 130. C. 46–61. https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.08.016
21. Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария // Атлас-монография. Карты / Под ред. А.А. Величко. М.: ГЕОС, 2009. 120 с.
22. *Yermolaev O.P., Mukharamova S.S., Maltsev K.A., Ivanov M.A., Ermolaeva P.O., Gayazov A.I., Mozzherin V.V., Kharchenko S.V., Marinina O.A., and Lisetskii F.N.* Geographic Information System and Geoportal "River basins of the European Russia" // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2018. T. 107. No. 1. https://doi.org/10.1088/1755-1315/107/1/012108
23. *Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Борисова О.К.* Климатически обусловленные изменения речного стока на равнинах северной Евразии в позднеледниковье и голоцене // Водные ресурсы. 2008. Т. 35. № 4. С. 406–416.
24. *Раковская Э.М.* Физическая география России. Часть 1: Общий обзор, Европейская часть и островная Арктика. М.: Академия, 2013. 288 с.
25. *Макунина А.А.* Физическая география СССР. М.: Изд-во МГУ, 1985. 296 с.
26. *Мильков Ф.Н., Гвоздецкий Н.А.* Физическая география СССР. Общий обзор. Европейская часть СССР. Кавказ. М.: Высш. шк., 1976. 376 с.
27. *Величко А.А., Фаустова М.А., Писарева В.В., Карпухина Н.В.* История Скандинавского ледникового покрова и окружающих ландшафтов в валдайскую ледниковую эпоху и начале голоцена // Лед и Снег. 2017. Т. 57. № 3. С. 391–416. https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-3-391-416

# Evidences of the high river runoff in the river valleys of the Volga basin during the Late glacial

**V. Yu. Ukraintsev**[a,b,#]

[a] *Institute of Geography RAS, Moscow, Russia*

[b] *Water Problems Institute of RAS, Moscow, Russia*

[#] *E-mail: ukraintsev@igras.ru*

Large paleochannels are considered to be a geomorphological phenomena. The review of landscape-geomorphological traces of large paleochannels on the floodplains of the Volga Rivers basin is carried out, the regularities of their distribution are considered, the improvement of the method of analyzing the topography of river floodplains based on remote sensing data is proposed. Based on the analysis of high-resolution satellite images and digital elevation models of the Volga basin river valleys, more than 1700 sites with large paleochannels have been mapped. The morphology of paleochannels reflects the landscape and climatic differences between the northern and southern parts of the basin. The distribution of large paleochannels in the Volga basin apparently indicates that the duration and severity of paleoclimatic episodes of high river runoff on the East European Plain was maximum in the area that occupied by modern steppes and forest-steppe. To the

north and south of this area there were fewer episodes of high runoff and therefore not too many geomorphological traces have been left in the river valleys.

*Keywords:* large paleochannels, Volga, paleolandscapes, Late Glacial, large meanders

## ACKNOWLEDGMENTS

Research was supported by the Russian Science Foundation (morphometric studies – project No. 17-17-01289, paleohydrological reconstructions – project No. 19-17-00215), and Russian Academy of Sciences Fundamental Research Program (State Task No. 0148-2019-0005).

## REFERENCES

1. Panin A.V. and Sidorchuk A.Yu. *Makroizluchiny ("bol'shie meandry"): problemy proiskhozhdeniya i interpretatsii* (Macromeanders ("large paleochannels"): problems of origin and interpretation). *Vestnik Moskovskogo Unviersiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2006. No. 6. P. 14–22. (in Russ.)
2. Sidorchuk A.Yu., Borisova O.K., and Panin A.V. *Pozdnevaldaiskie paleorusla rek Russkoi ravniny* (Late Vald ai paleochannels of the Russian Plain rivers). *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya*. 2000. No. 6. P. 73–78. (in Russ.)
3. Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., and Borisova O.K. *Pozdnelednikovye paleorusla rek Zapadnoi Sibiri* (Late Glacial paleochannels of the Western Siberia rivers). *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya*. 2008. No. 2. P. 67–75 (in Russ.)
4. Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., and Borisova O.K. Surface runoff to the Black Sea from the East European Plain during Last Glacial Maximum–Late Glacial time. Spec Pap Geol Soc Am. 2011. Vol. 473. P. 1–25. https://doi.org/10.1130/2011.2473(01)
5. Vandenberghe J. and Sidorchuk A. Large palaeomeanders in Europe: Distribution, formation process, age, environments and significance. Palaeohydrology. Springer. Cham. 2020. P. 169–186. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23315-0_9
6. Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., and Vlasov M.V. *Moshchnyi pozdnevaldaiskii rechnoi stok v basseine Dona* (High Late Valdai runoff in the Don River basin). *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya*. 2013. No. 1. P. 118–129. (in Russ.) https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-118-129
7. Matlakhova E.Yu., Panin A.V., Belyaev V.R., and Borisova O.K. *Razvitie doliny Verkhnego Dona v kontse pozdnego pleistotsena* (Development of the Upper Don Valley at the End of the Late Pleistocene). *Vestnik Moskovskogo Unviersiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2019. No. 3. P. 83–92. (in Russ.)
8. Borisova O., Sidorchuk A., and Panin A. Palaeohydrology of the Seim River basin, Mid-Russian Upland, based on palaeochannel morphology and palynological data. *Catena*. 2006. Vol. 66. No. 1–2. P. 53–73. https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.07.010
9. Panin A.V., Adamiec G., Arslanov K.A., Bronnikova M.A., Filippov V.V., Sheremetskaya E.D., Zaretskaya N.E., and Zazovskaya E.P. Absolute chronology of fluvial events in the upper Dnieper river system and its palaeogeographic implications. *Geochronometria*. 2014. Vol. 41. No. 3. P. 278–293. https://doi.org/10.2478/s13386-013-0154-1
10. Panin A., Adamiec G., Buylaert J.-P., Matlakhova E., Moska P., and Novenko E. Two Late Pleistocene climate-driven incision/aggradation rhythms in the middle Dnieper River basin, west-central Russian Plain. *Quaternary Science Reviews*. 2017. Vol. 166. P. 266–288. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.12.002
11. Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., and Borisova O.K. Morphology of river channels and surface runoff in the Volga River basin (East European Plain) during the Late Glacial period. *Geomorphology*. 2009. Vol. 113. No. 3–4. P. 137–157. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.03.007
12. Brylev V.A., Mozzherin V.V., Panin A.V., and Sidorchuk A.Yu. *Paleopotamologiya rechnoi sistemy Volgi* (Paleopotamology of the Volga river system). *Erozionnye i ruslovye protsessy*. 2010. P. 116–147. (in Russ.)
13. Chernov A.V. *Morfologiya i istoriya razvitiya doliny reki Moskvy v pozdnelednikov'e i golotsene* (Morphology and history of the Moskva valley development in the Late Valdai and Holocene). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2021. Vol. 52. No. 4. P. 79–96. (in Russ.)
14. Kislov A.V., Panin A., and Toropov P. Current status and palaeostages of the Caspian Sea as a potential evaluation tool for climate model simulations. *Quaternary International*. 2014. Vol. 345. P. 48–55. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.05.014
15. Sidorchuk A.Yu., Ukraintsev V.Yu., and Panin A.V. Estimating Annual Volga Runoff in the Late Glacial Epoch from the Size of River Paleochannels. *Water Resources*. 2021. Vol. 48. No. 6. P. 864–876. https://doi.org/10.1134/S0097807821060178
16. Astakhov V., Shkatova V., Zastrozhnov A., and Chuyko M. Glaciomorphological map of the Russian Federation. *Quaternary International*. 2016. Vol. 420. P. 4–14. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.09.024
17. Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., and Ukraintsev V.Yu. The Contribution of Glacial Melt Water to Annual Runoff of River Volga in the Last Glacial Epoch. *Water Resources*. 2021. Vol. 48. No. 6. P. 877–885. https://doi.org/10.1134/S0097807821060142
18. Makkaveev A.N., Faustova M.A., and Karpukhina N.V. *Maksimal'naya granitsa Skandinavskogo lednikovogo pokrova v valdaiskuyu (vislinskuyu) epokhu i osobennosti rel'efa ego perifericheskoi zony* (The maximum boundary of the Scandinavian ice sheet in the Vislin epoch and features of landscapes on its peripheral zone). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2020. No. 3. P. 3–19 (in Russ.) https://doi.org/10.31857/S0435428120030098
19. Kurbanov R., Murray A., Thompson W., Svistunov M., Taratunina N., and Yanina T. First reliable chronology for the Early Khvalynian Caspian Sea transgression in

the Lower Volga River valley. *Boreas*. 2021. Vol. 50 (1). P. 134–146. https://doi.org/10.1111/bor.12478

20. Panin A. and Matlakhova E. Fluvial chronology in the East European Plain over the last 20 ka and its palaeohydrological implications. *Catena*. 2015. Vol. 130. P. 46–61. https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.08.016
21. *Paleoklimaty i paleolandshafty vnetropicheskogo prostranstva Severnogo polushariya* (Paleoclimates and paleolandscapes at the extratropical zone of the Northern Hemisphere). Atlas-monografiya. Maps. A.A. Velichko (Ed.). Moscow: GEOS (Publ.), 2009. 120 p. (in Russ.)
22. Yermolaev O.P., Mukharamova S.S., Maltsev K.A., Ivanov M.A., Ermolaeva P.O., Gayazov A.I., Mozzherin V.V., Kharchenko S.V., Marinina O.A., and Lisetskii F.N. Geographic Information System and Geoportal "River basins of the European Russia". IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2018. Vol. 107. No. 1. https://doi.org/10.1088/1755-1315/107/1/012108
23. Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., and Borisova O.K. *Klimaticheski obuslovlennye izmeneniya rechnogo stoka na ravninakh severnoi Evrazii v pozdnelednikov'e i golotsene* (Climatically caused changes of river runoff at the plains of northern Eurasia in the Late Glacial and Holocene). *Vodnye resursy (Water Resources)*. 2008. Vol. 35. No. 4. P. 406–416. (in Russ.)
24. Rakovskaya E.M. *Fizicheskaya geografiya Rossii. Chast' 1: Obshchii obzor, Evropeiskaya chast' i ostrovnaya Arktika* (Physical geography of Russia. Part 1: General overview, European part and insular Arctic). M.: Akademiya (Publ.), 2013. 288 p. (in Russ.)
25. Makunina A.A. *Fizicheskaya geografiya SSSR* (Physical geography of the USSR). M.: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta (Publ.), 1985. 296 p. (in Russ.)
26. Mil'kov F.N. and Gvozdetskii N.A. *Fizicheskaya geografiya SSSR. Obshchii obzor. Evropeiskaya chast' SSSR. Kavkaz* (Physical geography of the USSR. General review. European part of the USSR. Caucasus). M.: Vysshaya shkola (Publ.), 1976. 376 p. (in Russ.)
27. Velichko A.A., Faustova M.A., Pisareva V.V., and Karpukhina N.V. *Istoriya Ckandinavskogo lednikovogo pokrova i okruzhayushchikh landshaftov v valdaiskuyu lednikovuyu epokhu i nachale golotsena* (History of the Scandinavian ice sheet and surrounding landscapes in the Valdai Ice Age and the beginning of the Holocene). *Led i Sneg*. 2017. Vol. 57. No. 3. P. 391–416. (in Russ.) https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-3-391-416

*ГЕОМОРФОЛОГИЯ, 2022, том 53, № 1, с. 35–48*

## НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

*УДК 551.4.036(282.247.41)*

# ГЕОМОРФОЛОГИЯ ДОЛИНЫ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ: ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ И СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ (СТ. 2. ВЕРХНЕВОЛЖСКАЯ НИЗИНА)

**© 2022 г. Д. В. Баранов[1,*]**

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

**E-mail: dm_baranov@igras.ru*

Поступила в редакцию 16.04.2021 г.
После доработки 10.08.2021 г.
Принята к публикации 11.10.2021 г.

Работа с опубликованными и фондовыми материалами по геоморфологии долины р. Волги в пределах Верхневолжской низины позволила разделить историю исследований на три этапа. К первому этапу отнесены работы 1930–1960-х годов, в которых представлены результаты геоморфологических наблюдений на разных участках долины и первые варианты истории ее развития. Результаты крупномасштабных геологических съемок 1950–1980-х годов выделены в отдельный этап – время получения детальной геологической информации о строении долины. С конца второй половины XX века совершается постепенный переход к третьему этапу исследований – составлению обобщений и корреляций имеющихся материалов. Установлено, что к началу XXI века не сложилось единого представления ни о морфологии, ни о возрасте долины р. Волги в Верхневолжской низине. Тем не менее на основании значительного количества фактического материала предлагается авторский взгляд на строение долины р. Волги. В строении долины р. Волги в Верхневолжской низменности выражены пойма и лестница из трех надпойменных террас. К пойме следует относить поверхности узких фрагментов вдоль русла высотой до 6 м над урезом до затопления. Низкая (первая) надпойменная терраса выражена на высоте 8–10 м над урезом. Средняя (вторая) терраса имеет крайне невыдержанную по течению высоту: к ней отнесены уровни от 10 до 15 м над урезом р. Волги до затопления. Широкая терраса на высоте 15–17 м над урезом р. Волги рассматривается нами в качестве наиболее высокой, третьей надпойменной. Особенности геологического строения более высоких террасовидных поверхностей не позволяют их рассматривать в качестве надпойменных террас, поэтому их следует относить к междуречному комплексу. Относительно возраста долины р. Волги в пределах Верхневолжской низины также нет единого представления – начало ее формирования относят и к позднемосковскому времени, и к ранневалдайскому, и к поздневалдайскому. Ни одна из известных реконструкций не подкреплена данными численного датирования аллювия террас. Для понимания особенностей развития долины р. Волги необходимо убедительное хронологическое обоснование.

*Ключевые слова:* Волга, Тверь, Углич, пойма, надпойменная терраса, речная долина

**DOI:** 10.31857/S0435428122010047

## ВВЕДЕНИЕ. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Геоморфологические исследования долины р. Волги в пределах Верхневолжской низины на различных ее участках известны с первой половины XX века. Первый краткий обзор строения долины на протяженном участке (в виде двух очерков) был опубликован в соответствующем томе многотомного издания “Геология СССР”. Особое место в истории изучения долины занимает монография Г.В. Обедиентовой, где на основе опубликованного и собственного материала определены характерные черты долины р. Волги и выделены основные этапы ее развития. При этом отдельным образом существуют данные геологической съемки, проводившейся на территории Верхневолжья в течение всей второй половины XX века. К настоящему времени назрели качественный обзор всех имеющихся сведений о строении долины Верхней Волги и выделение на его основании спорных и проблемных вопросов.

В проведенном исследовании использованы опубликованные результаты работ значительного количества исследователей геоморфологии Верхневолжья, а также разнообразные материалы, используемые при составлении Государственных геологических карт СССР и РФ (рис. 1).

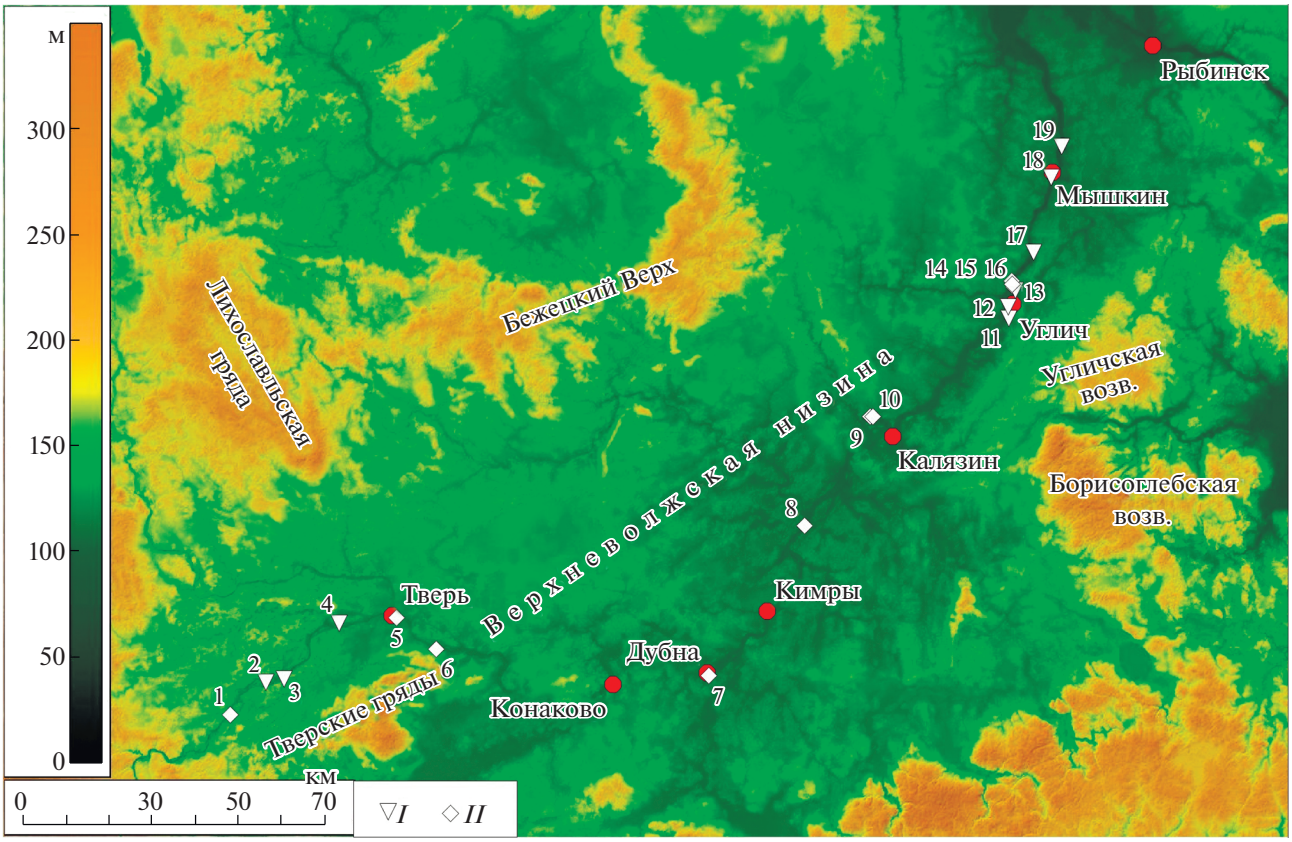



**Рис. 1.** Графические геоморфологические материалы по строению долины р. Волги. Цифровая модель местности SRTM.

*I – обнажения:* 2 – “валдайской” террасы у д. Сеславье [10], 3 – “московско-валдайской” террасы у д. Сеславье [31], 4 – “московско-валдайской” террасы ниже устья р. Тьмы [12], 11 – “валдайской” террасы у д. Новоселки [31], 12 – поймы, “нижней” и “средней” террасы в Иерусалимской слободе (ныне терр. г. Углича) [1], 13–15-метровой террасы у д. Золоторучье [15], 17 – “московско-валдайской” террасы у д. Васильки [12], 18 – “московско-валдайской” террасы в г. Мышкине [31], 19 – “московско-валдайской” террасы ниже д. Кривец [31]; *II – геолого-геоморфологические профили:* 1 – у д. Старое Курцево [10], 5 – в г. Твери [3], 6 – у п. Эммаусс [10], 7 – у д. Иваньково (совр. г. Дубны) [2], 8 – между Кимрами и Калязиным [31], 9 – у д. Спасской [1], 10 – по Спировскому створу [13], 14 – у д. Золоторучье [14], 15 – у д. Золоторучье [17], 16 – против устья р. Корожечны [1].

Особую сложность на территории Верхневолжской низины представляет корреляция высотных уровней террас р. Волги ввиду затопления днища долины водами водохранилищ. В данной работе под высотами террас будет пониматься их уровень относительно уреза р. Волги до затопления (при необходимости дополненный современным уровнем относительно зеркала воды или абсолютной высотой).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Работы на отдельных участках долины в 1930–1960-е годы*. Первые сведения о геолого-геоморфологическом строении долины р. Волги в пределах Верхневолжской низменности содержатся в работах Г.Ф. Мирчинка [1, 2]. Им рассмотрено строение Волжской долины выше г. Мологи примерно до г. Ржева и представлен первый вариант истории ее развития. Следует отметить, что при палеогеоморфологических реконструкциях Г.Ф. Мирчинк опирается на “альпийскую” схему “Миндель – Рисс – Вюрм” с однократным оледенением в каждую эпоху. В долине р. Волги он выделил пойму и две надпойменные террасы – нижнюю и среднюю (“верхняя” терраса по его данным имеет более высокий уровень и встречается в Среднем Поволжье). Данные Г.Ф. Мирчинка ценны тем, что в них приведены описания ныне затопленных участков долины.

Пойма протягивается узкой полоской вдоль русла, местами исчезая, на уровне 8–10 м над урезом. Широкий ее фрагмент описан Г.Ф. Мирчинком [2] по левому берегу р. Волги в районе современного г. Дубны (рис. 2). На глубину до 5–7 м она сложена аллювием, верхняя часть которого суглинистая, а нижняя – песчаная, подстилаемая моренным суглинком; цоколь поймы местами

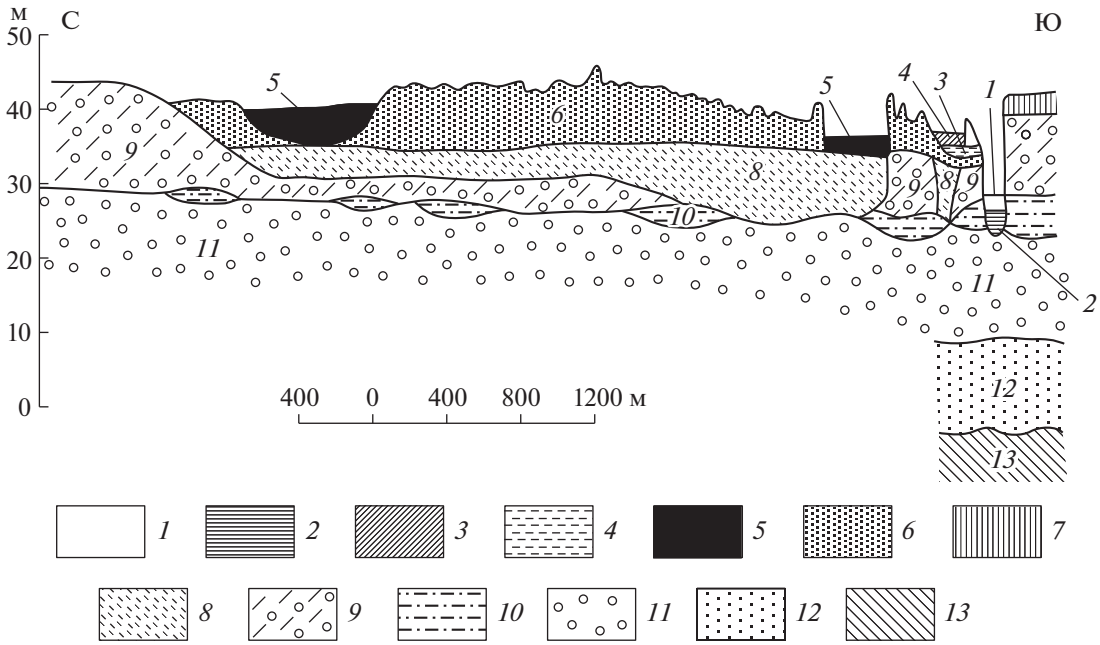



**Рис. 2.** Схематизированный разрез долины р. Волги у Иванькова (совр. г. Дубны [2], с исправлениями автора согласно тексту [2]).

*1* – вода, *2* – русловой аллювий ($alQ_{IV}^{2}$), *3* – образующиеся в настоящее время песчаные и супесчаные пойменные отложения ($alQ_{IV}^{2}$), *4* – иловато-глинистые отложения древних пойм ($alQ_{IV}^{1}$), *5* – торф ($Q_{IV}$), *6* – песчаные отложения древних пойм, частично всхолмленные впоследствии ($alQ_{IV}^{1}$), *7* – древнеаллювиальные отложения нижних надпойменных террас ($alQ_{III}^{W}$), *8* – песчаные образования с валунами ($fgQ_{III}^{W}$), *9* – красно-бурый валунный суглинок ($gQ_{II}^{R}$), *10* – межморенные супеси и пески ($fgQ_{II}^{R}$), *11* – коричневато-бурый моренный суглинок ($gQ_{I}^{M}$), *12* – мелкозернистые светло-серые пески ($fgQ_{I}^{M}$), *13* – юрские глины ($J_3$).

возвышается до 5 м над меженным урезом. Высокий, более древний, уровень поймы по Г.Ф. Мирчинку представляет собой поля сильно всхолмленных песков с высотой дюн до 2.5 м. Аллювиальные и эоловые пески на этом участке подстилаются, по-видимому, более древними флювиогляциальными грубыми песками и галечниками. В тыловой части поймы располагается торфяное болото, выполняющее, по мнению Г.Ф. Мирчинка, какое-то древнее русло. Около г. Углича пойма прослежена на высоте 10 м над урезом, полностью представлена аллювием: песками с прослоями супеси (в верхней части) и линзами гравия. Современное русло р. Волги врезано в ледниковые отложения; мощность аллювия в русле редко превышает 1 м.

На высоте около 13–15 м над урезом Г.Ф. Мирчинк выделяет первую (нижнюю) надпойменную террасу [1, 2]. Она описана им у Дубны (рис. 2), в окрестностях Калязина и Углича и прослежена на всем протяжении реки от Ржева до Мышкина. Аллювий террасы песчаный с выраженным базальным горизонтом, мощностью до 6 м, и подстилается цоколем из морены, кровля которого поднимается до 10–12 м над урезом. Поверхность террасы неровная, осложнена приречными валами, дюнами и буграми, которые увеличивают высоту террасы на 3–4 м.

Вторую (среднюю) надпойменную террасу Г.Ф. Мирчинк [1, 2] выделяет на высоте около 25–30 м над урезом. Подробно строение террасы было описано в разрезах у Иерусалимской слободы под г. Угличем, которые впоследствии были утрачены в связи со строительством Угличского гидроузла. Терраса с поверхности сложена маломощным (до 1 м) тонкопесчаным аллювием, залегающим на моренных суглинках. От междуречных пространств на высотах около 40 м над урезом (“водораздельного лёссового плато”) терраса отделена слабо выраженным уступом.

Исходя из морфологии и геологического строения долины Г.Ф. Мирчинк делает вывод о ее молодости и относит начало ее формирования к времени деградации последнего (“вюрмского”) оледенения.

Во второй половине 1930-х годов долина р. Волги на территории современной Тверской области изучалась геоморфологами НИИ Геогра-

фии МГУ. На участке от г. Старицы до г. Твери описание долины выполнено И.В. Васильевой [3]. Она отмечает, что ниже устья р. Холохольни узкая и глубокая долина (“Старицкие ворота”) постепенно расширяется, выходы коренных пород в бортах, характерные для старицкого участка, пропадают. Склоны долины пологие и длинные, глубина вреза составляет 30–35 м. И.В. Васильева выделяет пойму высотой 3–5 м, которая выражена в виде узких полос вдоль русла. Высокий уровень поймы затапливается лишь в многоводные годы, в отличие от низкого (до 3 м). И.В. Васильева прослеживает надпойменную террасу шириной около 1 км и высотой 10–12 м над меженным урезом. На поверхности этой террасы часто встречаются старицы, особенно в тыловой части. Терраса сложена песками, мощность которых не превышает 4–5 м, что указывает на ее цокольность. Исключение составляет район г. Твери, где бурением вскрыто “староречье р. Тьмаки” и мощность песков достигает 14 м. Всюду аллювий подстилается мореной.

Долина р. Волги от г. Твери до г. Калязина описана Н.Е. Диком [4], причем приведена морфология в том числе и участка, ныне затопленного водами Иваньковского водохранилища. Н.Е. Дик выделяет гривистую пойму высотой 6–9 м над меженным урезом, отделенную от русла узкой полоской бечевника. Пойма цокольная: моренный цоколь располагается на высоте 2–4 м над урезом. Аллювий поймы мощностью около 4–5 м представлен мелко- и разнозернистыми песками с прослоями супесей и суглинков.

На всем протяжении участка Н.Е. Дик прослеживает надпойменную террасу высотой в прибровочной части 12–14 м, которая повышается к тыловому шву до 16–18 м над урезом. Поверхность террасы плоская и слабоволнистая, осложнена дюнами. Аллювий террасы представлен мелко- и разнозернистыми песками, имеет среднюю мощность 2–6 м и подстилается мореной. Однако в некоторых местах терраса практически полностью сложена песками, которые, по мнению Н.Е. Дика, представляют собой “древнее выполнение эрозионной выемки, проложенное в ледниковых наносах” [4, с. 167].

Долина р. Волги в районе г. Калязина описана А.И. Спиридоновым [5]. В днище долины он выделял два уровня поймы, разделенные уступом: низкую (3–5 м над урезом), затапливаемую ежегодно, и высокую (8–12 м), покрывавшуюся водой лишь в особо полноводные годы. А.И. Спиридонов отмечает, что мощность аллювия как на пойме, так и в русле невелика: русло нередко размывает непосредственно морену, из воды видны валуны, а аллювий поймы залегает на моренном цоколе, кровля которого располагается на высоте до 2 м над урезом. Все это, по мнению А.И. Спиридонова, указывает на недавнее врезание реки, которое возможно продолжается и в настоящее время. По описаниям А.И. Спиридонова с поймой поло́го сочленяется надпойменная терраса высотой 15–18 м над урезом, поверхность которой осложнена многочисленными дюнами. Общая глубина долины относительно плоской поверхности междуречья в среднем составляет 30–35 м, в отдельных местах достигая 40 м.

Строение долины р. Волги от г. Кимр до г. Рыбинска рассмотрено Н.А. Преображенским [6], при этом приведена сравнительная таблица террас, содержащая уникальные сведения, полученные из рукописей В.Г. Хименкова и ряда других исследователей. Отмечается, что среди упоминаемых авторов, описывавших волжские террасы, имеются значительные разногласия о количестве террас и особенностях их строения. Так, Г.А. Курдиновым выделено пять террас на высотах 3–4, 10–11, 14–15, 17–18 и 30–31 м над урезом соответственно. Г.В. Лебединский, Ф.А. Манн и А.В. Иванов также придерживаются мнения о пяти террасах Волги (4–5, 10–12, 14–15, 18–23 и 30–35 м), при этом считают первые три аккумулятивными, а последние две – структурными. В.Г. Хименков (1936, по [6]) в окрестностях г. Углича выделяет четыре террасы: прирусловую (2–5 м), пойменную (9–12 м), надпойменную (13–18 м) и высокую “приводораздельную” (25–32 м). Первые три сложены песчаным аллювием, мощность которого у пойменной террасы около 6–7 м, у надпойменной – 12–13 м, подстилаемым мореной. Высокая “приводораздельная” терраса эрозионная, в рельефе практически не выражена и сложена мореной, перекрытой тонким плащом песков.

Сам Н.А. Преображенский [6], анализируя приведенные материалы, приходит к выводу, что на рассматриваемом им участке в долине р. Волги имеется лишь две террасы – современная (пойменная, соответствует прирусловой В.Г. Хименкова) и древняя (надпойменная). При этом отмечено, что 13–18-метровая терраса В.Г. Хименкова – это просто локальные повышения, так как геологическое строение этой и более низкой поверхности одинаковое, а отличаются они только тем, что более высокие участки террасы не затапливаются в половодье. Также Н.А. Преображенский на высотах 20–30 м выделяет “склон плато коренного берега”, сопоставляя его с 25-метровой террасой Г.Ф. Мирчинка [1] и 25–32-метровой террасой В.Г. Хименкова. Это образование в рельефе не выражено как терраса, однако покрыто тонким плащом песка, что дает право Н.А. Преображенскому считать его “доволжской террасой затухающего потока талых ледниковых вод”, т.е., по сути, долинным зандром.

Выше по течению от г. Рыбинска строение долины р. Волги кратко охарактеризовано В.А. Новским

[7, 8]. Им отмечено, что Волга прорезает морену и коренные отложения, в строении долины выделяются два уровня поймы и три надпойменные террасы. Низкая (6–8 м над урезом) и высокая (10–11 м) пойма прослеживается на всем протяжении долины, прислоняясь то к одному, то к другому берегу – в настоящее время эти уровни затоплены водами Рыбинского водохранилища. Надпойменные террасы же, напротив, выражены фрагментарно: первая имеет высоту 16–18 м над урезом (101–103 м абс.), вторая – 20–22 м (105–107 м абс.), а третья 28–30 м (113–115 м абс.). Аллювий террас маломощный (до 3–5 м), представлен песками и супесями. Позднее [8] В.А. Новский все выделенные уровни относит к террасам (итого четыре, первая состоит из двух ступеней), несколько корректирует их высоты относительно уреза р. Волги, а также отмечает, что первая и третья террасы аккумулятивные (мощность песчаного аллювия достигает 10 м), а четвертая и вторая террасы являются террасами размыва. В.А. Новский считает, что формирование современного облика долины началось со времени деградации поздневалдайского оледенения.

Более полно пойма и низкие террасы р. Волги охарактеризованы В.А. Новским в работе по четвертичным отложениям Ярославской области [9]. Отмечается, что в связи с современным врезанием реки пойма выражена очень ограниченно узкими полосами вдоль русла на высоте до 2 м над урезом. К первой террасе отнесены ранее относимые к пойме уровни 6–8 и 10–12 м, при этом сообщается, что низкий уровень часто заливается в половодье. Аллювий мощностью до 10–12 м представлен песками с галькой и гравием в основании. Вторая терраса прослежена В.А. Новским на высоте 14–15 м, цокольная, сложена песками, покрытыми сосновым лесом. Более высокие уровни (20–22; 25–27; 33–37 м) отнесены В.А. Новским к эрозионным ступеням времени деградации "калининского" оледенения.

В 1960-е годы долина р. Волги была обследована Г.В. Обедиентовой [10–12]. От устья р. Холохольни до г. Дубны ей выделен т.н. калининский участок, который отличается широкой долиной с поймой и двумя надпойменными террасами. Пойма имеет ширину первые десятки метров, занимая уровень 6–7 м над урезом. Г.В. Обедиентова обращает внимание, что пойма как бы замещает первую террасу, хорошо выраженную на Валдайской возвышенности, а здесь отсутствующую. Вторую террасу Г.В. Обедиентова прослеживает на высотах 8–11 м, у нее хорошо выражена как бровка, так и тыловой шов. Аллювий ее представлен песками с большим количеством гравия и гальки, до г. Твери его мощность меньше высоты террасы, виден цоколь, ниже г. Твери мощность аллювия второй террасы увеличивается, а обломочный материал в нем встречается все реже. Верхняя (третья) терраса прослежена Г.В. Обедиентовой на высоте 17–25 м над урезом. Аллювий террасы маломощный (до 2–3 м), представлен тонкими песками и супесями. Русло подмывает уступы террасы, в строении видно два горизонта морены, разделенных песками, которые могут являться древним, домосковским, аллювием р. Волги.

Описывая четвертичную стратиграфию Угличского Поволжья, А.И. Москвитин [13] приводит поперечный геолого-геоморфологический профиль долины р. Волги в окрестностях г. Калязина, построенный по "старым материалам Угличской гидрогеологической партии Гидростройпроекта". Профиль интересен хорошей выраженностью на нем надпойменной террасы, площадка которой располагается на высоте примерно 15–17 м над урезом р. Волги. Мощность песчаного аллювия террасы составляет порядка 5 м.

В конце 1950-х – 1960-е годы было детально изучено строение правого борта долины р. Волги в нескольких километрах ниже г. Углича у с. Золоторучье в связи с располагающейся там археологической стоянкой. Подробное геоморфологическое описание составлено А.А. Величко [14], с учетом уже имеющихся данных Г.Ф. Мирчинка [1]. Прослежены пойменный уровень, а также "нижняя" и "средняя" террасы и водораздельное плато (рис. 3); с учетом примерно 10-метрового подпора р. Волги со стороны Рыбинского водохранилища А.А. Величко приводит новые высоты этих уровней относительно современного уреза: 1.5–2.5, 5–7 м, около 20 и около 30 м соответственно. Помимо этого, А.А. Величко выделен еще один уровень надпойменной террасы, не обозначенный Г.Ф. Мирчинком, на высоте 3–4 м от уреза водохранилища, т.е. 13–14 м над меженным урезом р. Волги до затопления. Детальное исследование четвертичной толщи, вскрывающейся в уступе правого борта долины р. Волги, позволили А.А. Величко сделать заключение, что образование "нижней" и "средней" террас Г.Ф. Мирчинка предопределено особенностями геологического строения: выклиниванием средней моренной толщи и плащеобразным залеганием верхней морены. В совокупности с отсутствием достаточно четко выраженных аллювиальных отложений на поверхности этих "террас" заставляет А.А. Величко сомневаться в их речном происхождении. Строение "нижней", 15-метровой террасы Г.Ф. Мирчинка (средней по А.А. Величко) приведено Б.В. Нуждиным [15] в его работе по глубинной эрозии в верховье Волги. К аллювиальным отложениям он относит верхние 2.5 м толщи, представленные песками, суглинками и гравием с галькой в основании. Также Б.В. Нуждин отмечает, что на поверхностях верхневолжских террас широко распространены "песчаные бугры, целые гряды из песка, т.н. "дюны" [16, с. 13], которые, по его мнению, имеют речную природу.

**Рис. 3.** Схематический продольный профиль правого берега р. Волги между г. Угличем и с. Золоторучье [14] с пояснениями автора.

*Морена: 1* – красно-бурая, *2* – темно-серая, *3* – серо-бурая; *4* – межморенные озерные глины; *пески: 5* – надморенные, *6* – перевеянные на I надпойменной террасе и пойме; *7* – лугово-болотная почва на I надпойменной террасе и пойме; *аллювий: 8* – I надпойменной террасы (пески с прослойками красно-бурого суглинка), *9* – поймы (слоистые супеси и пески); *10* – юрские пески с галечниками.

Некоторыми годами позднее данные о геолого-геоморфологическом строении долины р. Волги в окрестностях г. Углича были обобщены В.В. Дашевским [17]. Он отмечает, что долина на данном участке имеет асимметричный поперечный профиль и выделяет в ее строении пойму и три уровня надпойменных террас. Пойма по данным В.В. Дашевского имеет высоту до 13 м над урезом. Аллювий ее представлен тонкими песками и суглинками, сменяющимися вниз по разрезу среднезернистыми песками с гравием и галькой с максимальной мощностью до 10 м. Первая надпойменная терраса прослежена на высоте до 16 м, ее аллювий мощностью до 10 м – мелко- и среднезернистые пески с крупно- и грубозернистым основанием. Вторая надпойменная терраса занимает уровень до 20 м. Ее аллювий представлен мелкозернистыми песками с включением суглинков, мощностью до 5 м. Третья терраса выделена на уровне до 25 м с маломощным (2–3 м) тонкопесчаным аллювием. Образование всех террас отнесено В.В. Дашевским к валдайскому времени.

В этот же смысловой раздел статьи логично поместить описание долины р. Волги в г. Твери, опубликованное А.А. Цыгановым несколько лет назад [18]. Из-за существующего подпора Иваньковского водохранилища пойма р. Волги на территории города в настоящее время затоплена. Хорошо выражена первая надпойменная терраса с четким обрывистым уступом и волнистой поверхностью на высоте 5–10 м над урезом до затопления. Вторую террасу шириной до 500–600 м А.А. Цыганов выделяет на высоте 11–14 м (7–10 м над современным урезом), отмечая большое количество эоловых холмов на ее поверхности. Также среди характерных особенностей – заболоченность и оторфованность тыловой части террасы. Третья терраса незначительно возвышается над второй и имеет высоту 15–16 м (11–12 м над современным урезом), а ширину от 300–400 до 500–600 м. Ее поверхность ровная, слабоволнистая, а уступ и тыловой шов слабо выражены в рельефе.

*Результаты геологических съемок 1950–1980-х годов.* Во второй половине XX века территория Верхневолжской низины была покрыта серией геологических карт масштаба 1:200000, составленных как на основе обобщения накопленной к этому времени информации, так и по данным полевой съемки. Изучению геолого-геоморфологического строения долины р. Волги было уделено значительное внимание. В частности, выделены и прослежены террасовые уровни, описано строение их аллювиальных толщ, дана возрастная оценка истории развития долины. Учитывая различное количество террас по сведениям из разных источников, а также деление некоторых уровней на ступени, изложение будет основано на относительных высотах террас, а не на их номерах.

При выходе р. Волги на Верхневолжскую низину после участка Старицких ворот в долине выделяются следующие высотные уровни [19, 20]: 1.5 м над урезом, 4, 7–8 и 12–15 м. По особенностям аллювия (пестрота литологического состава и сходная мощность около 10 м) нижние три уровня отнесены к пойменным; при этом отмечается, что низкая и средняя поймы выражены узкими полосками вдоль русла, тогда как ширина высокой (7–8 м) поймы достигает нескольких километров. Аллювий единственного террасового уровня отличается песчаным составом с выраженным базальным горизонтом, имеет мощность до 22 м; ширина террасы достигает 2 км. В ходе геологической съемки центральной части Калининской области [20] отмечена интересная особенность долины р. Волги на этом участке – после выхода из Старицких ворот русло реки меандрирует лишь в пределах долины, при этом не изменяя направления самой долины.

Ниже по течению вплоть до плотины Иваньковского водохранилища в долине р. Волги было выделено несколько уровней [21, 22]. Ступени высотой до 7.5–8 м над урезом отнесены к пойменным, при этом низкие уровни (1–1.2; 3–3.5) ниже г. Твери затоплены, высокая цокольная пойма имеет ширину до 600 м. Террасовые уровни прослежены на высотах 9–10 м (низкая), от 11–12 до 14–15 м (средняя) и 15–17 м (высокая) над урезом. Отмечается хорошая морфологическая выраженность уступов и тыловых швов всех террас (что особенно видно на геодезических профилях), за исключением неясного тылового шва верхней террасы. Песчаный аллювий средней и верхней террасы имеет мощность до 5 м, выраженную базальную фацию и залегает преимущественно на ледниковых отложениях (морене). Мощность аллювия низкой террасы превышает 10 м, что позволяет относить ее к аккумулятивной; однако авторы обращают внимание, что точное определение мощности аллювия этой террасы затруднено по причине сходства отложений с подстилающими межледниковыми образованиями. Образование террас связывается с холодными эпохами валдайского времени.

В более поздних Объяснительных записках к Геологическим картам [23, 24] этой территории средняя и высокая терраса объединены в одну, ранневалдайскую, а также выделен более высокий позднемосковский уровень на высоте 20 м над урезом. Для 20-метровой террасы отмечаются слабая морфологическая выраженность, разрозненность и фрагментарность. Мощность аллювия редко превышает 1 м, а зачастую он вообще отсутствует.

Ниже Иваньковской плотины, в Кимрско-Калязинском Поволжье, высоты террасовых уровней р. Волги несколько изменяются [25, 26]. Пойма прослеживается на высоте до 10 м над урезом, цокольная, аллювий мощностью 3–8 м представлен мелко-, среднезернистыми песками, суглинками с хорошо выраженной базальной фацией в виде грубозернистого песка. Для террас приведены высоты 9–15, 15–20 и 20–25 м, при этом отмечается хорошая морфологическая выраженность всех террас и особенно тылового шва верхней террасы, которая отделена от междуречья уступом коренного склона высотой до 3 м. Аллювий террас песчаный (у низкой террасы – с прослоями глин и суглинков) с выраженным базальным горизонтом, у низкой террасы имеет мощность более 10 м, у высоких – редко превышает 3–4 м. Отмечается сильная изменчивость ширины террас: в окрестностях г. Дубны и г. Кимр их ширина составляет порядка 1–3 км, а ниже устья р. Хотчи – достигает 10–12 км. Это связывается с характером доледникового рельефа и особенностями междуречий – сужения долины приходятся на древние водоразделы, а расширения – на депрессии коренного ложа и приуроченные к ним озерно-ледниковые равнины [25]. Образование самой высокой террасы отнесено ко времени деградации московского оледенения, средней – ранневалдайского (калининского), а низкой – поздневалдайского (осташковского) оледенения.

С приведенным описанием и временем образования террас р. Волги резко контрастируют данные по району Угличско-Мышкинского Поволжья [27, 28]. Террасовые уровни увязаны со стадиями развития Молого-Шекснинского озера (рис. 4, исходя из чего их не следует сопоставлять с региональными террасами Волги [27]) и временем деградации поздневалдайского оледенения. В долине прослежена многоуровневая пойма на высоте до 11–14 м и с песчаным (от тонко- до крупнозернистого) аллювием мощностью до 7–8 м. Первая терраса представлена двумя уровнями: низким раннеголоценовым на высоте 13–15 м, сложенным песками с прослоями суглинка и супеси, а также хорошо выраженной базальной фацией из крупнозернистого песка с галькой и гравием; высоким послеледниковым на высоте 15–17 м, аллювий которого представлен тонко-мелкозернистыми песками. Мощность аллювия составляет 5–8 м для низкого уровня и 10–12 м для высокого; терраса цокольная. Вторая (19–23 м) и третья (23–25 м) террасы плохо различимы между собой, часто сливаются в одну поверхность; аллювий их представлен мелко-, среднезернистыми песками мощностью 3–4 м. Наиболее высокий уровень выделен на высоте 26–29 м и также сложен маломощным мелкопесчаным аллювием. Террасы протягиваются полосами вдоль реки, а их ширина всюду не превышает 500 м. Выдержанность абсолютных высот террасовых уровней, вероятно, следует связывать с их озерной природой, а вот “пропуск” пятой террасы остается неясным. Позднее [28] характеристики террас были скорректированы: пойменный уровень прослежен на высоте до 10 м, низкая терраса – на высоте около 15 м, средняя – 20–23 м, высокая – 28–30 м, при этом указано, что последние два уровня террас обладают значительной шириной (до 4 км).

*Работы обобщающего характера 1970-х гг. – начала XXI века.* Первые обобщения о геолого-геоморфологическом строении долины р. Волги в пределах Верхневолжской низины проведены при подготовке соответствующего тома многотомного издания “Геология СССР” [29, 30]. А.И. Спиридонов [29] полагает, что высокая терраса р. Волги (порядка 30–40 м над урезом), образование которой связано с деградацией московского оледенения, проявляется лишь ниже г. Ярославля. В Верхневолжской низине им выделено лишь две террасы. На высоте 20–25 м над урезом р. Волги располагается “калининская” терраса. Она хорошо выражена морфологически,

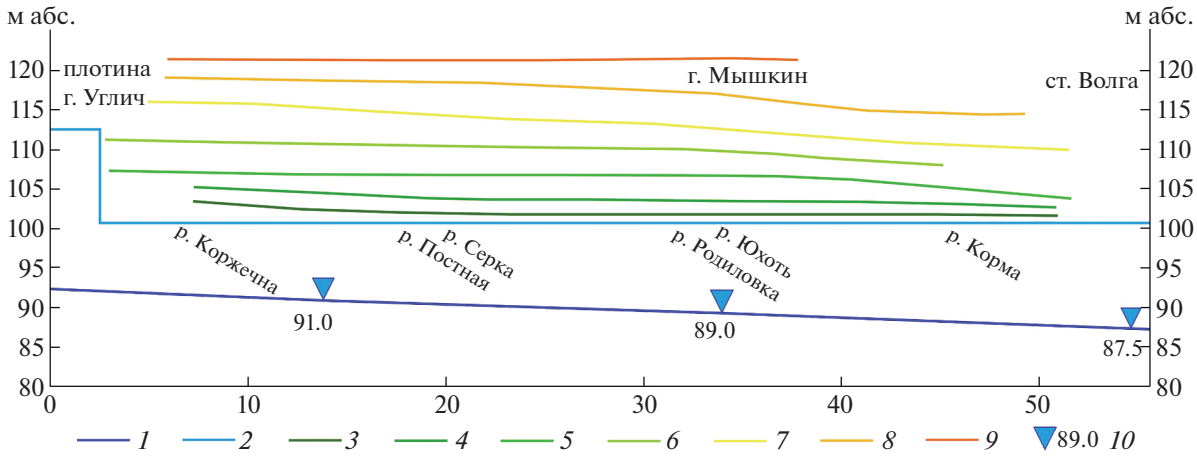



**Рис. 4.** Продольные профили русла р. Волги, поймы и надпойменных террас ниже г. Углича [27].

*Урез р. Волги: 1* – до подтопления, *2* – современное положение; *3* – пойма ($aQ_4^{2-3}$); *надпойменные террасы: 4* – низкая первая ($aQ_4$), *5* – высокая первая ($l,a^9Q_3^{vd3}$), *6* – вторая ($l,a^8Q_3^{vd3}$), *7* – третья ($l,a^7Q_3^{vd3}$), *8* – четвертая ($l,a^6Q_3^{vd3}$), *9* – шестая ($lg^4Q_3^{vd3}$); *10* – отметки уреза р. Волги до подтопления.

имеет четкую бровку, уступ и тыловой шов. Аллювий террасы песчаный, мощностью 5–6 м, подстилается ледниковыми отложениями – мореной. Терраса цокольная, и по территории низменности занимает разрозненные площадки. “Осташковская” терраса А.И. Спиридоновым выделена на высоте 10–15 м над урезом. Она аккумулятивная, аллювий террасы, представленный разнозернистыми песками, имеет мощность 10–15 м, а в отдельных случаях до 20 м. К пойме (цокольной) А.И. Спиридоновым отнесены уровни 6–7 м над урезом.

В рамках этого же издания С.Л. Бреслав [30] приводит несколько другие данные (он опирается, главным образом, на работы Г.Ф. Мирчинка [1, 2]). Высокую пойму Г.Ф. Мирчинка он считает раннеголоценовой первой надпойменной террасой с высотой 8–12 м. На уровне “осташковской” террасы на высоте 14–20 м, соответствующей “низкой” террасе Г.Ф. Мирчинка, он выделяет две ступени – 14 и 17-метровую. “Осташковская” терраса цокольная, аллювий мощностью 1–3 м представлен хорошо сортированными, горизонтально слоистыми мелко- и среднезернистыми песками с гравием и галькой в основании. Наиболее высокая “калининская” терраса высотой 20–25 м соответствует “средней” террасе Г.Ф. Мирчинка. Отмечено, что вдоль долины р. Волги протягивается долинный зандр калининского времени, который вложен в калининскую же озерную равнину.

Значительный вклад в систематизацию и обобщение знаний о строении долины р. Волги в верхнем течении внесла Г.В. Обедиентова [11, 31]. На основе опубликованных данных, вкупе с собственными наблюдениями, ею подготовлено целостное описание геоморфологического строения долины, составлена геоморфологическая карта долины р. Волги. В Верхневолжской низменности Г.В. Обедиентова выделяет два уровня надпойменных террас, являющихся продолжениями второй и третьей террасы р. Волги в пределах Валдайской возвышенности.

Верхняя (третья) надпойменная терраса прослежена Г.В. Обедиентовой на высоте 25–28 м над урезом, имеет четкую бровку и крутой уступ к более низкой террасе. Поверхность террасы сливается с междуречьем, тыловой шов выражен плохо. Строение террасы исследовано на разных участках в Тверской и Ярославской области (рис. 1). Аллювий представлен тонкозернистыми песками с прослоями супесей и суглинков, часто тонкослоистыми. Мощность аллювия по наблюдениям Г.В. Обедиентовой невелика – в среднем 2–3 м, редко до 5–6. Терраса всюду подстилается ледниковыми отложениями – мореной, которую Г.В. Обедиентова относит к московскому времени. В связи с этим начало аккумуляции аллювия террасы сопоставляется с фазой деградации московского оледенения. Отложения этой террасы продолжали накапливаться и в микулинское время – об этом свидетельствует спорово-пыльцевой спектр аллювия межледникового характера – и завершили формирование лишь в ранневалдайское время при врезании реки и образовании уступа третьей террасы. Перечисленные особенности образования террасы дали право Г.В. Обедиентовой именовать ее “московско-валдайской”.

Средняя (вторая) надпойменная терраса р. Волги в Верхневолжской низине как по морфологии, так и по строению значительно отличается от верхней. Ее поверхность еще сохранила следы русловой деятельности – гривы, песчаные валы, кулисообразные гряды. В тыловой части имеется характерное понижение, часто заболоченное. От выше- и нижележащих поверхностей терраса отделена уступами высотой в несколько метров. Вторая терраса сопровождает долину на всем своем протяжении [11], выражена на высоте от 8–11 м над урезом при выходе в Верхневолжскую низину до 12–15 м ниже г. Твери. Аллювий террасы имеет двучленное строение – верхняя пачка преимущественно песчаная, с прослоями суглинков и торфа, нижняя представлена более грубыми фракциями песка с гравием и галькой. Спорово-пыльцевые спектры аллювия террасы (по разрезу у д. Сеславье) указывают на господство растительности лугового типа во время ее формирования и позволяют отнести время его накопления к валдайскому позднеледниковью.

Выделенная Г.В. Обедиентовой в пределах Валдайской возвышенности послевалдайская (голоценовая) терраса в Верхневолжской низине не встречается [11, 31], так как сливается с поймой. Относительно последней приведены ограниченные сведения ввиду затопления значительной ее части.

Категорическое несогласие по вопросу развития волжских террас выражает П.С. Макеев в своей работе “Основные этапы развития долины Верхней Волги” [32]. По его представлениям, исходя из количества волжских террас на участке долины от г. Плеса вверх по течению (подсчет террас выглядит, однако, довольно спорно), их образование не может быть связано с четвертичными оледенениями, а обусловлено циклами регрессивной эрозии самой Волги.

В учебнике по геоморфологии Европейской части СССР А.И. Спиридонов [33] указывает, что для рек Русской равнины характерны три надпойменные террасы: московская, ранневалдайская и поздневалдайская. Исходя из этого для Верхней Волги им выделены: третья терраса высотой 30–40 м (которая начинается не от г. Ярославля, как указывалось ранее [29], а выше г. Ржева [33]), сливающаяся с поверхностью озерно-ледниковой равнины; вторая терраса высотой 20–25 м и первая высотой 10–15 м.

Одно из последних обобщений по строению долины р. Волги в Верхневолжской низине изложено в изданиях Государственной геологической карты СССР и РФ масштаба 1:1000000 [34–37]. Большинство исследователей выделяют пойму и три надпойменные террасы, однако даже среди авторов одного издания существуют противоречия. Так, например, А.Е. Кротова-Путинцева [36] придерживается представлений, что в Тверском Поволжье у р. Волги лишь две террасы.

О пойме р. Волги приведены ограниченные сведения ввиду объективных причин. Сообщается лишь только, что она выражена вдоль русла, аллювий ее – голоценовые пески, суглинки и супеси. О первой террасе мнения составителей в целом схожи: ее высота до 7–10 м, аккумулятивная. Аллювий в Тверском Поволжье представлен разнозернистыми песками с прослоями супесей, суглинков и глин, в разрезах около г. Углича – мелкозернистыми песками. Время формирования террасы связывают с позднеледниковьем (бёллинг – аллерёд).

Вторую террасу на высоте 9–15 м над урезом А.Е. Кротова-Путинцева [36] относит этот уровень к первой террасе. Аллювий террасы представлен разнозернистыми песками с гравием и галькой в основании средней мощностью 2–5 м, в отдельных случаях до 10–12 м. Терраса цокольная и залегает на ледниковых отложениях – морене московского времени. В Тверском Поволжье образование этой террасы связывают с вепсовской стадией деградации поздневалдайского оледенения [34, 35]. В Угличско-Мышкинском Поволжье [37] террасы р. Волги увязывают со стадиями Молого-Шекснинского озера и вторую террасу считают “калининской”.

Относительно верхней террасы единого мнения не существует. В.Г. Ауслендер [34] и В.В. Кямяря и соавт. [35] описывают ее на высоте 17–25 м над урезом и связывают ее образование с максимальной стадией поздневалдайского оледенения. А.Е. Кротова-Путинцева [36] считает ее второй надпойменной и прослеживает на высоте 20–25 м над урезом. В Угличско-Мышкинском Поволжье [37] выделяются два уровня третьей террасы: на высоте 15–20 и 25–35 м над урезом. Аллювий террасы представлен разнозернистыми песками с гравием и галькой в основании мощностью от 1–3 до 7 м на низком уровне и до 19 м на высоком. Образование верхней террасы связывается с ранними стадиями Молого-Шекснинского озера в конце московского оледенения.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

В истории геоморфологических исследований долины Верхней Волги в пределах Верхневолжской низины можно выделить три логических (но не хронологических) этапа исследования. Первый этап 1930–1960 гг. ознаменовался получением информации о строении долины р. Волги на отдельных ее участках, здесь особенно следует отметить работы довоенных исследователей, описавших долину реки до затопления. Масштабные геологические съемки середины XX века следует выделить в отдельный этап: были получены зна-

чительные объемы информации по геологическому строению и пространственному распространению террасовых уровней. К сожалению, результаты этих работ не лишены недостатков, прежде всего, из-за отсутствия возможности состыковать соседние листы. Исходя из этого сложно коррелировать имеющиеся данные. В ходе третьего этапа конца XX – начала XXI вв. проведены первые обобщения, посвященные геоморфологическому строению долины р. Волги. Однако из-за сжатости имеющихся очерков (пожалуй, за исключением монографии Г.В. Обедиентовой) и их противоречивости друг с другом в настоящее время сложно говорить об окончательной изученности геоморфологического строения долины.

Существующие данные, на наш взгляд, позволяют непротиворечиво охарактеризовать морфологию долины р. Волги в пределах Верхневолжской низины. Вероятнее всего к пойме следует относить поверхности узких фрагментов вдоль русла высотой до 6 м над урезом. Ниже г. Твери эти поверхности зачастую скрыты под водами водохранилищ. Низкая (первая) надпойменная терраса, на наш взгляд выражена на высоте 8–10 м над урезом. Хорошая сохранность пойменного рельефа и повторяющиеся затопления в многоводные годы до строительства водохранилищ стали причиной отнесения этого уровня к пойменному среди довоенных исследователей.

Средняя (вторая) терраса имеет крайне невыдержанную вниз по течению высоту, что объясняет разнообразие представленных различными исследованиями высот. Можно полагать, что ко второй террасе следует относить уровни высотой 10–15 м над урезом р. Волги. Широкая терраса на высоте 15–17 м над урезом р. Волги рассматривается нами в качестве наиболее высокой, третьей надпойменной. Для всех террас характерен песчаный характер аллювия мощностью 6–10 м с хорошо выраженным базальным горизонтом более грубого состава.

Более высокие уровни, выделяемые в качестве надпойменных террас р. Волги, по нашему представлению таковыми не являются. Особенности геологического строения этих поверхностей (тонкопесчаный состав, мощность до 3–4 м, монотонность гранулометрического состава по разрезу), на наш взгляд, не характерные признаки аллювия. Эти толщи следует рассматривать в качестве покровных образований нивейно-эолового происхождения.

Относительно возраста долины р. Волги в пределах Верхневолжской низины также нет единого представления: Г.Ф. Мирчинк, А.А. Величко обращают внимание на молодость долины и относят начало ее формирования к поздневалдайскому времени (косвенно о поздневалдайском возрасте долины можно судить и из монографии Д.Д. Квасова [38], который предполагал существование обширной Верхне-Волжской системы приледниковых подпрудных озер в максимальную фазу последнего оледенения); А.И. Москвитин, С.Л. Бреслав, А.И. Спиридонов, опираясь на четвертичную стратиграфию и концепцию с двумя позднеплейстоценовыми оледенениями, – к ранневалдайскому (“калининскому”) времени; а Г.В. Обедиентова на основе морфологии долины считает, что этот участок долины р. Волги существовал с конца московского оледенения. Этой же концепции придерживаются геологи-съемщики (за исключением участка долины в Угличско-Рыбинском Поволжье, где формирование долины, по мнению некоторых геологов, контролировалось поздневалдайским приледниковым Молого-Шекснинским озером).

Наличие разнообразных версий, касающихся возраста современной долины р. Волги, объясняется отсутствием данных абсолютного датирования отложений террас. История развития долины основана исключительно на их морфологических особенностях, часть из которых весьма дискуссионна. В связи с этим первоочередная задача для исследователей Волжской долины в настоящее время – это создание хронологически обоснованной истории развития долины.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования проводятся при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-17-01289); при обработке материалов была использована инфраструктура Института географии РАН в рамках темы Государственного задания ИГ РАН № 0148-2019-0005. Автор признателен сотрудникам библиотеки Института географии РАН, а также инж.-иссл. Отдела палеогеографии четвертичного периода ИГ РАН Е.О. Мухаметшиной и студенту химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова Д. Шальневу за помощь в поиске и получении необходимой литературы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мирчинк Г.Ф.* Четвертичная история долины р. Волги выше Мологи // Тр. комис. по изуч. четвертич. периода. 1935. Т. IV. Вып. 2. С. 5–36.
2. *Мирчинк Г.Ф.* Современный аллювий равнинных рек и его геологическая история // Бюл. Комис. по изуч. четвертич. периода. 1948. № 11. С. 5–16.
3. *Васильева И.В.* Геоморфология центральной части Калининской области // Уч. зап. МГУ. 1938. Вып. 23. География. С. 66–98.
4. *Дик Н.Е.* Геоморфология юго-восточной части Калининской области // Уч. зап. МГУ. 1938. Вып. 23. География. С. 158–173.
5. *Спиридонов А.И.* Геоморфология северо-восточной части Калининской области // Уч. зап. МГУ. 1938. Вып. 23. География. С. 112–157.

6. *Преображенский Н.А.* Четвертичные отложения Калининско-Ярославского Поволжья // Тр. Геол. управления Башкирской АССР. 1941. Вып. 2. Мат-лы по четвертич. отложениям Башкирии и Поволжья. С. 3–44.
7. *Новский В.А.* Новые данные о междуморенных отложениях и террасах Рыбинского района // Бюл. Комис. по изуч. четвертич. периода. 1939. № 5. С. 63–67.
8. *Новский В.А.* Четвертичные отложения Рыбинского района // Уч. зап. ЯГПИ. 1945. Вып. VI. География и естествознание. С. 3–25.
9. *Новский В.А.* Материалы к геоморфологии и четвертичной геологии Ярославской области // Уч. зап. ЯГПИ. 1958. Вып. 20. География. С. 63–96.
10. *Обедиентова Г.В.* Основные особенности геоморфологии долины Волги в верховье // Вопр. палеогеографии и геоморфологии бассейнов Волги и Урала. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 5–40.
11. *Обедиентова Г.В.* Геоморфологическая карта долины Волги и прилегающих территорий. Масштаб 1:2000000 / Ред. Ю.А. Мещеряков. М.: Ин-т географии АН СССР, 1965.
12. *Обедиентова Г.В.* Границы и характер оледенения на востоке центральной части Русской равнины // Бюл. Комис. по изуч. четвертич. периода. 1965. № 30. С. 111–127.
13. *Москвитин А.И.* Стратиграфия плейстоцена Европейской части СССР // Тр. ГИН. 1967. Вып. 156. 241 с.
14. *Величко А.А.* Угличские дислокации и их место среди типов ледниковой тектоники // Бюл. Комис. по изуч. четвертич. периода. 1964. № 29. С. 90–101.
15. *Нуждин Б.В.* Глубинная эрозия в верховье Волги // Природа. 1968. № 5. С. 90–91.
16. *Нуждин Б.В.* Особенности рельефа песчаных поверхностей Верхневолжских пойм и террас // Уч. зап. ЯГПИ. 1976. Вып. 149. Проблемы геоморфологии и гидрологии северной половины Русской равнины. С. 13–19.
17. *Дашевский В.В.* Углич // Путеводитель экскурсий “Москва – Верхняя Волга”. М.: КИЧП АН СССР, Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, ИГ АН СССР, геофак МГУ, ГУЦР МинГео СССР, 1969. С. 27–30.
18. *Цыганов А.А.* Очерки по физической географии Твери. Тверь: Тверской гос. ун-т, 2018. 226 с.
19. Геологическая карта СССР масштаба 1:200000. Серия Московская. Лист О-36-XXXVI. Объяснительная записка. Сост. Л.Т. Семененко, Ф.М. Тительман. М.: МинГео СССР, ГУЦР, 1970. 125 с.
20. *Яцкевич З.В., Русс А.Н., Бернштейн В.Г., Далина М.А.* Геологическое строение, гидрогеологические и инженерно-геологические условия центральной части Калининской области РСФСР /отчет партии № 373, составлен по материалам съемки масштаба 1:50000 и 1:100000, произведенной партиями № 347–349 в 1956–1960 гг./. Л.: МинГео и охраны недр СССР, 5 ГУ, 1961. Т. I. 600 с.
21. *Потехин А.И., Потехина В.С., Козлова О.Н., Семененко Л.Т.* Отчет Калининской партии о геолого-гидрогеологической съемке масштаба 1:200000, проведенной на территории листа О-36-XXX в 1964–1965 гг. М.: МинГео СССР, 1965. Т. I. 340 с.
22. *Дворцов П.А., Бородин Н.Г., Родионова Г.Д.* Отчет Конаковской партии о геолого-гидрогеологической съемке масштаба 1: 200000, проведенной на территории листа О-37-XXV в 1963–1964 гг. /Калининская область/. М.: ГУЦР, 1965. Т. I. 352 с.
23. Геологическая карта СССР масштаба 1:200000. Серия Московская. Лист О-37-XXV. Объяснительная записка. Сост.: *Н.Г. Бородин, Г.Д. Родионова, П.А. Дворцов*. М.: МинГео СССР, ТГУЦР, 1976. 148 с.
24. Геологическая карта СССР масштаба 1:200000. Серия Московская. Лист О-36-XXX. Объяснительная записка. Сост. К.К. Рождественская, И.Н. Коваленко. М.: МинГео СССР, ТГУЦР, 1978. 128 с.
25. *Симонова Г.Ф., Цукурова А.М., Смирнов С.С., Строк Н.И., Квятковская Г.Н., Трещалина М.И.* Отчет Кимрской геолого-съемочной партии о комплексной геологической съемке масштаба 1:200000 в пределах листа О-37-XXVI, проведенной в 1963 году /Калининская и Московская области/. М.: ГУЦР, 1964. Т. I. 335 с.
26. Геологическая карта СССР масштаба 1:200000. Серия Московская. Лист О-37-XXVI. Объяснительная записка. Сост. Г.Ф. Симонова, Н.С. Лачинова. М.: МинГео СССР, ТГУЦР, 1977. 135 с.
27. *Дашевский В.В., Цукурова А.М., Коваленко И.Н., Лаврович О.Н., Бастракова Н.В., Константинова Л.И., Бердников В.В.* Отчет Угличско-Рыбинской геолого-гидрогеологической партии о комплексной съемке масштаба 1:200000 листов О-37-XV /южная половина/ и О-37-XXI, проведенной в 1966 – 1970 гг. /Ярославская область/. М.: МинГео РСФСР, ГУЦР, 1971. Т. I. 656 с.
28. Геологическая карта СССР масштаба 1:200000. Серия Московская. Лист О-37-XIV, XV, XVI, XXI. Объяснительная записка. Сост. Н.Г. Бородин, О.Н. Шаталова, В.В. Дашевский, Т.Д. Соколова, Н.В. Бастракова. М.: МинГео СССР, “Центргеология”, 1985. 219 с.
29. *Спиридонов А.И.* Геоморфология // Геология СССР. Т. IV. М.: Недра, 1971. С. 679–706.
30. *Бреслав С.Л.* Четвертичная система // Геология СССР. Т. IV. М.: Недра, 1971. С. 489–636.
31. *Обедиентова Г.В.* Эрозионные циклы и формирование долины Волги. М.: Наука, 1977. 240 с.
32. *Макеев П.С.* Основные этапы развития долины Верхней Волги // Очерки по истории геолого-географических знаний. Ярославль: ЯГПИ, Ярославское отделение ГО СССР, 1968. С. 221–226.
33. *Спиридонов А.И.* Геоморфология Европейской части СССР. М.: Высш. школа, 1978. 335 с.
34. *Ауслендер В.Г.* Стратиграфия: четвертичная система // ГГК СССР. М-б 1:1000000 (нов. серия). Объяснительная записка. Лист О-(35), 36 – Ленинград. Ред. В.И. Гинзбург, Е.И. Ефимова. Л.: МинГео СССР, ВСЕГЕИ, ПГО “Севзапгеология”, 1989. С. 98–127.
35. *Кямяря В.В., Мохов В.В., Семенова Л.Р.* Стратиграфия: четвертичная система // ГГК РФ. М-б 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европей-

ская. Лист О-35 – Псков, (N-35), О-36 – Санкт-Петербург. Объяснительная записка. Ред. Е.А. Зотова. СПб.: Карт. ф-ка ВСЕГЕИ, 2012. С. 149–194.

36. *Кротова-Путинцева А.Е.* Геоморфология // ГГК РФ. М-б 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист О-35 – Псков, (N-35), О-36 – Санкт-Петербург. Объяснительная записка. Ред. Е.А. Зотова. СПб.: Карт. ф-ка ВСЕГЕИ, 2012. С. 229–252.

37. Государственная геологическая карта РФ. М-б 1:1000000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист О-37 – Ярославль. Объяснительная записка. Отв. исп. О.И. Застрожнова. СПб.: Карт. ф-ка ВСЕГЕИ, 2016. 135 с.

38. *Квасов Д.Д.* Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л.: Наука. Ленингр. отд., 1975. 278 с.

# Geomorphology of the Upper Volga River valley: study history and state of the problem (paper 2. The Upper Volga Lowland)

**D. V. Baranov**[a,#]

[a] *Institute of geography RAS, Moscow, Russia*

[#] *E-mail: dm_baranov@igras.ru*

Work with published and stock materials on the geomorphology of the Volga River valley within the Upper Volga Lowland made it possible to divide the history of research into three stages. The first stage includes the works of the 1930s–1960s, in which researchers present the results of geomorphological observations in different parts of the valley and offer the first versions of the valley's evolution. We separate the results of large-scale geological surveys of the 1950s–1980s into a separate stage – the time of obtaining detailed geological information about the valley's structure. Since the end of the second half of the twentieth century, a gradual transition has been made to the third stage of research – the compilation of generalizations, the correlation of available materials, and the formulation of the main hypotheses about the Volga River valley evolution within the Upper Volga Lowland. We established that by the beginning of the XXI century there was no common understanding of either the morphology or the age of the Volga River valley in the Upper Volga Lowland. Nevertheless, based on a significant amount of factual material, we suggest our view of the river valley geomorphological structure. The Volga River valley in the Upper Volga Lowland has a floodplain and a staircase of three terraces. The floodplain should include the surfaces of narrow fragments along the channel up to 6 m high above the shoreline before flooding. The low (first) terrace is expressed at an altitude of 8–10 m above the shoreline. The middle (second) terrace has an extremely uneven downstream height: we refer to it levels from 10 to 15 m above the Volga River's edge before flooding. We suggest that a wide terrace at a height of 15–17 m above the Volga River's edge is the highest one, the third above the floodplain. The features of the geological structure of higher terrace-like surfaces do not allow them to be considered as terraces above the floodplain. We attribute them to the interfluve complex. There is also no single idea regarding the age of the Volga River valley within the Upper Volga Lowland – the beginning of its formation is attributed to the Late Moscow, and to the Early Valdai, and the Late Valdai (LGM). None of the known reconstructions have been supported by numerical dating of the terrace alluvium. To understand the features of the development of the Volga River valley needs a convincing chronological justification.

*Keywords:* Volga River, Tver, Uglich, floodplain, river terrace, river valley

## ACKNOWLEDGEMENTS

The research was supported by the Russian Science Foundation (project No. 17-17-01289); when processing the materials, the infrastructure of the Institute of Geography of the RAS was used within the framework of the state-ordered research theme of the Institute of Geography RAS No. 0148-2019-0005. The author thanks the library staff of the Institute of Geography of the RAS, Ekaterina Mukhametshina (IG RAS) and Dmitrii Shal'nev (MSU) for their help in finding the necessary literature.

## REFERENSES

1. Mirchink G.F. *Chetvertichnaya istoriya doliny r. Volgi vyshe Mologi* (Quaternary history of the Volga River valley upstream Mologa). *Trudy komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda* (Proceedings of the Commission for Study of the Quaternary). 1935. Vol. IV. No. 2. P. 5–36. (in Russ.)

2. Mirchink G.F. *Sovremennyi alliuvii ravninnykh rek i ego geologicheskaya istoriya* (Modern alluvium of lowland rivers and its geological history). *Byulleten' Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*. 1948. No. 11. P. 5–16. (in Russ.)

3. Vasil'eva I.V. *Geomorfologiya tsentral'noi chasti Kalininskoi oblasti* (Geomorphology of the central part of the Kalinin region). *Uchenye zapiski MGU*. 1938. Vol. 23. Geografiya. P. 66–98. (in Russ.)

4. Dik N.E. *Geomorfologiya yugo-vostochnoi chasti Kalininskoi oblasti* (Geomorphology of the southeastern part of the Kalinin region). *Uchenye zapiski MGU*. 1938. Vol. 23. Geografiya. P. 158–173. (in Russ.)

5. Spiridonov A.I. *Geomorfologiya severo-vostochnoi chasti Kalininskoi oblasti* (Geomorphology of the northeastern part of the Kalinin region). *Uchenye zapiski MGU*. Vol. 23. Geografiya. P. 112–157. (in Russ.)

6. Preobrazhenskii N.A. *Chetvertichnye otlozheniya Kalininsko-Yaroslavskogo Povolzh'ya* (Quaternary deposits of the Kalinin-Yaroslavl Volga region). *Trudy Geologicheskogo upravleniya Bashkirskoi ASSR* (Proceedings of the Geological Administration of the Bashkir ASSR). 1941. Vol. 2. Materialy po chetvertichnym otlozheniyam Bashkirii i Povolzh'ya. P. 3–44. (in Russ.)

7. Novskii V.A. *Novye dannye o mezhdumorennykh otlozheniyakh i terrasakh Rybinskogo raiona* (New data on intermoraine sediments and terraces of the Rybinsk district). *Byulleten' Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*. 1939. No. 5. P. 63–67. (in Russ.)

8. Novskii V.A. *Chetvertichnye otlozheniya Rybinskogo raiona* (Quaternary sediments of Rybinsk district). *Uchenye zapiski YaGPI* (Scientific notes of the YSPU). 1945. Vol. VI. *Geografiya i estestvoznanie*. P. 3–25. (in Russ.)

9. Novskii V.A. *Materialy k geomorfologii i chetvertichnoi geologii Yaroslavskoi oblasti* (Data for geomorphology and quaternary geology of Yaroslavl region). *Uchenye zapiski YaGPI* (Scientific notes of the YSPU). 1958. Vol. 20. Geografiia. P. 63–96. (in Russ.)

10. Obedientova G.V. *Osnovnye osobennosti geomorfologii doliny Volgi v verkhov'e* (The main features of the geomorphology of the Volga valley in the upper reaches). *Voprosy paleogeografii i geomorfologii basseinov Volgi i Urala*. M.: AN SSSR (Publ.), 1962. P. 5–40. (in Russ.)

11. Obedientova G.V. *Geomorfologicheskaya karta doliny Volgi i prilegayushchikh territorii* (Geomorphological map of the Volga valley and adjacent territories). Scale: 1:2000000. Yu.A. Meshcheryakov (Ed.). Moscow: Institut geografii AN SSSR (Publ.), 1965. (in Russ.)

12. Obedientova G.V. *Granitsy i kharakter oledeneniya na vostoke tsentral'noi chasti Russkoi ravniny* (Borders and nature of glaciation in the east of the central part of the Russian Plain). *Byulleten' Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*. 1965. No. 30. P. 111–127. (in Russ.)

13. Moskvitin A.I. *Stratigrafiya pleistotsena Evropeiskoi chasti SSSR* (Pleistocene stratigraphy of the European part of the USSR). M.: Nauka (Publ.), 1967. 241 p. (in Russ.)

14. Velichko A.A. *Uglichskie dislokatsii i ikh mesto sredi tipov lednikovoi tektoniki* (Uglich dislocations and their place among the types of glacial tectonics). *Byulleten' Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*. 1964. No. 29. P. 90–101. (in Russ.)

15. Nuzhdin B.V. *Glubinnaya eroziya v verkhov'e Volgi* (Deep erosion in the upper Volga). *Priroda*. 1968. No. 5. P. 90–91. (in Russ.)

16. Nuzhdin B.V. *Osobennosti rel'efa peschanykh poverkhnostei Verkhnevolzhskikh poim i terras* (Landscape features of sandy surfaces of the Upper Volga floodplains and terraces). *Uchenye zapiski YaGPI imeni K.D. Ushinskogo* (Scientific notes of the YSPU named after K.D. Ushinsky). 1976. Vol. 149. *Problemy geomorfologii i gidrologii severnoi poloviny Russkoi ravniny*. P. 13–19. (in Russ.)

17. Dashevskii V.V. *Uglich* (Uglich). *Putevoditel' ekskursii "Moskva – Verkhnyaya Volga"* (Excursion guide "Moscow – Upper Volga"). M.: KIChP AN SSSR, In-t merzlotovedeniya SO AN SSSR, IG AN SSSR, geograficheskii fakul'tet MGU, GUTcR MinGeo SSSR (Publ.), 1969. P. 27–30. (in Russ.)

18. Tsyganov A.A. *Ocherki po fizicheskoi geografii Tveri* (Essays on the physical geography of Tver'). Tver': Tverskoi gos. un-t (Publ.), 2018. 226 p. (in Russ.)

19. *Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200000. Seriya Moskovskaya. List O-36-XXXVI. Ob"yasnitel'naya zapiska*. Sost. L.T. Semenenko, F.M. Titel'man. (Geological map of the USSR on a scale of 1:200000. Moscow series. Sheet O-36-XXXVI. Explanatory letter. L.T. Semenenko and F.M. Titelman (Eds.)). Moscow: MinGeo SSSR, GUTcR (Publ.), 1970. 125 p. (in Russ.)

20. Yatskevich Z.V., Russ A.N., Bernshtein V.G., and Dalina M.A. *Geologicheskoe stroenie, gidrogeologicheskie i inzhenerno-geologicheskie usloviya tsentral'noi chasti Kalininskoi oblasti RSFSR. Otchet partii No. 373, sostavlen po materialam s"emki masshtaba 1:50000 i 1:100000, proizvedennoi partiyami No. 347–349 v 1956–1960 gg.* (Geological structure, hydrogeological and engineering-geological conditions of the central part of the Kalinin region of the RSFSR. Batch report No. 373, compiled on the basis of survey materials at a scale of 1:50000 and 1:100000, made by batches No. 347–349 in 1956–1960). Leningrad: MinGeo i okhrany nedr SSSR, 5 GU (Publ.), 1961. Vol. I. 600 p. (in Russ.)

21. Potekhin A.I., Potekhina V.S., Kozlova O.N., and Semenenko L.T. *Otchet Kalininskoi partii o geologo-gidrogeologicheskoi s"emke masshtaba 1:200000, provedennoi na territorii lista O-36-XXX v 1964–1965 gg.* (Report of the Kalinin party on geological and hydrogeological survey at a scale of 1:200000, carried out on the territory of sheet O-36-XXX in 1964–1965). Moscow: MinGeo SSSR (Publ.), 1965. Vol. I. 340 p. (in Russ.)

22. Dvortsov P.A., Borodin N.G., and Rodionova G.D. *Otchet Konakovskoi partii o geologo-gidrogeologicheskoi s"emke masshtaba 1:200000, provedennoi na territorii lista O-37-XXV v 1963–1964 gg. Kalininskaya oblast'* (Report of the Konakovo party on geological and hydrogeological survey at a scale of 1:200000, carried out on the territory of sheet O-37-XXV in 1963–1964. Kalinin region). Moscow: GUTcR (Publ.), 1965. Vol. I. 352 p. (in Russ.)

23. *Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200000. Seriya Moskovskaya. List O-37-XXV. Ob"yasnitel'naya zapiska*. Sost.: N.G. Borodin, G.D. Rodionova, and P.A. Dvortsov. (Geological map of the USSR on a scale of 1:200000. Moscow series. Sheet O-37-XXV. Explanatory letter. N.G. Borodin, G.D. Rodionova, and P.A. Dvortcov (Eds.)). Moscow: MinGeo SSSR, TGUTcR (Publ.), 1976. 148 p. (in Russ.)

24. *Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200000. Seriya Moskovskaya. List O-36-XXX. Ob"yasnitel'naya zapiska*. Sost. K.K. Rozhdestvenskaya, I.N. Kovalenko (Geological map of the USSR on a scale of 1:200000. Moscow Series. Sheet O-36-XXX. Explanatory letter. K.K. Rozhdestvenskaya and I.N. Kovalenko (Eds.)).

Moscow: MinGeo SSSR, TGUTcR (Publ.), 1978. 128 p. (in Russ.)

25. Simonova G.F., Tsukurova A.M., Smirnov S.S., Strok N.I., Kvyatkovskaya G.N., and Treshchalina M.I. *Otchet Kimrskoi geologo-s"emochnoi partii o kompleksnoi geologicheskoi s"emke masshtaba 1:200000 v predelakh lista O-37-XXVI, provedennoi v 1963 godu. Kalininskaya i Moskovskaya oblasti.* (Report of the Kimry geological survey team on a comprehensive geological survey at a scale of 1:200000 within sheet O-37-XXVI, carried out in 1963. Kalinin and Moscow regions). Moscow: GUTcR (Publ.), 1964. Vol. I. 335 p. (in Russ.)
26. *Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200000. Seriya Moskovskaya. List O-37-XXVI. Ob"yasnitel'naya zapiska. Sost.* G.F. Simonova, N.S. Lachinova (Geological map of the USSR on a scale of 1:200000. Moscow series. Sheet O-37-XXVI. Explanatory letter. G.F. Simonova and N.S. Lachinova (Eds.)). Moscow: MinGeo SSSR, TGUTcR (Publ.), 1977. 135 p. (in Russ.)
27. Dashevskii V.V., Tsukurova A.M., Kovalenko I.N., Lavrovich O.N., Bastrakova N.V., Konstantinova L.I., and Berdnikov V.V. *Otchet Uglichsko-Rybinskoi geologo-gidrogeologicheskoi partii o kompleksnoi s"emke masshtaba 1:200000 listov O-37-XV (yuzhnaya polovina) i O-37-XXI, provedennoi v 1966–1970 gg. Yaroslavskaya oblast'* (Report of the Uglich-Rybinsk Geological and Hydrogeological Party on a comprehensive survey at a scale of 1: 200000 sheets O-37-XV (southern half) and O-37-XXI, carried out in 1966–1970. Yaroslavl region). Moscow: MinGeo RSFSR, GUTcR (Publ.), 1971. Vol. I. 656 p. (in Russ.)
28. *Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200 000. Seriya Moskovskaya. List O-37-XIV, XV, XVI, XXI. Ob"yasnitel'naya zapiska.* Sost. N.G. Borodin, O.N. Shatalova, V.V. Dashevskii, T.D. Sokolova, and N.V. Bastrakova (Geological map of the USSR on a scale of 1:200000. Moscow series. Sheet O-37-XIV, XV, XVI, XXI. Explanatory letter. N.G. Borodin, O.N. Shatalova, V.V. Dashevskii, T.D. Sokolova, and N.V. Bastrakova (Eds.)). Moscow: MinGeo SSSR, Tsentrgeologiya (Publ.), 1985. 219 p. (in Russ.)
29. Spiridonov A.I. *Geomorfologiya* (Geomorphology). *Geologiya SSSR. T. IV.* Moscow: Nedra (Publ.), 1971. P. 679–706. (in Russ.)
30. Breslav S.L. *Chetvertichnaya sistema* (Quaternary system). *Geologiia SSSR. T. IV* (Geology of the USSR. Vol. IV). Moscow: Nedra (Publ.), 1971. P. 489–636. (in Russ.)
31. Obedientova G.V. *Erozionnye tsikly i formirovanie doliny Volgi* (Erosional cycles and formation of the Volga valley). Moscow: Nauka (Publ.), 1977. 240 p. (in Russ.)
32. Makeev P.S. *Osnovnye etapy razvitiya doliny Verkhnei Volgi* (The main stages of the Upper Volga valley development). *Ocherki po istorii geologo-geograficheskikh znanii* (Essays on the history of geological and geographical knowledge). Yaroslavl: YaGPI, Yaroslavskoe otdelenie GO SSSR (Publ.), 1968. P. 221–226. (in Russ.)
33. Spiridonov A.I. *Geomorfologiya Evropeiskoi chasti SSSR* (Geomorphology of the European part of the USSR). Moscow: Vysshaya shkola (Publ.), 1978. 335 p. (in Russ.)
34. Auslender V.G. *Stratigrafiya: chetvertichnaya sistema* (Stratigraphy: Quaternary system). *GGK SSSR. M-b 1:1000000 (nov. seriya). Ob"yasnitel'naya zapiska. List O-(35),36–Leningrad* (HGM USSR on a scale of 1:1000000 (new series). Explanatory letter. Sheet O-(35), 36 – Leningrad. V.I. Ginzburg, E.I. Efimova (Eds.)). Leningrad: Mingeo SSSR, VSEGEI, PGO "Sevzapgeologiya" (Publ.), 1989. P. 98–127. (in Russ.)
35. Kyamyarya V.V., Mokhov V.V., and Semenova L.R. *Stratigrafiya: chetvertichnaya sistema* (Stratigraphy: Quaternary system). *GGK RF. M-b 1:1000000 (tret'e pokolenie). Seriya Tsentral'no-Evropeiskaya. List O-35–Pskov, (N 35), O-36–Sankt-Peterburg. Ob"yasnitel'naya zapiska* (HGM RF on a scale of 1:1000000 (third edition). Central European series. Sheet O-35 - Pskov, (N-35), O-36 - St. Petersburg. Explanatory letter. E.A. Zotova (Ed.)). Saint Petersburg: Kart. f-ka VSEGEI (Publ.), 2012. P. 149–194. (in Russ.)
36. Krotova-Putintseva A.E. *Geomorfologiya* (Geomorphology) In: *GGK RF. M-b 1:1000000 (tret'e pokolenie). Seriya Tsentral'no-Evropeiskaya. List O-35–Pskov, (N 35), O-36–Sankt-Peterburg. Obiasnitelnaya zapiska.* (HGM RF on a scale of 1:1000000 (third edition). Central European series. Sheet O-35 – Pskov, (N-35), O-36 – St. Petersburg. Explanatory letter. E.A. Zotova (Ed.)). Saint Petersburg: Kart. f-ka VSEGEI (Publ.), 2012. P. 229–252. (in Russ.)
37. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta RF. Masshtab 1:1000000 (tret'e pokolenie). Seriya Tsentral'no-Evropeiskaya. List O-37 – Yaroslavl'. Ob"yasnitel'naya zapiska. Otv. isp.* O.I. Zastrozhnova (State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1000000 (third generation). Central European series. Sheet O-37 – Yaroslavl. Explanatory letter. O.I. Zastrozhnova (Ed.)). Saint Petersburg: Kart. f-ka VSEGEI (Publ.), 2016. 135 p. (in Russ.)
38. Kvasov D.D. *Pozdnechetvertichnaya istoriya krupnykh ozer i vnutrennikh morei Vostochnoi Evropy* (Late Pleistocene history of large lakes and inner seas of Eastern Europe). Leningrad: Nauka (Publ.), 1975. 278 p. (in Russ.)

ГЕОМОРФОЛОГИЯ, 2022, том 53, № 1, с. 49–64

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.435.1→551.312.3(-924.72/.76)

# РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ПОЛУГОРНОЙ РЕКЕ (р. БЕЛАЯ, ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ) (СТ. 1. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ РУСЛА И СТОК ВОДЫ КАК ИХ ОСНОВНОЙ ФАКТОР)

© 2022 г. И. Н. Каргаполова[1,*], И. В. Крыленко[2,**]

[1]ООО ЭКОНГинжиниринг, Москва, Россия

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

*E-mail: ikargapolova@gmail.com

**E-mail: i-krylenko@yandex.ru

Поступила в редакцию 28.05.2021 г.
После доработки 21.06.2021 г.
Принята к публикации 11.10.2021 г.

Река Белая – полугорная река Западного Кавказа со слабоустойчивым руслом, пересекающим аккумулятивную предгорную равнину. Цель работы – количественный анализ горизонтальных и вертикальных деформаций русла р. Белой с оценкой воздействия основных факторов – стока воды и наносов. Исследование основано на сопоставлении данных дистанционного зондирования Земли, наземных наблюдений и съемок с беспилотного летательного аппарата за период 2001–2020 гг. Определены зависимости интенсивности размыва берегов от колебаний стока воды. Установлено, что скорость размыва берегов имеет наиболее тесную связь с количеством высоких паводков и их продолжительностью. Скорость размыва берегов на меандрирующем участке р. Белая высока, ее средние значения превышают 20 м/год, а максимальные достигают 70–80 м/год. Максимальные темпы размыва берегов наблюдаются в высокие паводки после затопления гребней крупных гряд. При экстремальных паводках редкой обеспеченности после выхода воды на пойму происходят радикальные изменения русла: “уход” основного стока в пойменные протоки и спрямление излучин.

*Ключевые слова:* полугорные реки, эрозия берегов, сток воды, меандрирование

**DOI:** 10.31857/S0435428122010072

## ВВЕДЕНИЕ

Русла полугорных рек – динамичные слабоустойчивые системы, которые быстро реагируют на воздействие природных и антропогенных факторов [1–8]. Мониторинг за изменением русел рек в предгорьях позволяет наблюдать их реакцию на основные факторы – сток воды и сток наносов – в масштабе нескольких лет. Для подобных исследований на равнинных реках, где интенсивность русловых деформаций значимо ниже, требуется анализ данных за несколько десятилетий или даже столетий [9–11].

По данным ряда работ [12–19], на полугорных реках с гравелистым руслом средние темпы размыва берегов составляют несколько метров в год. По неопубликованным материалам ООО “ЭКОНГинжиниринг”, проводившего мониторинг русловых процессов на отдельных участках западно-кавказских рек Белая, Лаба и Уруп, размывы берегов достигали десятков метров в год, что значительно больше приведенных выше значений. С высокими темпами размыва берегов на реках региона связано большое количество аварийных ситуаций в пределах населенных пунктов и на линейных сооружениях, пересекающих реки. Некоторые из них зафиксированы в опубликованных источниках [20–22]. На р. Белой ООО “ЭКОНГинжиниринг” фиксировал практически ежегодные размывы газопроводов, связанных с горизонтальными деформациями русла. Это говорит о недоучете русловых процессов на реках данного типа из-за слабой изученности русел полугорных рек как для данного региона, так и на территории Российской Федерации в целом.

Цель работы: количественный анализ деформаций русла крупной реки Западного Кавказа – р. Белой – после ее выхода на аккумулятивную предгорную равнину с оценкой воздействия основных факторов, а именно стока воды и наносов. Помимо выявления фоновых закономерностей была оценена роль экстремальных природных событий: в 2002 г. на реке отмечался паводок с обеспеченностью максимального расхода воды около 1%, а в 2011–2012 гг. за счет оползневых и селевых процессов в верховьях, в реку поступило максимальное количество наносов.

В серии из двух статей рассмотрены особенности русловых процессов р. Белой. В первой статье рассмотрены горизонтальные деформации русла, влияние стока воды на интенсивность размыва берегов, во второй – вертикальные деформации русла, оценка влияния стока наносов и вклада карьерных разработок в русловые деформации. Подобное исследование в рамках последних 20 лет стало возможным благодаря наличию большого количества информации, полученной при проведении дистанционного зондирования, съемок с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), гидрологических наблюдений и мониторинга русловых процессов, проводимых на местности в последние годы.

В задачи данной статьи входило: 1) определить интенсивность горизонтальных деформаций под воздействием колебаний стока воды; 2) выяснить, какие именно параметры стока воды определяют интенсивность размыва берегов; 3) оценить реакцию русла реки на экстремальные паводки редкой обеспеченности.

## УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РУСЛА БЕЛОЙ

Для оценки интенсивности горизонтальных деформаций русла воды был выбран 15-километровый участок реки, расположенный в 30 км ниже плотины Белореченского гидроузла, в 30–45 км от устья. Участок находится у населенных пунктов Садовое и Белое, координаты начальных и конечных точек 44.98° с.ш., 39.68° в.д. и 45.03° с.ш., 39.65° в.д. соответственно. Площадь водосбора 5500 км$^2$. На всем протяжении участка русло свободно меандрирует и представляет собой серию из 11 излучин. Выбор меандрирующего участка в пределах аккумулятивной равнины обусловлен тем, что связь размыва берегов и колебаний стока проще улавливается на излучинах (чем, например, на разветвленных участках русла), где размыв вогнутых берегов является однонаправленным последовательным процессом.

**Краткая геоморфологическая характеристика.** На р. Белой современный пояс руслоформирования, включающий пойму и русло, имеет ширину 1.5–2.0 км. Пойма преимущественно высокая, высотой 2.5–3.5 м, двусторонняя, сегментно-островная, с выровненной поверхностью и старичными понижениями шириной до 20 м, глубиной до 1.5–1.8 м, в паводки заполненными водой. По отдельным понижениям в высокие паводки возникают сильные течения, заметные на местности по навалам карчей, наброскам русловых отложений, песка и гальки. Сложение поймы хорошо видно в размываемых откосах в виде чередования слоев руслового аллювия (гальки, песка), сверху перекрытых пойменными опесчаненными суглинками.

Русло Белой представляет собой комбинацию меженного русла и крупных прирусловых отмелей, которые отчетливо дешифрируются по космическим снимкам по отсутствию растительности (рис. 1). Общая ширина русла от 150 до 450 м. Водный поток в межень занимает узкую, наиболее глубокую часть русла. Меженное русло (русловая ложбина) имеет ширину от 40–60 м на плесах до 90–120 м на расширениях у перекатов. Обсохшая в межень часть русла занята прирусловыми отмелями, образующими протяженные (до 500 м) и широкие (120–300 м) побочни. Превышение крупных гряд над меженным урезом значительное и составляет до 2.0–2.5 м, что сопоставимо с высотой поймы. Местами на перекатных участках отмечено образование осередков между рукавами меженного потока (рис. 1).

Русло сложено разнородным аллювием с преобладанием гальки разного размера и песка. Преобладающий размер фракций имеет диаметр 25–50 мм. Средняя галька занимает более 30% от общей площади русла. Несколько меньше (около 30% от общей площади) занимают песчаные отложения, которые также присутствуют в виде заполнителя в пробах крупнообломочного материала. На прирусловых склонах отмелей встречается отмостка из крупной гальки с включениями мелкого валунника.

Вдоль реки закономерно чередуются плесовые лощины с характерными меженными глубинами 2.5–3.5 м в вершинах излучин и перекаты на вставках между излучинами с глубинами на гребне перекатов менее 0.5–1.0 м. Наибольшие глубины отмечаются у заломов, где в результате локальных размывов возникают ямы глубиной до 5–6 м.

Уклон реки составляет в среднем 0.8–0.9‰, на перекатах в межень до 3.0–4.6‰. Скорость течения в межень на перекатных участках достигает 1.5–2.0 м/с, в половодье – до 3.5–4.0 м/с на стрежне.

**Краткая характеристика водного режима.** Для р. Белой характерны растянутые половодья в весенне-летний период и дождевые паводки в любое время года. Начало половодья, как правило, приходится на вторую декаду марта, окончание – на середину июня. Часто на волну половодья накладываются дождевые паводки. В отдельные годы половодье не выражено или выражено слабо. Максимальные годовые значения расходов и уровней воды, как правило, вызваны интенсивными осадками и могут наблюдаться в течение всего года. Чаще максимумы приходятся на май–июнь и сентябрь–октябрь. Среднее количество паводков различной высоты и продолжительности составляет 15–20 за год; количество высоких паводков, при которых полностью затапливаются прирусловые отмели – 6–7 за год.

**Рис. 1.** Русло р. Белой, излучины по состоянию на 23.11.2020 г. (съемка БПЛА), красным пунктиром выделены размываемые берега. На вставках: 1 – нижнее крыло излучины с размываемым левый вогнутым берегом, где отмечаются размыв трубопроводов и переуглубление русла; 2 – стволы деревьев вдоль динамической оси потока у вогнутого берега излучины; 3 – крупный залом на выпуклом берегу излучины.

Ближайшим стационарным постом на р. Белой, где ведутся наблюдения за стоком воды, является пост р. Белая–Белореченский гидроузел. Сток воды, поступающий к Белореченской ГЭС, разделяется на две части: первая сбрасывается ниже по течению (на участок изысканий), вторая отводится по деривационному каналу в Ганжинское водохранилище. Среднегодовые расходы притока р. Белой к гидроузлу 110 м$^3$/с; среднегодовые расходы, сбрасываемые в реку ниже по течению, – порядка 62 м$^3$/с. Максимальный сток практически полностью пропускается транзитом, в период половодья и паводков канал забирает около 100 м$^3$/с, в соответствии с правилами эксплуатации – до 158 м$^3$/с. Расход 1%-ной обеспеченности согласно правилам составляет 1970 м$^3$/с [23].

На рис. 2 представлены несколько гидрографов за характерные по водности годы: 2002 г. с экстремальным паводком, 2010 г. с высокими паводками и низким средним стоком, 2013 и 2014 г. с низкими паводками и относительно высоким средним стоком. Из рисунка хорошо видно, что паводки могут наблюдаться в течение всего года, в том числе в зимние месяцы.

Продолжительность паводков на р. Белой от 2–3 дней до 4–5 нед, при этом максимальные расходы наблюдаются, как правило, несколько часов.

В таблице 1 приведены максимальные среднесуточные и срочные (в скобках) значения расходов воды в нижнем бьефе Белореченского гидроузла, которые соответствуют расходам воды на рассматриваемом участке.

Среднее значение максимальных среднесуточных расходов 780 м$^3$/с. Максимальный среднесуточный расход воды за весь период наблюдений отмечался в июне 2002 г., превысив расход 1%-ной обеспеченности, и на рассматриваемом участке р. Белой достиг среднесуточного значения 1560 м$^3$/с. При этом отмечались мгновенные значения до 1920 м$^3$/с.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Временной интервал исследований горизонтальных русловых деформаций составил 20 лет – период с 2001 по 2020 г. Весь период был разбит на 8 интервалов, границы которых были обусловлены наличием, прежде всего, данных дистанционного зондирования Земли и съемкой с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Выбранные

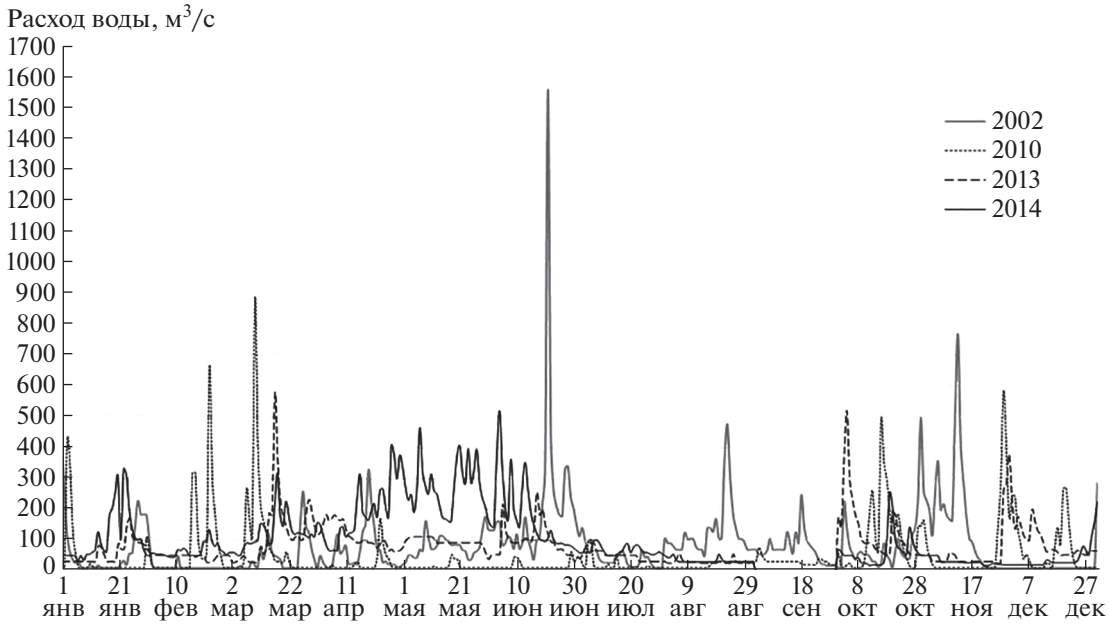



**Рис. 2.** Гидрографы р. Белая в нижнем бьефе Белореченского гидроузла, среднесуточные расходы воды.

временные интервалы включали 2–4 года, в пределах которых наблюдалось от нескольких до нескольких десятков высоких паводков. Обозначенные интервалы приведены ниже в табл. 2 и 3.

Использовались данные спутников Aster 14.05.2001 (15 м/пикс), Landsat7 30.07.2002 (15 м/пикс), QuickBird 12.07.2003 и 03.10.2007 (0.6 м/пикс), WorldView 09.08.2010 (0.4 м/пикс), Spot5 10.12.2012 и 30.05.2012 (3 м/пикс), Spot7 14.11.2014 (2 м/пикс), Pleiades 31.07.2016 и 14.04.2018 (0.5 м/пикс) и другие. Кроме того, на отдельных участках использовались данные наземной топографической съемки и съемки БПЛА за 09.04.2016 и 20.11.2020 (0.05 м/пикс). Все материалы были сопоставлены в единой системе координат СК42, по всем снимкам проводилось визуальное дешифрирование русла р. Белой. Для каждой даты было оцифровано меженное положение русла для дальнейшего сопоставления и измерения величин размыва берегов.

Для определения скорости размыва вогнутых берегов излучин учитывалось расстояние между бровкой размываемого берега предшествующего и последующего временного среза. Среднее смещение фронта размыва берега определялось как частное от площади размытой поймы и ширины фронта размыва. Погрешность измерений максимальна для ранних снимков с невысоким разрешением и составляет 15 м (для периода 2001–2003 гг., включающего снимок Aster), для остальных периодов: 2–4 м (2010–2012, 2012–2014, 2014–2016) и 0.5–0.8 м (2003–2007, 2007–2010, 2016–2018, 2018–2020) при сопоставлении снимков высокого разрешения и БПЛА.

Для оценки показателей стока в рамках настоящей работы были использованы данные гидрологического поста р. Белая–Белореченский гидроузел, а именно среднесуточные расходы воды, поступающие в нижний бьеф. Наличие данных о ежедневных расходах воды за рассматриваемый 20-летний период позволило рассчитать необходимые показатели водного стока, использованные далее для расчетов: средние и максимальные расходы воды, количество паводков и дней с рас-

**Таблица 1.** Характерные расходы воды р. Белой в нижнем бьефе Белореченского гидроузла, в скобках указаны максимальные срочные расходы

| Период наблюдений | Максимальный измеренный расход воды 21.06.2002, м³/с | Максимальный расчетный расход 1%-ной обеспеченности, м³/с | Среднее из максимальных, м³/с | Средний годовой, м³/с | Расход воды при затоплении всего русла выше верхушек побочней, м³/с |
|---|---|---|---|---|---|
| 1970–2020 | 1560 (1920) | 1518 (1970) | 780 (880) | 62 | 280 |

**Таблица 2.** Параметры стока воды за рассматриваемые периоды, выбранные для установления связи со скоростью размыва берегов

| Интервал | Расход воды за интервал, м$^3$/с | | Количество паводков с расходом воды выше 280 м$^3$/с | Продолжительность расходов воды более 280 м$^3$/с, дни |
|---|---|---|---|---|
| | средний | максимальный | | |
| 14.05.2001–12.07.2003 | 77 | 1560 | 23 | 47 |
| 12.07.2003–03.10.2007 | 79 | 1050 | 46 | 89 |
| 03.10.2007–09.08.2010 | 51 | 885 | 15 | 30 |
| 09.08.2010–30.09.2012 | 57 | 1218 | 13 | 26 |
| 30.09.2012–14.11.2014 | 45 | 841 | 10 | 12 |
| 14.11.2014–31.07.2016 | 49 | 677 | 7 | 14 |
| 31.07.2016–14.04.2018 | 63 | 718 | 11 | 16 |
| 14.04.2018–23.11.2020 | 40 | 951 | 9 | 15 |
| Среднее значение за год | 59 | 755 | 6.7 | 12.7 |

ходами выше затопления макрогряд за назначенные временные интервалы. Эти характеристики были определены для каждого из 8 временных интервалов (табл. 2).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Выбор параметров стока воды, при которых наблюдаются максимальные деформации русла.** Известно, что для русел большинства рек водность связана с интенсивностью деформаций русла, в частности, с размывом берегов [24–31]. Сток воды, как правило, пропорционален скорости русловых деформаций, однако, зачастую не ясно, какие именно параметры стока в большей степени коррелируют с береговой эрозией. Ранее на примерах различных равнинных рек установлены связи скоростей размыва берегов с продолжительностью осадков [24], величиной и частотой пиковых расходов воды [25], максимальных расходов, их продолжительностью [26, 28, 30], среднегодовых расходов [27, 29]. Также широко используются понятия руслонаполняющий (в бровках поймы) и руслоформирующий расходов воды [32–34].

В нашей стране чаще используется понятие руслоформирующего расхода, расчет которого с выделением интервалов (верхнего, среднего и нижнего) позволяет теоретически оценить, при каких расходах воды в многолетнем рассмотрении осуществляется наибольший массовый транспорт наносов, и, как следствие, происходят максимальные русловые деформации. Для большинства равнинных рек с весенним и весенне-летним половодьем, действительно, рассчитанные по методике Н.И. Маккавеева руслоформирующие расходы примерно соответствуют максимумам деформаций [1].

Если использовать стандартную методику для нашего участка полугорной реки, то получим, что руслоформирующие воды соответствуют расходам в диапазоне 280–350 м$^3$/с (рис. 3). На местности при достижении этих расходов происходит заполнение русла реки, при котором уровни воды поднимаются выше самых крупных гряд – прирусловых отмелей и побочней. На рис. 3 приведена схема рассчитанного для р. Белой руслоформирующего расхода. На верхней вставке (рис. 3, справа вверху) приведено изображение русла в паводок при расходе воды, соответствующем максимуму на графике; при этом все крупные гряды/прирусловые отмели уже затоплены. На нижней вставке (рис. 3, справа внизу) приведено изображение русла в низкую межень, при обсохших крупных грядах.

В действительности для рассматриваемого участка р. Белой при расходах воды около 280–350 м$^3$/с только начинается массовое перемещение влекомых наносов, когда отложения, слагающие гряды, приходят в движение. Размывы пойменных берегов, наблюдаемые на местности, при этом еще незначительные. Когда глубины воды над гребнями затопленных отмелей достигают 1–1.5 м и становятся сопоставимы с высотой гряд, над ними возникает сплошной поток со скоростью течения до 2.0–3.0 м/с и более, что позволяет перемещать галечные отложения крупностью 1–5 см. С этого момента скорость русловых деформаций и размыв берегов резко увеличиваются. В дальнейшем интенсивность размыва берегов продолжает нарастать по мере подъема воды до пойменных бровок. Интенсивность размыва берега возрастает по мере подъема воды до пойменных бровок, когда расход воды достигает 1000–1100 м$^3$/с.

Таким образом, расходами, определяющими деформации р. Белой на рассматриваемом участ-

**Таблица 3.** Размыв вогнутых берегов излучин, средние по фронту размыва и максимальные (указаны в скобках)

| Интервал | Погрешность оценок, м | Размыв вогнутых берегов, м | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | для каждой из излучин серии с номерами | | | | | | | | | | | для всей серии излучин | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | среднее значение размыва за указанный интервал, м | среднее значение |
| 14.05.2001–12.07.2003 | ±15 | 108 (140) | 80 (90) | 56 (90) | – | 77 (120) | – | – | 54 (75) | 89 (120) | – | 71 (95) | 74 (104) | 34 |
| 12.07.2003–03.10.2007 | ±0.8 | 101 (120) | 114 (150) | 126 (210) | 75 (120) | 140 (220) | 91 (130) | 98 (150) | 110 (145) | 64 (120) | 69 (92) | 95 (140) | 100 (145) | 24 |
| 03.10.2007–09.08.2010 | ±0.8 | 43 (65) | 64 (90) | 40 (65) | 49 (62) | 51 (90) | 53 (90) | 46 (97) | 49 (80) | 10 (18) | 77 (110) | 156 (205) | 58 (88) | 20 |
| 09.08.2010–30.09.2012 | ±4 | 48 (50) | 62 (70) | 43 (50) | 60 (90) | 44 (70) | 70 (95) | 57 (70) | 60 (120) | 37 (60) | – | – | 53 (75) | 24 |
| 30.09.2012–14.11.2014 | ±2 | 30 (35) | 30 (50) | 32 (55) | 29 (60) | 28 (35) | 29 (45) | 43 (80) | 43 (55) | | 23 (30) | 83 (105) | 36 (55) | 17 |
| 14.11.2014–31.07.2016 | ±2 | 20 (40) | 45 (60) | 39 (65) | 14 (25) | 30 (40) | 59 (85) | 68 (75) | 56 (95) | 67 (150) | 10 (15) | 43 (60) | 43 (65) | 25 |
| 31.07.2016–14.04.2018 | ±0.8 | 21 (40) | 38 (52) | 50 (90) | 21 (30) | 31 (50) | 35 (42) | 117 (200) | 35 (50) | 45 (70) | 10 (15) | 84 (105) | 50 (68) | 30 |
| 14.04.2018–23.11.2020 | ±0.5 | 29 (35) | 10 (15) | 37 (60) | 38 (45) | 22 (30) | 37 (60) | 67 (110) | 36 (60) | 14 (16) | 10 (12) | 25 (45) | 31 (44) | 12 |
| Средняя скорость размыва излучин за весь период 2001–2020 гг., м/год | | 20 | 23 | 22 | 15 | 22 | 19 | 25 | 23 | 17 | 10 | 29 | 23 | 23 |

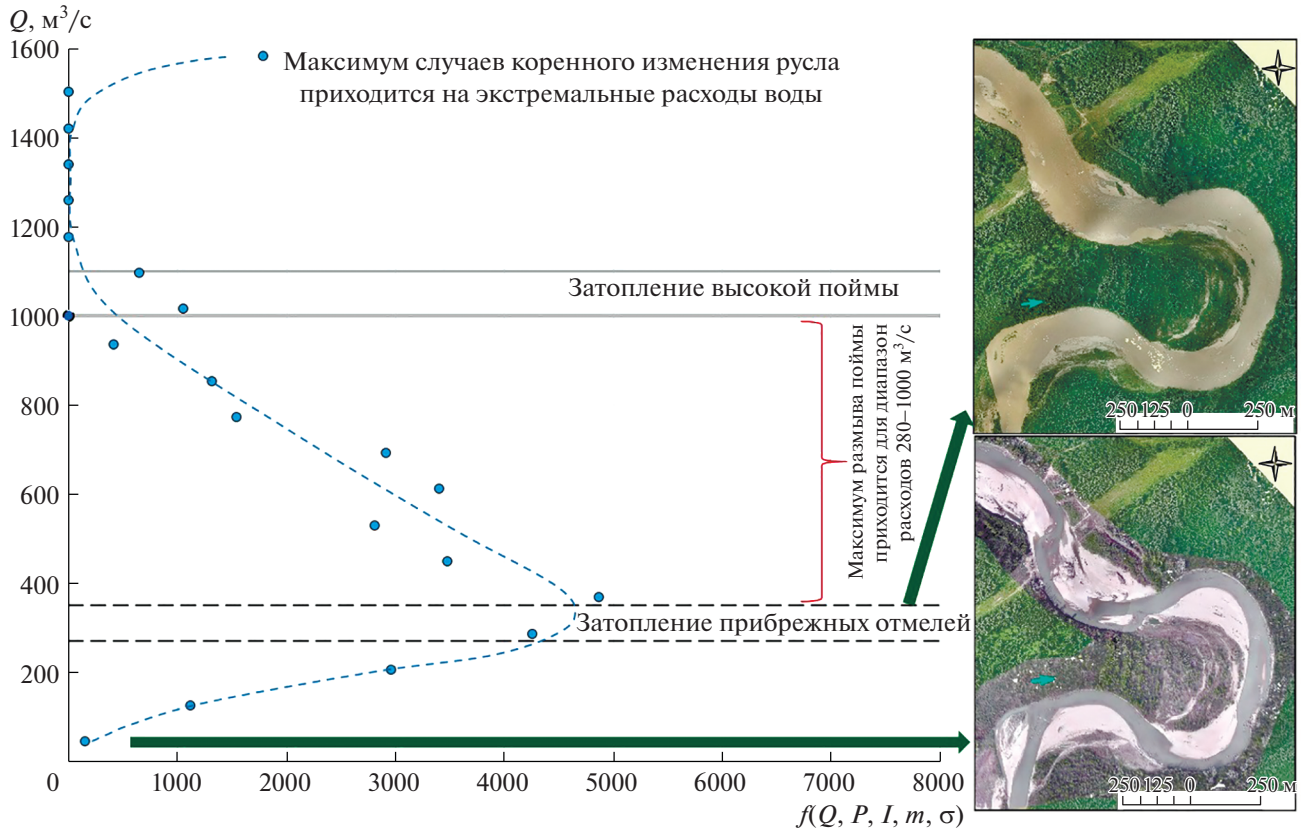



**Рис. 3.** Определение условий прохождения руслоформирующих расходов воды для р. Белой по максимуму кривой на графике, где $Q$ – расход воды м$^3$/с, $P$ – его повторяемость, %, $I$ – уклон, $m$ – σ –коэффициент затопления поймы. Вставки иллюстрируют характер затопления побочней в русле р. Белая при различных расходах воды: вверху – полностью затопленное русло (расход воды около 300 м$^3$/с), внизу – меженное русло (расход воды 20 м$^3$/с).

ке, являются расходы воды в диапазоне 280–1100 м$^3$/с, соответствующие наполнению русла от затопления гребней крупных гряд/побочней до пойменных бровок. Стояние воды в данном интервале также способствует фильтрации со стороны реки, насыщению гравийно-песчаных береговых откосов водой, увеличению веса отложений, что ослабляет устойчивость берегов и способствует их разрушению [35, 36].

Логично предположить, что и для других полугорных рек со ступенчатым строением русла, наличием широких отмелей (побочней), руслоформирующий расход будет выглядеть в виде интервала от гребней крупных гряд до пойменных бровок. Чем выше продолжительность расходов воды в данном диапазоне, тем интенсивнее будут происходить русловые деформации, в том числе размывы берегов.

Чтобы проверить данное утверждение, была определена связь скоростей размыва берегов с параметрами водного стока. Для этого, помимо стандартных характеристик – среднего и максимального расходов воды, – были выбраны еще две: количество паводков с расходами воды, превышающими 280 м$^3$/с, и продолжительность расходов воды выше 280 м$^3$/с. Полученные характеристики для каждого временного интервала приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что за весь период с 2001 по 2020 г. в среднем за год проходит 6–7 паводков с максимальными расходами воды выше затопления побочней (выше 280 м$^3$/с), при этом продолжительность таких расходов в пределах каждого паводка около 2 дней, а за год – в среднем 12–13 дней. Далее для ответа на вопрос, какие именно расходы определяют интенсивность деформаций, все четыре параметра стока будут использованы для установления связи со скоростью размыва берегов.

**Интенсивность размыва берегов излучин.** На рис. 4 приведена схема участка исследований, где отражена эволюция серии из 11 излучин р. Белой за 20-летний период с 2001 по 2020 г. Рисунок иллюстрирует постепенное развитие излучин с размывом вогнутых берегов, наращением изгибов и изменением их форм. На некоторых отрезках отмечалось спрямление излучин.

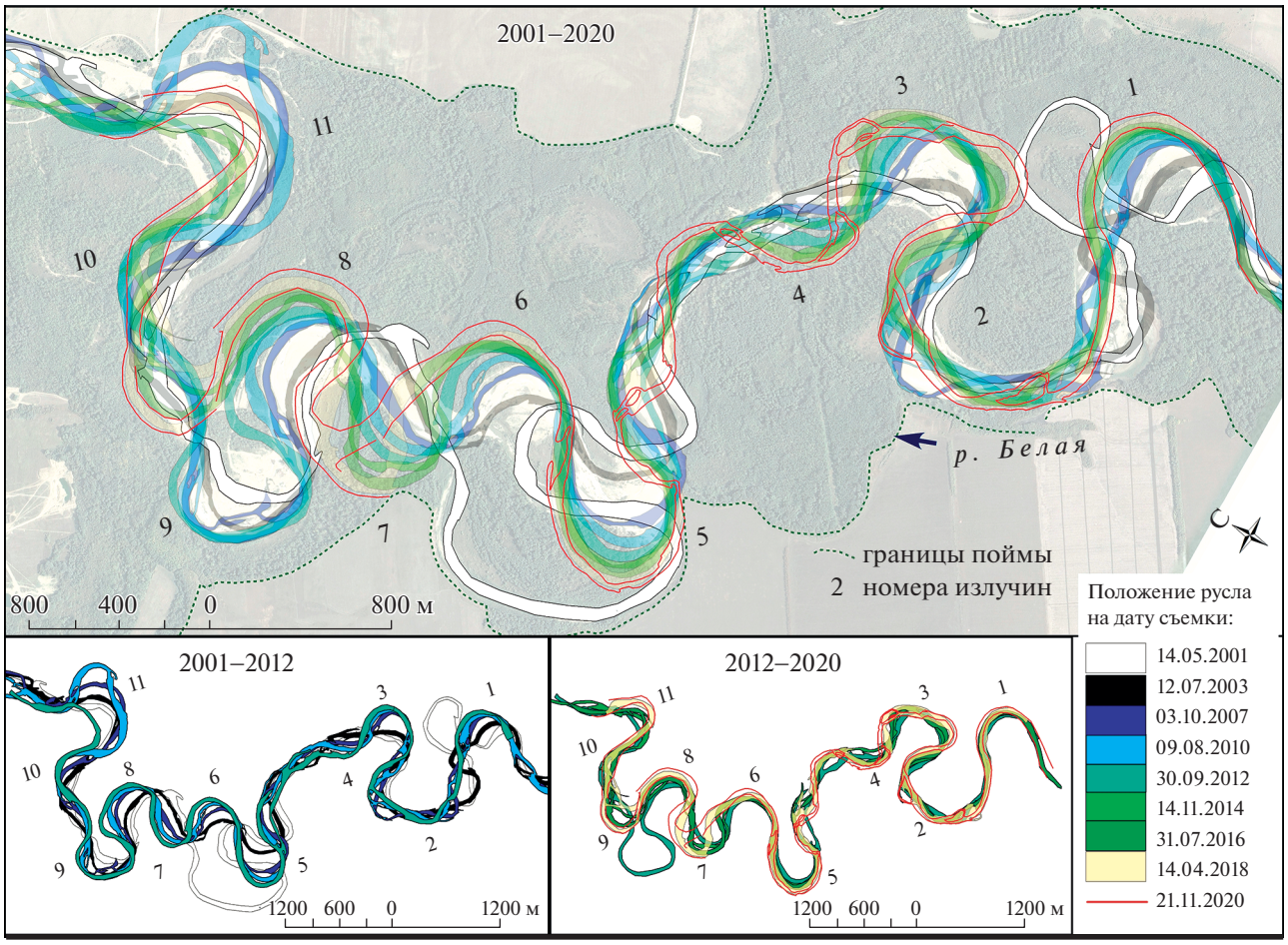



**Рис. 4.** Развитие излучин р. Белая за период 2001–2020 гг.; сопоставление по меженному руслу.

Для большинства излучин преобладает продольное смещение вниз по течению, за счет размыва вогнутого берега в нижних крыльях. Заметно, что движение излучин происходит неравномерно, что связано со стадией их развития, сменой формы и радиуса кривизны, а также с разнообразными локальными факторами. Исключение составляют излучины 1 и 5 с развитой синусоидальной формой и равномерным поперечным смещением изгиба.

В табл. 3 приведена величина размывов вогнутых берегов излучин – на сколько метров сместилась пойменная бровка за период времени. Показан средний и максимальный (в скобках) размыв в пределах каждой излучины. В последних столбцах показаны средние значения размыва вдоль всей серии излучин за рассматриваемый интервал времени и в пересчете на год. В нижней строке приведена рассчитанная средняя скорость размыва вогнутого берега каждой излучины за год по осреднению за 20 лет.

Установлено, что средняя скорость отступания бровки размываемых пойменных берегов за год для всего участка составляет 23 м/год. При этом размывы значимо выше в многоводные периоды (например, за 2001–2003 гг. смыло 74 м поймы, т.е. 34 м/год) и существенно ниже в маловодные (так, за 2018–2020 гг. смыло 34 м поймы, т.е. 12 м/год).

В отдельные многоводные годы с количеством и продолжительностью паводков выше средней (например, 2002, 2003, 2011 г.) максимальный размыв вогнутых берегов излучин достигал 70–80 м/год и более. В то же время в маловодные годы размывы фиксировались в пределах первых метров. В 2020 г. с низким половодьем и паводками размыв берегов для большинства излучин не превысил 5 м/год.

Как уже упоминалось выше, в среднем за год имело место 6–7 высоких паводков. Получено, что за каждый паводок размывается в среднем 3–5 м поймы. Максимальные отступания вогнутых берегов излучин на отдельных участках достигают 50–70 м и выше за одно половодье/паводок и отмечаются, когда высокие расходы воды держатся больше суток. Так, за одно многоводное полово-

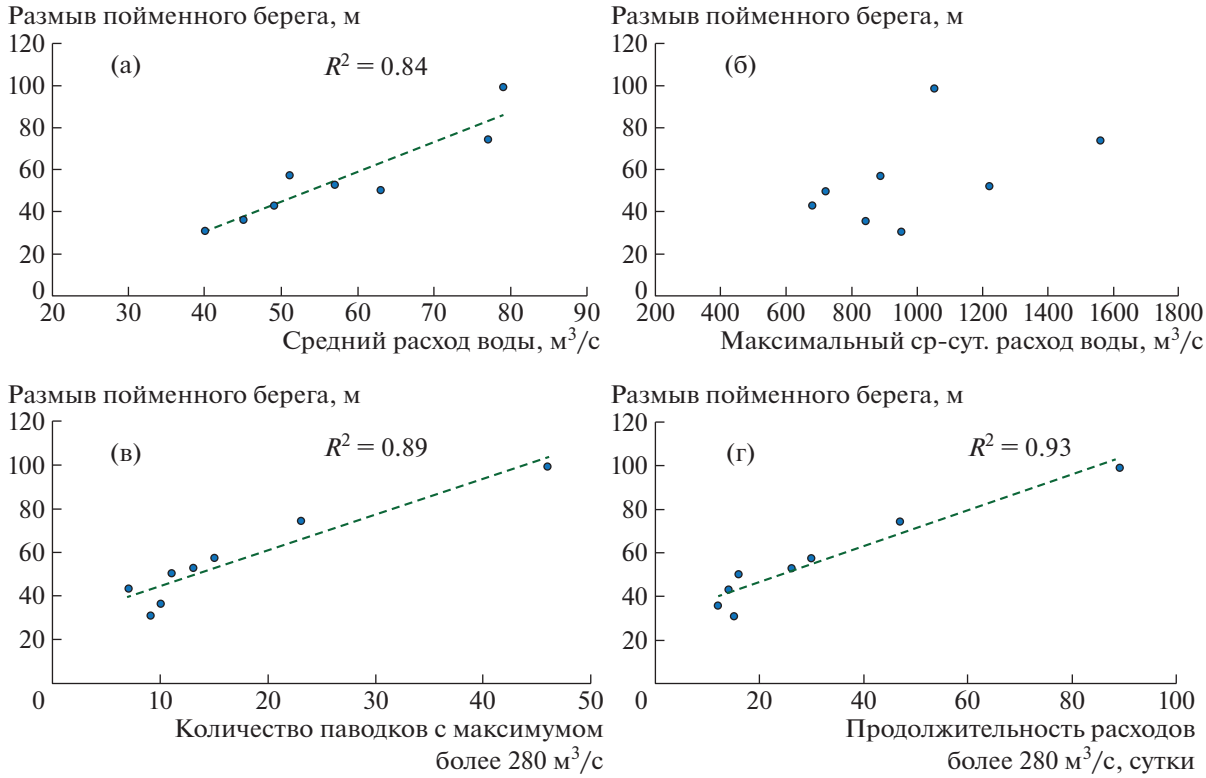



**Рис. 5.** Графики связи интенсивности размыва берегов и показателей стока воды: (а) – среднегодового расхода воды, м$^3$/с, (б) – максимального расхода воды, м$^3$/с, (в) – количества паводков, (г) – продолжительности расходов воды 280 м$^3$/с, сутки.

дье 2011 г. на излучине 4 (рис. 1, 4) размыв поймы левого вогнутого берега составил 70 м, как это было установлено в процессе мониторинга русловых процессов на газопроводах, пересекающих данный участок. Тогда развитие излучины 4 с интенсивным размывом поймы привело к размыву труб и их протяженным провисам (рис. 1, вставка 1).

В ряде опубликованных источников [12–19] также производилась оценка размыва берегов полугорных рек с гравелистым руслом. Размыв берегов оценивался в среднем от 2 до 8 м/год, максимальные размывы достигали 20–30 м/год. Получаем, что на рассматриваемом участке р. Белой излучины развиваются значимо интенсивнее, а скорость размыва берегов почти в 2 раза выше, чем на изученных ранее реках.

**Связь параметров стока с размывами берегов**. Для установления связи размывов берегов и выбранных параметров стока были построены соответствующие зависимости. Средние значения размыва берегов из табл. 3 были сопоставлены с показателями стока из табл. 2. На рис. 5 приведены графики связи, иллюстрирующие зависимости интенсивности размыва берегов от: а) среднегодового расхода воды, б) максимального расхода воды, в) количества паводков с расходами выше 280 м$^3$/с и г) продолжительности соответствующих расходов.

Рисунок 5, (а) иллюстрирует наличие связи между средним расходом воды за интервал времени и скоростью размыва берегов излучин. Полученную связь с $R^2 = 0.84$ можно назвать относительно устойчивой. На рис. 5, (б) показано отсутствие связи максимальных расходов воды с размывом берегов, что закономерно для рек с гребенчатым гидрографом и несколькими высокими паводками в год.

Если перейти к параметрам, учитывающим расходы воды выше затопления крупных гряд (побочней), то получим более устойчивые связи. На рис. 5, (в) приведена связь интенсивности размывов (с $R^2 = 0.89$) с количеством высоких паводков с максимальными расходами, превышающими 280 м$^3$/с. Как отмечалось выше, в среднем в год наблюдается 6–7 таких паводков.

На рис. 5, (г) показана аналогичная связь размыва берегов с продолжительностью расходов воды выше 280 м$^3$/с. В среднем за год наблюдается 12–13 дней с такими расходами, при этом за каждый день размывается до 1.5–2.0 м массива поймы. Из рассмотренных показателей водного сто-

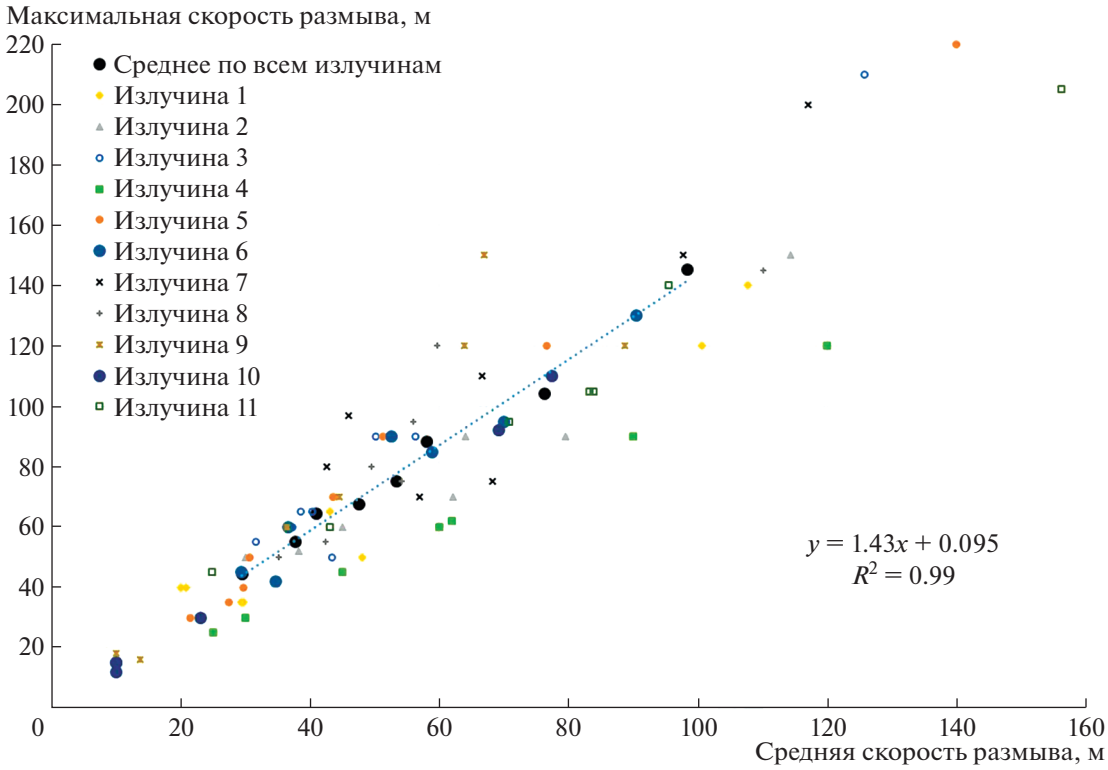



**Рис. 6.** Зависимость средних и максимальных скоростей размыва для каждой излучины и в среднем по всему участку.

ка связь продолжительности расходов воды выше 280 м$^3$/с со скоростью размыва берегов оказалась наиболее тесной, с $R^2 = 0.93$.

Графики связи на рис. 5 проиллюстрированы для средних по фронту размыва значений из табл. 3. Близкие коэффициенты корреляции имеют место для связи тех же параметров стока с максимальными значениями размывов, приведенных в скобках в табл. 3. Одной из обнаруженных особенностей размыва берегов является устойчивая связь между средними и максимальными значениями размывов берегов для каждой излучины. На рис. 6 выделен тренд, полученный по связи средних и максимальных значений размывов для всей серии излучин, где коэффициент корреляции равен 0.99. Получено, что в среднем по участку максимальные значения в 1.4 раза превышают средние значения по фронту размыва. Например, если среднее отступание пойменной бровки составляет на излучине 50 м, то максимум составит 70 м, если среднее 70 м, то максимум составит 100 м. Разумеется, в пределах каждой излучины под воздействием локальных факторов, графики связи отличаются от осредненного тренда, однако тесная связь средних и максимальных показателей сохраняется.

Следует подчеркнуть, что связь размывов берегов с параметрами стока установлена для всей протяженности меандрирующего участка, состоящего из 11 излучин. Если рассматривать полученные связи в рамках отдельных излучин, то устойчивой зависимости как на рис. 5 не получится (исключая разве что вышеупомянутые излучины 1 и 5). Это связано с тем, что на общий фон развития каждой излучины накладывается ее локальная специфика: стадия развития, форма излучины, динамика потока на смежных участках, антропогенные вмешательства, образование заломов и т.д. Поэтому адекватно оценить воздействие параметров стока на размывы берегов (рис. 5) возможно только на протяженном участке русла, включающем несколько форм русла.

Зависимость размыва берегов от различных показателей стока воды рассматривалась и ранее [1, 19, 24–27, 29–31]. Полученные в данной работе результаты вносят свой вклад в понимание процесса размыва берегов для полугорных рек. Показано, что для рек в схожих с Белой условиях размывы берегов определяются высокими паводками, с расходами воды, при которых полностью затапливаются крупные гряды. Наиболее тесные связи скоростей размыва берегов установлены с количеством (рис. 5, в) и продолжительностью (рис. 5, г) высоких паводков.

**Влияние экстремальных паводков на русловые деформации.** Роль экстремальных половодий/паводков в развитии русел велика как для равнинных, так и для полугорных рек. И если для русел

равнинных рек речь идет, как правило, об увеличении интенсивности направленных русловых деформаций, в частности размывов берегов [26, 28, 37–39], то на горных и полугорных реках экстремальные паводки часто становятся "руслоразрушающими" [2, 22, 40], коренным образом меняя русла.

На р. Белой механизм русловых деформаций существенно изменяется при прохождении выдающихся паводков с расходами воды редкой повторяемости. При затоплении поймы на сутки (и даже на несколько часов) высокие скорости течения способствуют быстрой разработке пойменных проток, куда нередко перемещается основной сток. На меандрирующих участках р. Белой происходит спрямление излучин через прорву (по типу незавершенного меандрирования по терминологии ГГИ).

За весь период наблюдений за серией излучин р. Белой с 2001 по 2020 г. (рис. 4) наблюдалось несколько случаев спрямлений излучин. Спрямления происходили как вследствие размыва шеек петлеобразных излучин, так и при проработке спрямляющих рукавов на выпуклых берегах крутых сегментных излучин (формирование прорванных излучин).

Спрямление петлеобразных излучин путем смыкания вторичных изгибов типично для реки при условии отсутствия экстремальных паводков: в 2014 г. спрямилась излучина 7, в ближайшие годы предполагается спрямление излучины 5. По сопоставлению картографического материала с 1940-х годов, срок "жизни" излучин от появления изгиба до прорыва "петли" на р. Белой составляет 50–80 лет, незавершенного – менее.

Спрямление сегментных излучин, не достигших петлеобразной формы с образованием рукава на выпуклом берегу, в настоящее время имеет место в двух случаях – при экстремальных паводках или при искусственном спрямлении. Искусственное спрямление излучин на реке практикуется при угрозе размыва населенных пунктов, дорог, газопроводов и т.п. За рассматриваемый период были искусственно спрямлены излучина 11 (2011 г.) и излучина 4 (2014 г.). Последняя (рис. 1 и рис. 3) была спрямлена для защиты газопровода от размыва. Однако опыт спрямления на ранней стадии развития излучины оказался неудачен и излучина 4 вернулась в состояние до спрямления уже в 2015 г., разрушив ряд русловыправительных дамб. После очередного ремонта в 2020 г. те же газопроводы вновь были размыты (рис. 1, вставка 1). Подобные попытки остановить размывы берегов с применением берегоукрепительных и русловыправительных работ на Белой часто заканчиваются неудачей, защита или не работает, или имеет кратковременный эффект. Оптимальным решением является вынос инженерных сооружений за пределы пояса руслоформирования, а в случае подводных трубопроводов – их заглубление ниже отметок предельного размыва на протяжении всего пояса руслоформирования.

Естественным путем спрямление крутых сегментных излучин (по типу незавершенного меандрирования) за последние 20 лет происходило на участке три раза и все три раза пришлись на экстремальный паводок 2002 г. 21 июня 2002 г. на рассматриваемом участке Белой среднесуточный расход достиг 1560 м$^3$/с (мгновенный 1920 м$^3$/с). Причем высокие значения расходов фиксировались всего один день, в соседние даты среднесуточный расход составил 330 и 450 м$^3$/с. Однако этого оказалось достаточно для коренных изменений русла: три излучины из одиннадцати (т.е. почти 30%) спрямились через пойменные протоки. На рис. 4 видны изменения положения русла с 2001–2003 гг. в районе 1, 5 и 6 излучин.

Таким образом, экстремальные расходы воды, даже при кратковременном затоплении поймы, провоцируют радикальные изменения русла: спрямление излучин по схеме незавершенного меандрирования и изменение положения русла за счет перемещения потока в пойменные ложбины, староречья.

**Другие факторы, определяющие горизонтальные деформации на полугорных реках.** Выше показано, что горизонтальные деформации определяет преимущественно сток воды: интенсивность размывов берегов зависит от количества и продолжительности высоких паводков, а радикальные изменения русла – от наличия экстремальных паводков.

Понятно, что размыв берегов является двусторонним процессом и с одной стороны определяется гидродинамикой потока, а с другой – устойчивостью берегового откоса. Очевидно также, что на скорость размыва берегов влияет не только сток воды, но и другие факторы. Многие исследователи отмечают определяющую роль факторов морфологии русла (стадия развития изгибов, форма, радиус кривизны) и показателей устойчивости берега – свойств грунта, высоты берегов, формы откоса [15, 19, 29, 41, 42]. Для полугорного русла Белой выделить долю влияния всех этих факторов на фоне главного – стока воды – достаточно сложно, но можно отметить несколько особенностей.

В порядке убывания роли воздействия на горизонтальные деформации русла Белой можно указать следующие факторы: сток наносов, морфология русла, заломы деревьев и инженерные сооружения, сложение и высота берегов. Интересно, что на Белой пойменные и террасовые берега в диапазоне высот 2–4 м над меженным урезом размываются со схожей интенсивностью вне зависимости от состава грунтов (сочетания сугли-

нистых, галечных и песчаных слоев) и морфологии откоса. Более устойчивыми к размывам являются только высокие коренные берега (высотой 17–18 м), сложенные связными суглинистыми отложениями, где скорость размыва существенно ниже и составляет около 5–6 м/год. В целом, размыв берегов р. Белой определяется, в большей степени, гидродинамикой потока и факторами, направляющими поток, чем устойчивостью берегов.

Важный локальный фактор на горных и полугорных реках с залесенными берегами – заломы деревьев [44, 45]. Крупные заломы обычно формируются на приверхе отмелей выпуклого берега при интенсивном размыве поймы выше по течению (рис. 1, вставка 3). Высота заломов достигает 4–5 м (что превышает отметки высокой поймы), протяженность – более 200 м, ширина – до 50 м. Выше заломов в результате массового осаждения материала образуются поля песчано-галечного аллювия длиной около 200 м и шириной до 120 м. Кроме того, поступившие в поток стволы деревьев на спаде паводка выстилаются вдоль динамической оси потока и частично перекрываются наносами (рис. 1, вставка 2). В последующие паводки заломы участвуют в перераспределении стока между частями русла, нередко направляя поток в краевую часть русла и провоцируя усиление размыва берегов.

Изыскания на р. Белой показали, что в непосредственной близости к заломам может наблюдаться образование “ям”, дно которых находится ниже глубин плесов (до 1.5–3.0 м), или до 5–6 м ниже меженного уреза, а также усиление темпов размыва берегов до 10 м и более.

Опасные ситуации часто складываются, когда древесные остатки скапливаются у инженерных сооружений, оказавшихся на контакте с потоком (мостовых опор, размытых трубопроводов). На рис. 1 (вставка 1) приведен характерный пример в виде размытых труб газопроводов. В данном случае после оголения трубы сами стали локальным препятствием, местом скопления стволов деревьев, что вызвало переуглубление русла на 2.0 м и привело к аварийной ситуации.

Комбинация локальных факторов на фоне паводков может приводить к значимо более интенсивным размывам берегов, чем рассмотренные на данном участке (табл. 3). Так, например, на участке в районе г. Белореченска размыв вогнутого берега на излучине достиг 180 м в год, что почти в два раза больше максимальных размывов на рассмотренном участке. Это событие было связано с избытком и переотложением наносов на перекате, с участием заломов деревьев. Подробнее воздействие стока наносов будет рассмотрено во второй статье.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На р. Белой сток воды является определяющим фактором горизонтальных деформаций русла, в частности размывов берегов. Максимальные размывы зафиксированы во время прохождения высоких паводков при заполнении русла от гребней крупных гряд (побочней) до пойменных бровок.

На рассматриваемом участке р. Белой полное затопление крупных гряд происходит при расходах воды выше 280 м$^3$/с во время высоких паводков. В среднем за год наблюдалось 6–7 высоких паводков; продолжительность указанных расходов составляла 12–13 сут. Средняя скорость отступания вогнутых берегов излучин р. Белой – 23 м/год. В отдельные многоводные годы с количеством и продолжительностью паводков выше средней максимальный размыв берегов достигал 70–80 м/год и более. В то же время в маловодные годы размывы фиксировались в пределах первых метров.

Установлено, что количество высоких паводков и их продолжительность имеют наиболее тесную связь со скоростью размыва берегов, по сравнению с другими параметрами стока (максимальными, средними, руслоформирующими расходами воды).

При прохождении экстремальных паводков с затоплением поймы механизм русловых процессов меняется, постепенное развитие излучин прерывается их внезапным спрямлением. В выдающийся паводок 2002 г. на участке из 11 излучин Белой три спрямились по размытой протоке через шпору излучины.

Наибольшие размывы дна и берегов на отдельных участках часто спровоцированы локальными факторами, одним из которых являются заломы деревьев.

Можно предположить, что для полугорных рек со слабоустойчивым руслом, протекающих в схожих с р. Белой условиях:

сток воды определяет горизонтальные деформации русла, а от колебаний стока зависит интенсивность деформаций, в частности размывы берегов;

размывы берегов осуществляются практически исключительно в многоводные фазы водного режима (половодье/паводки);

максимальная интенсивность размывов берегов наблюдается во время высоких паводков, при расходах воды, превышающих уровень крупных русловых гряд;

продолжительность прохождения расходов воды при уровнях в диапазоне от гребней крупных гряд до пойменных бровок определяет скорость горизонтальных деформаций;

локальные факторы, воздействующие на динамику потока, для отдельных участков русла являются определяющими, размывы берегов могут превышать фоновые в два раза и более;

экстремальные паводки, проходящие при затопленной пойме, провоцируют радикальные переформирования русел: спрямление излучин и изменение положения русла за счет перемещения потока в пойменные ложбины.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Материалы натурных исследований были получены в ходе мониторинга русловых процессов ООО “ЭКОНГинжиниринг” на участках реки, которые пересекают переходы газопроводов.

## 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. *Талмаза В.Ф., Крошкин А.Н.* Гидроморфометрические характеристики горных рек. Фрунзе: Кыргызстан, 1968. 204 с.
3. *Stoffel M., Wyżga B., and Marston R.A.* Floods in mountain environments: A synthesis // Geomorphology. 2016. Vol. 272. P. 1–9.
4. *Виноградова Н.Н., Виноградова О.В.* Водность и процессы руслоформирования горных рек Кавказа в условиях современных изменений климата // Двадцать восьмое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Пермь: ПГУ, 2013. С. 4–11.
5. *Кшемень К., Назаров Н.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В.* Русловые процессы на реках зон перехода от гор к равнинам и их регулирование // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 4. М.: МГУ, 2005. С. 116–129.
6. *Wyżga B., Zawiejska J., and Hajdukiewicz H.* Multithread rivers in the Polish. Carpathians: occurrence, decline and possibilities of restoration // Quaternary International. 2016. Vol. 415. P. 344–356.
7. *Sear D.A. and Newson M.D.* Environmental change in river channels: a neglected element. Towards geomorphological typologies, standards and monitoring // The Science of the Total Environment. 2003. No. 310. P. 17–23.
8. *Завадский А.С., Морозова Е.А.* Оценка опасных проявлений гидрологических и русловых процессов на участках горного и полугорного русла (на примере реки Катунь) // Современные проблемы эрозионных, русловых и устьевых процессов. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием и XXXI пленарного межвузовского координационного совещания. Архангельск: Изд. центр А3+, 2016. С. 106–107.
9. *Kargapolova I.N.* River channel response on runoff variability // Advances in Geosciences. 2008. Vol. 14. P. 309–316.
10. *Беркович К.М., Чалов Р.С., Чернов А.В.* Изменение речных русел за историческое время // Современные глобальные изменения природной среды. Т. 1. М.: Науч. мир, 2006. С. 409–438.
11. *Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., and Borisova O.K.* Morphology of river channels and surface runoff in the Volga River basin (East European Plain) during the Late Glacial period // Geomorphology. 2009. No. 113. P. 137–157.
12. *Larsen E.W., Fremier A.K., and Greco S.E.* Cumulative effective stream power and bank erosion on the Sacramento River, California, USA // Journal of the American Water Resources Association. 2006. Vol. 42. No. 4. P. 1077–1097.
13. *Nanson G.C. and Hickin E.J.* A statistical analysis of bank erosion and channel migration in western Canada // Geological Society of America Bulletin. 1986. No. 97. P. 497504.
14. *Brice J.C.* Stream Channel Stability Assessment, January 1982, Final Report. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration Report RHWA/RD-82/021. Washington, D.C., 1982. 41 p.
15. *Hickin E.J. and Nanson G.C.* Lateral migration rates of river bends // Journal of Hydraulic Engineering. 1984. Vol. 110. No. 11. P. 1557–1567.
16. *Bartholdy J. and Billi P.* Morphodynamics of a pseudo-meandering gravel bar reach // Geomorphology. 2002. No. 42. P. 293–310.
17. *Odgaard A.J.* Streambank erosion along two rivers in Iowa // Water Resources Research. 1987. No. 23. P. 1225–1236.
18. Geomorphic Analysis of Sacramento River, Phase II Report: Geomorphic Analysis of Reach from Colusa to Red Bluff Diversion Dam, River Mile 143 to River Mile 243 // Water Engineering & Technology, Inc. (WET), prepared for U.S. Army Corps of Engineers, Sacramento District, Contract No. DACW05-87-C-0094, 1990.
19. *Krasnoshchekov S.Yu.* Determining lateral river channel activity with respect to safety of pipeline crossings. Doctoral Thesis. University of Southampton, School of Geography, 2009. 218 p.
20. *Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И.* Катастрофические наводнения начала XXI века: уроки и выводы. М.: Дэкс-пресс, 2003. 352 с.
21. *Хаширова Т.Ю.* Защитные сооружения для предотвращения чрезвычайных ситуаций на горных реках Северного Кавказа // Экология и промышленность России. 2006. № 12. С. 16–18.
22. *Горелиц О.В., Землянов И.В., Павловский А.Е., Иллаев Т.С.* Русловые деформации и перераспределение стока на устьевом участке р. Терек после катастрофического паводка 2002 г. // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. № 6. С. 677–685.
23. Правила эксплуатации Белореченского и Ганжинского водохранилищ в условиях полного заиления. Книга I. Правила использования водных ресурсов. Краснодар: ОАО Проектно-изыскательский институт “Кубаньводпроект”, 2006 г.

24. *Wolman M.G.* Factors influencing erosion of a cohesive river bank // Am. J. Sci. 1959. No. 257. P. 204–216.
25. *Knighton A.D.* Riverbank erosion in relation to streamflow conditions, River Bollin-Dean, Cheshire // East Midland Geographer. 1973. No. 5. P. 416–426.
26. *Hooke J.M.* An analysis of the processes of river bank erosion // Journal of Hydrology. 1979. No. 42. P. 39–62.
27. *Беркович К.М., Власов Б.Н.* Особенности русловых процессов на реках Нечерноземной зоны РСФСР // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1982. № 3. С. 28–34.
28. *Завадский А.С., Чалов Р.С.* Условия формирования и морфология свободных излучин на реках Северной Евразии // Геоморфология. 2000. № 4. С. 88–95.
29. *Walker M. and Rutherfurd I.* An approach to predicting rates of bend migration in meandering alluvial streams // Proceedings of the Second Australian Stream Management Conference: The Challenge of Rehabilitating Australia's Streams, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology. Adelaide, 1999. P. 659–665.
30. *Julian J.P. and Torres R.* Hydraulic erosion of cohesive riverbanks // Geomorphology. 2006. No. 76 (1–2). P. 193–206.
31. *Costa J.E. and O'Connor J.E.* Geomorphologically effective floods // Natural and Anthropogenic Influences in Fluvial Geomorphology AGU Geophysical Monograph. Vol. 89. Washington, DC: American Geophysical Union, 1995. P. 45–56.
32. *Маккавеев Н.И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
33. *Чалов Р.С.* Руслоформирующие расходы воды // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2006. № 1. С. 11–19.
34. *Борщенко Е.В., Чалов Р.С.* Руслоформирующие расходы воды и морфодинамика русел рек российской части бассейна Амура // География и природные ресурсы. 2010. № 2. С. 90–99.
35. *Aly El-Dien A., Takebayashi H., and Fujita M.* Erosion and collapse of riverbanks under different flood conditions // Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE. 2015. Vol. 59. P. 133–138.
36. *Беркович К.М., Злотина Л.В., Турыкин Л.А.* Размыв речных берегов: факторы, механизм, деятельность человека // Геоморфология. 2019. № 2. С. 3–17.
37. *Miller A.J.* Flood hydrology and geomorphic effectiveness in the central Appalachians // Earth surface processes and landforms. 1990. Vol. 15. P. 119–134.
38. *Morche D., Schmidt K.-H., Heckmann T., and Haas F.* Hydrology and geomorphic effects of a high-magnitude flood in an Alpine river // Geografiska Annaler Series A Physical Geography. 2007. No. 89 (1). P. 5–19.
39. *Magilligana F.J., Buraasb E.M., and Renshaw C.E.* The efficacy of stream power and flow duration on geomorphic responses to catastrophic flooding // Geomorphology. 2015. No. 228. P. 175–178.
40. *David J. and Schmidt J.* The geomorphic effectiveness of a large flood on the Rio Grande in the Big Bend region: Insights on geomorphic controls and post-flood geomorphic response // Geomorphology. 2003. No. 201. P. 183–198.
41. *Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В.* Речные излучины. М.: МГУ, 2004. 371 с.
42. *Thorne C.R.* Bank erosion and meander migration of the Red and Mississippi Rivers, USA // Hydrology for the Water Management of Large River Basins (Proceedings of the Vienna Symposium, August 1991). IAHS Publ. No. 201. Vienna: IAHS, 1991. P. 301–313.
43. *Friedman J.M. and Lee V.J.* Extreme floods, channel change, and riparian forests along ephemeral streams // Ecol. Monogr. 2002. No. 72. P. 409–425.
44. *Comiti F., Lucía A., and Rickenmann D.* Large wood recruitment and transport during large floods: A review // Geomorphology. 2016. Vol. 269. P. 23–29.
45. *Чалов С.Р., Ермакова А.С., Есин Е.В.* Речные заломы: руслоформирующая и экологическая роль // Вестник Моск. Ун-та. Сер. 5. География. 2010. № 6. С. 25–31.

# Channel processes at a piedmont river (case study the Belaya River, Western Caucasus) (paper 1. Lateral channel migrations and water runoff as their main factor)

**I. N. Kargapolova[a,#] and I. V. Krylenko[b,##]**

[a] *ECONGengineering LLC, Moscow, Russia*

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

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

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

The paper investigates channel deformations at the Belaya River – a piedmont river in the Western Caucasus with low-stability channel crossing accumulative piedmont plain. The goal of this paper is to assess lateral channel migrations and vertical channel deformations and their main drivers: runoff fluctuations and sediment load using a quantitative analysis. The research is based on comparison of remote sensing data, in-situ observations and drone imagery collected in 2001–2020. We determined the relations between bank erosion rate and runoff fluctuations. The rate of bank erosion is closely related to the number and duration of bankfull discharge floods. The rate of bank erosion along meandering part of the Belays River is high, mean rate is more than 20 m per year whereas maximum rate is up to 70–80 m per year. The maximum rate of bank erosion is observed during high floods, when water level is varied from the tops of large ripples to floodplain edges. During rare extreme floods, when water inundates the floodplain, the mechanism of channel defor-

mations that modifies and radically changes the channel is taking place. During such episodes the main stream moves to the floodplain channels, and bends get straightened.

*Keywords:* piedmont rivers, bank erosion, water runoff, meandering

## ACKNOWLEDGMENTS

The field data has been collected during monitoring of the channel processes organized by ECONGengineering LLC for the river sections that cross by the gas pipelines.

## REFERENCES

1. Chalov R.S. *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. T. 1. Ruslovye protsessy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnykh rusel* (Riverbed science: theory, geography, practice. Vol. 1. Riverbed processes, mechanism, forms of manifistations and conditions of formations of riverbeds). Moscow: LKI (Publ.), 2008. 608 p. (in Russ.)
2. Talmaza V.F. and Kroshkin A.N. *Gidromorfometricheskie kharakteristiki gornykh rek* (Hydromorphological characteristics of mountain rivers). Frunze: Kyrgystan (Publ.), 1968. 204 p. (in Russ.)
3. Stoffel M., Wyżga B., and Marston R.A. Floods in mountain environments: A synthesis. *Geomorphology*. 2016. Vol. 272. P. 1–9.
4. Vinogradova N.N. and Vinogradova O.V. *Vodnost' i protsessy rusloformirovaniya gornykh rek Kavkaza v usloviyakh sovremennykh izmenenii klimata* (Water content and channel formation processes in mountain rivers of the Caucasus in the context of modern climate changes). *Dvadtsat' vos'moe plenarnoe mezhvuzovskoe koordinatsionnoe soveshchanie po probleme erozionnykh, ruslovykh i ust'evykh protsessov.* Perm': PGU (Publ.), 2013. P. 4–11 (in Russ.)
5. Kshemen' K., Nazarov N.N., Chalov R.S., and Chernov A.V. *Ruslovye protsessy na rekakh zon perekhoda ot gor k ravninam i ikh regulirovanie* (Channel processes on rivers in the transition zones from mountains to plains and their regulation). *Erozionnyye i ruslovyye protsessy. Vol. 4.* Moscow: MSU (Publ.), 2005. P. 116–129. (in Russ.)
6. Wyżga B., Zawiejska J., and Hajdukiewicz H. Multithread rivers in the Polish. Carpathians: occurrence, decline and possibilities of restoration. *Quaternary International.* 2016. Vol. 415. P. 344–356.
7. Sear D.A. and Newson M.D. Environmental change in river channels: a neglected element. Towards geomorphological typologies, standards and monitoring. *The Science of the Total Environment*. 2003. No. 310. P. 17–23.
8. Zavadskii A.S. and Morozova E.A. *Otsenka opasnykh proyavlenii gidrologicheskikh i ruslovykh protsessov na uchastkakh gornogo i polugornogo rusla (na primere reki Katun')* (Assessment of hazardous manifestations of hydrological and channel processes in sections of the mountain and semi-mountain channel (for example, the Katun River)). *Sovremennye problemy erozionnykh, ruslovykh i ust'evykh protsessov. Materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem i XXXI plenarnogo mezhvuzovskogo koordinatsionnogo soveshchaniya* (Modern problems of erosion, channel and estuarine processes. Materials of the All-Russian Scientific Conference with International Participation and XXXI Plenary Interuniversity Coordination Meeting). Arkhangel'sk: Izdatel'skiy tsentr A3+ (Publ.), 2016. P. 106–107 (in Russ.)
9. Kargapolova I.N. *River channel response on runoff variability* (River channel response on runoff variability). *Advances in Geosciences*. 2008. Vol. 14. P. 309–316. (in Russ.)
10. Berkovich K.M., Chalov R.S., and Chernov A.V. *Izmenenie rechnykh rusel za istoricheskoe vremya* (Changes in river channels over historical time). *Sovremennye global'nye izmeneniya prirodnoi sredy. Vol. 1.* Moscow: Nauchnyy mir (Publ.), 2006. P. 409–438. (in Russ.)
11. Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., and Borisova O.K. Morphology of river channels and surface runoff in the Volga River basin (East European Plain) during the Late Glacial period. *Geomorphology*. 2009. No. 113. P. 137–157.
12. Larsen E.W., Fremier A.K., and Greco S.E. Cumulative effective stream power and bank erosion on the Sacramento River, California, USA. *Journal of the American Water Resources Association*. 2006. Vol. 42. No. 4. P. 1077–1097.
13. Nanson G.C. and Hickin E.J. A statistical analysis of bank erosion and channel migration in western Canada. *Geological Society of America Bulletin*. 1986. No. 97. P. 497–504.
14. Brice J.C. *Stream Channel Stability Assessment, January 1982, Final Report*. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration Report RHWA/RD-82/021, 1982. 41 p.
15. Hickin E.J. and Nanson G.C. Lateral migration rates of river bends. *Journal of Hydraulic Engineering*. 1984. Vol. 110. No. 11. P. 1557–1567.
16. Bartholdy J. and Billi P. Morphodynamics of a pseudo-meandering gravel bar reach. *Geomorphology*. 2002. No. 42. P. 293–310.
17. Odgaard A.J. Streambank erosion along two rivers in Iowa. *Water Resources Research*. 1987. No. 23. P. 1225–1236.
18. Geomorphic Analysis of Sacramento River, Phase II Report: Geomorphic Analysis of Reach from Colusa to Red Bluff Diversion Dam, River Mile 143 to River Mile 243. *Water Engineering & Technology, Inc. (WET), prepared for U.S. Army Corps of Engineers, Sacramento District, Contract No. DACW05-87-C-0094*, 1990.
19. Krasnoshchekov S.Yu. *Determining lateral river channel activity with respect to safety of pipeline crossings.* Doctoral Thesis. University of Southampton, School of Geography, 2009. 218 p.
20. Vorob'ev Yu.L., Akimov V.A., and Sokolov Yu.I. *Katastroficheskie navodneniya nachala XXI veka: uroki i vyvody* (Catastrophic floods of the early 21st century:

lessons and conclusions). Moscow: Deks-Press (Publ.), 2003. 352 p. (in Russ.)

21. Khashirova T.Yu. *Zashchitnye sooruzheniya dlya predotvrashcheniya chrezvychainykh situatsii na gornykh rekakh Severnogo Kavkaza* (Protective structures to prevent emergency situations on mountain rivers of the North Caucasus). *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2006. No. 12. P. 16–18. (in Russ.)
22. Gorelits O.V., Zemlyanov I.V., Pavlovskii A.E., and Illaev T.S. *Ruslovye deformatsii i pereraspredelenie stoka na ust'evom uchastke r. Terek posle katastroficheskogo pavodka 2002 g.* (Channel deformations and flow redistribution at the mouth of the Terek river after the catastrophic flood of 2002). *Vodnye resursy* (Water Resources). 2006. Vol. 33. No. 6. P. 677–685. (in Russ.)
23. *Pravila ekspluatatsii Belorechenskogo i Ganzhinskogo vodokhranilishch v usloviyakh polnogo zaileniya. Kniga I. Pravila ispol'zovaniya vodnykh resursov* (Rules for the operation of the Belorechenskoye and Ganzhinskoye reservoirs in conditions of complete siltation. Book I. Rules for the use of water resources). Krasnodar: OAO Proektno-izyskatel'skii institut "Kuban'vodproekt", 2006. (in Russ.)
24. Wolman M.G. Factors influencing erosion of a cohesive river bank. *Am. J. Sci.* 1959, Vol. 257. P. 204–216.
25. Knighton A.D. Riverbank erosion in relation to streamflow conditions, River Bollin-Dean, Cheshire. *East Midland Geographer*. 1973. No. 5. P. 416–426.
26. Hooke J.M. An analysis of the processes of river bank erosion. *Journal of Hydrology*. 1979. No. 42. P. 39–62.
27. Berkovich K.M. and Vlasov B.N. *Osobennosti ruslovykh protsessov na rekakh Nechernozemnoi zony RSFSR* (Features of channel processes on the rivers of the Nonchernozem zone of the RSFSR). *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya*. 1982. No. 3. P. 28–34. (in Russ.)
28. Zavadskii A.S. and Chalov R.S. *Usloviya formirovaniya i morfologiya svobodnykh izluchin na rekakh Severnoi Evrazii* (Formation conditions and morphology of free bends on the rivers of Northern Eurasia). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2000. No. 4. P. 88–95. (in Russ.)
29. Walker M. and Rutherfurd I. An approach to predicting rates of bend migration in meandering alluvial streams. *Proceedings of the Second Australian Stream Management Conference: The Challenge of Rehabilitating Australia's Streams, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology*. Adelaide. 1999. P. 659–665.
30. Julian J.P. and Torres R. Hydraulic erosion of cohesive riverbanks. *Geomorphology*. 2006. Vol. 76 (1–2). P. 193–206.
31. Costa J.E. and O'Connor J.E. Geomorphologically effective floods. *Natural and Anthropogenic Influences in Fluvial Geomorphology AGU Geophysical Monograph Vol. 89*. Washington, DC: American Geophysical Union. 1995. P. 45–56.
32. Makkaveev N.I. *Ruslo reki i eroziya v ee basseine* (River bed and erosion in its basin). Moscow: Izd-vo AN SSSR (Publ.), 1955. 347 p. (in Russ.)
33. Chalov R.S. *Rusloformiruyushchie raskhody vody* (Channel-forming water flows). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5. Geografiya*. 2006. No. 1. P. 11–19. (in Russ.)
34. Borshchenko E.V. and Chalov R.S. *Rusloformiruyushchie raskhody vody i morfodinamika rusel rek rossiiskoi chasti basseina Amura* (Channel-forming water discharges and morphodynamics of river channels in the Russian part of the Amur basin). *Geografiya i prirodnye resursy* (Geography and Natural Resources). 2010. No. 2. P. 90–99. (in Russ.)
35. Aly El-Dien A., Takebayashi H., and Fujita M. Erosion and collapse of riverbanks under different flood conditions. *Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE*. 2015. Vol. 59. P. 133–138.
36. Berkovich K.M., Zlotina L.V., and Turykin L.A. *Razmyv rechnykh beregov: faktory, mekhanizm, deyatel'nost' cheloveka* (Erosion of river banks: factors, mechanism, human activity). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2019. No. 2. P. 3–17. (in Russ.)
37. Miller A.J. Flood hydrology and geomorphic effectiveness in the central Appalachians. *Earth surface processes and landforms*. 1990. Vol. 15. P. 119–134.
38. Morche D., Schmidt K.-H., Heckmann T., and Haas F. Hydrology and geomorphic effects of a high-magnitude flood in an Alpine river. *Geografiska Annaler Series A Physical Geography*. 2007. No. 89(1). P. 5–19.
39. Magilligana F.J., Buraasb E.M., and Renshaw C.E. The efficacy of stream power and flow duration on geomorphic responses to catastrophic flooding. *Geomorphology*. 2015. No. 228. P. 175–178.
40. David J. and Schmidt J. The geomorphic effectiveness of a large flood on the Rio Grande in the Big Bend region: Insights on geomorphic controls and post-flood geomorphic response. *Geomorphology*. 2003. No. 201. P. 183–198.
41. Chalov R.S., Zavadskii A.S., and Panin A.V. *Rechnye izluchiny* (River meanders). Moscow: MGU (Publ.), 2004. 371 p. (in Russ.)
42. Thorne C.R. Bank erosion and meander migration of the Red and Mississippi Rivers, USA. *Hydrology for the Water Management of Large River Basins (Proceedings of the Vienna Symposium, August 1991). IAHS Publ. no. 201*. Vienna: IAHS. 1991. P. 301–313.
43. Friedman J.M. and Lee V.J. Extreme floods, channel change, and riparian forests along ephemeral streams. *Ecol. Monogr*. 2002. No. 72. P. 409–425.
44. Comiti F., Lucía A., and Rickenmann D. Large wood recruitment and transport during large floods: A review. *Geomorphology*. 2016. Vol. 269. P. 23–29.
45. Chalov S.R., Ermakova A.S., and Esin E.V. *Rechnye zalomy: rusloformiruyushchaya i ekologicheskaya rol'* (River folds: channel-forming and ecological role). *Vestnik Mosk.Un-ta. Ser. 5. Geografiya*. 2010. No. 6. P. 25–31. (in Russ.)

*ГЕОМОРФОЛОГИЯ, 2022, том 53, № 1, с. 65–80*

## НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

*УДК 551.435.488→551.89(470.25)*

# ОЗЕРНО-ЛЕДНИКОВАЯ ТЕРРАСА В ИЗБОРСКО-МАЛЬСКОЙ ДОЛИНЕ: СТРОЕНИЕ, ВОЗРАСТ И МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ

**© 2022 г. Н. В. Карпухина[1,*], А. Н. Маккавеев[1], А. Л. Захаров[1], Е. А. Константинов[1], Р. Н. Курбанов[1,2], С. С. Бричева[1,2], Н. В. Сычев[1], Д. В. Баранов[1]**

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

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

**E-mail: nvkarpukhina@igras.ru*

Поступила в редакцию 14.05.2021 г.
После доработки 15.09.2021 г.
Принята к публикации 11.10.2021 г.

На примере Изборско-Мальской долины (Псковская область) рассмотрены вопросы генезиса озерно-ледниковых террас в переуглубленных долинообразных понижениях, широко распространенных в области развития поздневалдайского (осташковского) оледенения. В северной части Изборско-Мальской долины были обнаружены фрагменты террасы абс. высотой 56–57 м, примыкающие к нижним частям ее склонов и сложенные тонкослоистыми песчаными отложениями. Данную террасу можно было бы отнести к речной или камовой. Детальные полевые и камеральные исследования позволили установить, что образование тонкослоистых песков в долине произошло на этапе ее дегляциации в приледниковом водоеме. Затем песчаная толща оказалась расчленена водным потоком, что способствовало обособлению фрагментов террасы. Формирование эрозионного вреза следует связывать с более крупным водотоком, а не с современной р. Обдех. Можно полагать, что расчленение первичной озерно-ледниковой поверхности и заложение эрозионного вреза в днище долины произошли во время спуска приледникового водоема ~13.3 тыс. л. н. Спуск подпрудного водоема произошел довольно быстро, из-за чего в верхней части озерно-ледниковых отложений отсутствует литолого-фациальная изменчивость, а в пределах вреза – террасы. Таким образом, терраса имеет озерно-ледниковое происхождение, а ее уступы – эрозионный генезис. Новые данные о механизме формирования озерно-ледниковой террасы в Изборско-Мальской долине отличаются от существующих представлений на северо-западе Восточно-Европейской равнины. Наряду с описанными ранее механизмами образования озерно-ледниковых террас (абразионной деятельностью бывших приледниковых озер, постепенным врезанием рек или с формированием склонов ледникового контакта камовых террас), следует иметь в виду возможность врезания мощных водных потоков при катастрофических спусках приледниковых озер. Результаты исследований террасы в Изборско-Мальской долине указывают на необходимость проведения детальных исследований и в других сходных долинах с целью ревизии возраста и механизма образования террас.

*Ключевые слова:* приледниковый водоем, эрозионный врез, гляциальное картографирование, ОСЛ, поздневалдайское оледенение, позднеледниковье

**DOI:** 10.31857/S0435428122010084

## ВВЕДЕНИЕ

В долинах рек, относящихся к зоне развития последнего оледенения, нередко встречаются террасы, которые не связаны с деятельностью современного водотока. Например, известны камовые террасы в долинах р. Вислы и ее притоков [1, 2], р. Коннектикут [3], озерно-ледниковые террасы в долинах рек Великой [4, 5], Ловати, Ояти, Мсты, Шелони и ее притоков, Луги [5], Пиузы [6–8], Глен Рой [9, 10] и во многих других местах.

В данной статье речь пойдет об озерно-ледниковых террасах, приуроченых к переуглубленным полупогребенным долинам различного генезиса, широко развитым на северо-западе Восточно-Европейской равнины [11–14]. Как правило, площадка озерно-ледниковой террасы – это бывшее дно подпрудного озера, а уступ может сформироваться: в результате абразионной деятельности подпрудного водоема при его спуске; в ходе врезания флювиогляциального потока; формирования и врезания современного водотока; или это бывший склон ледникового контакта камовой террасы.

Во время полевых исследований в северной части Изборско-Мальской долины (Псковская область, Россия) были изучены фрагменты одно-

уровневой террасы. На первый взгляд, данную террасу можно было бы отнести к речной или камовой. Однако детальные полевые исследования позволили предложить иной механизм ее образования.

## ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Изборско-Мальская долина – одна из полупогребенных долин, расчленяющих поверхность западной части Псковской низменности. Слабоизвилистая в плане, она простирается с ЮВ на СЗ от д. Старый Изборск до д. Вашина Гора почти на 10 км (рис. 1). Ширина долины по бровкам варьирует от 0.4 до 1.5 км, ширина днища 0.2–0.7 км, современная глубина долины 40–60 м, глубина палеовреза в районе д. Броды (Печорский р-он) достигает 80 м. Поперечный профиль верхней части долины трапециевидный, в районе Мальского озера корытообразный. Склоны очень крутые (более 35° – до отвесных), местами изрезаны балками и осложнены террасами. Так, в южной части долины можно выделить четыре уровня террас, в то время как в северной – только один. По своему строению террасы в южной части долины денудационные, выработаны в ходе экзарации в дочетвертичных отложениях [15] и отличаются от аккумулятивных фрагментов одноуровневой террасы в ее северной части. В данной статье рассмотрена аккумулятивная терраса в северной части Изборско-Мальской долины.

Изборско-Мальская долина врезана в карбонатно-терригенные отложения среднего и верхнего девона. В бортах долины вскрываются карбонатные отложения (известняки, доломиты, мергели) саргаевского горизонта франского яруса. Они залегают на красноцветных косослоистых терригенных отложениях (пески и песчаники с прослоями глин и алевритов) швентойского горизонта франского яруса верхнего девона и старооскольского горизонта живетского яруса среднего девона [16, 17]. В районе д. Рогово контакт карбонатных и терригенных пород расположен на абс. высоте ~120 м (установлено на основе визуального обследования разрезов с девонскими отложениями), а у д. Старый Изборск ~ 40 м (на основе фондовых материалов). Мощность четвертичных отложений, перекрывающих поверхность междуречья, не превышает 3 м, а в днище долины составляет 4–40 м (возможно и больше). Заполнение днища долины состоит из водно-ледниковых и ледниковых отложений [15, 18].

Дно долины освоено системой рек (Смолка, Сходница, Обдех) и озер (Городищенское и Мальское). Оба водоема являются проточными. Между ними расположено болото, которое вблизи правого борта прорезано р. Сходницей. Из Мальского озера вытекает р. Обдех, впадающая в Псковско-Чудское озеро. В рамках данного исследования рассмотрен участок Изборско-Мальской долины от истока р. Обдех вплоть до д. Вашина Гора (Печорского района, Псковской области).

Основные сведения о геолого-геоморфологическом строении района исследования были получены геологами Северо-Западного геологического территориального управления в ходе геологических съемок, проводимых с 1948 по 1974 г., а также В.А. Исаченковым, В.К. Лесненко и О.М. Татарниковым [12, 19–22]. Большая часть исследователей считают, что Изборско-Мальская долина представляла собой фрагмент древней эрозионной сети, а в ледниковые периоды была расширена и углублена. В ходе наших предыдущих исследований установлено то, что данная долина является ледниковой рытвиной. Ледниковая рытвина была сформирована во время наступаний плейстоценовых оледенений на территорию, которая была сильно преобразована карстово-эрозионными процессами [15].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалы по пространственному положению, внутреннему строению и возрасту террасы получены на основе полевых исследований (геоморфологического картографирования, ручного и механического бурения, заложения шурфов, топографо-геодезической съемки и георадарного профилирования, а также съемки с беспилотного летательного аппарата (БПЛА), картографических (анализ данных ДЗЗ) и аналитических (гранулометрический и радиоуглеродный анализы, датирование методом оптико-стимулированной люминесценции (ОСЛ)) работ.

***Полевые работы.*** В ходе полевых исследований было заложено два поперечных профиля А-А1 и В-В1, пересекающие днище Изборско-Мальской долины к северу от Мальского озера (рис. 1, 2). Бурение скважин и заложение шурфов производились в пределах каждого элемента рельефа по линиям профилей механическим или ручным способом. Механическое бурение было проведено с помощь буровой установки Pride Mount 80, а ручное бурение – с помощью ручного бура Eijkelkamp.

Характер залегания геологических горизонтов между буровыми скважинами и шурфами в западной части профиля А-А1 (рис. 1, 2) уточнялся методом георадиолокации (георадара). В задачи георадиолокационных исследований также входило: детальное (в пределах разрешающей способности) отображение литологического строения основных элементов рельефа и выявление глубины залегания кровли коренных пород (терригенных отложений верхнего и среднего дево-

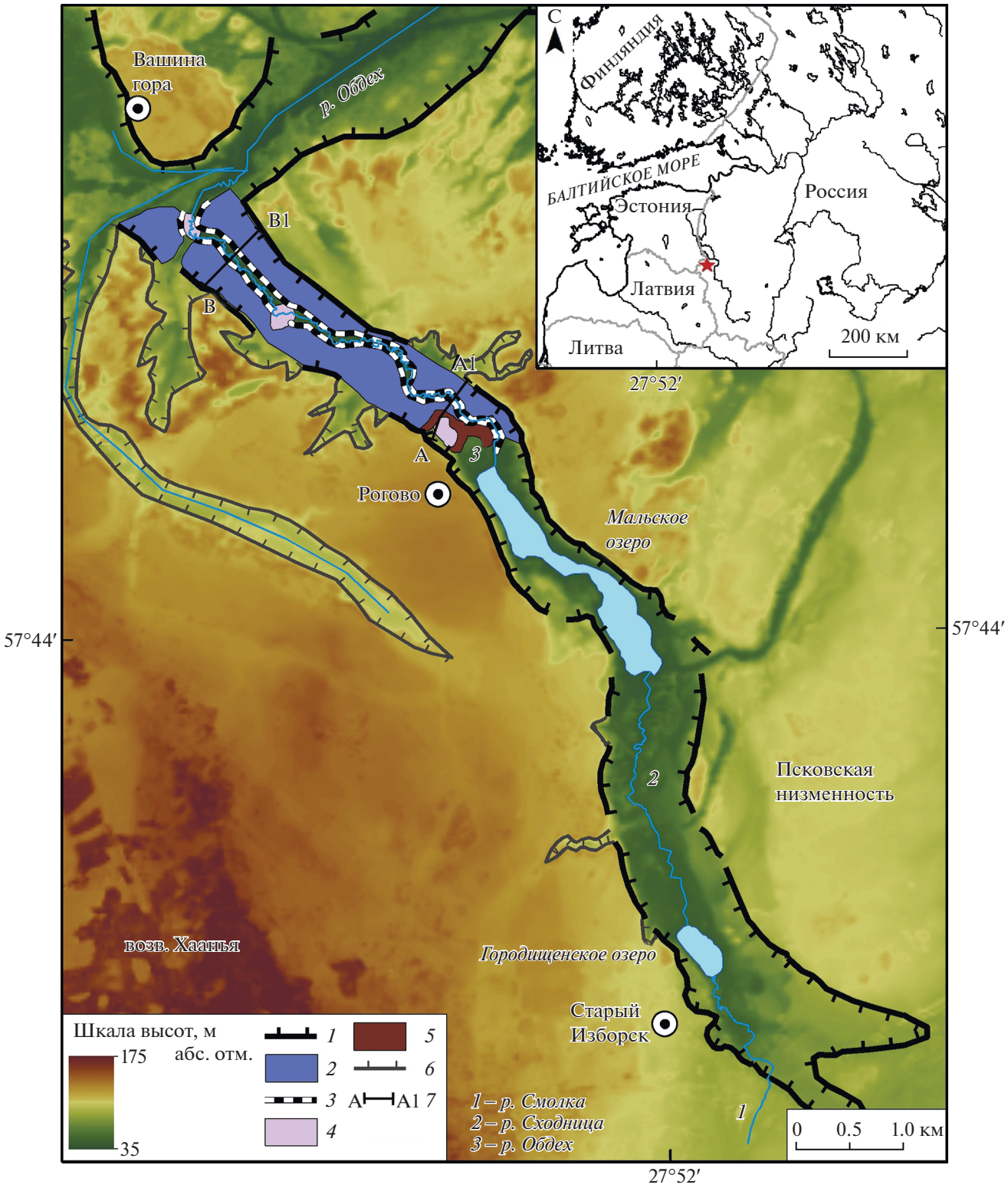



**Рис. 1.** Географическое положение района исследования.

*1* – бровка Изборско-Мальской долины, *2* – терраса (фрагменты озерно-ледниковой поверхности), *3* – эрозионный врез, выработанный в озерно-ледниковых отложениях, *4* – гляциокарстовые западины, *5* – выступ дочетвертичных отложений, *6* – МЭФ, *7* – линии поперечных профилей через днище долины (рис. 2).

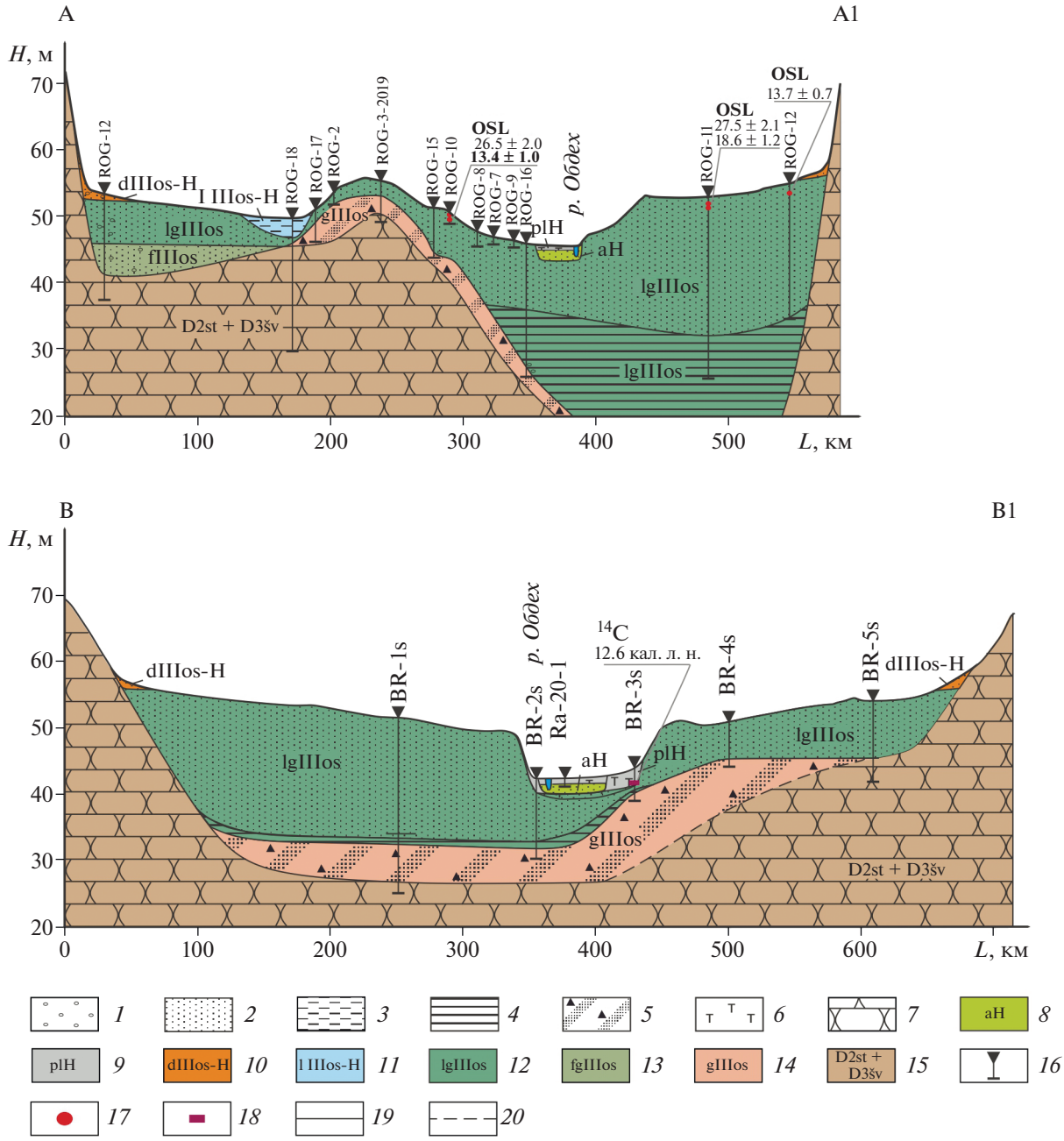



**Рис. 2.** Геолого-геоморфологические профили через днище долины по линиям A-A1 и B-B1 (рис. 1).

*Литология: 1* – гравий, *2* – песок, *3* – суглинок, *4* – ритмично-слоистые суглинки, *5* – суглинок с включением обломочного материала карбонатных и кристаллических пород (диамиктон), а также блоками выветрелых карбонатных пород, *6* – торф, *7* – песчаник; *генезис и возраст отложений: 8* – аллювиальные (голоцен), *9* – болотные (голоцен), *10* – склоновые (верхний неоплейстоцен, осташковский горизонт – голоцен), *11* – озерные (верхний неоплейстоцен, осташковский горизонт – голоцен), *12* – озерно-ледниковые (верхний неоплейстоцен, осташковский горизонт), *13* – флювиогляциальные (верхний неоплейстоцен, осташковский горизонт), *14* – ледниковые (верхний неоплейстоцен, осташковский горизонт), *15* – морские (швентойского горизонта франского яруса верхнего девона и старооскольского горизонта живетского яруса среднего девона); *прочие обозначения: 16* – скважины и шурфы, *17* – образцы на ОСЛ датирование, *18* – образец на радиоуглеродное датирование; *границы: 19* – достоверные, *20* – предполагаемые.

на). Для этих целей применялся георадар ОКО-2 (Логис-Геотех, Россия) с антенным блоком 250 МГц. Длина волны, излучаемой этой антенной в сухом песчано-глинистом разрезе, составляет порядка 40 см, соответственно, разрешающая способность (наименьший размер объекта или наименьшая мощность слоя, которые могут быть обнаружены) – около 20 см. Глубинность исследования

не превышала 6–8 м, что соответствовало поставленным задачам. Для построения глубинного разреза и последующей интерпретации данных использовались данные бурения и шурфовки.

По линии профиля было выполнено линейное топографо-геодезическое профилирование, необходимое для привязки буровых скважин, георадарных профилей, а также фиксации основных форм рельефа. Планово-высотной основой служили пункты Государственной геодезической сети (ГГС) РФ. Работы проводились с использованием геодезических спутниковых приемников (GPS/ГЛОНАСС) “JAVAD Triumph 1”, GPS-приемника “EFT M4”, электронного тахеометра “Sokkia SET 610”, а также оптического нивелира “RGK N-32”. В ходе линейно-высотной съемки частота пикетов, как правило, составляла 15–30 м, что определялось особенностями пересеченности рельефа.

***Геоморфологическое картографирование*** осуществлялось на основе полевых маршрутов и анализа цифровых моделей местности (ЦММ): 1) созданной в ходе съемки с БПЛА Phantom-3 и 2) WorlDEM (Tandem-X) 30 м.

***Аналитические работы*** были выполнены для образцов, отобранных из скважин и шурфов по линии профиля А-А1.

Для проведения *гранулометрического анализа* использовался метод лазерно-дифракционной гранулометрии, который был проведен на лазерном анализаторе размеров частиц Malvern Mastersizer 3000 для отложений мельче гравийной размерности (<2 мм). Механический состав для отложений >2 мм определен методом ситования. Анализу подвергалась только силикатная часть осадка, как наиболее устойчивая к диагенезу. Органическое вещество и карбонаты удалялись в процессе предварительной подготовки. После обработки реактивами материал пипеткой переносился в жидкостную кювету блока диспергирования анализатора. В кювете материал на протяжении 100 с испытывал воздействие ультразвука мощностью 40 Вт и интенсивно перемешивался специальной вертушкой на скорости 2400 об/мин. После отключения ультразвука производилось 10 повторных измерений, результаты которых усреднялись в приложении Mastersizer v.3.62. Вычисление распределения частиц по размерным фракциям выполнялось на основе дифракционной модели Фраунгофера. Результаты гранулометрического анализа представлены на рис. 3. Ввиду сложности отбора песчаных отложений из скважин, образцы на гранулометрический состав были отобраны в основном из шурфов, которые дублировали скважины (ROG-2, ROG-3-2019, ROG-7, ROG-8, ROG-9, ROG-10, ROG-12, ROG-17). Наилучшим образом озерно-ледниковые отложения характеризуют диаграммы для скважин ROG-11 (7.2 м) и ROG-15 (5 м).

**Таблица 1.** Результаты гамма-спектрометрических измерений, содержание радионуклидов в образцах

| Лаб. № | Н | $^{238}$U, Бк/кг | $^{226}$Ra, Бк/кг | $^{232}$Th, Бк/кг | $^{40}$K, Бк/кг |
|---|---|---|---|---|---|
| 176194 | 117 | 4.8 | 8.0 | 8.7 | 212 |
| 176195 | 167 | 23.2 | 27.1 | 28.8 | 591 |
| 176196 | 107 | 5.7 | 9.3 | 10.3 | 253 |
| 176197 | 173 | 10.7 | 9.7 | 10.8 | 239 |
| 176198 | 147 | 12.0 | 13.1 | 13.2 | 308 |

*ОСЛ датирование* было проведено для пяти образов, отобранных из шурфов ROG-10, ROG-11 и ROG-12 (рис. 2, профиль А-А1) в пластиковые трубы (диаметр 8 см и длиной 30 см). Кварц и полевой шпат получены по стандартной методике в лабораторных условиях с выделением фракции 180–250 мкм [25]. Измерение люминесцентного сигнала для кварца и калиевых полевых шпатов (КПШ) было выполнено на стальных дисках с силиконовым маслом. Все измерения (табл. 1, 2) выполнены в Скандинавской люминесцентной лаборатории Датского технического университета на стандартном ТЛ/ОСЛ-ридере Riso (модель DA-20). Для построения кривой насыщения и определения эквивалентной дозы зерна подверглись воздействию излучения бета-источника – изотопа стронция-90. Как ледниковые, так и озерно-ледниковые отложения являются сложным объектом для люминесцентного датирования [26], что связанно с механизмом накопления осадка и непродолжительным воздействием солнечного света на зерна кварца и КПШ. Имеющийся опыт датирования указывает на высокую вероятность неполной засветки и сохранения в песчаных зернах остаточного сигнала, что приводит к удревнению результирующих датировок. Для выявления возможного удревнения и установления надежности определения возраста датирование было проведено параллельно для кварца и КПШ с оценкой и сопоставлением результатов измерений по трем протоколам [27]. По современным представлениям ОСЛ даты можно считать надежными, если $pIRIR_{290}/Q$ находится в диапазоне 0.9–1.2, а с соотношением $IR_{50}/Q$ – в диапазоне 0.5–0.7 [27].

Радиоуглеродный анализ проводился в лаборатории Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета. Определение абсолютного возраста базального горизонта торфа в скв. Br_3S (рис. 2, В-В1) было

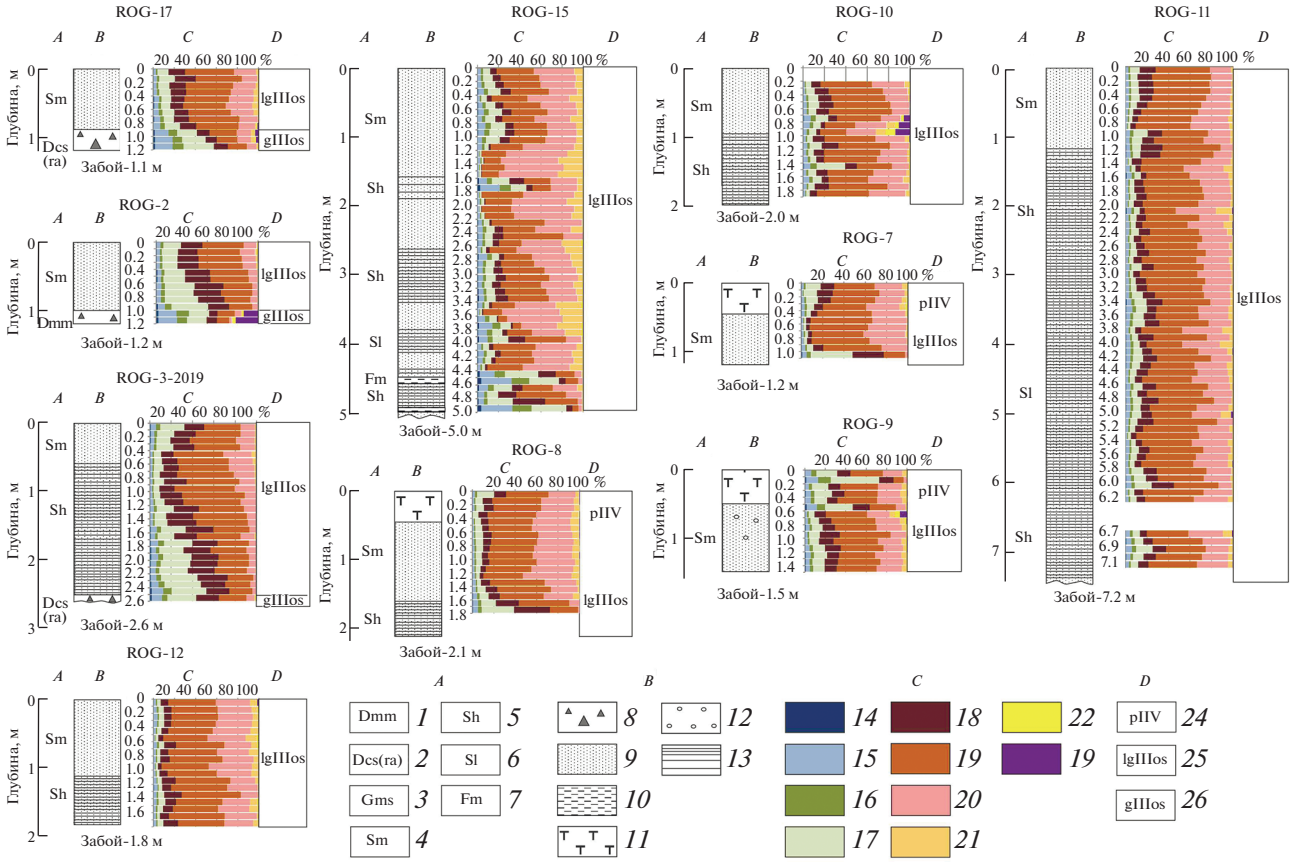



**Рис. 3.** Результаты структурно-текстурных исследований отложений, отобранных из разрезов по линии профиля А-А1 (рис. 1, 2). *А – код литофаций* [22]: *диамиктон (плохо сортированные отложения с включением обломочного материала): 1* – содержание обломков небольшое с массивной текстурой, *2* – с отторженцами карбонатных пород; *3* – гравийный материал; *песок*: *4* – неслоистый, *5* – горизонтально-слоистый, *6* – горизонтально-слоистый с прослоями глинисто-алевритистого материала; *7* – глинисто-алевритистый материал однородный; *B – литология и текстуры: 8* – диамиктон, *9* – песок, *10* – суглинок, *11* – торф, *12* – гравий, *13* – слоистость в осадках; *C – размерность частиц по В.П. Батурину [23], мм: 14* – 0.0001–0.001, *15* – 0.001–0.005, *16* – 0.005–0.01, *17* – 0.01–0.05, *18* – 0.05–0.1, *19* – 0.1–0.25, *20* –0.025–0.5, *21* – 0.5–1.0, *22* – 1.0–2.0, *23* – >2.0; *D – генезис: 24* – болотные отложения (голоцен), *25* – озерно-ледниковые отложения (верхний неоплейстоцен, осташковский горизонт), *26* – ледниковые отложения (верхний неоплейстоцен, осташковский горизонт).

осуществлено жидкостно-сцинтилляционным методом. Процедура калибровки произведена с помощью программы OxCal online на основе калибровочной кривой IntCal 13.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

***Плановое положение террас в долине.*** Как было отмечено выше, фрагменты одноуровневой террасовидной поверхности, возвышающиеся над руслом р. Обдех, были обнаружены в северной части Изборско-Мальской долины (к северу от Мальского озера). Фрагменты террасы примыкают к нижним частям обоих склонов долины (рис. 1, 2), а также к северо-восточному склону останца коренных пород (рис. 2, А-А1). Схожие террасы встречаются ниже по течению р. Обдех, в субширотном долинообразном понижении в которое открывается Изборско-Мальская долина у д. Вашина Гора.

Размеры площадок террасы варьируют от 15 до 350 м. Наиболее широкие части террасы отмечаются вблизи балок, прорезающих борта долины, а наиболее узкие – у озеровидных расширений или останца коренных пород в осевой части долины. Площадки террасы имеют выровненную поверхность, которая немного наклонена в сторону русла р. Обдех (~2°). На отдельных участках поверхность террасы осложнена эрозионными формами. Эрозионные формы являются продолжением балок, секущих склоны долины. Водоток в балках нередко отсутствует, а сами эрозионные формы местами заканчиваются на уровне уступа террасы, который хорошо выражен (рис. 4, а). Его высота составляет 8–10 м над уровнем р. Обдех, а крутизна 10–45°.

***Геолого-геоморфологическое строение днища долины.*** Анализ *профиля по линии А-А1* показывает, что кровля дочетвертичных отложений залега-

**Таблица 2.** Результаты люминесцентного датирования

| Лаб. № | H | КПШ, $IR_{50}$ | | КПШ, $pIRIR_{290}$ | | Кварц, ОСЛ | | WC, % | $D_r$ | Возраст, тыс. лет | | | Возрастные соотношения | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Доза, Гр | *n* | Доза, Гр | *n* | Доза, Гр | *n* | | Гр/тыс. лет | КПШ, $IR_{50}$ | КПШ, $pIRIR_{290}$ | Кварц, ОСЛ | $pIRIR_{290}/Q$ | $IR_{50}/Q$ |
| 176194 | 117 | 58.0 ± 6.0 | 9 | 250.8 ± 23.6 | 9 | 25.2 ± 1.6 | 23 | 15 | 0.95 ± 0.03 | 30.7 ± 3.4 | 132.7 ± 13.7 | 26.5 ± 2.0 | 5.0 ± 0.6 | 1.2 ± 0.1 |
| 176195 | 167 | 54.0 ± 2.9 | 9 | 195.1 ± 14.9 | 9 | 32.4 ± 2.1 | 18 | 15 | 2.41 ± 0.09 | 16.1 ± 1.0 | 58.2 ± 5.0 | 13.4 ± 1.0 | 4.3 ± 0.5 | 1.2 ± 0.1 |
| 176196 | 107 | 60.1 ± 3.7 | 11 | 221.3 ± 16.7 | 11 | 30.2 ± 2.0 | 23 | 15 | 1.10 ± 0.04 | 29.5 ± 2.1 | 108.7 ± 9.4 | 27.5 ± 2.1 | 4.0 ± 0.5 | 1.1 ± 0.1 |
| 176197 | 173 | 46.5 ± 4.0 | 11 | 171.9 ± 9.8 | 11 | 19.7 ± 0.9 | 22 | 15 | 1.06 ± 0.04 | 23.3 ± 2.2 | 86.1 ± 6.1 | 18.6 ± 1.2 | 4.6 ± 0.4 | 1.3 ± 0.1 |
| 176198 | 147 | 31.0 ± 1.1 | 11 | 114.3 ± 6.4 | 11 | 18.0 ± 0.5 | 24 | 15 | 1.31 ± 0.05 | 13.8 ± 0.7 | 50.8 ± 3.5 | 13.7 ± 0.7 | 3.7 ± 0.3 | 1.0 ± 0.1 |

H – глубина, см; IR – измерения для КПШ при температуре 50°C; pIRIR – измерения для КПШ при температуре 290°C; *n* – количество аликвот; WC – оценка водонасыщение породы; $D_r$ – скорость накопления дозы.

ет на данном участке неравномерно. Так, у левого борта находится неглубокая котловина (около 10 м), в центральной части – гряда высотой 10 м, а у правого (восточного) борта долины присутствует ложбинообразное понижение (глубже 30 м). В пределах профиля четвертичные отложения, облекающие неровности рельефа коренных пород, распределены неравномерно.

На дочетвертичных отложениях, представленных песчаниками, залегают выветрелые блоки карбонатных пород (отторженцы) с суглинком, насыщенным обломками карбонатных и кристаллических пород (морена). На радарограмме в пределах выступа коренных пород (центральная часть профиля) зафиксированы отражения от крупных объектов, подтвержденные в процессе бурения. Схожая радиолокационная картина была ранее описана в [15] и характерна для отторженцев. Стоит отметить, что присутствие известняков в естественном залегании в днище долины исключено. Выше, в разделе “Географическое положение...” указывалось на то, что подошва карбонатных и терригенных девонских пород в окрестностях д. Рогово расположена на абс. высоте 120 м.

В западной части профиля (в котловине) гляциальные отложения (морена) отсутствуют вовсе. На дочетвертичных породах залегает песчано-гравийный материал, который перекрыт тонко- и мелкозернистым песком (ROG-19). Ложбина, расположенная в восточной части профиля, полностью выполнена ритмично-слоистыми суглинками и песчаными отложениями, которые были вскрыты скважинами – ROG-16, ROG-11, ROG-12. В нижней части ложбины залегают ритмично-слоистые суглинки серо-коричневого цвета, которые на глубинах 35–40 м переходят в тонкослоистые тонко- и мелкозернистые пески. Мощность песчаной толщи достигает 20 м.

В залегающих с поверхности песках, восточнее выступа дочетвертичных отложений, фиксирует-

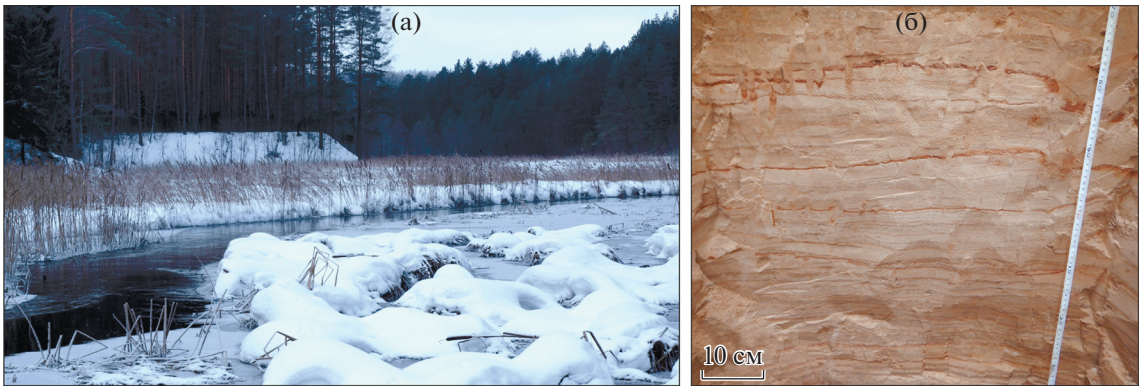



**Рис. 4.** Терраса, примыкающая к левому борту долины к северу от линии профиля А-А1 (фото К. Брызгалова) – (а) и тонкослоистые озерно-ледниковые отложения в разрезе ROG-3-2019 (фото Н. Карпухиной) – (б).

ся понижение шириной 140 м и глубиной 8 м (рис. 2, А-А1). Склоны этого понижения довольно крутые – от 10 до 45°. У подножья восточного склона понижения (уступа террасы) отмечается наличие склоновых отложений. На рис. 4, (а) представлен западный склон понижения (уступ террасы), расположенный в 1 км к северу от линии профиля. Днище понижения заболочено, по нему протекает р. Обдех.

На профиле В-В1 (рис. 2) видно, что кровля девонских отложений залегает на этом участке долины также неравномерно. В западной части профиля отмечается широкая и неглубокая ложбина, а в правой – ступенька, выработанная в дочетвертичных отложениях. Коренные породы практически повсеместно (кроме восточной части профиля – скв. BR-5s) перекрыты гляциальными отложениями (мореной) – блоками сильно выветрелых карбонатных пород с примесью суглинка и обломочного материала. На морене залегают тонко- и мелкозернистые пески. В западной части профиля, в основании песчаной толщи, отмечается маломощный прослой ритмичнослоистых суглинков. На этом участке зафиксирована наибольшая мощность песчаных отложений. Стоит отметить, что тонкослоистые песчаные отложения в пределах обоих профилей (рис. 2, А-А1 и В-В1) не встречаются выше 56–57 м абс.

В центральной части профиля В-В1 отмечается понижение шириной порядка 110 м и глубиной около 10 м. Склоны данного понижения весьма крутые, достигают 40–45°. Днище понижения выполнено торфом мощностью до 3 м. Наличие данного понижения, также, как и на профиле А-А1, обусловливает разделение одноуровневой поверхности и появление двух пологонаклонных террас шириной 150–250 м по обе стороны от р. Обдех.

Таким образом, понижение (эрозионный врез) со сходными морфологическими и морфометрическими характеристиками, выработанное в тонкослоистых песчаных отложениях, фиксируется не только по линиям профилей, но и между ними (рис. 1). Данное понижение способствует появлению террасированных поверхностей в северной части долины р. Обдех.

***Текстурно-структурные особенности песчаных отложений.*** Пески по линии профиля А-А1 так же, как и в пределах всего днища долины, имеют кварцево-полевошпатовый состав с высокой долей слюды и обладают сходными литологическими характеристиками (рис. 3). Наилучшим образом песчаная толща охарактеризована в скважинах ROG-15 и ROG-11, заложенных по обе стороны от р. Обдех.

В отложениях, перекрывающих останец коренных пород, а также слагающих террассовидные поверхности, преобладают зерна мелкопесчаной размерности. При проведении гранулометрического анализа нами была использована дифракционная модель Фраунгофера, поэтому содержание мелкого и среднезернистого песка оказалось немного завышено (рис. 3), по сравнению с полевым описанием отложений. Данная модель не позволяет учитывать оптические свойства исследуемого материала, обусловленные морфологией частиц (в данном случае пластинчатую форму частиц, характерную для слюды). В зависимости от того, как неизометричная (пластинчатая) частица будет вести себя в пространстве относительно лазерного луча в момент измерения, будет получен тот или иной ее размер [28]. Прослои среднезернистого песка отмечаются только в скважине ROG-15 (рис. 3). Повышенное содержание алеврита и глины фиксируется в отдельных интервалах скважин ROG-2, ROG-3-2019, ROG-17, ROG-15, ROG-7, ROG-8 и приурочено к отдельным прослоям или участкам вблизи подошвы песков. В целом распределение частиц в большинстве отобранных проб унимодальное. Бимодальное распределение встречается в скважине ROG-15 и соответствует прослоям опесчаненного суглинка.

Опираясь на результаты гранулометрического анализа отложений, а также полевого описания скважин по линиям профилей можно констатировать, что для песчаной толщи отложений характерен схожий состав, представленный тонко- и мелкозернистыми песками.

Песчаные отложения с поверхности до 0.4–1.0 м во всех разрезах имеют массивную текстуру, а ниже данного интервала – тонкую горизонтальную слоистость, которая нередко подчеркнута ожелезнением (рис. 4, в).

***Результаты оптико-люминесцентного датирования отложений.*** Датирование методом ОСЛ было выполнено для 7 образцов, отобранных из 3 шурфов, вскрывающих строение террас по линии профиля А-А1 (ROG-10, ROG-11, ROG-12).

Для разреза ROG-10 было получено две даты по кварцу – 26.5 ± 2.0 тыс. л. н. и 13.4 ± 1.0 тыс. л. н. (табл. 2). Между ними отмечается возрастная инверсия. В то же время сравнение результатов измерений по кварцу и полевому шпату ($IR_{50}$ и $pIRIR_{290}$) для образца 176194 показывает то, что материал отличается низкой степенью засвеченности ($pIRIR_{290}/Q$ – 5.0, $IR_{50}/Q$ – 1.2). Что же касается нижней датировки 13.4 ± 1.0 тыс. л. н. (176195), то степень засвеченности частиц немного выше ($pIRIR_{290}/Q$ – 4.3, $IR_{50}/Q$ – 1.2), чем у 176194.

Возрастная оценка песчаных отложений в разрезе ROG-11 опирается на две датировки по кварцу – 27.5 ± 2.1 тыс. л. н. и 18.6 ± 1.2 тыс. л. н. Здесь также отмечаются возрастная инверсия и удревнение материала. Использованный материал отличается низкой степенью засвеченности частиц:

176196 – $pIRIR_{290}/Q$ – 4.0, $IR_{50}/Q$ – 1.1; 176197 – $pIRIR_{290}/Q$ – 4.6, $IR_{50}/Q$ – 1.3.

Наилучшая степень засвеченности частиц зафиксирована у образца 176198 из разреза ROG-12: $pIRIR_{290}/Q$ – 3.5, $IR_{50}/Q$ – 1.0. Возраст материала по кварцу для данного образца составляет 13.7 ± ± 0.7 тыс. л. н.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты исследований позволяют судить об условиях, времени и механизме образования террасы в северной части днища долины.

***Условия и механизмы осадконакопления отложений последнего гляциоседиментационного цикла.*** С развитием поздневалдайского (осташковского) оледенения в Изборско-Мальской долине связаны четвертичные отложения трех генетических типов: гляциальные, флювиогляциальные и лимногляциальные.

Гляциальный тип представлен блоками выветрелых карбонатных пород с примесью неоднородного суглинка, который содержит большое количество обломков кристаллических и карбонатных (преобладают) пород (рис. 2). Мощность гляциальных отложений в пределах северной части Изборско-Мальской долины варьирует от 0 до 8–10 м. Их формирование соотносится со временем наступания последнего оледенения, которое в данном районе могло быть связано как с началом поздневалдайского оледенения, так и с активизацией края ледникового покрова в лужскую стадию [17, 29]. Возраст лужской стадии оценивается в 16.0–15.7 кал. тыс. л. н. [30]. В пользу такой точки зрения свидетельствует наличие озерно-аллювиальных отложений, которые залегают под мореной в районе д. Вашина Гора у северной границы района исследования и сопоставляются с мстинским интерстадиалом[1] [18]. По всей видимости, блоки карбонатных пород были отторгнуты в районе д. Вашина Гора, где проходит уступ девонской куэсты [19, 21] и отложены в днище долины к югу от уступа. Углубление долины в породы девона происходило за счет экзарации как раз на этапе наступания ледника. Об этом свидетельствуют залегание гляциальных отложений на коренных породах и отсутствие флювиогляциальных отложений, за исключением котловины на профиле А-А1 у левого борта.

Наличие флювиогляциальных песчано-гравийных отложений в котловине у левого борта (рис. 2, А-А1) можно связать как с этапом развития оледенения и формированием подледниковых потоков, так и со временем дегляциации. Ввиду того, что котловина у левого борта долины в рельефе выражена слабо, скорее всего, в процессе ее образования воды не испытывали значительного напора. При этом для подледниковых вод характерно высокое гидростатическое давление [31, 32] и, соответственно, активное воздействие на податливые горные породы (песчаники и глины).

Лимногляциальные отложения в днище долины представлены относительно глубоководными фациями. Ритмично-слоистые суглинки выполняют значительную часть ложбины у правого борта долины, а также их маломощный прослой отмечается в северной части района исследования в основании песков (рис. 2, В-В1). Формирование данных отложений происходило в условиях водоема, имевшего застойный режим и медленные темпы аккумуляции осадка. Аналогичные осадки, залегающие в южной части долины под торфом и карбонатным илом, были описаны ранее [15]. Данные отложения во всех скважинах в пределах обоих профилей постепенно переходят в пески. Залегающие над ритмично-слоистыми суглинками тонкослоистые тонко- и мелкозернистые пески встречаются в пределах всей северной части долины. Наличие тонкой слоистости в данных отложениях позволяет говорить об их осаждении из взвеси в условиях слабопроточного водоема. Присутствие прослоев среднезернистого песка в верхней части скв. ROG-15 указывает на локальное появление проточности в водоеме на завершающем этапе его существования (рис. 3).

Озерно-ледниковые отложения в пределах днища долины не встречаются выше 56–57 м абс., а их кровля в пределах фрагментов террасы залегает практически на едином гипсометрическом уровне. Мощность и литологический состав озерно-ледниковых отложений варьируют в пределах не только отдельных частей профилей, но и разных участков долины (от 1 до 20 м). Наибольшие мощности песков фиксируются на тех участках, где в долину открываются малые эрозионные формы (рис. 1). На выровненной озерно-ледниковой поверхности местами встречаются V-образные балки нередко без водотока, которые заканчиваются на уровне уступа террасы (реже прорезают мощность озерно-ледниковых отложений). Можно предположить, что малые эрозионные формы (МЭФ) были привязаны к уровню приледникового водоема, а материал, который поступал в озеро, затем перераспределялся в нем. Стоит отметить, склоны северной части долины сложены девонскими песчаниками, из-за чего в приледниковый водоем поступал большой объем песка. В южной части долины ритмично-слоистые суглинки практически не перекрыты песчаными отложениями, да и МЭФ там развиты слабо (рис. 1).

[1] Мстинский интерстадиал (синоним раунисское потепление) предшествовал похолоданию раннего дриаса.

**Рис. 5.** Озеровидное расширение в днище Изборско-Мальской долины (фото А. Захарова).

Что же касается причин неравномерной мощности лимногляциальных отложений, а также возникновения различий в литологическом строении в разных частях долины, то данную особенность можно связать с неравномерным таянием блоков мертвого льда. На существование мертвого льда в северной части долины указывает наличие озеровидных расширений (бывших гляциокарстовых котловин) и порожистых участков (рис. 1, 5) в русле р. Обдех с обилием валунов (перепад высот составляет ~1.5 м).

Анализ толщи четвертичных отложений позволяет в общих чертах реконструировать историю развития северной части Изборско-Мальской долины до момента спуска приледникового водоема (рис. 6, I-III).

***Время окончания седиментации в приледниковом водоеме.*** Образцы на ОСЛ датирование были отобраны из единого слоя в верхней части песчаных отложений, поэтому результаты анализа позволяют оценить время заключительного этапа осадконакопления в подпрудном водоеме.

К сожалению, материал из всех образцов, использованных для датирования, отличался низкой или средней степенью засвеченности. При датировании лимногляциальных отложений возраст образца нередко получается древнее предполагаемого, что неоднократно указывалось в работах по ОСЛ датированию [33, 34]. Подобная ситуация связана с неполным засвечиванием частиц кварца в процессе их транспорта, быстрым оседанием из взвеси в условиях ограниченного освещения в водной среде.

Согласно с существующими представлениями [17, 29], дегляциация района исследования, а следовательно, формирование приледникового водоема, не могла начаться >15.7 тыс. л. н. [30]. Данному условию удовлетворяют только две даты из всей серии (176195—13.4 ± 1.0 тыс. л. н. и 176198—13.7 ± 0.7 тыс. л. н. (рис. 2, табл. 2)). Полученные оценки не противоречат тому, что тонкослоистые песчаные отложения, которые не содержат органического материала, формировались в условиях холодного олиготрофного озера. При этом, опираясь на результаты датирования скв. Br-3S (рис. 2, B-B1), органогенный этап осадконакопления в северной части долины начался около 10610 ± 120 л. н. ЛУ-1014 (12580 ± 180 кал. тыс. л. н.). Соответственно, можно полагать, что осадконакопление в приледниковом водоеме продолжалось до ~ 13.3 тыс. л. н. (ОСЛ), а после этого произошел его спуск.

Выводы о предельном времени развития приледникового водоема в долине отличаются от существующих представлений, изложенных в работах [11, 29, 35, 36]. По данным этих исследователей, приледниковый водоем в Изборско-Мальской долине должен был представлять залив обширного озера в пределах Псковской низменности, формировавшийся сразу после начала дегляциации. В таком случае спуск этого водоема должен был происходить на одну тысячу лет раньше (~14.3 кал. тыс. л. н. [29, 36]), чем это получилось у нас. Однако вышеперечисленные построения и оценки носят чисто теоретический характер и нуждаются в верификации.

***Механизм формирования террасы в днище долины.*** Озерно-ледниковую поверхность в днище Изборско-Мальской долины расчленяет эрозионный врез, который простирается от СВ окраины Мальского озера и открывается в долинообразное понижение субмеридионального направления. Склоны вреза таким образом одновременно являются уступами рассматриваемой нами озерно-ледниковой террасы. Можно ли считать, что формирование данного эрозионного вреза связано с деятельностью современной р. Обдех, которая активно меандрирует в его днище, или нет?

Возраст подошвы торфа в скважине Br-3S (рис. 2), расположенной в днище эрозионного вреза, составляет 10610 ± 120 л. н. ЛУ-1014 (12580 ± ± 180 кал. тыс. л. н). Полученная датировка вполне сопоставима с датировками базальных горизонтов торфа как вблизи впадения р. Обдех в Псковское озеро – 10050 ± 120 л. н. [37] (11590 ± ± 200 кал. л. н. – *авт.*), так и в районе д. Старый Изборск (Сухое болото) – 8340 ± 180 л. н. (9290 ± ± 220 кал. л. н.) [15]. Данные датировки говорят о том, что торфообразование в Изборско-Мальской долине началось в конце позднего дриаса – начале голоцена. Это подтверждает гипотезу [35–37] о том, что уровень водоема в котловине Псковско-Чудского озера (базис эрозии для р. Обдех) в конце позднеледниковья – начале голоцена был ниже современного (30 м абс. отм.). В начале голоцена существовало так называемое Малое Чудское озеро [35], которое было полностью локализовано в северной части котловины. Согласно с [38], около 9.6–9.1 кал. тыс. л. н. уровень Псковско-Чудского озера находился на 10 м ниже современного (20–21 м абс.). Таким образом, заложение эрозионного вреза в северной части Изборско-Мальской долины произошло еще до начала торфообразования в долине (рис. 6, IV) и не было связано с деятельностью современной р. Обдех, которая размывает отложения торфа (рис. 6, V). Также известно, что формирование аллювиальных террас в долинах рек бассейнов Псковско-Чудского озера и озера Ильмень относится к голоцену [5, 39]. Соответственно, исследуемый нами эрозионный врез (рис. 6, IV) должен был сформироваться между 13.3 тыс. л. н. (время спуска приледникового водоема) и 12.6 кал. тыс. л. н. (начало заболачивания днища долины).

На космических снимках и ЦММ эрозионный врез выражен довольно ярко, поскольку его днище не покрыто лесом, в отличие от площадок отдельных фрагментов террасы. В плане он имеет сложный характер: к северу от Мальского озера – извилистый, здесь находятся 3 крупных излучины (первые два меандра имеют шаг ~400 м, а последний (северный) ~850 м); ниже по течению – прямолинейный с озеровидными расширениями и пережимами между частями ложбины (2 прямолинейных отрезка и 2 котловины). Ширина вреза по бровкам варьирует от 100 до 150 м, а глубина – 8–10 м. Наличие таких больших врезанных меандров не соответствует расходам современной р. Обдех. Таким образом, образование эрозионного вреза обусловлено деятельностью более мощного водного потока, формирование которого возможно было при спуске приледникового водоема.

Можно полагать, что спуск приледникового водоема произошел быстро, поскольку не оставил следов медленного понижения уровня водоема ни в отложениях, ни в рельефе. В верхних ча-

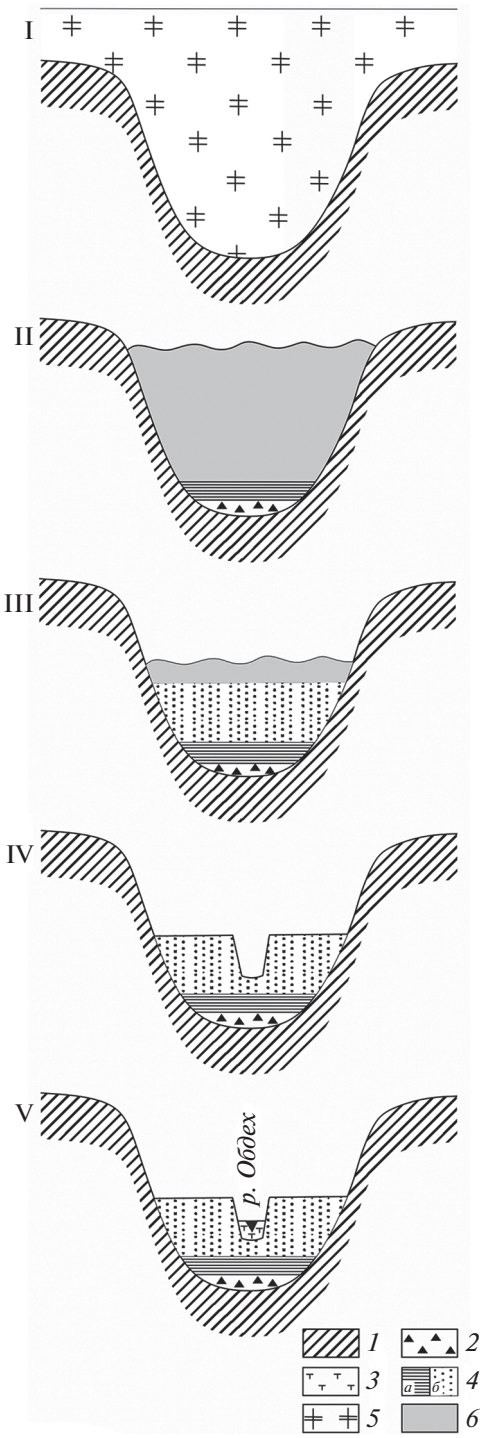



**Рис. 6.** Схема развития северной части Изборско-Мальской долины в позднеледниковье–голоцене.

*Основные этапы:* I – ледниковый, II–III – субаквальный (развитие приледникового водоема); *субаэральный:* IV – быстрый спуск приледникового водоема, заложение эрозионного вреза, V – заболачивание днища эрозионного вреза, а затем формирование современной р. Обдех.

*1* – дочетвертичные отложения, *2* – гляциальные отложения (морена), *3* – торф, *4* – озерно-ледниковые (*а* – суглинки, *б* – пески), *5* – ледник, *6* – приледниковый водоем.

стях разрезов по линиям обоих профилей отсутствует изменчивость в гранулометрическом составе, а тонкая горизонтальная слоистость фиксируется сразу под горизонтом, затронутым процессами почвообразования (рис. 3). При затрудненном и неравномерном стоке следовало бы ожидать появление мелководных или прибрежных фаций лимногляциальных отложений, характеризующихся другими текстурами и более крупным механическим составом. Кроме того, в эрозионном врезе должны были бы появиться дополнительные террасы. Вероятно, что постепенное вытаивание мертвого льда протекало тогда, когда долина еще была заполнена водами приледникового водоема.

Как уже отмечалось во введении, на СЗ Восточно-Европейской равнины озерно-ледниковые террасы встречаются в долинах рек Великой [4, 5], Ловати, Ояти, Мсты, Шелони и ее притоков, Луги [5], Пиузы [6, 7]. Как правило, формирование верхних террас этих речных долин связывается с изменением уровней обширных приледниковых водоемов, мигрировавших за краем ледника [4–7, 29 и др.]. В качестве механизма образования террас предлагается абразионная деятельность бывших приледниковых озер или постепенное врезание рек, впадающих в подпрудные озера. Гораздо реже уступы террас рассматривают как склоны ледникового контакта камовых террас. Результаты исследований террасы в Изборско-Мальской долине указывают на необходимость проведения детальных исследований в вышеперечисленных бассейнах с целью ревизии генезиса и возраста террас, а также верификации моделей приледниковых озер для СЗ Восточно-Европейской равнины. Ведь в основу существующих моделей приледниковых озер в значительной мере положены данные о высотных отметках озерно-ледниковых террас, чей возраст и механизм образования не всегда известны.

## ВЫВОДЫ

1. В северной части Изборско-Мальская долина выполнена гляциальными, флювио- и лимногляциальными отложениями. Формирование морены сопоставляется со временем наступания последнего оледенения. Лимно- и флювиогляциальные отложения отвечают этапу дегляциации долины. Лимногляциальные отложения составляют большую часть заполнения исследуемого участка долины и образуют первичную выровненную озерно-ледниковую поверхность с уровнем ~56–57 м абс. Формирование данных отложений происходило в приледниковом водоеме вплоть до момента его спуска (~13.3 тыс. л. н.).

2. Спуск подпрудного водоема произошел довольно быстро, из-за чего в верхней части озерно-ледниковых отложений отсутствует литолого-фациальная изменчивость, а в пределах эрозионного вреза – террасы.

3. Первичная озерно-ледниковая поверхность расчленена эрозионным врезом, что способствовало обособлению фрагментов террасы. Заложение эрозионного вреза произошло во время спуска приледникового водоема ~13.3 тыс. л. н. и было обусловлено деятельностью потока, расход которого значительно превышал таковой современной р. Обдех.

4. Река Обдех, наследующая днище эрозионного вреза и размывающая позднеплейстоценовые и голоценовые отложения торфа, в своем современном виде сформировалась в голоцене.

5. Полученные данные о возрасте и механизме образования рассматриваемой террасы отличаются от существующих представлений о верхних террасах в долинообразных понижениях, которые широко развиты на СЗ Восточно-Европейской равнины. Таким образом, наряду с описанными ранее механизмами образования озерно-ледниковых террас (абразионной деятельностью бывших приледниковых озер, постепенным врезанием рек или с формированием склонов ледникового контакта камовых террас) следует иметь в виду возможность врезания мощных водных потоков при катастрофических спусках приледниковых озер.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 20-77-00095 (полевые работы, радиоуглеродное датирование). Гранулометрический анализ проводился в рамках темы госзадания № 0148-2019-0005. Особое внимание в статье было уделено анализу ЦМР. Данные TanDEM-X 30 были любезно предоставлены Немецким аэрокосмическим агентством (DLR) в рамках заявки: DEM_GEOL1527. Авторы выражают отдельную благодарность А.Г. Матюхину, А.Ю. Качалову, Н.Т. Ткачу и А.Л. Гуринову за помощь при проведении полевых работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Błaszkiewicz M., Piotrowski J., Brauer A., Gierszewski P., Kordowski J., Kramkowski M., Lamparski P., Lorenz S., Noryśkiewicz A., Ott F., Słowiński M., and Tyszkowski S.* Climatic and morphological controls on diachronous postglacial lake and river valley evolution in the area of Last Glaciation, northern Poland // Quaternary Science Reviews. 2015. Vol. 109. P. 13–27.
2. *Kordowski J.* The role of blocks of dead ice in the deposition of late glacial sediments in a large valley: A case study from the Vistula river valley in the Grudziądz basin, north Poland // Geographia Polonica. 2013. Vol. 86. No. 4. P. 341–361.
3. *Flint R.F.* Glacial and Pleistocene Geology. New York: John Wiley & Sons, 1964. 892 p.

4. *Исаченков В.А.* Приледниковые водоемы Псковской низины // История озер Северо-Запада. Л.: Изд-во Геогр. общества СССР, 1967. С. 86–93.
5. *Малаховский Д.Б., Баканова И.П.* Крупнейшие речные долины // Геоморфология и четвертичные отложения Северо-Запада европейской части СССР (Ленинградская, Псковская и Новгородская области). Л.: Наука, Ленингр. отд., 1969. С. 54–65.
6. *Liblik T.* Jooni Piusa oru geomorfoloogiast // Eesti Geograafia Seltsi Aastaraamat 1964/1965. 1966. P. 34–55.
7. *Hang T., Miidel A., and Pirrus R.* Late Weichselian and Holocene water-level changes of Lake Peipsi, eastern Estonia // PACT (Rixensart). 1996. No. 50. P. 121–131.
8. Lake Peipsi. Geology / By eds. A. Miidel, A. Raukas. Tallinn: Sulemees publ., 1999. 21 p.
9. *Palmer A.P. and Lowe J.J.* Dynamic landscape changes in Glen Roy and vicinity, west Highland Scotland, during the Younger Dryas and early Holocene: a synthesis // Proceedings of the Geologists' Association. 2017. Vol. 128. P. 2–25.
10. *Sissons J.B.* The lateglacial lakes of Glens Roy, Spean and vicinity (Lochaber district, Scottish Highlands) // Proceedings of the Geologists' Association. 2017. Vol. 128. P. 32–41.
11. *Квасов Д.Д.* Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л.: Наука, Ленингр. отд., 1975. 278 с.
12. *Исаченков В.А.* О происхождении долинообразных понижений поверхности дочетвертичных пород Северо-Запада Русской равнины // Вестн. МГУ. 1981. № 6. С. 46–50.
13. *Малаховский Д.Б., Федоров Б.Г.* О генезисе и возрасте переуглублений на севере Европы // Возраст и генезис переуглублений на шельфах и история речных долин. М.: Наука, 1984. С. 134–140.
14. *Krotova-Putintseva A.Y. and Verbitskiy V.R.* Preglacial geomorphology of the northern Baltic Lowland and the Valdai Hills, north-western Russia // Bulletin of the Geological Society of Finland. 2012. Vol. 84. P. 58–68.
15. *Карпухина Н.В., Бричева С.С., Константинов Е.А., Татарников О.М., Маккавеев А.Н., Захаров А.Л.* О происхождении террас в погребенных долинах на северо-западе Восточно-Европейской равнины // Геология и геофизика. 2021. № 2. С. 238–253.
16. Геология СССР. Т. I. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. Геологическое описание / гл. ред. А.В. Сидоренко. М.: Недра, 1971. 505 с.
17. *Татарников О.М.* Рельеф и палеогеография Псковской области. Псков: ПГПУ, 2007. 127 с.
18. *Апухтин Н.И., Саммет Э.Ю.* Псковская, Новгородская, западная и южная части Ленинградской области // Геология четвертичных отложений Северо-Запада Европейской части СССР. Л.: Недра, 1967. С. 111–160.
19. *Исаченков В.А.* О девонской куэсте на территории Псковской области // Уч. зап. ПГПИ. 1969. № 22. С. 3–10.
20. *Лесненко В.К.* О проявлении карста на территории Печорского района Псковской области // Мат-лы 10 науч. конф. Вып. 6. Псков: ПГПИ, 1968. С. 3–10.
21. *Татарников О.М., Лесненко В.К., Михайлов И.И.* О сохранности фрагмента девонской куэсты на территории Псковской области // Геоморфология. 1995. № 4. С. 81–83.
22. *Татарников О.М.* Ландшафтно-экологическая и инженерно-геологическая характеристика территории Труворова городища // Вестн. Псковского гос. ун-та. 2013. № 2. С. 115–123.
23. *Eyles N., Eyles C.H., and Miall A.D.* Lithofacies types and vertical profile models; an alternative approach to the description and environmental interpretation of glacial diamict sequences // Sedimentology. 1983. Vol. 30. P. 393–410.
24. *Батурин В.П.* Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. М.–Л.: Изд-во и 2-я тип. Изд-ва Акад. наук СССР, 1947. 338 с.
25. *Курбанов Р.Н., Янина Т.А., Мюррей Э.С., Семиколенных Д.В., Свистунов М.И., Штыркова Е.И.* Возраст карангатской трансгрессии (поздний плейстоцен) Черного моря // Вестник Моск. ун-та. Серия 5. География. 2019. № 6. С. 29–38.
26. *Möller P. and Murray A.S.* Drumlinised glaciofluvial and glaciolacustrine sediments on the Småland peneplain, South Sweden – new information on the growth and decay history of the Fennoscandian Ice Sheets during MIS3 // Quaternary Science Reviews. 2015. Vol. 122. P. 1–29.
27. *Murray A.S., Marten R., Johnston A., and Martin P.* Analysis for naturally occurring radionuclides at environmental concentrations by gamma spectrometry // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 1987. Vol. 115. Issue 2. P. 263–288.
28. *Константинов Е.А., Еременко Е.А.* Значение метода лазерной дифракционной гранулометрии при изучении лёссов (на примере разреза Мелекино, Северное Приазовье) // Отечественная геология. 2012. № 3. С. 47–54.
29. *Карпухина Н.В.* Особенности деградации осташковского ледникового покрова в пределах Чудско-Псковской низменности // Геоморфология. 2013. № 4. С. 38–47.
30. *Kalm V.* Ice-flow pattern and extent of the last Scandinavian Ice Sheet southeast of the Baltic Sea // Quaternary Science Reviews. 2012. No. 44. P. 51–59.
31. Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers. Springer, 2011. 463 p.
32. *Jørgensen F. and Sandersen P.* Buried and open tunnel valleys in Denmark – erosion beneath multiple ice sheets // Quaternary Science Reviews. 2006. No. 25. P. 1339–1363.
33. *Raukas A.* Application of OSL and $^{10}$Be techniques to the establishment of deglaciation chronology in Estonia // Proceedings of the Estonian Academy of Sciences: Geology. 2004. Vol. 53. P. 267–287.
34. *Alexanderson H. and Murray A.* Problems and potential of OSL dating Weichselian and Holocene sediment in Sweden // Quaternary Science Reviews. 2009. No. 44. P. 37–50.
35. *Раукас А.В., Ряхни Э.Э.* О геологическом развитии впадины и бассейна Чудского и Псковского озер // Изв. АН ЭССР. 1969. № 2. С. 113–127.
36. *Rosentau A., Hang T., and Miidel A.* Simulation of the shorelines of glacial Lake Peipsi in Eastern Estonia

during the Late Weichselian // Geological Quarterly. 2004. Vol. 48. P. 299–307.

37. *Miidel A., Hang T., Pirrus R. and Liiva A.* On the development of the southern part of Lake Peipsi in the Holocene // Proc. Estonian Acad. Sci. Geol. 1995. Vol. 44. № 1. P. 33–44.
38. *Hang T., Kalm V., Kihno K. and Milkevičius M.* Pollen, diatom and plant macrofossil assemblages indicate a low water level phase of Lake Peipsi at the beginning of the Holocene // Hydrobiologia. 2008. Vol. 599. P. 13–21.
39. *Лисицина Г.Н.* Вопросы палеогеографии позднеледникового времени на территории Северо-Запада европейской части СССР // Ледниковый период на территории европейской части СССР и Сибири. М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1959. С. 13–38.

# Glaciolacustrine terrace in the Izborsko-Malskaya valley: structure, age and mechanism of formation

**N. V. Karpukhina[a,#], A. N. Makkaveyev[a], A. L. Zakharov[a], E. A. Konstantinov[a], R. N. Kurbanov[a,b], S. S. Bricheva[a,b], N. V. Sychev[a], and D. V. Baranov[a]**

[a] *Institute of Geography RAS, Moscow, Russia*

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

[#] *E-mail: nvkarpukhina@igras.ru*

Using the Izborsko-Malskaya valley (Pskov region) as an example was considered the issues of the origin of glaciolacustrine terraces in overdeepened valleys widespread in the Late Valdai (Ostashkov, Weichselian) glaciations areas. Fragments of the one-levelled terrace in the northern part of the Izborsko-Malskaya valley, composed of fine-laminated sands, are adjacent to the lower parts of the valley slopes. This terrace could be determined as alluvial or kame terrace. Detail field and lab investigations allowed us to establish the formation of fine-laminated sands. They accumulated in the proglacial lake during the Izborsko-Malskayay valley's deglaciation. Then the sandy thickness was divided by the water flow. The formation of the erosional incision should not be associated with the modern r. Obdekh. It tooks a more significant water flow then in the modern river. Perhaps the dissection of the primary glaciolacustrine surface and the initiation of an erosion cut in the bottom of the valley occurred during the proglacial lake discharge ~ 13.3 ka. The ice-dammed drainage happened rather quickly. That is why there is no variability in the composition and facies in the upper part of the glaciolacustrine deposits. Furthermore, the additional terraces are absent in the erosion incision. Thus, the surfaces of terrace fragments have an accumulative glaciolacustrine origin and their scarps - erosional genesis. The new data on the mechanism formation of terraces in the northwest of the East European Plain differ from current concepts. Along with the previously described mechanisms of glaciolacustrine terraces formation (abrasion activity of former proglacial lakes, gradual cutting of rivers, or the formation of slopes of glacial contact in kame terraces), one should bear in mind the possibility of cutting powerful water flows during catastrophic discharges of proglacial lakes. The investigation results indicate the necessity for detailed studies in valleys on the northwest of the East European Plain.

*Keywords*: proglacial lake, erosional incision, glaciomorphological mapping, OSL, Late Valdai (Weiselian) glaciation, Lateglacial Period

## ACKNOWLEDGMENTS

The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation grant No. 20-77-00095 (field materials, radiocarbon dating). The grain size was made within the framework of the theme of the state assignment No. 0148-2019-0005. Particular attention in the article was paid to the analysis of the DEM. TanDEM-X 30 data was kindly provided by the German Aerospace Agency (DLR) under the application: DEM_GEOL1527. The authors are grateful to A.G. Matyukhin, A.Yu. Kachalov, N.T. Tkach and A.L. Gurinov for the help with fieldwork.

## REFERENCES

1. Błaszkiewicz M., Piotrowski J., Brauer A., Gierszewski P., Kordowski J., Kramkowski M., Lamparski P., Lorenz S., Noryśkiewicz A., Ott F., Słowiński M., Tyszkowski S. Climatic and morphological controls on diachronous postglacial lake and river valley evolution in the area of Last Glaciation, northern Poland. *Quaternary Science Reviews*. 2015. Vol. 109. P. 13–27.
2. Kordowski J. The role of blocks of dead ice in the deposition of late glacial sediments in a large valley: A case study from the Vistula river valley in the Grudziądz basin, north Poland. *Geographia Polonica*. 2013. Vol. 86. № 4. P. 341–361.
3. Flint R. F. *Glacial and Pleistocene Geology*. New York: John Wiley & Sons, 1964. 892 p.
4. Isachenkov V.A. *Prilednikovye vodoemy Pskovskoi niziny. Istoriya ozer Severo-Zapada* (Proglacial lakes of the Pskov lowland. History of lakes in the North-West). L.: Izd-vo Geogr. Society of the USSR (Publ.), 1967. P. 86–93. (in Russ.)
5. Malakhovskii D.B. and Bakanova I.P. *Krupneishie rechnye doliny. Geomorfologiya i chetvertichnye ot-*

*lozheniya Severo-Zapada evropeiskoi chasti SSSR (Leningradskaya, Pskovskaya i Novgorodskaya oblasti)* (The largest river valleys. Geomorphology and Quaternary deposits of the North-West of the European part of the USSR (Leningrad, Pskov and Novgorod regions)). L.: Nauka LO (Publ.), 1969. P. 54–65. (in Russ.)

6. Liblik T. Jooni Piusaoru geomorfoloogiast. *Eesti Geograafia Seltsi Aastaraamat* 1964/1965. 1966. P. 34–55.
7. Hang T., Miidel A., and Pirrus R. Late Weichselian and Holocene water-level changes of Lake Peipsi, eastern Estonia. *PACT (Rixensart)*. 1996. No. 50. P. 121–131.
8. *Lake Peipsi. Geology*. A. Miidel, A. Jaani, A. Miidel, and A. Raukas (Eds.). Tallinn: Sulemees (Publ.), 1999. 21 p.
9. Palmer A.P. and Lowe J.J. Dynamic landscape changes in Glen Roy and vicinity, west Highland Scotland, during the Younger Dryas and early Holocene: a synthesis. *Proceedings of the Geologists' Association*. 2017. Vol. 128. P. 2–25.
10. Sissons J.B. The lateglacial lakes of Glens Roy, Spean and vicinity (Lochaber district, Scottish Highlands). *Proceedings of the Geologists' Association*. 2017. Vol. 128. P. 32–41.
11. Kvasov D.D. *Pozdnechetvertichnaya istoriya krupnykh ozer i vnutrennikh morei Vostochnoi Evropy* (The Late Quaternary history of large lakes and inland seas of Eastern Europe). L.: Nauka LO (Publ.), 1975. 278 p. (in Russ.)
12. Isachenkov V.A. *O proiskhozhdenii dolinoobraznykh ponizhenii poverkhnosti dochetvertichnykh porod Severo-Zapada Russkoi ravniny* (About the origin of valley-like depressions in the surface of pre-Quaternary rocks of the North-West of the Russian Plain). *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 1981. No. 6. P. 46–50. (in Russ.)
13. Malakhovskii D.B. and Fedorov B.G. *O genezise i vozraste pereuglublenii na severe Evropy. Vozrast i genezis pereuglublenii na shel'fakh i istoriya rechnykh dolin* (About the genesis and age of deepening valleys in the north of Europe. Age and genesis of deepening valley on the shelves and the history of river valleys). M.: Nauka (Publ.), 1984. C. 134–140. (in Russ.)
14. Krotova-Putintseva A.Y. and Verbitskiy V.R. Preglacial geomorphology of the northern Baltic Lowland and the Valdai Hills, north-western Russia. *Bulletin of the Geological Society of Finland*. 2012. Vol. 84. P. 58–68. (in Russ.)
15. Karpukhina N.V., Bricheva S.S., Konstantinov E.A., Tatarnikov O.M., Makkaveev A.N., and Zakharov A.L. *O proiskhozhdenii terras v pogrebennykh dolinakh na severo-zapade Vostochno-Evropeiskoi ravniny* (The origin of terraces in buried valleys in the northwest of the east european plain). *Russian Geology and Geophysics*. 2021. Vol. 62. No. 2. P. 238–253. (in Russ.)
16. *Geologiya SSSR* (Geology of the USSR). *T.* I. *Leningradskaya, Pskovskaya i Novgorodskaya oblasti. Geologicheskoe opisanie* (Vol. 1 Leningrad, Pskov and Novgorod regions. Geological description). A.V. Sidorenko (Ed.). Moscow: Nedra (Publ.), 1971. 505 p. (in Russ.)
17. Tatarnikov O.M. *Rel'ef i paleogeografiya Pskovskoi oblasti* (Relief and paleogeography of Pskov region). Pskov: PGPU (Publ.), 2007. 127 p. (in Russ.)
18. Apukhtin N.I. and Sammet E.Yu. *Pskovskaya, Novgorodskaya, zapadnaya i yuzhnaya chasti Leningradskoi oblasti* (Pskov, Novgorod, western and southern parts of the Leningrad Region). *Geologiya chetvertichnykh otlozhenii Severo-Zapada Evropeiskoi chasti SSSR* Leningrad: Nedra (Publ.), 1967. P. 111–160. (in Russ.)
19. Isachenkov V.A. *O devonskoi kueste na territorii Pskovskoi oblasti* (About the Devonian cuesta in the Pskov region). *Scientific notes of Pskov State Pedagogical Institute*. 1969. No. 22. P. 3–10. (in Russ.)
20. Lesnenko V.K. O *proyavlenii karsta na territorii Pechorskogo raiona Pskovskoi oblasti* (About karst processes on the territory of the Pechora district of the Pskov region). *Mat-ly 10 nauch. konf. Vol.* 6. Pskov: PGPI (Publ.), 1968. P. 3–10. (in Russ.)
21. Tatarnikov O.M., Lesnenko V.K., and Mikhailov I.I. *O sokhrannosti fragmenta devonskoi kuesty na territorii Pskovskoi oblasti* (On the preservation of a fragment of the Devonian cuesta on the territory of the Pskov region). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1995. No. 4. P. 81–83. (in Russ.)
22. Tatarnikov O.M. *Landshaftno-ekologicheskaya i inzhenerno-geologicheskaya kharakteristika territorii Truvorova gorodishcha* (Landscape-ecological and engineering-geological characteristics of the territory of the Truvor Settlement). *Vestnik Pskovskogo Gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sotsial'no-gumanitarnye i psikhologo-pedagogicheskie nauki*. 2013. № 2. P. 115–123. (in Russ.)
23. Eyles N., Eyles C.H., and Miall A.D. Lithofacies types and vertical profile models; an alternative approach to the description and environmental interpretation of glacial diamict sequences. *Sedimentology*. 1983. Vol. 30. P. 393–410.
24. Baturin V.P. *Petrograficheskii analiz geologicheskogo proshlogo po terrigennym komponentam* (Petrographic analysis of the geological past by terrigenous components). M.–L.: Izd-vo i 2-ya tip. Izd-va Akad. nauk SSSR (Publ.), 1947. 338 p. (in Russ.)
25. Kurbanov R.N., Yanina T.A., Myurrei E.S., Semikolennykh D.V., Svistunov M.I., and Shtyrkova E.I. *Vozrast karangatskoi transgressii (pozdnii pleistotsen) Chernogo morya* (The age of the karangatian (Late Pleistocene) transgression of the Black Sea). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2019. No. 6. P. 29–38. (in Russ.)
26. Möller P. and Murray A.S. Drumlinised glaciofluvial and glaciolacustrine sediments on the Småland peneplain, South Sweden – new information on the growth and decay history of the Fennoscandian Ice Sheets during MIS3. *Quaternary Science Reviews*. 2015. Vol. 122. P. 1–29.
27. Murray A.S., Marten R., Johnston A., and Martin P. Analysis for naturally occurring radionu-clides at environmental concentrations by gamma spectrometry. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 1987. Vol. 115. Issue 2. P. 263–288.
28. Konstantinov E.A. and Eremenko E.A. *Znachenie metoda lazernoi difraktsionnoi granulometrii pri izuchenii*

*lessov (na primere razreza Melekino, Severnoe Priazov'e)* (The value of the method of laser diffraction granulometry in the study of loess (on the example of the Melekino section, Northern Azov region)). *Otechestvennaya geologiya*. 2012. No. 3. P. 47–54. (in Russ.)

29. Karpukhina N.V. *Osobennosti degradatsii ostashkovskogo lednikovogo pokrova v predelakh Chudsko-Pskovskoi nizmennosti* (Characteristic features of the Ostashkov ice sheet degradation within Chudsko-Pskovskaya lowland). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2013. No. 4. P. 38–47 (in Russ.)
30. Kalm V. Ice-flow pattern and extent of the last Scandinavian Ice Sheet southeast of the Baltic Sea. *Quaternary Science Reviews*. 2012. No. 44. P. 51–59.
31. Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers. Springer, 2011. 463 p.
32. Jørgensen F. and Sandersen P. Buried and open tunnel valleys in Denmark – erosion beneath multiple ice sheets. *Quaternary Science Reviews*. 2006. No. 25. P. 1339–1363.
33. Raukas A. Application of OSL and 10Be techniques to the establishment of deglaciation chronology in Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences: Geology*. 2004. Vol. 53. P. 267–287.
34. Alexanderson H. and Murray A. Problems and potential of OSL dating Weichselian and Holocene sediment in Sweden. *Quaternary Science Reviews*. 2009. No. 44. P. 37–50.
35. Raukas A.V. and Ryakhni E.E. *O geologicheskom razvitii vpadiny i basseina Chudskogo i Pskovskogo ozer* (On the geological development of the kettle and the Peipsi and Pskov lakes). *Izv. AN ESSR*. 1969. No. 2. P. 113–127. (in Russ.)
36. Rosentau A., Hang T., and Miidel A. Simulation of the shorelines of glacial Lake Peipsi in Eastern Estonia during the Late Weichselian. *Geological Quarterly*. 2004. Vol. 48. P. 299–307.
37. Miidel A., Hang T., Pirrus R., and Liiva A. On the development of the southern part of Lake Peipsi in the Holocene. *Proc. Estonian Acad. Sci. Geol*. 1995. Vol. 44. No. 1. P. 33–44.
38. Hang T., Kalm V., Kihno K., and Milkevičius M. Pollen, diatom and plant macrofossil assemblages indicate a low water level phase of Lake Peipsi at the beginning of the Holocene. *Hydrobiologia*. 2008. Vol. 599. P. 13–21.
39. Lisitsina G.N. *Voprosy paleogeografii pozdnelednikovogo vremeni na territorii Severo-Zapada evropeiskoi chasti SSSR. Lednikovyi period na territorii evropeiskoi chasti SSSR i Sibiri* (Issues of paleogeography of the Late Ice Age on the territory of the North-West of the European part of the USSR. Ice Age on the territory of the European part of the USSR and Siberia). M.: Izd-vo Moskovskogo universiteta (Publ.), 1959. P. 13–38. (in Russ.)

*ГЕОМОРФОЛОГИЯ, 2022, том 53, № 1, с. 81–101*

## НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

*УДК 551.23:551.435.1(-925.18)*

# АККУМУЛЯТИВНЫЕ ФОРМЫ РЕЛЬЕФА В ДОЛИНАХ С ГАЗОГИДРОТЕРМАЛЬНЫМИ ПРОЯВЛЕНИЯМИ (НА ПРИМЕРЕ ВОДОТОКОВ РЯДА ВУЛКАНИЧЕСКИХ МАССИВОВ КУРИЛО-КАМЧАТСКОГО РЕГИОНА)

**© 2022 г. Е. В. Лебедева[1,*], Р. В. Жарков[2,**]**

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

[2]*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия*

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

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

Поступила в редакцию 03.09.2021 г.
После доработки 25.09.2021 г.
Принята к публикации 11.10.2021 г.

В долинах водотоков геотермальных зон, где отмечены проявления газогидротермальной активности, процессы рельефообразования сопровождаются химическим и термальным воздействием. Установлено, что в таких долинах 1) происходит формирование специфических аккумулятивных форм микро- и мезорельефа как в руслах, так и на бортах; 2) идет вторичная проработка гидротермальными растворами аллювиальных отложений и коренных пород, которая вызывает кардинальное изменение как их свойств, так и особенностей протекания флювиальных процессов; 3) активизируются склоновые процессы, сопровождающиеся формированием оползневых тел и обвальных масс, благодаря чему в днищах идет аккумуляция смещенного склонового материала с последующим его переотложением селями. Проведена типизация форм аккумулятивного рельефа, образование которых связано с газогидротермальной активностью, в пределах речных долин 4 вулканических массивов: на Курильских о-вах (вулкан Менделеева на о-ве Кунашир и Баранского на о-ве Итуруп) и Камчатке (вулкан Мутновский и Узон-Гейзерная кальдера). Выделены основные формы аккумулятивного микро- и мезорельефа, связанные с различными проявлениями газогидротермальной активности; дана их характеристика, описаны морфометрические параметры. Типичными процессами в долинах геотермальных зон являются не только образование разнообразных натечных форм и цементация отложений поймы и террас в местах выхода минерализованных термальных вод, но и формирование иногда достаточно крупных оползневых псевдотеррас и перегораживание водотоков плотинами, сложенными склоновым и селевым материалом. Под воздействием кислых растворов может происходить активное выветривание коренных пород и валунно-галечного материала до глин. Нередко отложения поймы и террас, морфологически выглядящие как типичный аллювий, на деле представляют собой глинистую массу и легко размываются поверхностными водами. При затухании газогидротермальной деятельности оползневые тела и натечные формы зарастают и морфологически похожи на обычные речные террасы.

*Ключевые слова:* газогидротермы, вулканизм, гидротермальные растворы, оползневые процессы, флювиальный рельеф, цементация, выветривание

**DOI:** 10.31857/S0435428122010096

## ВВЕДЕНИЕ

В долинах рек территорий современного вулканизма часто встречаются участки активных газогидротермальных проявлений, которые сопровождают вулканическую деятельность, но также могут сохраняться и после ее затухания. Растворы термальных источников и парогазовые выбросы серных фумарол (сольфатары[1]) интенсивно изменяют как вмещающие породы, так и окружающие ландшафты в целом. Изучению геологического и гидрогеологического строения геотермальных зон, характера гидротермальных проявлений, особенностей преобразования горных пород в условиях газогидротермального воздействия посвящено значительное количество работ [1–15 и мн. др.].

Местоположения выходов термальных вод и сольфатар в пределах вулканических построек, как правило, определены системами радиальных и кольцевых разломов. Речные долины на скло-

[1] *Сольфатары* – выходы нагретого до 100°С (и более) пара с содержанием углекислого газа, азота, сернистого газа, сероводорода, метана и др.

нах вулканов и у их подножий также обычно приурочены к зонам разломов, поэтому газогидротермальные проявления часто наблюдаются в днищах эрозионных врезов. Однако к настоящему моменту опубликовано мало работ по строению и развитию подобных долин, влияние газогидротерм на формирование флювиального рельефа изучено плохо. Цель данной статьи – на примере долин водотоков на склонах ряда вулканов Курильских островов и Камчатки провести типизацию форм аккумулятивного рельефа в условиях проявлений газогидротермальной активности, а также определить влияние последней на характер геоморфологических процессов в долинах.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование базируется на результатах полевых наблюдений, опробования аллювиальных отложений, вод термальных источников и грязевых котлов в долинах водотоков на склонах вулканов Баранского (о-в Итуруп), Менделеева (о-в Кунашир), а также в пределах Восточного вулканического пояса Камчатки – в бассейнах рек Фальшивой (склоны вулкана Мутновский), Шумной и Гейзерной (Узон-Гейзерная кальдера). Проводился отбор как руслового и пойменного аллювия, так и фрагментов новообразований (натеков и корок), а также коренных пород различной степени измененности с последующим анализом образцов на элементный состав (силикатный и рентгенофлуоресцентный анализы). Кроме этого, проведено комплексное физико-химическое исследование парогазовых выходов, термальных источников и грязевых котлов, расположенных в указанных выше долинах. В ходе полевых работ с помощью портативного GPS-приемника устанавливались координаты основных объектов исследований; для определения значений pH и Eh использовался портативный pH-метр “HANNA-Hi9025”; замеры температуры проводили электронным термометром с термопреобразователем КТХА 01.02Р (точность измерения термопары составляет 0.1°С). Для последующих лабораторных исследований физико-химических характеристик объектов отбирались пробы газов, воды и грязевой массы. Анализы выполнены в лабораториях ИЗК СО РАН (Иркутск), ДВГИ и ТОИ ДВО РАН, ОАО “Приморгеология” (Владивосток), ИВиС ДВО РАН (Петропавловск-Камчатский), ИМГиГ ДВО РАН (Южно-Сахалинск), ИГЕМ РАН (Москва). Собственные исследования дополнены материалами из имеющихся литературных источников.

При характеристике гидрохимических типов вод термальных источников использовалась типизация из работы [15], в которой рассматривались Южные Курилы (южная группа островов Курильского архипелага), но все основные закономерности характерны и для других областей активного вулканизма. В ней гидротермы источников характеризуются по кислотности-щелочности раствора, газовому составу и содержанию основных макроэлементов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. ТИПИЗАЦИЯ АККУМУЛЯТИВНЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА В ДОЛИНАХ ВОДОТОКОВ С ГАЗОГИДРОТЕРМАЛЬНЫМИ ПРОЯВЛЕНИЯМИ

Особенности морфологии долин и форм флювиального рельефа на склонах вышеперечисленных вулканических массивов (рис. 1), характеристики выветривания и вторичных изменений галечного материала, химического состава термальных вод и новообразований, слагающих аккумулятивные формы рельефа, обобщены в табл. 1. Впервые проведена типизация форм аккумулятивного рельефа в речных долинах ряда вулканических массивов Курило-Камчатского региона в условиях проявлений газогидротермальной активности, а также определено влияние последней на геоморфологические процессы.

В исследованных районах присутствуют ***парогазовые выходы*** (сольфатары, мофетты), ***грязевые котлы*** и ***термальные источники***. На участках высокой активизации газогидротермальной деятельности – сольфатарных полях, как правило, наблюдаются все перечисленные типы. При удалении от центра вулканических построек и угасании вулканической активности встречаются в основном разнообразные по физико-химическим свойствам термальные источники. Нередко водотоки, дренирующие склоны вулканов, берут начало именно с сольфатарных полей или же пересекают их. Таким образом, в пределах эрозионных врезов и днищ долин могут наблюдаться не только выходы термальных вод, но и сольфатары и грязевые котлы.

Нами выделено 4 группы форм рельефа (см. табл. 1), обязанные своим возникновением преимущественно парогазовым выходам (1), разгрузке термальных вод различного состава (3), а также их специфическому взаимодействию с вмещающими породами (2 и 4).

***1. Формы рельефа, связанные с парогазовыми выходами.*** Вокруг сольфатар формируются *сублиматы в виде щеток кристаллов*, химический состав которых определяется составом выходящих парогазовых струй – преимущественно углекислого (более 90%), с некоторым содержанием $SO_2$, $H_2S$, HCl и др. Осаждение преимущественно самородной серы происходит в результате резкого снижения температуры и давления; часто сублиматы образуют хорошо ограненные кристаллы

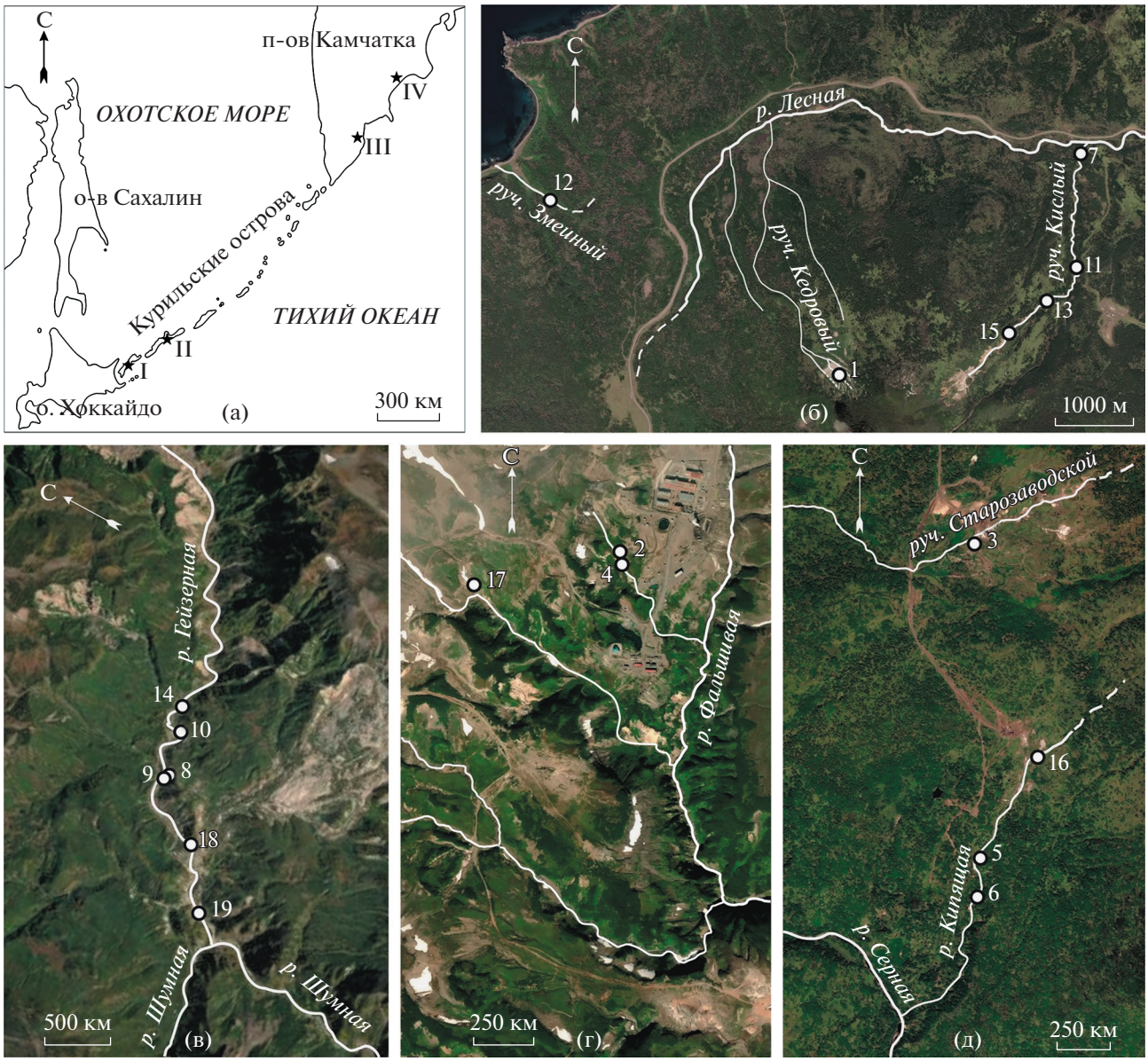



**Рис. 1.** Схемы расположения объектов исследования и конкретных примеров аккумулятивных форм рельефа в долинах с газогидротермальными проявлениями.

(а) – *Вулканические массивы:* I – Менделеева (о-в Кунашир), II – Баранского (о-в Итуруп), III – Мутновский (Камчатка), IV – Узон-Гейзерная кальдера (Камчатка). *Бассейны рек:* (б) – Лесной и руч. Змеиного (вулкан Менделеева); (в) – Гейзерной (Узон-Гейзерная кальдера); (г) – Фальшивой (вулкан Мутновский); (д) – Серной (вулкан Баранского). Цифры 1–19 соответствуют номерам конкретных примеров аккумулятивных форм, рассмотренных в табл. 1.

размером до 1 см, редко больше. В результате вокруг долго живущих сольфатар образуются специфические *конусообразные постройки*, высота которых иногда достигает 1–2 м, а диаметр основания – до 1.5–2 м, редко – 5 м (рис. 2). При отсутствии явно выраженных трещин газы могут выходить на так называемых *площадках парения*, где на поверхности – вокруг небольших трещин – также отлагаются сублиматы. В случае высокого содержания сернистого газа – это преимущественно кристаллы серы желтого цвета с примесью различных минералов. Если площадки парения располагаются непосредственно вблизи водотока – на пойме, прирусловом склоне, то ниже по течению на бортах долины мы нередко можем обнаружить высыпки серы – следы серных паводков во время дождей или снеготаяния. Серный налет отмечается на поверхности валунно-галечного материала в днище, обогащенные серой прослои встречаются и в составе пойменного аллювия.

**Таблица 1.** Характеристика аккумулятивных форм микро- и мезорельефа в долинах водотоков с газогидротермальными проявлениями

| Тип газогидротермальных проявлений | Характеристика форм рельефа и их комплексов, положение в долине | Локализация | Конкретный пример | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Водоток, вулкан, номер конкретного примера | Газогидротермы | Состав и характер вод (газов), минерализация (М) | Состав и характер отложений и новообразований |
| 1. Выходы сольфатарных газов | *Конусовидные постройки сольфатар* высотой до 1–2 м и диаметром до 1.5–2 м с одним или несколькими отверстиями в привершинной части, *серные бугры*, *площадки парения*, *щетки кристаллов* самородной серы по периферии трещин | I–IV | Руч. Кедровый, вулкан Менделеева (1) | Сольфатара на СЗ СП* | Т до 100–130°С, отмечались потоки расплавленной серы [15], в газовом составе преобладают углекислый газ (81%) и сероводород (14.5%) [16] | Слоистые отложения и щетки кристаллов самородной серы |
| 2. Грязевые котлы | Понижения (0.5–7 м в диаметре) с грязевой массой различной консистенции на пойме и террасах, окруженные небольшими *грязевыми валиками*, реже *потоками*, иногда с грязевыми *вулканчиками* высотой первые десятки сантиметров | I–IV | Верховья р. Фальшивой, вулкан Мутновский (2) | Грязевой котел, Дачные ист. **, Северная группа | Т до 95°С, грязевой отжим имеет pH = 3.5, сульфатный натриево-магниево-кальциевый состав, М 4.2 г/л | Измененные до глин и обводненные породы |
| | | | Руч. Старозаводской, вулкан Баранского (3) | Грязевой котел Подкова, Старозаводское СП | Т до 98°С, грязевой отжим имеет pH = 3.2, сульфатный кальциево-магниево-натриевый состав, М 0.5 г/л [15] | Измененные до глин и обводненные породы |
| 3.Термальные источники | *Русловые лотки* – желобообразные участки русел протяженностью первые метры, шириной 0.2–1.0 м на быстринах, порогах, в сужениях, сформированные выпадающими в осадок новообразованными соединениями | I–IV | Верховья р. Фальшивой, вулкан Мутновский (4) | Дачные ист. | Т до 60°С, pH = 3–6, сульфатно-гидрокарбонатные кальциево-натриевые | Кремнистые туфы с окислами и гидроокислами Fe и Mn |
| | | | Р. Кипящая, вулкан Баранского (5) | Русло р. Кипящей, среднее течение, в 450 м ниже ист. Голубые Озера | Т до 40°С, pH = 1.4, кремнистые сульфатно-хлоридные кальциево-натриевые речные воды, М 4 г/л [15] | Слоистые кремнистые туфы ($SiO_2$ – 36–74%, ок-гок*** Fe до 30%) |
| | *Фестоны* – ступенчато расположенные на порожисто-водопадных участках русла площадки размером 0.5–1.0 м с округлым краем, нередко окаймленные небольшим валиком высотой 1–3 см | II, IV | Р. Кипящая, вулкан Баранского (6) | Русло р. Кипящей, среднее течение, 250 м ниже водопада | Т до 40°С, pH = 1.4, кремнистые сульфатно-хлоридные кальциево-натриевые речные воды, М 4 г/л [15] | Слоистые отложения кремнистого туфа ($SiO_2$ до 93%) |

**Таблица 1.** Продолжение

| Тип газогидротермальных проявлений | Характеристика форм рельефа и их комплексов, положение в долине | Локализация | Конкретный пример | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Водоток, вулкан, номер конкретного примера | Газогидротермы | Состав и характер вод (газов), минерализация (М) | Состав и характер отложений и новообразований |
| | *Бронированные ступени* – покрытые плотной коркой ступени водопадов, иногда с эворзионными котлами диаметром 0.1–0.5 м | I–IV | Руч. Кислый, вулкан Менделеева (7) | Русло руч. Кислого, нижнее течение | Длительная разгрузка слабощелочных кремнистых хлоридных натриевых гидротерм прекратилась более 100 лет назад [17]; современный выход схожих гидротерм (ист. Дикие Ванны, Приустьевая группа ист.) имеет Т до 32°С, pH = 6.6–7.2, хлоридный натриевый состав, М 0.6 г/л [15] | Слоистые отложения кремнистого туфа ($SiO_2$ – 79–86%, ок-гок Fe – 3.5–6%) |
| | *Конусовидные или изометричные постройки* вокруг термальных источников и гейзеров, высота и диаметр которых могут достигать от десятков сантиметров до первых метров | III, IV | Р. Гейзерная, Узон-Гейзерная кальдера (8) | Гейзер Большой, Гейзерное ТП**** | Т до 100°С, pH 8.4–9.2, хлоридный натриевый состав, М 1.8–2.2 г/л [10] | Слоистые отложения кремнистого туфа |
| | *Плащи* – натечные горизонтальные или наклонные покровы, обрамляющие постройки термальных источников и гейзеров, площадью до 100 м$^2$ | III, IV | Р. Гейзерная, Узон-Гейзерная кальдера (9) | Гейзерное ТП | Т до 70–90°С, pH 8.4–9.2, хлоридный натриевый состав, М 1.8–2.2 г/л [10] | Слоистые отложения кремнистого туфа |
| | *Стенки* – субвертикальные уступы террас и борта долины ниже выхода термальных источников, покрытые натечными корками различной мощности, площадью от первых м$^2$ до их десятков | II-IV | Р. Гейзерная, Узон-Гейзерная кальдера (10) | Витраж, Гейзерное ТП | Т до 70–90°С, pH 8.4–9.2, хлоридный натриевый состав, М 1.8–2.2 г/л [10] | Слоистые отложения кремнистого туфа |

**Таблица 1.** Продолжение

| Тип газо-гидротер-мальных проявлений | Характеристика форм рельефа и их комплексов, положение в долине | | Лока-лизация | Конкретный пример | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Водоток, вулкан, номер конкретного примера | Газогидротермы | Состав и характер вод (газов), минерализация (М) | Состав и характер отложений и новообразований |
| | *Натечные террасы* – террасовидные поверхности, образованные отложениями термальных вод в местах выхода источников в бортах долины, площадью от первых м$^2$ до их десятков | | I, II, IV | Руч. Кислый, вулкан Менделеева (11) | Ист. Купальный, Нижняя группа | Т до 92°С, pH = 1.6–1.8, хлоридно-сульфатный натриевый состав, М 4.0 г/л [15] | Слоистые натечные образования ярозита ($SiO_2$ 33%, ок-гок Fe 23%, $S0_3$ 14%) |
| | | | | Руч. Змеиный, вулкан Менделеева (12) | Столбовские | Т до 82°С, pH = 6.7–7.0, хлоридно-сульфатный натриевый состав, М 2.6 г/л [15] | Слоистые натечные образования ($SiO_2$ до 42%, CaO 21–52%, $Al_2O_3$ до 12%, ок-гок Fe до 7%) |
| | *Фрагменты аккумулятивных и цокольных террас различной высоты и площади* | покрытые *корками новообразований* | I–IV | Руч. Кислый, вулкан Менделеева (13) | Верхняя группа | Т = 75–99°С, pH = 2.3–2.7, сульфатные со сложным катионным составом, М до 0.8 г/л [15] | Корка ($SiO_2$ 70%, $Al_2O_3$ до 15%, ок-гок Fe до 3%, S до 2%) |
| | | аллювий которых прочно *сцементирован* в цоколе или по всей толще | I–IV | Р. Гейзерная, Узон-Гейзерная кальдера (14) | Гейзерное ТП | Хлоридные натриевые [10] | Цемент ($SiO_2$ 59–63%, $Fe_2O_3$ 5–6%, $SO_3$ до 3%) |
| | | | | Руч. Кислый, вулкан Менделеева (15) | Верхняя группа | Т = 75–99 °С, pH=2.3–2.7, сульфатные со сложным катионным составом, М до 0.8 г/л [15] | Цемент ($SiO_2$ 27%, S 29%, ок-гок Fe 36%) |
| | | аллювий которых, сохранив свою структуру, *превращен в глину* (легко режется лопатой) | II–IV | Р. Кипящая, вулкан Баранского (16) | Ист. на СП в верховьях р. Кипящей | Т до 98–105°С, pH = = 1.7–2.6, сульфатные со сложным катионным составом, М 0.7 г/л [15, 18] | Гидротермально измененные породы |

**Таблица 1.** Окончание

| Тип газогидротермальных проявлений | Характеристика форм рельефа и их комплексов, положение в долине | Локализация | Конкретный пример | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Водоток, вулкан, номер конкретного примера | Газогидротермы | Состав и характер вод (газов), минерализация (М) | Состав и характер отложений и новообразований |
| 4. Газогидротермальные проявления на склонах долины и у их подножий | *Оползневые террасы* на бортах долины | I–IV | Верховья р. Фальшивой, вулкан Мутновский (17) | Дачные ист. | Газогидротермы различного состава на бортах и в днище долины | Раздробленные и смещенные гидротермально измененные породы |
| | *Плотины*, перегораживающие русло реки, сформированные преимущественно склоновым и селевым материалом, или их фрагменты. Высота плотин может достигать 50 м, протяженность ~0.6 км | II–IV | Р. Гейзерная, Узон-Гейзерная кальдера (18) | Гейзерное и Верхне-гейзерное ТП | | |
| | *Селевые валы* и их фрагменты, *конусы и покровы селевого материала* на террасах в днище долины и ее притоков | I, II, IV | Р. Гейзерная, Узон-Гейзерная кальдера (19) | Гейзерное и Верхне-гейзерное ТП | | |

*Локализация*: склоны вулканов – I – Менделеева (о-в Кунашир), II – Баранского (о-в Итуруп), III – Мутновский (Камчатка), IV – Узон-Гейзерной кальдеры (Камчатка); СП* – сольфатарное поле, ист. ** – источник (и); ок-гок*** – окислы и гидроокислы; ТП **** – термальное поле. Цифры в скобках соответствуют номерам на рис. 1, (б–г).

**Рис. 2.** Конусовидная постройка сольфатары в эрозионной ложбине на СЗ сольфатарном поле вулкана Менделеева (исток правого притока р. Лесной, о-в Кунашир, 2015 г. Здесь и далее, где не указано иное, фото Е.В. Лебедевой).

***2. Формы рельефа, обусловленные деятельностью грязевых котлов.*** *Грязевые котлы* – воронки и небольшие котловины (как правило, первые метры в диаметре), заполненные жидкой глинистой массой, представляющей собой смесь поверхностных вод с конденсатами пара и вулканических газов и глинистыми частицами гидротермально измененных пород, – наблюдаются в пределах речных долин достаточно часто. Химический состав отжима грязевой массы, как правило, аналогичен составу вод окружающих термальных источников. Чаще всего на сольфатарных полях и термальных площадках встречаются кислые сульфатные со сложным катионным составом грязевые котлы с температурой грязевой массы до 100°С [14, 15, 19, 20]. Нередко они располагаются на пойме. Соответственно, при половодье или в период дождей там может происходить вынос глинистого материала водными потоками. В некоторых случаях они приурочены к низким террасам водотоков, но, например, в долине р. Гейзерной они находятся на террасовидной поверхности с отметками около 30 м над урезом реки. Обычно грязевые котлы, диаметр которых колеблется, как правило, от 0.5 до 7 м, обрамлены *валиками глинистого материала* высотой первые десятки см и шириной от 0.5 до 1.5 м; иногда по их периферии прослеживаются отложения *потоков глинистых масс* протяженностью первые метры, реже – десятки метров (рис. 3, а). На некоторых участках котлов с густой грязевой массой или в непосредственной близости от них встречаются небольшие группы *грязевых вулканчиков* высотой первые десятки сантиметров (рис. 3, б).

***3. Формы рельефа, созданные при участии вод термальных источников.*** Непосредственно к руслам рек приурочены три типа аккумулятивных образований, связанных с поступлением в русло минерализованных вод: *русловые лотки, фестоны* и *бронированные ступени водопадов (1)*. Из форм микрорельефа наиболее широко распространены *русловые лотки* – желобообразные участки русла,

**Рис. 3.** Формы грязевого рельефа на пойме в верховьях р. Фальшивой (Дачные источники, вулкан Мутновский, Камчатка, 2016 г.).

(а) – небольшие грязевые котлы: тонкая стрелка показывает направление течения грязевого потока, толстая – положение грязевого вала, отделяющего котел от русла ручья (фото Р.В. Жаркова); (б) – грязевой вулканчик.

**Рис. 4.** Аккумулятивные образования в руслах.

(а) – *русловые лотки* (среднее течение р. Кипящая (вулкан Баранского, о-в Итуруп, 2018 г.); стрелка показывает направление течения); (б) – *бронированные ступени водопада* (нижнее течение руч. Кислый (вулкан Менделеева, о-в Кунашир, 2019 г.). В эворзионном котле (выделен кружком) видно слоистое строение и мощность (около 10 см) корки бронирования.

сформированные слоистыми образованиями на быстринах, порогах и на участках сужений (рис. 4, а). Их протяженность составляет первые метры, а ширина – от 0.2 до 1.0 м. Они были встречены практически во всех долинах исследуемых водотоков с гидротермальными проявлениями – и на Курильских островах, и на Камчатке; различались лишь их состав и морфология – где-то формируется более четко выраженный желоб, где-то – менее.

*Фестоны* – площадки размером 0.4–0.7 м, нередко с дугообразным краем, иногда окаймленные небольшим валиком, ступенчато расположенные на порожисто-водопадных участках русла. На исследуемой территории они были встречены нами в среднем течении долины р. Кипящей (вулкан Баранского, о-в Итуруп) – примерно в 700 м ниже по течению от термальных источников Голубые Озера, определяющих геохимический облик реки. Судя по результатам силикатного анализа, фестоны здесь сформировались в результате отложения кремнистого туфа (до 93%). Подобные “зачаточные” формы отмечены и в ручейках на термальных полях в бассейне р. Гейзерной. Часто фестоны наблюдаются и в водотоках карстовых регионов в результате выпадения известкового туфа.

Наиболее ярко выраженный пример *бронирования ступеней водопадов* наблюдался в нижней части долины руч. Кислого (вулкан Менделеева, о-в Кунашир). На фоне покрытых плотной коричневой коркой пяти ступеней хорошо выделяются более светлые эворзионные котлы диаметром до 0.1–0.5 м и глубиной до полуметра, с окатанным галечным и мелковалунным материалом на дне и небольшие русловые лотки. Исследования [17] показали, что на этом участке долины ручья была длительная разгрузка слабощелочных кремнистых хлоридных натриевых гидротерм, которая прекратилась более 100 лет назад. В настоящее время ниже по долине, на правом берегу р. Лесной, находятся схожие, но менее минерализованные и обогащенные кремнеземом гидротермы. Пресные (минерализация 0.6 г/л) воды источника Дикие Ванны (Приустьевая группа источников) имеют температуру до 32°C, pH = 6.6–7.2, хлоридный натриевый состав [15]. Результаты геохимического анализа показали, что бронирование ступеней произошло за счет отложения кремнистого туфа ($SiO_2$ – 79–86%) с участием окислов и гидроокислов железа (3–6%). Мощность корки бронирования колеблется от 5 до 10 см. Бронирование сливов водопадов наблюдается и в долине р. Гейзерной (водопады Игрушка, Тройной и др.), и р. Кипящей (о-в Итуруп), но столь хорошо выраженные ступени встречаются редко (рис. 4, б).

Следующую группу аккумулятивных образований составляют *плащи, стенки* и *натечные террасы (2)*, формирование которых происходит в прибортовых частях долин. Все это натечные образования, возникающие близ источников и гейзеров в результате излияния или высачивания минерализованных термальных вод.

*Плащи* и *стенки*, сложенные разноцветным гейзеритом, наиболее широко представлены в долине р. Гейзерной на участке Гейзерного термального поля, где доминируют хлоридные натриевые источники с минерализацией 1.8–2.2 г/л. Здесь вокруг долгоживущих термальных источников и гейзеров формируются также *конусовидные или изометричные постройки* из гейзерита – плотного слоистого кремнеземистого агломерата. Их высота может достигать 1–2 м и более. Один

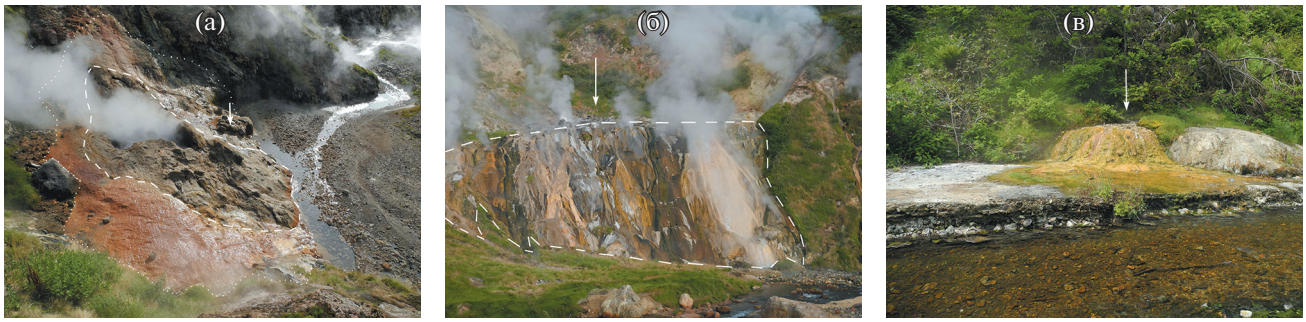



**Рис. 5.** Натечные образования в прибортовых частях долин.
(а) – *гейзеритовая постройка* (ограничена крупным пунктиром) и обрамляющий ее *плащ* (мелкий пунктир) гейзера Большой. Стрелка указывает на отложенный рекой окатанный материал; (б) – натечная *стенка* “Витраж” (бассейн р. Гейзерной, Камчатка, 2021 г.); (в) – натечная *терраса* (Столбовские источники, руч. Змеиный, вулкан Менделеева, о-в Кунашир, 2015 г.).

из гейзеров в Долине так и называется – Розовый конус, его постройка имеет высоту около 8 м при основании 2 м. Крупные постройки нередко обрамлены натечными субгоризонтальными или наклонными образованиями – так называемыми *плащами*[2], которые перекрывают прилегающие к ним участки в виде панциря-покрова (рис. 5, а), сложенного гейзеритом. Например, вокруг гейзера Тройного площадь такого покрова (плаща) превышала 100 м$^2$, но, к сожалению, после схода селя 2007 г. он был разрушен и погребен под его осадками [10].

Гейзеритовые *стенки* представляют собой крутые (иногда субвертикальные) уступы террас или участки бортов долины ниже выхода термальных источников, покрытые натечными корками различной мощности; их площадь иногда достигает нескольких десятков квадратных метров. Самая большая из них в исследуемом регионе – так называемый Витраж (рис. 5, б).

Одними из наиболее крупных образований в долинах рек с гидротермальными проявлениями могут быть *натечные террасы* – террасовидные поверхности, образованные отложениями термальных вод в местах их выхода в бортах долины. Например, в районе источников Маммот Спрингс в кальдере Йеллоустон размеры таких террас достигают сотен квадратных метров, однако на исследуемой территории они, как правило, совсем не велики. Хорошие примеры наблюдаются на склонах вулкана Менделеева: в долине руч. Кислого в местах выходов источников Нижней группы (источник Купальный) и в долине руч. Змеиного у Столбовских термальных источников.

[2] В зарубежной литературе чаще используется термин “щит”, что обусловлено преимущественным положением гейзеров на выровненных участках, а не на склонах долины, как в рассматриваемом регионе.

В первом случае термальные воды в среднем течении долины руч. Кислого (на абс. высоте около 120–130 м) разгружаются на пойме и в уступе 5-метровой террасы преимущественно у левого борта. Их воды относятся к ультракислым (pH 1.6–2.1) азотным хлоридно-сульфатным натриевым термам, содержащим до 140–250 мг/л $SiO_2$ при общей минерализации 2.5–4.0 г/л [15, 16, 21]. Натечная терраса высотой около 1.5 м и протяженностью до 10–15 м, сложенная кремнеземом (33%), окислами и гидроокислами Fe (23%) и $S0_3$ (14%), сформировалась у подножия 5-метровой надпойменной террасы. Местами среди натечных образований встречается галечно-мелковалунный материал, поставляемый сюда водотоком в паводки.

Температура Столбовских термальных источников, которые выходят вдоль левого борта руч. Змеиного (о-в Кунашир) в его среднем течении, составляет около 80°С, почва над ними прогрета до 40–60°С. Нейтральные (pH 6.7–7.0) азотные хлоридно-сульфатные натриевые гидротермы выходят здесь через небольшие грифоны, стенки которых покрыты белоснежным налетом серы, образующейся в результате деятельности серобактерий [15, 21], окисляющих газообразные соединения серы ($H_2S$ и $SO_2$). Восходящие гидротермы помимо серосодержащих соединений несут к поверхности восстановленные формы железа и марганца, которые, попадая в кислородсодержащие рыхлые горизонты, окисляются и осаждаются в виде окислов и гидроокислов [22, 23]. На месте основного выхода воды сформировалась небольшая натечная терраса высотой в центральной части около 1.5 м над урезом, выше и ниже по течению ее поверхность снижается до 0.5 м, общая протяженность 7–10 м (рис. 5, в). Сложены натечные образования кремнеземом – до 42%, от 21 до 52% составляет CaO, окислы и гидроокислы Fe – до 7%, а алюминия – до 12%.

В рассматриваемых долинах повсеместно встречаются фрагменты *пойменных и надпойменных террас*, покрытые слоистыми *корками новообразований* и/или сложенные аллювиальными отложениями, проработанными гидротермальными процессами (рис. 6), и их эрозионные останцы различных размеров в руслах. Причем прослеживается *два типа проработки аллювия минерализованными водами*. Чаще наблюдается прочная *цементация* аллювиальных отложений, как правило, железистыми и железомарганцевыми растворами. Сцементированный железистыми растворами аллювий вскрывается, например, и в уступах низких террас р. Гейзерной, а также в ее русле в виде небольших останцов высотой 1–1.2 м и порогов (рис. 7 а, б). В составе цемента доминирует кремнезем (59–63%), 5–6% составляют окислы железа. На участке Верхней группы источников в долине руч. Кислого (о-в Кунашир) останец в русле, имеющий высоту около 1 и 1.5 м в диаметре сложен плохо окатанным галечно-валунным материалом аллювиально-пролювиального или селевого генезиса. Здесь на протяжении около 200 м вдоль русла ручья располагаются несколько десятков небольших гидротермальных выходов с температурой до 99°С; в цементе эрозионного останца наряду с окислами и гидроокислами Fe (36%) почти 30% составляют сера и 27% $SiO_2$. По составу воды этих источников пресные (минерализация до 0.8 г/л), кислые (pH 2.3–2.7) углекислые сульфатные со сложным катионным составом [15, 21].

На некоторых участках мы можем также увидеть разрезы террас или поймы, в которых гравийно-галечный материал хорошо сохраняет свою структуру. Визуально иногда отмечается лишь некоторое обесцвечивание обломков породы. Однако фактически вся толща превращена в гидротермальную глину, легко режется лопатой и, соответственно, размывается водой.

**Рис. 6.** Характер выветривания галечного материала в водотоках на склонах вулкана Менделеева (руч. Валентины, о-в Кунашир, 2019 г.).

***4. Формы рельефа, обусловленные газогидротермальными проявлениями на склонах долин и у подножий.*** Для долин с развитием газогидротермальных проявлений типично активное протекание склоновых процессов, и на их бортах повсеместно встречаются *оползневые террасы* (рис. 8). На склонах долины руч. Кислого (вулкан Менделеева) в его верховьях, например, нами зафиксировано до 4 ярусов подобных террас, представляющих собой крупные блоки сползших гидротермально проработанных пород. Многочисленные оползни встречены и в долинах руч. Валентины (там же), р. Кипящей (вулкан Баранского), Фальшивой

**Рис. 7.** Пороги в русле р. Гейзерной на месте выходов сцементированных аллювиальных отложений – (а, б). Участки цементации материала обрамлены светлым пунктиром (Камчатка, 2021 г.).

**Рис. 8.** Оползневые террасы на бортах долины правого притока р. Фальшивой (вулкан Мутновский, Камчатка, 2016 г.).

(вулкан Мутновский). Наблюдения, проведенные в долине р. Гейзерной, также со всей очевидностью показывают, что для ее бортов характерно активное развитие разнообразных гравитационных склоновых процессов [24–26], которые нередко трансформируются в сели.

В днищах долин идет накопление смещенного в результате оползней и обвалов склонового материала с периодическим перегораживанием долин (рис. 9) и образованием временных *плотин* и подпрудных водоемов, в которых аккумулируются наносы реки. Дальнейшее переотложение склонового и аллювиального материала происходит при разрушении этих плотин также с формированием селей. Хотя в настоящее время подобный подпрудный водоем существует лишь в долине р. Гейзерной, однако и в других рассматриваемых долинах обнаружены селевые отложения, а иногда и фрагменты разрушенных плотин (например, верховья р. Фальшивой). Часто встречаются как *селевые валы* из переотложенного склонового материала (руч. Старозаводской, вулкан Баранского; руч. Кислый, вулкан Менделеева), так и фрагменты селевых *конусов выноса* (р. Шумная, Узон-Гейзерная кальдера) и *покровы* селевого материала различной мощности. Например, зафиксированная высота заплеска селя в долине р. Гейзерной при событии 2014 г., составила на поворотах долины не менее 40 м [27], соответственно селевыми отложениями были перекрыты и все нижележащие уровни террас и склоны.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ. ОСОБЕННОСТИ РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ГАЗОГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ

Геотермальные зоны являются геосистемами, в формировании которых активно участвует эндогенная энергия. На участках, где отмечены проявления газогидротермальной активности, процессы рельефообразования сопровождаются химическим и термальным воздействием. Из-за постоянного прогрева грунтов трансформация вещества идет круглогодично и, соответственно, достаточно активно. Наиболее динамичны эти процессы в пределах сольфатарных полей и по их периферии, где в течение длительного времени на литогенную основу воздействуют агрессивные газы и растворы в условиях повышенных температур, что приводит к изменению состава рыхлых отложений и коренных пород. Следовательно, меняется и характер экзогенных процессов. Непосредственно около сольфатар и в местах выходов гидротерм почвенно-растительный покров отсутствует, а по периферии участков активной гидротермально-сольфатарной деятельности типичны прогретые почвы – термоземы [27]. Лишенный растительности увлажненный глинистый субстрат легко поддается эрозии, нередко здесь формируются участки бедленда. Также активизируются гравитационные процессы на склонах, все это приводит к более активной дену-

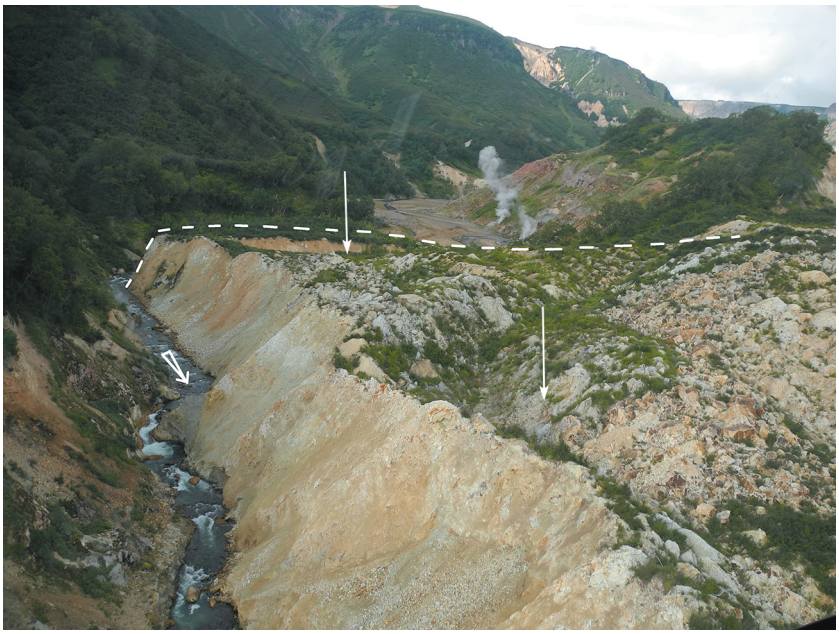


**Рис. 9.** Частично размытая плотина в днище долины р. Гейзерной, сложенная материалом обвала и селя 2007 г. (Камчатка, 2021 г.). Толстой стрелкой показано направление течения реки.

дации. В первой половине XX века к естественным процессам добавилось антропогенное воздействие, связанное с разработкой серосодержащих пород. На Кунашире, например, добыча и вывоз пород частично изменили морфологию участков сольфатарных полей вулканов Менделеева и Головнина.

Химический состав газогидротерм и механизм его формирования в вулканических областях давно привлекали внимание исследователей, поскольку они отражают с определенной долей приближения состояние и степень активности вулкана, а также параметры гидротермального резервуара [5, 14, 21, 28–33 и мн. др.]. Вариации состава и иных характеристик растворов определяются взаимодействием *газ–вода–порода* [5]. Установлено, что термальные источники, расположенные на ограниченной территории, нередко имеют контрастные физико-химические параметры. Среди растворенных ионов доминируют хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты главным образом щелочных и щелочноземельных элементов. Минерализация гидротерм варьирует в широких пределах – от пресных (менее 1 г/л) до высокоминерализованных (до 500 г/л), впрочем, как и водородный показатель (pH), который может колебаться от 0.1 до 10 [34]. Метеорные (инфильтрационные) воды – основной источник питания гидротерм, как подземных, так и выходов на поверхность в виде термальных источников. Важным фактором формирования вулканических терм служит вещественный состав вмещающих толщ, по которым они циркулируют, выщелачивая целый ряд минералов и микроэлементов. Многими исследователями [15, 31, 33 и др.] подчеркивается значительное влияние газов ($CO_2$, $H_2S$, $SO_2$, $N_2$, $O_2$, HCl, $CH_4$ и др.) на химический состав и значение pH гидротерм.

Для некоторых вулканов Южных Курил отмечено [15], что с удалением от вулканических центров происходит смена гидрохимических типов вод термальных источников: от кислых, углекислых сульфатных на сольфатарных полях до нейтральных азотных, хлоридных натриевых по периферии вулканов. Для данного региона было предложено выделять 4 типа связанных с термами *ландшафтов*: 1) сольфатарных полей и верховьев рек и ручьев; 2) долин средних течений рек и ручьев; 3) долин нижних течений рек и ручьев; 4) ландшафты побережья. С точки зрения особенностей формирования флювиального рельефа на участках гидротермальных проявлений, такой подход и такие градации не всегда применимы. Например, сольфатарные поля, действительно, чаще всего находятся в верхних звеньях водотоков, но иногда они могут располагаться и в средних звеньях долин, и на побережье. Для формирования аккумулятивного рельефа наибольшее значение имеют состав вод термальных источников, их минерализация и наличие *геохимических*

*барьеров*[3], где происходит выпадение из раствора тех или иных химических соединений с формированием микро- и мезоформ.

Так, при выходе газогидротерм на поверхность параметры среды (температура, давление) резко меняются, в результате чего осаждаются как отдельные химические элементы, так и их соединения: например, вокруг сольфатар – осаждение серы, вокруг гейзеров – кремнистого туфа (гейзерита). Подобные барьеры возникают и при смешении вод различного химического состава и кислотности, и при изменении скорости течения. На геохимические барьеры в руслах рек исследуемой территории нередко указывают участки интенсивного окрашивания русловых отложений, также там формируется рассмотренный выше аккумулятивный микрорельеф, сформированный выпадающими в осадок новообразованными соединениями. Например, все три типа описанных аккумулятивных образований в руслах рек, – лотки, фестоны и бронированные ступени водопадов, возникают на участках быстрин, где идет насыщение воды кислородом. Активному их формированию способствует высокое содержание в термальных водах растворенных элементов. Так, например, подсчитано [8], что воды руч. Кислого на склоне вулкана Менделеева выносят ежесуточно в р. Лесную до 706 кг Si, 258 кг Fe, 190 кг Al, 90 кг Zn, 42 кг Mn. Общий измеренный гидротермальный вынос хлора и сульфатов с вулкана Менделеева оценивается [16] в 7.8 и 11.6 т/сутки соответственно. Существование геохимических барьеров также приводит к формированию субаэральных натечных образований, плотных корок на поверхностях поймы и террас, к цементации аллювиальных отложений.

Результаты проведенных анализов (табл. 1) показали, что новообразования могут быть сложены как преимущественно кремнеземом ($SiO_2$ 36–74%), так и окислами и гидроокислами Fe (до 30% и более), иногда карбонатами. Их стойкость и прочность во многом зависит именно от этого: отложения, насыщенные окислами и гидроокислами железа, как правило, более стойкие во времени, а сформированные кремнистыми и карбонатными соединениями – довольно быстро разрушаются. Деградация кремнистых русловых лотков, например, нередко начинается уже при смещении водного потока и прекращении поступления новых порций кремнезема: на таких участках они легко крошатся даже при слабом физическом воздействии.

[3] Геохимические барьеры – участки, где на коротком расстоянии одна устойчивая обстановка сменяется другой и, как следствие, происходит резкое уменьшение интенсивности миграции отдельных химических элементов, в результате чего их концентрация резко увеличивается.

Вышеописанные натечные формы имеют слоистое строение, что свидетельствует о некой цикличности их роста, которая обычно носит сезонный характер. Скорости роста натечных форм зависят от активности процесса осаждения новообразованных минералов и нерастворимых соединений. В Курило-Камчатском регионе эти процессы изучены весьма слабо: единичная датировка по $^{14}C$ погребенной в гейзерите ветки кедрового стланика свидетельствует о том, что скорость формирования гейзеритового покрова в долине р. Гейзерной (гейзер Тройной) составляла около 0.4 мм/год; наблюдения за современными процессами показывают скорость около 0.1 мм/год [10]. Также темпы аккумуляции оцениваются в 1–2 мм/год [27]. Соответственно, крупные постройки в Долине гейзеров ориентировочно имеют возраст 800–1000 лет. Датировок же по иным аккумулятивным гидротермальным образованиям рассматриваемого региона в настоящее время нет. В то же время в кальдере Йеллоустон возраст постройки гейзера Касл (Castle) высотой около 5 м с основанием (щитом) площадью более 400 м$^2$ по находкам пыльцы оценен примерно как 5.5–11 тыс. лет [35]. Очевидно, что в случае разрушения восстанавливаются подобные постройки очень медленно.

Хрупкие натечные формы также достаточно редко сохраняются при захоронении, обычно они быстро разрушаются после завершения активной гидротермальной деятельности. Находки палеозон развития гидротермальных процессов с ископаемыми гейзеритовыми и травертиновыми натечными образованиями и их датировки на территории России немногочисленны [36, 37]. Важные шаги в направлении изучения палеоформ сделаны специалистами Новой Зеландии и США с использованием масс-спектрометрии [38–40].

***Формирование и трансформация аллювиальных отложений.*** Необходимо отметить, что аллювиальные отложения на исследуемой территории формируются в результате размыва и переработки уже в той или иной мере гидротермально измененных вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород как в коренном залегании, так и смещенных и переработанных ледниковыми, склоновыми, селевыми процессами, а также хемогенных осадков термальных вод. И в процессе перемещения в русле водотока, и при отложении и захоронении валунно-галечный материал подвергается агрессивному воздействию термальных вод и продолжает выветриваться, что хорошо видно на примере анализа валунной составляющей аллювия и селевого материала в днище долины р. Кипящей, дренирующей склоны вулкана Баранского (о-в Итуруп) [41].

Проведенный нами анализ галечного материала из водотоков о-ва Кунашир (р. Лесная, ручьи Кислый и Валентины) также показал, что там доминирует выветрелый (иногда до состояния сапролита) и проработанный гидротермальными растворами материал: содержание измененной гальки составляет 43–96%. Глубина проработки обломочного материала (корка выветривания) часто достигает 2 см и более (рис. 6).

Изучив особенности проработки пород гидротермальными растворами на склонах вулканов Камчатки и Курильских островов, Ю.В. Фролова и соавт. [11] отмечают, что химическое выветривание там может идти различными путями. Термальные воды разной температуры, состава, кислотности (щелочности), воздействуя на вмещающие породы, приводят к значительным преобразованиям их минерального состава и структуры порового пространства, в результате которых физико-механические свойства пород нередко кардинально меняются: скальные массивы превращаются в дисперсные грунты или наоборот. При преобразовании скальных массивов или галечно-валунных отложений в глинистые толщи последние наследуют цвет и структуру исходных пород или осадков, но при этом приобретают пластические свойства, происходит снижение их плотности (иногда вдвое), возрастают пористость и гигроскопическая влажность. Исследования непосредственно в долине р. Гейзерной показали, что трансформация туфов в глины сопровождается снижением удельного сцепления пород на один-два порядка, угла их внутреннего трения – в 2–3 раза, что создает предпосылки для дальнейшей активизации обвально-оползневых процессов на склонах [12, 13].

На участках, где гидротермальная активность проявляется в виде высокотемпературных источников, участки склонов, фрагменты террас и поймы часто, наоборот, более устойчивы, так как обломочный материал и коренные породы сцементированы там осадками горячих кремнийсодержащих вод нередко с участием соединений железа и серы (табл. 1). Достаточно часто при изучении подобных фрагментов террас или их останцов оказывается, что новообразованный цемент является более твердым, чем выветрелый гидротермальными процессами галечный материал, который он скрепляет: при ударе галька распадается на мелкие обломки, а цемент сохраняет прочность.

***Склоновые процессы и селевая аккумуляция в долинах.*** Гидротермально измененные породы, превращенные в глины, легко размываются поверхностными водами, иногда в местах их выхода формируются участки бедленда, но чаще происходят сплывы и оползни (рис. 8). Пластичные увлажненные глины – идеальный субстрат для образования многочисленных смещений на склонах, в результате чего на бортах долин появляются локальные разноуровенные псевдотеррасы. В итоге сами врезы значительно расширяются на участках газогидротермальных проявлений, поэтому в плане они приобретают четковидную форму [26, 42]. Подобные очертания долин весьма характерны для водотоков геотермальных зон.

Процесс селеформирования в долинах с гидротермальными проявлениями более детально был рассмотрен нами ранее [26, 43], также как и цепочки взаимосвязанных катастрофических процессов, приводящих к возникновению и последующему спуску подпрудных водоемов [44]. Несмотря на обычно небольшие размеры и геологическую молодость рассматриваемых долин, заложившихся на склонах позднеплейстоцен-голоценовых вулканических построек – судя по характеру строения вскрываемых в их бортах грубообломочных толщ – селевая активность, видимо, была характерна для всех этапов их развития, что связано не только с газогидротермальной, но и с эруптивной деятельностью вулканов, также с крутизной продольного профиля водотоков и обилием обломочного материала, поступающего в русла.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В геоморфологическом отношении долины водотоков с газогидротермальными проявлениями значительно отличаются от долин без таковых. В результате сложного взаимодействия с термальными водами в них происходят:

1) *формирование специфических аккумулятивных форм* микро- и мезорельефа как в руслах, так и на бортах долин за счет осаждения минеральных новообразований;

2) *вторичная проработка гидротермальными растворами* аллювиальных отложений и коренных пород, что приводит к кардинальному изменению их свойств и, соответственно, особенностей протекания флювиальных процессов: на одних участках интенсифицируется размыв выветрелых до глин пород, на других – в случае цементации отложений – напротив, эрозия замедляется, нередко образуются пороги;

3) *активизация склоновых процессов* на участках газогидротермальных проявлений с формированием оползневых тел и обвальных масс, благодаря чему в днищах долин идет аккумуляция смещенного склонового материала с последующим его переотложением селевыми процессами.

Нами проведена типизация форм аккумулятивного рельефа, образование которых связано с

газогидротермальной активностью в пределах речных долин четырех вулканических массивов Курило-Камчатского региона. Выделены основные формы аккумулятивного микро- и мезорельефа, связанные с различными проявлениями газогидротермальной активности; дана их характеристика, описаны морфометрические параметры. Рассмотренные аккумулятивные образования по большей части (за исключением сцементированных фрагментов аллювиальных отложений) плохо сохраняются после завершения активной фазы гидротермальной деятельности и быстро разрушаются под воздействием текучих вод. Характерными процессами в долинах геотермальных зон являются не только образование натечных форм и цементация отложений поймы и террас в местах выхода минерализованных термальных источников, но и формирование иногда достаточно крупных оползневых террас.

Необходимо отметить также, что для газогидротермальных проявлений типична пространственная миграция: на одних участках термальная активность затухает, на других появляется. При этом трансформируются и связанные с ней аккумулятивные формы и характерные склоновые процессы: наличие газогидротерм активизирует смещение материала на склонах. При затухании термальной деятельности оползневые тела и натечные формы зарастают и морфологически выглядят как обычные речные террасы, что требует особого внимания при изучении подобных территорий на поствулканическом этапе.

В данной работе авторы сосредоточились преимущественно на морфологии аккумулятивных образований; химические особенности их состава охарактеризованы лишь в самых общих чертах. Однако необходимость дальнейшего изучения специфики функционирования геохимических барьеров в водотоках геотермальных зон и определения химического состава соединений, доминирующих в цементирующих растворах и новообразованиях, скрепляющих и слагающих аккумулятивные формы рельефа, не вызывает сомнений. Подобные геохимические исследования позволят дополнить и уточнить полученные в работе выводы.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Полевые исследования 2013–2020 гг. выполнялись в рамках госзадания ИГ РАН № 0148-2019-0005, этап полевых работ 2021 г. в долине р. Гейзерной и обобщение материалов – за счет гранта Российского научного фонда № 21-17-00216, https://rscf.ru/project/21-17-00216/.

Авторы признательны коллегам, принимавшим участие в организации и проведении полевых маршрутов на вулканах Баранского, Менделеева, Мутновский и в Узон-Гейзерной депрессии: И.И. Власовой, А.В. Дегтереву, Д.Н. Козлову, А.В. Копаниной, А.И. Тальских (ИМГиГ ДВО РАН), Д.В. Михалеву (МГУ), Д.В. Мишуринскому, А.Л. Гуринову, А.Л. Захарову, А.А. Медведеву (ИГ РАН), а также сотрудникам Курильского и Кроноцкого заповедников.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вакин Е.А., Кирсанов И.Т., Кирсанова Т.П.* Термальные поля и горячие источники Мутновского вулканического района // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 1976. С. 85–114.
2. *Белоусов В.И., Сугробов В.М.* Геологическая и гидрогеологическая обстановка геотермальных районов и гидротермальных систем Камчатки // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 1976. С. 5–22.
3. *Лебедев Л.М., Зотов А.В., Никитина И.Б., Дуничев В.М., Шурманов Л.П.* Современные процессы минералообразования на вулкане Менделеева (о-в Кунашир). М.: Наука, 1980. 176 с.
4. *Леонов В.Л., Гриб Е.Н., Карпов Г.А., Сугробов В.М., Сугробова Н.Г., Зубин М.И.* Кальдера Узон и Долина Гейзеров / Действующие вулканы Камчатки. М.: Наука, 1991. Т. II. С. 94–141.
5. *Рычагов С.Н.* Гидротермальная система вулкана Баранского (о. Итуруп): модель геологической структуры // Вулканология и сейсмология. 1993. № 2. С. 59–75.
6. *Рычагов С.Н., Щегольков Ю.В.* Минеральные новообразования на поверхности зерен пирита Нижне-Кошелевской геотермальной аномалии, Южная Камчатка // Руды и металлы. 2011. № 2. С. 52–57.
7. *Сугробов В.М., Сугробова Н.Г.* Особенности разгрузки высокотемпературных подземных вод в Долине Гейзеров // Вопросы географии Камчатки. Петропавловск-Камчатский. 1990. Вып. 10. С. 81–89.
8. *Чудаев О.В.* Состав и условия образования современных гидротермальных систем Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2003. 203 с.
9. *Чудаев О.В., Чудаева В.А., Карпов Г.А., Эдмундс У.М.* Геохимия вод основных геотермальных районов Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 2000. 157 с.
10. *Сугробов В.М., Сугробова Н.Г., Дрознин В.А., Карпов Г.А., Леонов В.Л.* Жемчужина Камчатки – Долина Гейзеров. Научно-популярный очерк, путеводитель. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2009. 108 с.
11. *Фролова Ю.В., Ладыгин В.М., Рычагов С.Н.* Инженерно-геологические особенности гидротермально-метасоматических пород Камчатки и Курильских островов // Инженерная геология. 2011. № 3. С. 40–54.
12. *Фролова Ю.В., Гвоздева И.П., Чернов М.С., Кузнецов Н.П.* Инженерно-геологические аспекты гидротермальных преобразований туфогенных пород

Долины гейзеров (полуостров Камчатка) // Инженерная геология. 2015. № 6. С. 30–42.

13. *Фролова Ю.В., Зеркаль О.В., Гвоздева И.П.* Влияние гидротермальных преобразований на физико-механические свойства туфогенных пород Долины гейзеров и их роль в формировании оползней // Геодинамические процессы и природные катастрофы / Тезисы докл. III Всерос. научн конф. с межд. участием. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2019. С. 186.
14. *Бортникова С.Б., Бессонова Е.П., Гора М.П., Шевко А.Я., Панин Г.Л., Жарков Р.В., Ельцов И.Н., Котенко Т.А., Бортникова С.П., Манштейн Ю.А., Котенко Л.В., Козлов Д.Н., Абросимова Н.А., Карин Ю.Г., Поспеева Е.В., Казанский А.Ю.* Газогидротермы активных вулканов Камчатки и Курильских островов: состав, строение, генезис. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2013. 282 с.
15. *Жарков Р.В.* Термальные источники Южных Курильских островов / Отв. ред. О.В. Чудаев. Владивосток: Дальнаука, 2014. 378 с.
16. *Kalacheva E.G., Taran Yu.A., Kotenko T.A., Inguaggiato S., and Voloshina E.V.* The hydrothermal system of Mendeleev volcano, Kunashir Island, Kuril Islands: the geochemistry and the transport of magmatic components // J. of Volcanology and Seismology. 2017. Vol. 11. No. 5. P. 335–352. https://doi.org/10.1134/S0742046317050037
17. *Лебедев Л.М., Дуничев В.М., Никитина И.Б., Цепин А.И.* К минералогии натечных кремнистых кор в долине р. Лесной, о-в Кунашир // Современные гидротермы и минералообразование. М.: Наука, 1988. С. 89–97.
18. *Барабанов Л.Н.* Гидротермы Курильской вулканической области. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии РАН, 1976. 460 с.
19. *Bragin I.V., Chelnokov G.A., and Kharitonova N.A.* Geochemistry of thermal springs at Baransky volcano, Southern Kuriles (Russia) // Environ. Earth Sci. 2019. Vol. 78. № 3. P. 79–89.
20. *Zharkov R.V.* Active Volcanoes and Thermal Springs of Kunashir Island (Russia) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 459. No. 2. 022039. https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/2/022039
21. *Мархинин Е.К., Стратула Д.С.* Гидротермы Курильских островов М.: Наука, 1977. 212 с.
22. *Жарков Р.В., Побережная Т.М.* Влияние сольфатарно-гидротермальной деятельности вулканов на компоненты ландшафтов (влк. Менделеева, о-в Кунашир, Курильские острова) // Вестник ДВО РАН. 2008. № 1. С. 53–58.
23. *Побережная Т.М.* Геохимия природных и техногенных ландшафтов Сахалина и Южных Курильских островов. Владивосток: Дальнаука, 2010. 124 с.
24. *Двигало В.Н., Мелекесцев И.В.* Геолого-геоморфологические последствия катастрофических обвальных и обвально-оползневых процессов в Камчатской Долине Гейзеров (по данным аэрофотограмметрии) // Вулканология и сейсмология. 2009. № 5. С. 24–37.
25. *Пинегина Т.К., Делемень И.Ф., Дрознин В.А., Калачева Е.Г., Чирков С.А., Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Леонов В.Л., Селиверстов Н.И.* Камчатская Долина гейзеров после катастрофы 3 июня 2007 г. // Вестник ДВО РАН. 2008. № 1. С. 33–44.
26. *Лебедева Е.В., Сугробов В.М., Чижова В.П., Завадская А.В.* Долина р. Гейзерной (Камчатка): гидротермальная деятельность и особенности рельефообразования // Геоморфология. 2020. № 2. С. 60–73.
27. Атлас долины реки Гейзерной в Кроноцком заповеднике/ Ред. Завадская А.В. М.: Красанд, 2015. 88 с.
28. *Пийп Б.И.* Термальные ключи Камчатки // Труды СОПС АН СССР. Сер. Камчатская. 1937. Вып. 2. 268 с.
29. *Ellis A.J. and Mahon W.A.J.* Natural hydrothermal systems and experimental hot water/rock interaction // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1964. Vol. 28. P. 1323–1357.
30. *Giggenbach W.F.* Mass transfer in hydrothermal alteration systems – a conceptual approach / Geochimica et Cosmochimica Acta. 1984. Vol. 48. P. 2693–2711.
31. *Таран Ю.А., Пилипенко В.П., Рожков А.М.* Геохимия гидротермальных растворов и газов Мутновской гидротермальной системы // Геотермические и геохимические исследования высокотемпературных гидротерм. М.: Наука, 1986. 207 с.
32. *Hedenquist J.W. and Browne P.R.L.* The evolution of the Waiotapu geothermal system, New Zealand, based on the chemical and isotopic composition of its fluids, minerals and rocks // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1989. Vol. 53. P. 2235–2257.
33. *Абросимова Н.А.* Геохимия газогидротермальных источников вулканов Эбеко и Мутновский. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Томск: ИНГиГ, 2013. 19 с.
34. *Кононов В.И.* Геохимия термальных вод областей современного вулканизма. М.: Наука, 1983. 215 с.
35. *Churchill D.M., Manga M., Hurwitz S., Peek S., Damby D.E., Conrey R., Wood J.R., Blaine McCleskey R., Keller W.E., Hosseini B., and Hungerford J.D.G.* The structure and volume of large geysers in Yellowstone National Park, USA and the mineralogy and chemistry of their silica sinter deposits// J. of Volcanology and Geothermal Research. 2021. 107391. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107391
36. *Скляров Е.В., Федоровский В.С., Кулагина Н.В., Склярова О.А., Сковитина Т.М.* Позднечетвертичная “Долина гейзеров” на западе Байкальского рифта (Ольхонский регион). ДАН. 2004. Т. 395. № 3. С. 1–5.
37. *Великославинский С.Д., Котов А.Б., Скляров Е.В., Сковитина Т.М., Толмачева Е.В., Склярова О.А., Прокопов Н.С.* Геохимические особенности и флюидный режим формирования позднечетвертичных гейзеритов Приольхонья и о. Ольхон (Байкальская

рифтовая зона) // ДАН. 2017. Т. 474. № 4. С. 465–470.

38. *Lynn B.Y.* Mapping vent to distal-apron hot spring paleo-flow pathways using siliceous sinter architecture // Geothermics. 2012. Vol. 43. P. 3–24.

39. *Campbell K.A., Guido D.M., John D.A., Vikre P.G., Rhys D., and Hamilton A.* The Miocene Atastra Creek sinter (Bodie Hills volcanic field, California and Nevada): 4D evolution of a geomorphically intact siliceous hot spring deposit // J. of Volcanology and Geothermal Research. 2018. Vol. 370. P. 65–81. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.12.006

40. *Churchill D.M., Manga M., Hurwitz S., Peek S., Licciardi J.M. and Paces J.B.* Dating silica sinter (geyserite): A cautionary tale // J. of Volcanology and Geothermal Research. 2020. Vol. 402. 106991. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.106991

41. *Ладыгин В.М., Фролова Ю.В., Рычагов С.Н.* Преобразование эффузивных пород под воздействием кислотного выщелачивания поверхностными термальными водами (геотермальная система Баранского, о. Итуруп) // Вулканология и сейсмология. 2014. № 1. С. 20–37.

42. *Лебедева Е.В.* Виды воздействия вулканической и поствулканической деятельности на флювиальный рельеф // Геоморфология. 2019. № 4. С. 49–66.

43. *Лебедева Е.В.* Особенности селеформирования в вулканических регионах // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита / Тр. 6-й междунар. конф. (Душанбе–Хорог, Таджикистан). Т. 1. Отв. ред. С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева. Душанбе: ООО “Промоушн”, 2020. С. 460–469.

44. *Лебедева Е.В.* Цепочки катастрофических геоморфологических процессов в речных долинах вулканических регионов // Геоморфология. 2018. № 4. С. 38–55.

# Accumulative landforms in valleys with gas-hydrothermal manifestations (on the example of watercourses of some volcanic massifs in the Kuril-Kamchatka region)

**E. V. Lebedeva[a,#] and R. V. Zharkov[b,##]**

[a] *Institute of Geography RAS, Moscow, Russia*

[b] *Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*

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

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

Within the valleys of streams of geothermal zones, where manifestations of gas-hydrothermal activity are noted, the processes of relief formation are accompanied by chemical and thermal effects. It has been established that in the valleys of the rivers under consideration: 1) the formation of specific accumulative forms of micro- and mesorelief both in the channels and on slopes occurs, 2) there is a processing of alluvial deposits and bedrocks by hydrothermal solutions, which leads to a radical change in both their properties, and the features of fluvial processes; 3) the activation of slope processes with the formation of landslide bodies and rockslide masses is observed due to which in the bottoms there is an accumulation of displaced slope’s material, including redeposited by mudflows. Typification of accumulative relief forms, the formation of which is associated with gas-hydrothermal activity, within the river valleys of 4 volcanic massifs on the Kuril Islands (volcanoes Mendeleeva on Kunashir Is. and Baranskogo on Iturup Is.) and Kamchatka (volcanoes Mutnovsky and Uzon-Geysernaya caldera) was carried out. The main forms of accumulative micro- and mesorelief associated with various manifestations of gas-hydrothermal activity are highlighted; their characteristics are given, morphometric parameters are described. Typical processes in the valleys of geothermal zones are not only the formation of various sinter forms and the cementation of floodplain and terrace deposits in places where mineralized thermal springs emerge, but also are forming of rather large landslide terraces and blocking of watercourses with dams composed of slope’s and mudflow’s material. Under the influence of acidic solutions, active weathering of bedrocks and boulder-pebble material to clays can also occur. Often, the sediments that make up floodplains and terraces, morphologically looking like typical pebble alluvium, are in fact a clay mass and are easily washed away by surface waters. With the attenuation of gas-hydrothermal activity, landslide bodies and drip forms overgrow and morphologically look like ordinary river terraces.

*Keywords:* gas hydrotherms, volcanism, hydrothermal solutions, landslide processes, fluvial relief, cementation, weathering

## ACKNOWLEDGMENTS

Field research in 2013–2020 were carried out within the framework of the State assignment of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences No. 0148-2019-0005, the stage of field work in 2021 in the valley of the Geysernaya River and generalization of materials – at the expense of the Russian Science Foundation grant No. 21-17-00216, https://rscf.ru/project/21-17-00216/.

The authors are grateful to their colleagues who took part in organizing and conducting field routes on the Baranskogo, Mendeleeva, Mutnovsky volcanoes and in the Uzon-Geysernaya depression: I.I. Vlasova, A.V. Degterev, D.N. Kozlov, A.V. Kopanina, and A.I. Talskikh (IMGiG FEB RAS), D.V. Mikhalev (Moscow State University), D.V. Mishurinsky, A.L. Gurinov, A.L. Zakharov, and A.A. Medvedev (IG RAS), as well as employees of the Kuril and Kronotsky reserves.

## REFERENCES

1. Vakin E.A., Kirsanov I.T., and Kirsanova T.P. *Termal'nye polya i goryachie istochniki Mutnovskogo vulkanicheskogo raiona* (Thermal fields and hot springs of the Mutnovsky volcanic region). *Gidrotermal'nye sistemy i termal'nye polya Kamchatki*. Vladivostok: Dal'nauka (Publ.), 1976. P. 85–114. (in Russ.)
2. Belousov V.I. and Sugrobov V.M. *Geologicheskaya i gidrogeologicheskaya obstanovka geotermal'nykh raionov i gidrotermal'nykh sistem Kamchatki* (Geological and hydrogeological setting of geothermal regions and hydrothermal systems of Kamchatka). *Gidrotermal'nye sistemy i termal'nye polya Kamchatki*. Vladivostok: Dal'nauka (Publ.), 1976. P. 5–22. (in Russ.)
3. Lebedev L.M., Zotov A.V., Nikitina I.B., Dunichev V.M., and Shurmanov L.P. *Sovremennye protsessy mineraloobrazovaniya na vulkane Mendeleeva (o-v Kunashir)* (Modern processes of mineral formation on Mendeleev volcano (Kunashir Is.)). Moscow: Nauka (Publ.), 1980. 176 p. (in Russ.)
4. Leonov V.L., Grib E.N., Karpov G.A., Sugrobov V.M., Sugrobova N.G., and Zubin M.I. *Kal'dera Uzon i Dolina Geizerov* (Caldera Uzon and the Valley of Geysers). *Deistvuyushchie vulkany Kamchatki*. Moscow: Nauka (Publ.), 1991. Vol. 2. P. 94–141. (in Russ.)
5. Rychagov S.N. *Gidrotermal'naya sistema vulkana Baranskogo (o. Iturup): model' geologicheskoi struktury* (Hydrothermal system of Baransky volcano (Iturup Island): model of geological structure). *Vulkanologiya i seismologiya (Journal of Volcanology and Seismology)*. 1993. No. 2. P. 59–75. (in Russ.)
6. Rychagov S.N. and Shchegol'kov Yu.V. *Mineral'nye novoobrazovaniya na poverkhnosti zeren pirita Nizhne-Koshelevskoi geotermal'noi anomalii, Yuzhnaya Kamchatka* (Mineral neoplasms on the surface of pyrite grains of the Nizhne-Koshelevskaya geothermal anomaly, South Kamchatka). *Rudy i metally*. 2011. No. 2. P. 52–57. (in Russ.)
7. Sugrobov V.M. and Sugrobova N.G. *Osobennosti razgruzki vysokotemperaturnykh podzemnykh vod v Doline Geizerov* (Pecularities of discharge of hightemperatured underground waters in the Valley of the Geysers). *Voprosy geografii Kamchatki*. Petropavlovsk-Kamchatsky. 1990. P. 81–89. (in Russ.)
8. Chudaev O.V. *Sostav i usloviya obrazovaniya sovremennykh gidrotermal'nykh sistem Dal'nego Vostoka Rossii* (Composition and conditions of formation of modern hydrothermal systems in the Russian Far East). Vladivostok: Dal'nauka (Publ.), 2003. 203 p. (in Russ.)
9. Chudaev O.V., Chudaeva V.A., Karpov G.A., and Edmunds U.M. *Geokhimiya vod osnovnykh geotermal'nykh raionov Kamchatki* (Geochemistry of waters of the main geothermal regions of Kamchatka). Vladivostok: Dal'nauka (Publ.), 2000. 157 p. (in Russ.)
10. Sugrobov V.M., Sugrobova N.G., Droznin V.A., Karpov G.A., and Leonov V.L. *Zhemchuzhina Kamchatki - Dolina Geizerov. Nauchno-populyarnyi ocherk, putevoditel'* (The Pearl of Kamchatka is the Valley of Geysers. Popular science essay, guide). Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress (Publ.), 2009. 108 p. (in Russ.)
11. Frolova Yu.V., Ladygin V.M., and Rychagov S.N. *Inzhenerno-geologicheskie osobennosti gidrotermal'no-metasomaticheskikh porod Kamchatki i Kuril'skikh ostrovov* (Engineering-geological features of hydrothermal-metasomatic rocks of Kamchatka and the Kuril Islands). *Inzhenernaya geologiya (Engineering geology)*. 2011. No. 3. P. 40–54. (in Russ.)
12. Frolova Yu.V., Gvozdeva I.P., Chernov M.S., and Kuznetsov N.P. *Inzhenerno-geologicheskie aspekty gidrotermal'nykh preobrazovanii tufogennykh porod Doliny geizerov (poluostrov Kamchatka)* (Geotechnical aspects of hydrothermal transformations of tuffaceous rocks of the Valley of Geysers (Kamchatka Peninsula)). *Inzhenernaya geologiya* (Engineering geology). 2015. No. 6. P. 30–42. (in Russ.)
13. Frolova Yu.V., Zerkal' O.V., and Gvozdeva I.P. *Vliyanie gidrotermal'nykh preobrazovanii na fiziko-mekhanicheskie svoistva tufogennykh porod Doliny geizerov i ikh rol' v formirovanii opolznei* (The influence of hydrothermal transformations on the physicomechanical properties of tuffogenic rocks of the Valley of Geysers and their role in the formation of landslides). *Geodinamicheskie protsessy i prirodnye katastrofy: tezisy dokl. III Vseros. nauchn konf. s mezhd. uchastiem*. L.M. Bogomolov (Ed.). Yuzhno-Sakhalinsk: IMGiG DVO RAN (Publ.), 2019. P. 186. (in Russ.)
14. Bortnikova S.B., Bessonova E.P., Gora M.P., Shevko A.Ya., Panin G.L., Zharkov R.V., El'tsov I.N., Kotenko T.A., Bortnikova S.P., Manshtein Yu.A., Kotenko L.V., Kozlov D.N., Abrosimova N.A., Karin Yu.G., Pospeeva E.V., and Kazanskii A.Yu. *Gazogidrotermy aktivnykh vulkanov Kamchatki i Kuril'skikh ostrovov: sostav, stroenie, genezis* (Gas hydrotherms of active volcanoes in Kamchatka and the Kuril Islands: composition, structure, genesis). Novosibirsk: INGT SO RAN (Publ.), 2013. 282 p. (in Russ.)

15. Zharkov R.V. *Termal'nye istochniki Yuzhnykh Kuril'skikh ostrovov* (Termal springs of the South Kuril Islands). Chudaev O.V. (Ed.). Vladivostok: Dal'nauka (Publ.), 2014. 378 p. (in Russ.)
16. Kalacheva E.G., Taran Yu.A., Kotenko T.A., Inguaggiato S., and Voloshina E.V. The hydrothermal system of Mendeleev volcano, Kunashir Island, Kuril Islands: the geochemistry and the transport of magmatic components. *Journal of Volcanology and Seismology*. 2017. Vol. 11. No. 5. P. 335–352. https://doi.org/10.1134/S0742046317050037
17. Lebedev L.M., Dunichev V.M., Nikitina I.B., and Tsepin A.I. Mineralogy of sintered siliceous crust in the valley of the river. Lesnoy, Kunashir Island. *Sovremennye gidrotermy i mineraloobrazovanie* (Modern hydrotherms and mineral formation). Moscow: Nauka (Publ.), 1988. P. 89–97. (in Russ.)
18. Barabanov L.N. *Hydrotermy Kuril'skoi vulkanicheskoi oblasty* (Hydrotherms of the Kuril volcanic region). Petropavlovsk-Kamchatsky: Institute of Volcanology RAS (Publ.), 1976. 460 p. (in Russ.)
19. Bragin I.V., Chelnokov G.A., and Kharitonova N.A. Geochemistry of thermal springs at Baransky volcano, Southern Kuriles (Russia). *Environ. Earth Sci*. 2019. Vol. 78. No. 3. P. 79–89.
20. Zharkov R.V. Active Volcanoes and Thermal Springs of Kunashir Island (Russia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 459. No. 2. 022039. https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/2/022039
21. Markhinin E.K. and Stratula D.S. *Gidrotermy Kuril'skikh ostrovov* (Hydrotherms of the Kuril Islands). Moscow: Nauka (Publ.), 1977. 212 p. (in Russ.)
22. Zharkov R.V. and Poberezhnaya T.M. Influence of solfatary-hydrothermal activity of volcanoes on landscape components (Mendeleev volcano, Kunashir Is., Kuril Islands). *Vestnik DVO RAN*. 2008. No. 1. P. 53–58. (in Russ.).
23. Poberezhnaya T.M. *Geokhimiya prirodnykh i tekhnogennykh landshaftov Sakhalina i Yuzhnykh Kuril'skikh ostrovov* (Geochemistry of natural and technogenic landscapes of Sakhalin and the South Kuril Islands). Vladivostok: Dal'nauka (Publ.), 2010. 124 p. (in Russ.)
24. Dvigalo V.N. and Melekestsev I.V. Geological and geomorphological consequences of catastrophic rockfall and rockfall – landslides processes in the Kamchatka Valley of Geysers (according to aerial photogrammetry). *Vulkanologiya i seysmologiya (Journal of Volcanology and Seismology)*. 2009. No. 5. P. 24–37. (in Russ.).
25. Pinegina T.K., Delemen' I.F., Droznin V.A., Kalacheva E.G., Chirkov S.A., Melekestsev I.V., Dvigalo V.N., Leonov V.L., and Seliverstov N.I. Kamchatka Valley of Geysers after the catastrophe on 3 June 2007. *Vestnik DVO RAN*. 2008. No. 1. P. 33–44. (in Russ.).
26. Lebedeva E.V., Sugrobov V.M., Chizhova V.P., and Zavadskaya A.V. The valley of the river Geyzernaya (Kamchatka): hydrothermal activity and features of relief forming. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2020. No. 2. P. 60–73. (in Russ.) https://doi.org/10.31857/S0435428120020066
27. *Atlas doliny reki Geyzernoy v Kronotskom zapovednike* (Atlas of the valley of the River Geysernaya in Kronotsky Reserve). Zavadskaya A.V. (Ed.). M.: KRASAND (Publ.), 2015. 88 p. (in Russ.)
28. Piip B.I. *Termal'nyye klyuchi Kamchatki* (Thermal springs of Kamchatka). *Trudy SOPS AN SSSR. Ser. Kamchatskaya*. 1937. Vol. 2. 268 p. (in Russ.)
29. Ellis A.J. and Mahon W.A.J. Natural hydrothermal systems and experimental hot water/rock interaction. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1964. Vol. 28. P. 1323–1357.
30. Giggenbach W.F. Mass transfer in hydrothermal alteration systems – a conceptual approach. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1984. Vol. 48. P. 2693–2711.
31. Taran Yu.A., Pilipenko V.P., and Rozhkov A.M. Geochemistry of hydrothermal solutions and gases of the Mutnovskaya hydrothermal system. *Geotermicheskiye i geokhimicheskiye issledovaniya vysokotemperaturnykh gidroterm* (Geothermal and geochemical studies of high-temperature fluids). Moscow: Nauka (Publ.), 1986. 207 p. (in Russ.)
32. Hedenquist J.W. and Browne P.R.L. The evolution of the Waiotapu geothermal system, New Zealand, based on the chemical and isotopic composition of its fluids, minerals and rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1989. Vol. 53. P. 2235–2257.
33. Abrosimova N.A. *Geokhimiya gazogidrotermal'nykh istochnikov vulkanov Ebeko i Mutnovskii* (Geochemistry of gas-hydrothermal springs of Ebeko and Mutnovsky volcanoes). PhD thesis. Tomsk: INGiG (Publ.), 2013. 19 p. (in Russ.)
34. Kononov V.I. *Geokhimiya termal'nyh vod oblastei sovremennogo vulkanizma* (Geochemistry of thermal waters in areas of modern volcanism). Moscow: Nauka (Publ.), 1983. 215 p. (in Russ.)
35. Churchill D.M., Manga M., Hurwitz S., Peek S., Damby D.E., Conrey R., Wood J.R., Blaine McCleskey R., Keller W.E., Hosseini B., and Hungerford J.D.G. The structure and volume of large geysers in Yellowstone National Park, USA and the mineralogy and chemistry of their silica sinter deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2021. Vol. 419. 107391. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107391
36. Sklyarov E.V., Fedorovskyi V.S., Kulagina N.V., Sklyarova O.A., and Skovitina T.M. Late Quaternary Valley of Geysers in the west of the Baikal Rift (Olkhon region). *Doklady Akademii nauk*. 2004. Vol. 395. No. 3. P. 1–5. (in Russ.)
37. Velikoslavinskii S.D., Kotov A.B., Sklyarov E.V., Skovitina T.M., Tolmacheva E.V., Sklyarova O.A., and Prokopov N.S. Geochemical features and fluid regime of the formation of Late Quaternary geyserites in the Olkhon region and Olkhon Is. (Baikal rift zone). *Doklady Akademii nauk*. 2017. Vol. 474. No. 4. P. 465–470. (in Russ.)

38. Lynn B.Y. Mapping vent to distal-apron hot spring paleo-flow pathways using siliceous sinter architecture. *Geothermics*. 2012. Vol. 43. P. 3–24.

39. Campbell K.A., Guido D.M., John D.A., Vikre P.G., Rhys D., and Hamilton A. The Miocene Atastra Creek sinter (Bodie Hills volcanic field, California and Nevada): 4D evolution of a geomorphically intact siliceous hot spring deposit. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2018. Vol. 370. P. 65–81. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.12.006

40. Churchill D.M., Manga M., Hurwitz S., Peek S., Licciardi J.M. and Paces J.B. Dating silica sinter (geyserite): A cautionary tale. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2020. Vol. 402. 106991. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.106991

41. Ladygin V.M., Frolova Yu.V., and Rychagov S.N. Transformation of effusive rocks under the influence of acid leaching by surface thermal waters (geothermal system of Baransky volcano, Iturup Is.). *Vulkanologiya i seysmologiya (Journal of Volcanology and Seismology)*. 2014. No. 1. P. 20–37. (in Russ.)

42. Lebedeva E.V. Kinds of impacts of volcanic and post volcanic activity on fluvial relief. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2019. No. 4. P. 49–66. (in Russ.)

43. Lebedeva E.V. Features of debris flow formation in volcanic regions. *Selevye potoki: katastrofy, risk, prognoz, zashchita* (Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection). Proceed. of the 6th conference (Tajikistan). Vol. 1. S.S. Chernomorets and K.S. Viskhadzhieva (Eds.). Dushanbe: OOO “Promoushn” (Publ.), 2020. P. 460–469. (in Russ.)

44. Lebedeva E.V. Sequences of catastrophic geomorphic processes in the river valleys of volcanic regions. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2018. No. 4. P. 38–55. (in Russ.)

*ГЕОМОРФОЛОГИЯ, 2022, том 53, № 1, с. 102–111*

## ИСТОРИЯ НАУКИ

*УДК 551.4(092)*

# ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ МЕЩЕРЯКОВ – ОСНОВОПОЛОЖНИК СПУТНИКОВОЙ ГЕОГРАФИИ

**© 2022 г. Д. С. Асоян[1,*]**

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

**E-mai: ds-asoyan@yandex.ru*

Поступила в редакцию 27.09.2021 г.
После доработки 05.10.2021 г.
Принята к публикации 11.10.2021 г.

В августе 2021 г. исполнилось 100 лет со дня рождения Юрия Александровича Мещерякова, выдающегося ученого с международным именем, вдохновителя и организатора структурно-геоморфологических и морфоструктурных исследований, изучения современных тектонических движений земной коры и многих других научных проектов. В последние годы своей короткой жизни Ю.А. Мещеряков положил начало еще одному новому и наиболее смелому научному направлению – спутниковой географии. Целью пионерных исследований стало изучение возможностей применения космических изображений в геоморфологии и в географии. Полученные впервые результаты показали высокую информативность космических фотоснимков при изучении морфоструктур и морфоскульптуры разного генезиса, обнаружение длиной в 2500 км линеамента в Сахаре; впервые были установлены реальные переходные границы ландшафтных широтных зон Африки. Ю.А. Мещеряков, оценив открывающиеся перед географической наукой значительные перспективы, предложил создать в институте ИГ АН СССР Лабораторию спутниковой географии, разработал программу комплексных исследований по применению космических изображений. После ухода из жизни в 1970 г. Ю.А. Мещерякова исследования по спутниковой географии с применением методов аэрокосмического зондирования и картографического моделирования успешно продолжаются и в настоящее время. Полученные выводы подтвердились в дальнейших отечественных и зарубежных исследованиях в области аэрокосмического зондирования.

*Ключевые слова:* космические изображения, геоморфологическая интерпретация, аэрокосмическое зондирование, искусственные спутники Земли, зоны линеаментов, географические исследования

**DOI:** 10.31857/S0435428122010035

Как стремительно бежит время в наш XXI век... Казалось, совсем недавно в Институте географии РАН в 2001 г. отмечали 80-летие со дня рождения Юрия Александровича Мещерякова – выдающегося ученого с международным именем. Юрий Александрович был яркой звездой в геоморфологии. Делом его жизни стали структурно-геоморфологические и морфоструктурные исследования, изучение поверхностей выравнивания и кор выветривания и многие другие значительные отечественные и международные проекты. По его инициативе и лидирующей роли в нашей стране и за рубежом развилось мощное научное направление по комплексному изучению современных тектонических движений и составлению карт современных движений земной коры. За заслуги в этой области он был избран бессменным президентом Комиссии по современным движениям земной коры Международного союза геодезии и геофизики (МСГГ), в память его после ухода из жизни была выпущена памятная медаль [1].

Несмотря на 100-летнюю годовщину со дня его рождения светлая память о нем жива в сердцах тех, кто имел честь с ним сотрудничать, быть его учеником, дружить, общаться. Можно без преувеличения сказать, что соратники Юрия Александровича, коллеги, сотрудники по Институту географии, аспиранты и даже просто знакомые преклонялись перед ним за его талант, ум, громадный вклад в геоморфологию, невероятную трудоспособность (несмотря на слабое здоровье) и замечательные личные качества – доброту, дружелюбность, чувство юмора, высокую интеллигентность. В отделе геоморфологии, которым он заведовал, его любили, а старшие по возрасту сотрудницы ласково называли его Юрочка.

Юрию Александровичу была отпущена, к сожалению, короткая жизнь – всего 48 лет, но он многое сделал и был востребован в науке и в жизни (рис. 1). В последние годы своей яркой, плодотворной жизни Ю.А. Мещеряков по собственной инициативе положил начало еще одному новому

**Рис. 1.** Юрий Александрович Мещеряков. Финляндия, 1965 г. [10].

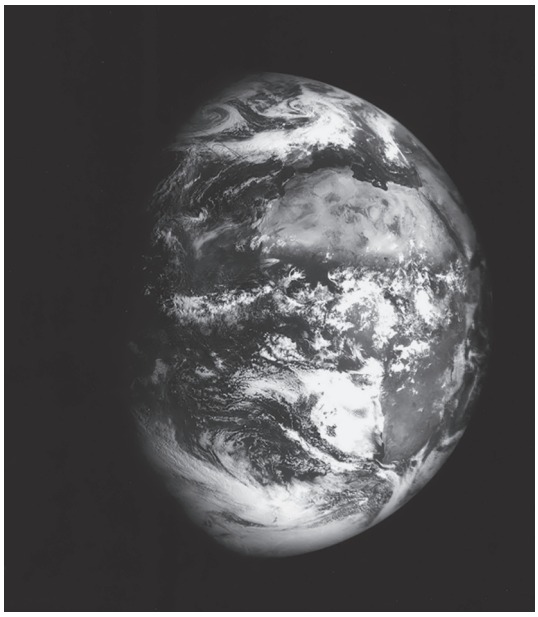


**Рис. 2.** Глобальный космический фотоснимок Земли, получен с АМС “Зонд-5” 21 сентября 1968 г.

и наиболее смелому научному направлению – спутниковой географии. В октябре 1968 г. произошел запуск космического корабля “Союз-33”, пилотируемого Г.Т. Береговым. В связи с этим событием в газете “Правда” 29 октября 1968 г. опубликовали статью К.Я. Кондратьева и Г. Скуридина “Человек обозревает планету”. В ней было высказано предположение, что на телевизионных космических изображениях с метеорологического спутника “Метеор”, помимо облачных структур, просматриваются контуры на земной поверхности. Статья сразу же заинтересовала Юрия Александровича. Он поручил мне прочитать эту статью, прервать на 2 дня работу над диссертацией и собрать в Библиотеке им. Ленина литературу по использованию космических снимков в географии. Специальных работ по этой теме не нашлось. Поэтому Ю.А. Мещеряков незамедлительно обратился в Междуведомственный геофизический Комитет при Президиуме АН СССР, где находился единственный экземпляр альбома с космическими фотоснимками Земли, полученными с пилотируемых американских космических кораблей “Джемини-III-V”. Из альбома мы выбрали несколько удовлетворительного качества фотоснимков для их географической и геоморфологической интерпретации. Однако хотелось иметь и советские фотоснимки, но существовали ли они и где их можно получить, было неизвестно. В случайном разговоре выяснилось, что в газете “Комсомольская правда” осенью 1968 г. опубликовали глобальный фотоснимок Земли, полученный с Автоматической Межпланетной Станции (АМС) “Зонд-5”, и что в АПН (тогдашнем Агентстве печати и новостей) можно приобрести этот фотоснимок. Целью запуска станции “Зонд-5” было фотографирование обратной стороны Луны, а по пути к ней – сфотографировать Землю. В результате 21 сентября 1968 г. были получены очень удачные первые глобальные фотоснимки Земли с превосходным изображением Африки в центре кадра. По письму от дирекции нашего института в АПН были куплены за 5 руб. 60 коп. 6 экз. фотоснимков. Один из них Юрий Александрович хранил под стеклом своего письменного стола (рис. 2).

Вот так впервые начались наши исследования по геоморфологической интерпретации глобального, предельно мелкомасштабного фотоснимка Земли с континентом Африки, а также еще других космических фотоснимков, полученных с “Джемини-V” (северо-восточного окончания Аравийского п-ова, Великих равнин в США, загадочной кольцевой структуры Ришат на северо-западе Сахары и других (рис. 3, 4). Я благодарна судьбе, которая дала мне возможность стать участником этих пионерных, очень трудных, но и интересных исследований совместно с Юрием Александровичем. Поскольку работу поручил мой научный руководитель, мнение которого было непререкаемым, я, нисколько не сомневаясь, взялась за нее. Было очень страшно, но и захватывающе интересно! Позже мне стало известно, что этот глобальный фотоснимок рассматривался специалистами по дешифрированию аэрофотоснимков всего лишь как картинка, а не объект исследования. В течение 1969 г. в результате проведенных исследований была подготовлена статья (рис. 5).

**Рис. 3.** Космический фотоснимок. Северо-восточное окончание Аравийского п-ова, мыс Рас-эль-Хад [2].

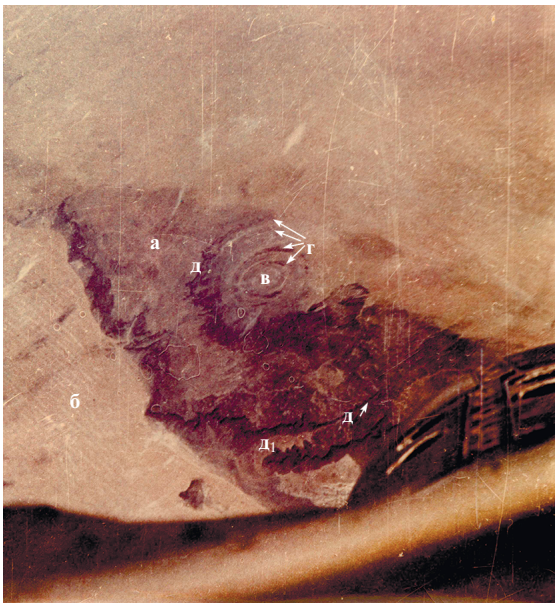



**Рис. 4.** Кольцевая структура Ришат, плато Адрар, Мавритания (составитель Д.С. Асоян [2]).

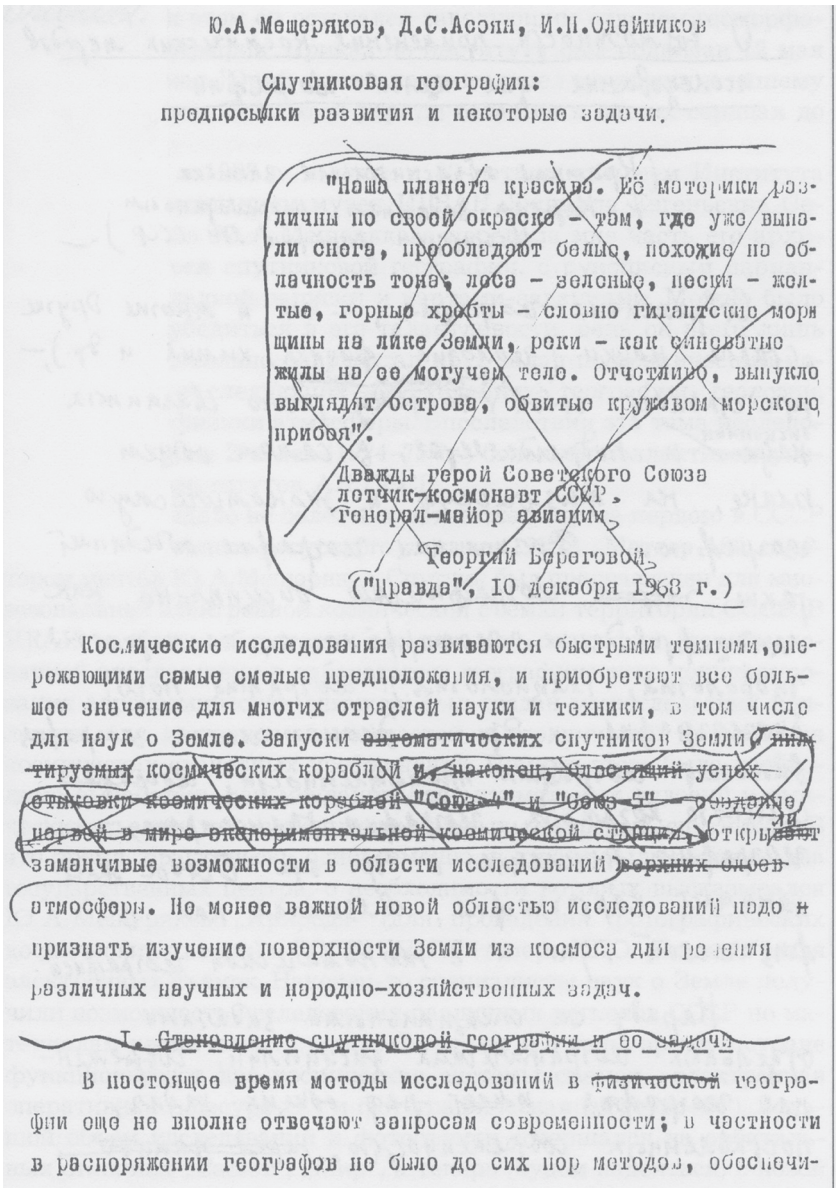
а – плато Адрар, б – песчаная пустыня, в – кольцевая структура Ришат, г – уступы структуры, д – “себхи” (солончаковые впадины) и дайи (пресноводные впадины), $д_1$ – днища вади.

В ней также принял участие замечательный специалист по физической географии Африки И.Н. Олейников. В статье были освещены результаты интерпретации отечественного глобального фотоснимка Земли и впервые установлены новые научные факты. Так, И.Н. Олейников выделил реальные границы ландшафтных широтных зон Африки, их переходный характер и привлек для этих целей дешифровочный признак – облачный покров. Помимо этого, мною впервые был обнаружен крупный линеамент в Сахаре протяженностью до 2500 км и выдвинута гипотеза о соответствии линеамента тектоническому нарушению; выделены несколько кольцевых структур на северо-востоке Африки, сделана попытка рассмотреть происхождение загадочной кольцевой структуры Ришат; составлена схема структурно-геоморфологического строения части Аравийского п-ова [2].

Забегая вперед, отметим, что спустя 20 лет после обнаружения крупнейших линеаментов Земли начались стремительное выявление и изучение их генезиса в многочисленных научных и производственных учреждениях страны. И.П. Магидович и В.И. Магидович в очерках о географических открытиях XX века сформулировали это направление как одно из великих географических открытий [3]. Позже В.И. Магидович [4] в разделе, посвященном открытиям российских ученых в Африке, отметил факт впервые обнаруженных Д. Асоян и В.Д. Скарятиным протяженных линеаментов по космическим снимкам [5, 6].

Таким образом, если восстанавливать историю исследований линеаментов, то справедливости ради уместно будет отметить, что приоритет обнаружения первого трансрегионального линеамента протяженностью до 2500 км в Северной Африке по космическому фотоснимку принадлежит Институту географии РАН [2]. Также в статье указывалось, что космические снимки можно применить при изучении морфоструктуры, геологических структур различного типа, сейсмичности, вулканической активности, глобальных и региональных зон трещиноватости, морфоскульптуры – ледниковой, эоловой, эрозионной, морфологии побережий морей. Эти предварительные выводы подтвердились в дальнейших отечественных и зарубежных исследованиях в области дистанционного зондирования. В заключение статьи Ю.А. Мещеряков остановился на некоторых перспективах применения космических снимков и высказал свое мнение *о развитии спутниковой географии в целях изучения природных ресурсов*.

Статья была сдана в печать весной 1969 г. в редакцию журнала “Известия АН. Серия географическая”. Но ее судьба была несколько драматичной, так как была отложена в редакции в связи с заключением рецензента как “несвоевременная”. Вышла она в свет только после смерти Ю.А. Мещерякова в 1971 г. в № 3, и то благодаря вмешательству директора академика И.П. Герасимова, который помнил о ее существовании и высказал свое возмущение о странном заключении рецензента (назвав его “идиотским”!) и тем, что ее отложили.



Ю.А.Мещеряков, Д.С.Асоян, И.П.Олейников

Спутниковая география:
предпосылки развития и некоторые задачи.

"Наша планета красива. Её материки различны по своей окраске – там, где уже выпали снега, преобладают белые, похожие по облачность тоне; леса – зеленые, пески – желтые, горные хребты – словно гигантские морщины на лике Земли, реки – как синеватые жилы на ее могучем теле. Отчетливо, выпукло выглядят острова, обвитые кружевом морского прибоя".

Дважды герой Советского Союза
летчик-космонавт СССР,
Генерал-майор авиации
Георгий Береговой.
("Правда", 10 декабря 1968 г.)

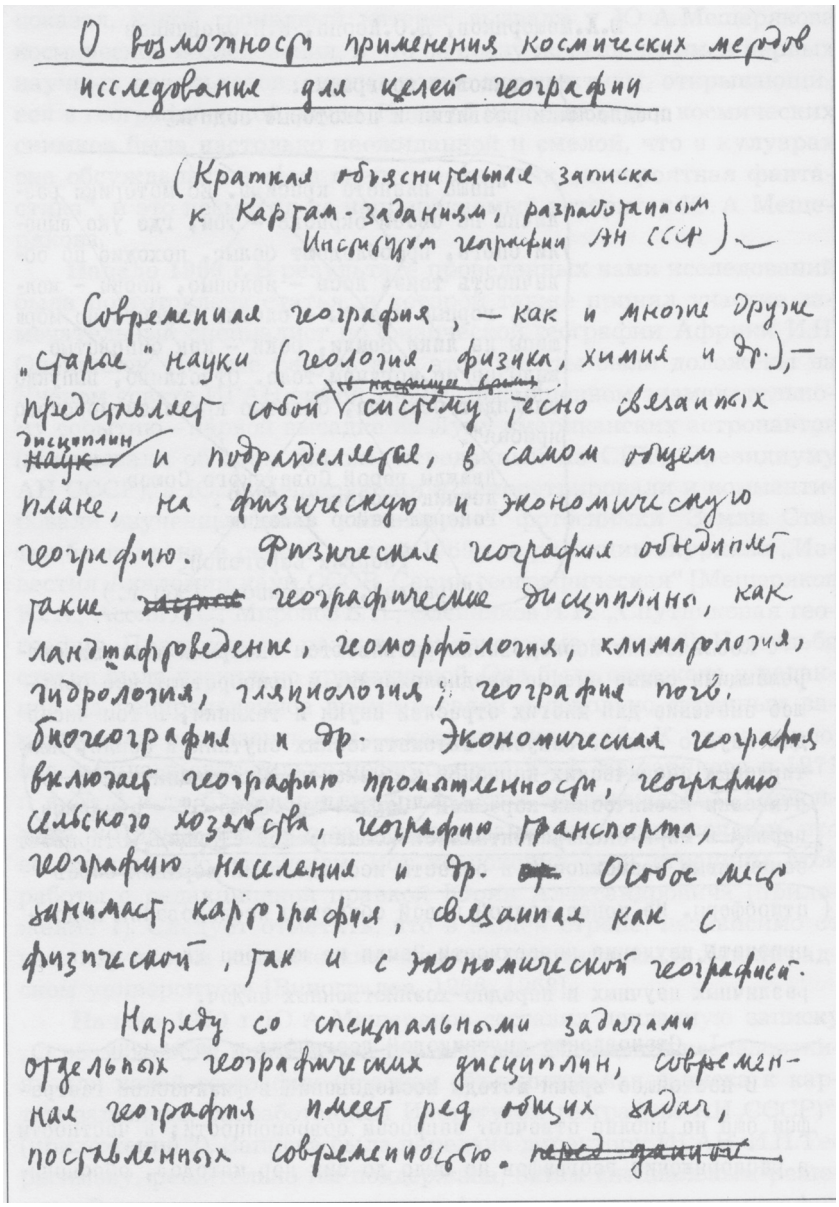
Космические исследования развиваются быстрыми темпами, опережающими самые смелые предположения, и приобретают все большее значение для многих отраслей науки и техники, в том числе для наук о Земле. Запуски автоматических спутников Земли, пилотируемых космических кораблей и, наконец, блестящий успех стыковки космических кораблей "Союз-4" и "Союз-5" – создание первой в мире экспериментальной космической станции, открывают заманчивые возможности в области исследований верхних слоев атмосферы. Не менее важной новой областью исследований надо признать изучение поверхности Земли из космоса для решения различных научных и народно-хозяйственных задач.

I. Становление спутниковой географии и ее задачи

В настоящее время методы исследований в физической географии еще не вполне отвечают запросам современности; в частности в распоряжении географов не было до сих пор методов, обеспечи-

**Рис. 5.** Ксерокопия 1-й страницы статьи “Спутниковая география. Предпосылки развития и некоторые задачи” с редакционной правкой Юрия Александровича Мещерякова, 1971 г. [10].

Вот так, благодаря Ю.А. Мещерякову, по его инициативе, непосредственном участии и руководстве со свойственной ему оперативностью начались первые эксперименты по географическому и геоморфологическому дешифрированию космических фотоснимков Земли. Эти факты показали, какой громадный интерес вызвали у Ю.А. Мещерякова “космические исследования”. Благодаря своей неординарной интуиции, дару предвидения на многие годы вперед и смелой научной мысли он сразу же, имея только первые научные результаты, оценил новые перспективы, открывающиеся в географической науке, и организовал в Институте географии АН СССР первые исследования космических изображений при изучении земной поверхности. Кроме того, он разработал программу работ (рис. 6) и кадровый состав новой предложенной им Лаборатории спутниковой географии. Академик И.П. Герасимов поддержал это предложение. Лаборатория в нашем институте была создана, а Ю.А. Мещерякова назначили ее заведующим, при этом он оставался и заведующим отделом геоморфологии. Приказ по институту был подписан 12 мая 1970 г., а 19 мая Юрий Александрович ушел из жизни к нашему великому горю, боль этой утраты остается в душе до сих пор. Незаменимые люди все же есть.



О возможности применения космических методов исследования для целей географии

(Краткая объяснительная записка к Картам-заданиям, разработанным Институтом географии АН СССР).

Современная география, — как и многие другие „старые" науки (геология, физика, химия и др.), — представляет собой ~~в настоящее время~~ систему тесно связанных ~~наук~~ дисциплин и подразделяется, в самом общем плане, на физическую и экономическую географию. Физическая география объединяет такие ~~частные~~ географические дисциплины, как ландшафтоведение, геоморфология, климатология, гидрология, гляциология, география почв, биогеография и др. Экономическая география включает географию промышленности, географию сельского хозяйства, географию транспорта, географию населения и др. ~~др.~~ Особое место занимает картография, связанная как с физической, так и с экономической географией.

Наряду со специальными задачами отдельных географических дисциплин, современная география имеет ряд общих задач, поставленных современностью. ~~перед данной~~

**Рис. 6.** Ксерокопия оригинала к картам-заданиям, написанного Юрием Александровичем в 1970 г. в Институте географии АН СССР: “О возможности применения космических методов исследований для целей географии” [10].

Славное дело Ю.А. Мещерякова было продолжено в ИГАНе межотдельским коллективом, созданным в конце 1972 г. на базе Лаборатории спутниковой географии (переименованной впоследствии в Лабораторию географического дешифрирования аэрокосмических снимков). Основная задача лаборатории заключалась в изучении возможностей и ограничений применения космических телевизионных сканерных изображений, получаемых с борта ресурсных экспериментальных ИСЗ. Исследования проводились по Договору с ВНИИЭМ, осуществлявших проектирование и запуски ресурсных спутников Земли. Договор предусматривал внушительное финансирование, позволившее проводить необходимые, помимо полевых, аэровизуальные наблюдения с целью проверки результатов дешифрирования изображений. Кроме того, требовались оценка технических условий съемок для экспериментальных спутников и выработка таковых для космических съемок с эксплуатационных ресурсных спутников. Наконец-то специалисты наук о Земле получали возможность исследования различных регионов СССР по материалам космических съемок. Первые опыты работ с космическими снимками показали наибольшую эффективность их применения в геолого-геоморфологических, ландшафтных, гляциологических и других иссле-

дованиях. В межотдельском коллективе из отдела геоморфологии ИГАН сотрудничали С.М. Александров, М.Е. Городецкая, А.Е. Козлова, М.П. Жидков, В.Н. Олюнин А.С. Кесь, Б.А. Федорович; ландшафтные исследования проводила Н.В. Фадеева, гидрологические – А.М. Грин и Ю.Н. Куликов, ботанические – В.Д. Утехин. Выяснилась не менее эффективная роль изображений из космоса при изучении ледников и снежного покрова – В.Г. Ходаков и бывший тогда аспирант Н.Н. Осокин. Общее руководство и собственное участие осуществляла Д.С. Асоян. Полученные сведения были пионерными как в Институте географии, так и в мире. Опыта изучения возможностей применения телевизионных мелкомасштабных изображений – наиболее сложных по своему уровню генерализации громадных территорий – не существовало. В вузах курса аэрокосмического зондирования еще не преподавали. Приходилось осваивать "с ходу" новое направление, учитывая специфические физико-технические условия космических съемок. Интерпретация изображений происходила в процессе длительных, мучительных обсуждений; было трудно всем – и старшим научным сотрудникам, и аспирантам.

Теперь, спустя почти 50 лет, мы можем с удовлетворением констатировать, что намеченные перспективы и мечты Ю.А. Мещерякова, высказанные в нашей первой статье, сбылись в последующее и в наше время. Назовем их: 1) о необходимости запусков постоянно действующих на орбите съемочных аппаратов и систем; так, например, не прошло и более 4 лет, как были запущены первые в СССР экспериментальные ресурсные спутники ИСЗ "Метеор-18-25", а позже серия запусков эксплуатационных ИСЗ, названных "Метеор-Природа"; 2) о создании специализированных государственных центров по разработке запусков съемочных систем, обеспечению потребителей научной космической информацией; одновременно с запуском ресурсных спутников в середине 1970-х годов были созданы два государственных центра – "Природа" для проведения фотографических съемок и НПО "Планета" – для электронных съемок; 3) о необходимости создания природных аэрокосмических полигонов с целью проведения подспутниковых синхронных экспериментов – наземных, аэросъемочных и космических, а также повторных съемок для изучения динамики природных процессов, явлений, и их прогнозов. Такие полигоны были созданы под эгидой Института космических исследований АН СССР совместно с нашим и другими академическими учреждениями; ответственными исполнителями из ИГАН были назначены – в горах Средней Азии – С.М. Александров, на Кавказе – Д.С. Асоян, на Тургайском полигоне – М.Е. Городецкая, А.Е. Козлова, А.С. Кесь; 4) и, наконец, Ю.А. Мещеряков высказался о необходимости переиздания Физико-географического атласа Мира (ФГАМ, 1964) на качественно новой основе – использовании космических снимков. Теперь с большим удовлетворением мы можем констатировать, что и эта мечта Ю.А. Мещерякова сбылась в 1998 г. [7]. Этот фундаментальный труд подготавливался в течение 20 лет в ИГАН при участии основных научных, научно-производственных, вузовских учреждений и ведущих специалистов страны под руководством директора академика В.М. Котлякова и заведующего лабораторией картографии академика РАЕН, проф. А.А. Лютого, "локомотивом" работ была ученый секретарь редколлегии атласа Е.А. Финько. Впервые в атласе тематические карты сопровождались блоками космических изображений с результатами их интерпретации, которые дополняли и иллюстрировали содержание карт; были разработаны принципы обеспечения карт аэрокосмическими снимками [8]. В этой работе, в разделах, посвященных обеспечению тематических карт атласа космическими изображениями (например, "Строение литосферы") приняли участие сотрудники отделов ИГАН – А.Н. Маккавеев, Е.Я. Ранцман, Р.С. Нарских, М.П. Жидков, Д.С. Асоян, Т.П. Грязнова, С.А. Буланов, а также из других учреждений – географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова и Госцентра "Природа". Можно сказать, что в определенной мере "космические разделы" атласа раскрыли и подвели итоги возможностей применения космических снимков в изучении природы и хозяйственном освоении Земли в XX веке. Новый атлас "Природа и ресурсы Земли" стал достойным воплощением мечты Ю.А. Мещерякова.

Итак, применение методов дистанционного зондирования (ДЗЗ) стало обширной областью научных и технических исследований Земли. В них приняли и продолжают участвовать многие научные и производственные организации, министерства, тысячи ученых разных отраслей знаний – от инженеров-разработчиков космических систем и съемочной аппаратуры, специалистов по отраслевой обработке космических изображений и тематического анализа, до метеорологических служб для ежедневных сводок погоды, патрульных служб по противопожарной охране лесов и проводке судов в сложной ледовой обстановке. Космические изображения – наглядные фотодокументы все более усиливающегося негативного воздействия человека на природу и ухудшения экологической обстановки. Использование космических снимков способствует научным открытиям, обнаружению не известных ранее научных фактов, обеспечению технологической основы для картографирования Земли в разных масштабах. Подробнее результаты исследований по аэрокосмическому зондированию в нашем институте и в других учреждениях страны охаракте-

ризованы в статье, посвященной 100-летнему юбилею Института географии РАН [9] и во многих других публикациях.

Мне посчастливилось в жизни часто общаться с Юрием Александровичем не только в качестве его ученицы и аспирантки, написать под его руководством кандидатскую диссертацию, но и в разных жизненных обстоятельствах. Воздавая должное светлой памяти Ю.А. Мещерякова, хотелось бы поделиться дорогими воспоминаниями об отдельных эпизодах в экспедициях в Поволжье и Заволжье, в командировке в Харьков на совещание по структурной геоморфологии Украины в 1967 г. (рис. 7). Рассказать о талантливом ученом, о чутком, внимательном, требовательном учителе и просто о милом, обаятельном человеке.

50–70-е годы прошлого века были годы бурного расцвета географической мысли и геоморфологии в Институте географии. Под руководством Ю.А. Мещерякова научная работа кипела. Одна за другой следовали защиты кандидатских и докторских диссертаций, причем посвящены они были в большой мере методическим и теоретическим проблемам [10]. В 1950-е годы были организованы экспедиционные отряды в Поволжье и Заволжье, которые возглавляли С.К. Горелов и Л.Е. Сетунская, а Ю.А. Мещеряков приезжал на некоторое время для консультаций. Нам коллекторам-студентам было очень интересно учиться и наблюдать, как развивался и применялся на наших глазах новый и весьма эффективный метод профилирования речных террас для поисков локальных структур, перспективных на нефть и газ. Душой и организатором этих работ был Ю.А. Мещеряков. Помню, как в одной из экспедиций 18 августа 1958 г. мы весело отмечали совпавшие дни рождения – 37 лет Ю.А. Мещерякову и 33 года С.К. Горелову. Юрий Александрович много шутил, пел с нами песни. Во время этой экспедиции в летние ясные ночи мы иногда замечали, как между звезд пробирается маленькая звездочка, пересекая небосклон – это был первый советский спутник. Поскольку прошло чуть меньше года после его запуска, мы каждый раз приветствовали его появление. Тогда Юрий Александрович вряд ли мог допустить мысли о том, что через 10 лет мы уже будем изучать фотоснимки, полученные из космоса. Но это случилось благодаря его идее и инициативе!

В другой год экспедиции в Заволжье Ольга Евграфовна – мама Ю.А. Мещерякова – сумела упросить начальника нашего отряда С.К. Горелова заехать на 2 дня к ним домой в Уфу, чтобы отметить день рождения Юрия Александровича. Дом был на окраине Уфы, одноэтажный с небольшим садиком с яблонями. Его мама и бабушка Варвара Васильевна настолько душевно встречали, особенно нас, студентов, что мы почувствовали себя вернувшимися в родной дом (рис. 8). К празднику пекли пироги, вбивали в тесто до 10 яиц (совсем как в доме у Обломовых), готовили обильный обед. Пришли гости – местные друзья Юрия Александровича – художники. Вечером пили чай в саду под яблоней с вареньем из китайских яблочек и со свечами. После экспедиционного быта находиться в домашней обстановке, за обеденным столом с белой скатертью и другими благами было блаженством. Я на всю жизнь запомнила эти 2 дня, полные уюта, тепла, интересных бесед с Юрием Александровичем, его мамой и бабушкой, которая, оказывается, была знакома с Львом Толстым в молодости; лишний раз поняла, как много значит интеллигентная обстановка в семье, из которой вырастают такие, как Юрий Александрович, воспитанные, доброжелательные и порядочные люди.

**Рис. 7.** На конференции по структурной геоморфологии и неотектонике Украины в 1967 г. Справа налево: А.П. Рождественский, Ю.А. Мещеряков, Д.С. Асоян, Н.А. Чувилева [10].

Ю.А. Мещеряков был великолепным педагогом. Много сил, внимания и времени он уделял своим сотрудникам и аспирантам, но вместе с тем строго требовал выполнения работ в установленные сроки. Он был отличным редактором и, можно сказать, воспитывал «идеальное» отношение к научной деятельности. Например, редактируя мой текст, он предложил чаще перечитывать “Капитанскую дочку” и “Тамань” и стараться приблизиться к классической прозе Пушкина и Лермонтова!

Можно было не один раз убеждаться в уважительном и бережном отношении Юрия Александровича к мнению и своих коллег и новичков в научной работе. Несмотря на свой огромный авторитет, он не навязывал свое мнение. Например, Юрий Александрович поначалу предложил тему для моей диссертации, посвященной региональной геоморфологии Южной Якутии (где до этого

**Рис. 8.** На крыльце родного дома в Уфе. Юрий Александрович Мещеряков, справа мама Ольга Евграфовна, слева бабушка Варвара Васильевна, 1955 г. [10].

я провела 2 полевых сезона); но в скором времени он передумал и предложил другую тему (методическую) – применение измерительного дешифрирования форм рельефа по аэрофотоснимкам на фотограмметрических приборах. Я была в панике: практически предлагалось создать работу на стыке двух наук – геоморфологии и фотограмметрии! Отказаться было невозможно, но и соглашаться...? Юрий Александрович стал терпеливо и мягко приводить разные доводы в пользу новой темы, которые все же меня не убеждали, хотя он имел право просто настоять; исчерпав все возможные аргументы и видя мой расстроенный вид, он сказал совсем уже безнадежным тоном: “Но этим же еще никто не занимался!”. Вот тогда пришлось все же согласиться! В этой истории был весь Юрий Александрович!

Дальше он мог признать правоту точки зрения, которую сначала, хотя и молчаливо, но не очень одобрял. Тем не менее давал возможность провести исследования, предпочитая дождаться первых результатов, например, когда это коснулось моего стремления к дешифрированию блоковых структур по аэрофотоснимкам. Так, на конференции в “Аэрогеологии”, на которой мы с Юрием Александровичем присутствовали, выступал академик А.В. Сидоренко; затрагивая различные вопросы геологических исследований, он отметил целесообразность и перспективность изучения блоковых структур с использованием аэрофотоснимков. После конференции Юрий Александрович не пожалел своего времени, позвонил по телефону, спросил, слышала ли я об этом высказывании и шутливо поздравил с совпадением мнения академика и аспиранта. Было приятно и удивительно слышать эти слова от своего научного руководителя, так мог поступить только человек щедрой души. Юрий Александрович учил верить достоверным фактам и не отступать от них независимо от мнения авторитетов в науке, доверять своей интуиции, и в то же время подвергать сомнению и перепроверять любой свой научный вывод.

Во время экспедиции в Южную Якутию в 1966 г. для профилирования речных террас мы сплавлялись на резиновой лодке по рекам Кабакте и Чульману. Из-за плохой погоды и частых дождей постоянно поднимался уровень воды в реках, было опасно; как мне потом рассказали в отделе геоморфологии, Юрий Александрович очень переживал за нас, нашел время написать письмо и морально поддержать.

Как многие талантливые люди, Юрий Александрович дарил людям, его окружающим, одну из главных радостей в жизни – радость общения. В компании на отдыхе, в экспедициях и в командировках на конференциях, во время вечерних посиделок Юрий Александрович рассказывал интересные истории, анекдоты, любил изображать смешные сценки с переодеваниями, играть в кукольный театр со своим любимым персонажем “Мурзиком”, которого возил с собой в экспедициях. Будучи в гостях в Москве у меня на дне рождения 30.10.1960 г. вместе с Л.Е. Сетунской, он привел строчки из его любимой географической песни в надписи на подаренном фотоальбоме:

*“Коллектора мы и дух наш молод,*
*Нас экспедиция зовет.*
*Нам нипочем жара и холод,*
*Девиз коллектора – вперед!”*

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена по теме госзадания № 0148-2019-0004 в Лаборатории картографии ИГРАН.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тимофеев Д.А., Чичагов, В.П.* 80-летний юбилей выдающегося русского ученого – Юрия Александровича Мещерякова // Юрий Александрович Мещеряков. Воспоминания, научные статьи. М.: Медиа-Пресс, 2002. С. 6–30.
2. *Мещеряков Ю.А., Асоян Д.С., Миронов Б.П., Олейников И.Н.* Спутниковая география. Предпосылки развития и некоторые задачи // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1971. № 3. С. 29–45.
3. *Магидович И.П., Магидович В.И.* Очерки по истории географических открытий. М.: Просвещение, 1986. Т. 5. 223 с.
4. *Магидович В.И.* Краткий очерк истории географического познания Земли. М.: Ин-т истории естествознания и техники РАН, 2009. 236 с.
5. *Асоян Д.С.* Применение комплексного качественного и измерительного дешифрирования аэрофотоснимков в геоморфологических исследованиях (на примере Южной Якутии). Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: ИГАН СССР, 1970. 19 с.
6. *Асоян Д.С., Скарятин В.Д.* Геолого-геоморфологическое дешифрирование глобальных космических фотоснимков Земли, полученных с АМС “Зонд-5” // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 1973. № 5. С. 65–73.
7. Атлас “Природа и ресурсы Земли”. Resources and Environment World Atlas / Гл. ред. А.А. Лютый. В 2 кн. Vienna: Ed. Hoelzel; Moscow: IG RAS. Приложения на русском языке в 2 кн. 1998.
8. *Асоян Д.С., Лютый А.А.* Глобальный атлас “Природа и ресурсы Земли”: вопросы аэрокосмического обеспечения // Изв. высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 1992. № 6. С. 136–143.
9. *Асоян Д.С., Медведев А.А., Малышев В.Б., Хромова Т.Е.* История становления методов зондирования Земли в Институте географии РАН // Картография, геоинформатика и дистанционное зондирование: вызовы XXI века. М.: Полиграфия, “СВС-Дизайн”. 2019. С. 162–177.
10. Мещеряков Юрий Александрович. Воспоминания, научные статьи. М.: Медиа-Пресс, 2002. 229 с.


# Yuri Aleksandrovich Meshcheryakov – founder of satellite geography


**D. S. Asoyan**[a,#]

[a] *Institute of Geography RAS, Moscow, Russia*

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



August 2021 marked the 100th anniversary of the birth of Yuri Alexandrovich Meshcheryakov, an outstanding scientist with an international name, inspirer and organizer of structural, geomorphological and morphostructural studies, the study of modern tectonic movements of the earth’s crust and many other scientific projects. In the last years of his short life, Yu.A. Meshcheryakov laid the foundation for another new and most daring scientific direction – satellite geography. The purpose of pioneering research was to study the possibilities of using space images in geomorphology and geography. The results obtained for the first time showed the high informativeness of space photographs in the study of morphostructures and morphosculpture of different genesis, the detection of a lineament in length 2500 km in the Sahara; for the first time, real transitional boundaries of landscape latitudinal zones of Africa were established. Yu.A. Meshcheryakov, assessing the significant prospects opening up for geographical science, proposed to create a Laboratory of Satellite Geography at the Institute of the IG as USSR Academy of Sciences, developed a program of comprehensive research on application of space images. After the death of 1970 Yu.A. Meshcheryakov, research on satellite geography using aerospace sounding and cartographic modeling methods has been successfully continued to the present day. The findings were confirmed in further domestic and foreign research in the field of aerospace sounding.



*Keywords:* space images, geomorphological interpretation, aerospace sounding, artificial satellites of the Earth, zones of lineaments, geographical research



## ACKNOWLEDGMENTS

The work was carried out on the topic of state mission No. 0148-2019-0004 in the Laboratory of Cartography of IGRAN.



## REFERENCES

1. Timofeev D.A. and Chichagov V.P. *80-letnii yubilei vydayushchegosya russkogo uchenogo – Yuriya Aleksandrovicha Meshcheryakova. Yurii Aleksandrovich Meshcheryakov. Vospominaniya, nauchnye stat’i* (80th anniversary of the outstanding Russian scientist – Yuri Alexandrovich Meshcheryakov. Yuri Alexandrovich Meshcheryakov. Memories, science articles). M: Media-Press (Publ.), 2002. 229 p. (in Russ.)
2. Meshcheryakov Yu.A., Asoyan D.S., Mironov B.P., and Oleinikov I.N. *Sputnikovaya geografiya. Predposylki razvitiya i nekotorye zadachi* (Satellite geography. Preconditions for the development and some purposes). *Izv. Akad. Nauk SSSR. Ser. geogr.* 1971. No. 3. P. 29–46. (in Russ.)
3. Magidovich I.P. and Magidovich V.I. *Ocherki po istorii geograficheskikh otkrytii* (Essays on the history of geographical discoveries). M: Prosveshchenie (Publ.), 1986. Vol. 5. 223 p. (in Russ.)
4. Magidovich V.I. *Kratkii ocherk istorii geograficheskogo poznaniya Zemli* (A brief outline of the history of the geographical knowledge of the Earth). M.: In-t istorii estestvoznaniya i tekhniki RAN (Publ.), 2009. 236 p. (in Russ.)

5. Asoyan D.S. *Primenenie kompleksnogo kachestvennogo i izmeritel'nogo deshifrirovaniya aerofotosnimkov v geomorfologicheskikh issledovaniyakh (na primere Yuzhnoi Yakutii)* (Application of complex qualitative and measuring interpretation of aerial photographs in geomorphological studies (on the example of South Yakutia). PhD thesis. Autoref. dis. ... cand. geogr. sciences. M.: IGAN SSSR, 1970. 19 p. (in Russ.)

6. Asoyan D.S. and Skaryatin V.D. *Geologo-geomorfologicheskoe deshifrirovanie global'nykh kosmicheskikh fotosnimkov Zemli, poluchennykh s AMS "Zond-5"* (Geological and geomorphological interpretation of global space photographs of the Earth, obtained from the AMS "Zond-5"). *Izv. vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka*. 1973. No. 5. P. 65–74. (in Russ.)

7. *Atlas "Priroda i resursy Zemli"* (Atlas of Nature and resources of the Earth). Vienna, Hölzel V. M.: Institute of Geography RAS, GmbH (Publ.), 1998. Vol. 1–2.

8. Asoyan D.S. and Lyutyi A.A. *Global'nyi atlas "Priroda i resursy Zemli": voprosy aerokosmicheskogo obespecheniya* (Global Atlas "Earth's Nature and Resources": Aerospace Support Issues). *Izv. vysshikh uchebnykh zavedenii. Geodeziya i aerofotos"emka*. 1992. No. 6. P. 136–143. (in Russ.)

9. Asoyan D.S., Medvedev A.A., Malyshev V.B., and Khromova T.E. *Istoriya stanovleniya metodov zondirovaniya Zemli v Institute geografii RAN. Kartografiya, geoinformatika i distantsionnoe zondirovanie: vyzovy 21 veka* (The history of the formation of Earth sensing methods at the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences. Cartography, geoinformatics and remote sensing: challenges of the 21st century). M.: Poligrafiya "SVS-Dizain" (Publ.), 2019. P. 162–177. (in Russ.)

10. *Meshcheryakov Yurii Aleksandrovich. Vospominaniya, nauchnye stat'i* (Meshcheryakov Yuri Alexandrovich. Memories, scientific articles). M.: Media-Press (Publ.), 2002. 229 p. (in Russ.)

*ГЕОМОРФОЛОГИЯ, 2022, том 53, № 1, с. 112–120*

## ИСТОРИЯ НАУКИ

*УДК 551.4(092)*

# 100-ЛЕТНИЙ ЮБИЛЕЙ ВЫДАЮЩЕГОСЯ РОССИЙСКОГО УЧЕНОГО ЮРИЯ АЛЕКСАНДРОВИЧА МЕЩЕРЯКОВА

**© 2022 г. В. П. Чичагов[1,*]**

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

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

Поступила в редакцию 06.09.2021 г.
После доработки 29.09.2021 г.
Принята к публикации 11.10.2021 г.

В 2021 г. исполнилось 100 лет со дня рождения выдающегося геоморфолога и геодезиста Юрия Александровича Мещерякова – прогрессивного, передового ученого новой, послевоенной генерации отечественных геоморфологов. Поразительно, что, прожив недолгую жизнь, он внес в науку огромный вклад. Не получив географического высшего образования (блестяще окончил МИИГАиК), он быстро оценил, ассимилировал и воспринял основные достижения геоморфологической – отечественной и зарубежной науки той эпохи, развернул обширные коллективные исследования в области структурной геоморфологии и современных тектонических движений; разработки методики геоморфологического картографирования и исследования экзогенного рельефообразования. Ученый успешно сочетал качества экспедиционного исследователя, теоретика науки и создателя новых методов и приемов структурно-геоморфологических изысканий, организатора больших коллективных работ и научного руководителя своих учеников. Работая в геологических и геоморфологических экспедициях в центральных и юго-восточных районах Русской равнины, Башкирии, Поволжья, Прикаспия, Западной Сибири и Восточных Саян, он разрабатывал и совершенствовал приемы приложения ряда геодезических и геофизических методов к изучению современного и древнего рельефа. Юрию Александровичу удалось обобщить и сформулировать основные теоретические представления о современных тектонических процессах, методах их исследования и внедрить в геоморфологию количественные методы исследования и геофизические подходы. При его личном участии и под его научным руководством в сжатые сроки создаются первые карты современных движений земной коры на территорию Европейской части страны и стран Восточной Европы. Юрий Александрович становится признанным лидером в области изучения современных движений земной коры. Организаторский талант позволил ему создать в 1958 г. Геоморфологическую Комиссию АН СССР и в 1970 г. уникальный академический журнал “Геоморфология”. И Комиссия, и журнал успешно действуют по сей день. Ю.А. Мещеряков родился в нужное время и в нужной стране. Память о нем священна.

*Ключевые слова:* геоморфология, геодезия, морфоструктурный анализ, полигенетические поверхности выравнивания, современные движения земной коры, карты движений Европейской части России и Восточной Европы

**DOI:** 10.31857/S0435428122010059

Свет погасших звезд... Каждый ученый – это звезда и свет знаний от каждой из них будет до нас доходить вечно. Звезды науки могут быть разной яркости. Цель предлагаемой работы – воспоминания об одной из наиболее ярких звезд прошлого века. Хочется надеяться, что она продолжает освещать нашу душу знаниями, радостью общения прошлых лет, влиять на нас, на нашу работу, Свет каждой звезды не меркнет, но память о них (звездах) с годами начинает стираться – их реже вспоминают, на их труды меньше ссылаются. Поэтому будем вспоминать эти необыкновенно одаренные звезды-личности чаще, особенно во время их юбилеев.

Имя нашей звезды – профессор Юрий Александрович Мещеряков, ему в 2021 г. исполнилось бы сто лет, а в предыдущем – 2020 г. – полвека с того дня, когда он покинул нас (фото). Он был одним из крупнейших ученых-геоморфологов и организаторов геоморфологической науки XX века, одним из создателей новых направлений: учения о морфоструктуре и морфоскульптуре, основоположником комплексного анализа современных тектонических движений, создателем спутниковой геоморфологии и др., ученым с широким кругом научных интересов.

Это имя особенно дорого мне из-за того, что довелось проработать с ним, под его руковод-

Юрий Александрович Мещеряков

ством много лет в отделе геоморфологии Института географии АН СССР (ИГАН) и Геоморфологической комиссии АН СССР, принять участие в подготовке создания академического журнала "Геоморфология". Отдел в те годы занимал лидирующее положение в науке и в Институте, пользовался большим и заслуженным авторитетом среди советских, а также и зарубежных ученых. В ту эпоху географическими институтами стран Восточной Европы руководили наиболее крупные геоморфологи: И.П. Герасимов в СССР, Ж.С. Гылыбов в Болгарии, Я. Демек в Чехословакии, М. Печи в Венгрии, Х. Людеман в ГДР, А. Ян в Польше и др. Одновременно в Западной Европе, во Франции создалась когорта таких крупных геоморфологов, как А. Болиг, П. Биро, А. Гильшер, Ж. Дреш, А. Кайе, Ж. Трикар и А. Шоллей, специализировавшаяся в области динамической геоморфологии и начавшая издавать новый геоморфологический журнал с тем же названием.

Юрий Александрович прожил яркую жизнь Человека Науки; вся его жизнь была предназначена науке. Он родился 17 августа 1921 года в г. Калуге, окончил школу в г. Уфе и в 1945 г. с отличием Геодезический факультет Московского института инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии (МИИГАиК). С ранних лет его отличали серьезность, вдумчивость и целеустремленность. В студенческие годы были заложены основы его научных интересов: большую роль в формировании его геоморфологического мировоззрения и отношения к ценности полевой информации сыграли две экспедиции. Экспедиция на юго-восток Русской равнины в составе Комплексной Южной геологической экспедиции Министерства геологии СССР, руководимой И.О. Бродом, и, особенно трудной, экспедиции в Восточный Саян под руководством С.В. Обручева в 1948 г. Не без влияния этих экспедиционных работ в Юрии Александровиче обнаружились незаурядные способности в разработке и применении новых методов и технологий – студентом Мещеряковым был предложен метод создания стереоскопической фотокарты, опубликованный в его первой научной работе в 1947 г. После окончания МИИГАиК он поступил в аспирантуру ИГАН, связав всю свою жизнь и научные интересы с головным научным географическим институтом страны. В 1950 г. защитил кандидатскую диссертацию, посвященную анализу основных закономерностей строения и истории формирования рельефа Русской равнины, в 1963 г. – в качестве докторской диссертации представил капитальную рукопись – будущую фундаментальную монографию "Структурная геоморфология равнинных стран", опубликованную в 1965 г. [1]. Вспомним, как интересно проходила ее защита. Диссертант был празднично настроен, сильно волновался, но хорошо держался; сделал хороший, обстоятельный доклад и четко отвечал на вопросы. Он достойно полемизировал с одним из самых сильных и активных своих оппонентов – проф. Н.И. Николаевым и отстоял собственную точку зрения о полигенетических поверхностях выравнивания равнинно-платформенных областей. Академик И.П. Герасимов – директор ИГАН и председатель ученого совета, единомышленник, соратник и будущий соавтор Ю.А. Мещерякова был скуп на похвалы, но в заключительном слове сказал: "Я по-хорошему завидую Вашей работе, Юрий Александрович!". Это была высокая похвала и высокая оценка труда талантливого большого ученого, признание и похвала которого не часто высказывались в такой форме и в такой аудитории...

Юрий Александрович отличался поразительной работоспособностью, последовательностью в проведении исследований и результативностью в их завершении; умел устанавливать прочные деловые контакты и годами поддерживать дружеские отношения со своими научными партнерами. Он быстро стал одним из крупнейших отечественных геоморфологов в области структурной геоморфологии, которую развивал как синтез материалов и методов геоморфологии, геофизики, геотектоники и геодезии.

Юрий Александрович был прогрессивным, передовым ученым новой, послевоенной генерации отечественных геоморфологов. Не получив географического высшего образования, он быстро ассимилировал, воспринял, оценил и синтезировал основные достижения геоморфологической – отечественной и зарубежной науки той

эпохи, развернул обширные коллективные исследования в области структурной геоморфологии и современных тектонических движений; разработки методики геоморфологического картографирования и исследования экзогенного рельефообразования. Успешно сочетал качества экспедиционного исследователя, теоретика науки и создателя новых методов и приемов структурно-геоморфологических исследований, организатора больших коллективных работ и научного руководителя своих учеников. Работая в геологических и геоморфологических экспедициях в центральных и юго-восточных районах Русской равнины, Башкирии, Поволжья, Прикаспия, Западной Сибири и Восточных Саян, разрабатывал и совершенствовал приемы приложения ряда геодезических и геофизических методов к изучению современного и древнего рельефа.

Одновременно он планомерно и плодотворно развивал проблему комплексного изучения современных тектонических движений. Почти половина руководимого им отдела, объединявшего более сорока ученых, участвовала в обследовании линий повторного нивелирования, проведении специализированных геоморфолого-геодезических работ и последующем обобщении и картографировании полученных материалов. Юрию Александровичу удалось обобщить и сформулировать основные теоретические представления о современных тектонических процессах, методах их исследования и внедрить в геоморфологию количественные методы исследования и геофизические подходы. При его личном участии и под его научным руководством в сжатые сроки были созданы первые карты современных движений земной коры на территорию Европейской части страны и стран Восточной Европы. Юрий Александрович становится признанным лидером в области изучения современных движений земной коры. В 1960 г. в признание больших заслуг его выбирают президентом Комиссии по современным движениям земной коры Международного Союза геодезии и геофизики (МСГГ). В 1963–1967 гг. он дважды переизбирался на этот высокий пост и занимал его до конца своих дней.

Юрий Александрович включился в работы по геоморфологическому картографированию, преимущественно разрабатывал методику мелкомасштабного – обзорного – картографирования, наиболее полно и наглядно отражавшего современные представления об эволюции земной поверхности. В 1964 г. Ю.А. Мещеряковым и его сотрудниками были составлены геоморфологические карты мира и материков для Физико-географического атласа мира и на их основе в 1967 г. создана уникальная монография “Рельеф Земли” – первое фундаментальное обобщение новых данных по геоморфологии всего Земного шара, составленное с новых теоретических позиций [2]. Совместно с И.П. Герасимовым Ю.А. Мещеряков создает основополагающие разделы “Рельефа Земли” о морфоструктуре и морфоскульптуре. Эти труды вызвали большой интерес и резонанс в мировом геоморфологическом сообществе, неоднократно обсуждались на международных форумах и были переведены на английский язык.

Сильной чертой характера Юрия Александровича было умение объединить и вдохновить коллективы отечественных ученых на решение крупных научных задач. Вершиной его успеха можно считать разработку вместе с И.П. Герасимовым и внедрение в практику геолого-геоморфологических работ в нашей стране и за ее пределами морфоструктурного анализа, основы которого заложил И.П. Герасимов. При этом вклад Мещерякова был очень оригинален и весьма велик. Теперь, по прошествии многих лет, можно утверждать, что это удивительное по своей кажущейся простоте научное направление необычайно быстро было взято на вооружение нашими учеными, исследователями и производственниками. И незамедлительно дало большие научные и практические результаты.

Организаторский талант Ю.А. Мещерякова блестяще проявился в организации геоморфологической науки в нашей стране. Вместе с И.П. Герасимовым он добился создания Межведомственной Геоморфологической комиссии при Отделении геолого-географических наук АН СССР в 1958 г. Сохранился протокол заседания Отделения о ее создании, подписанный академиком-секретарем, академиком Д.И. Щербаковым. Юрий Александрович сначала успешно работал ученым секретарем, а затем заместителем председателя Комиссии. Следует отметить, что 50–70-е годы XX века были временем расцвета – взлета – геоморфологических исследований в нашей стране, временем духовного и профессионального подъема и единения геоморфологов разных школ, направлений и ведомств. Первые Пленумы Геоморфологической комиссии привлекали сотни ученых и исследователей из десятков городов Советского Союза. Их программы были насыщены новыми материалами, сопровождались тщательно подготовленными научными экскурсиями, а результаты пленумов публиковались в виде крупных научных сборников. Эти замечательные научные собрания проходили в праздничном, приподнятом настроении. В создании таких научных праздников роль Юрия Александровича Мещерякова была огромна; он хорошо знал музыку и любил по вечерам музицировать.

Научные и личные контакты, установленные во время Пленумов тех лет, успешно действуют и поныне. Традиции демократического обсужде-

ния, не взирая на чины и звания, также живы и сейчас. Дружеские связи, разумеется, тоже...

Действительно, Ю.А. Мещеряков родился в нужной стране и в нужное время!

Объединению геоморфологов страны очень способствовало создание академического журнала "Геоморфология", основанного практически Юрием Александровичем. Он много сил приложил для организации журнала, по праву стал его первым главным редактором и успел выпустить два первых номера 1970 г. Большую помощь в этом нелегком деле ему оказал вице-президент АН СССР, академик А.В. Сидоренко.

Большую работу Ю.А. Мещеряков вел и в составе редколлегии журнала "Известия АН СССР. Серия географическая", подбирая для него наиболее интересные для широкой географической аудитории геоморфологические статьи.

Особое место в его трудах занимает изданная большим тиражом, интересная монография "Рельеф СССР" [3]. Она написана с позиций учения о морфоструктуре и морфоскульптуре для широкого круга читателей.

Ю.А. Мещеряков был настоящим и бесперебойным "генератором идей", он не только сам их разрабатывал и доводил до внедрения, но и щедро раздавал своим ученикам, сотрудникам, помогал им, не жалея ни времени, ни сил, положив тем самым начало создания геоморфологической школы Мещерякова.

***Морфоструктурный анализ***. В результате изучения платформенных равнин СССР Ю.А. Мещеряков разработал оригинальную "технологию" морфоструктурного анализа – сопоставления и выявления генетических связей форм земной поверхности с глубинным строением, геофизическими характеристиками земной коры, позволяющего раскрыть природу возникновения морфоструктур различного типа и ранга; был важным в этом также исторический или палеогеоморфологический подход Юрия Александровича.

Ю.А. Мещеряков разрабатывал четыре главных направления морфоструктурного анализа: его теорию, глобальную, региональную и прикладную разновидности. Последние три направления, как правило, сопровождались составлением морфоструктурных карт, содержание которых определялось конкретной целью анализа. Проблемы теории и глобального анализа наиболее успешно разрабатывались И.П. Герасимовым и В.Е. Хаиным, которые при жизни Ю.А. Мещерякова были не столько его учителями, сколько соратниками. В 70-е годы XX века в теоретической геоморфологии наметился определенный кризис глобальных идей, который И.П. Герасимов связывал с ограниченностью теории фиксизма. Прогресс глобального морфоструктурного анализа он видел в широком использовании концепции неомобилизма или глобальной тектоники плит. В 1970–1980-х годах И. П. Герасимов на базе этой концепции разрабатывал историко-генетическую классификацию глобальных морфоструктур, основные положения которой и принципиальные теоретические обобщения опубликованы в ряде статей и сведены в книге, вышедшей в свет в 1986 г. уже после ухода ее автора [4].

В.Е. Хаин с позиций глобальной тектоники плит рассмотрел мегарельеф Земли, видя свою задачу в том, чтобы наполнить тектоническим и геодинамическим содержанием существующие привычные геоморфологические понятия, тем более что многие из них, особенно в пределах океанского ложа, получили хождение в качестве тектонических (срединные хребты, глубоководные желоба и пр.). В 1989 г. В.Е. Хаиным была составлена оригинальная карта геотектур Земли [5].

Морфоструктурный анализ занимал важное место в работах отдела геоморфологии ИГ АН СССР, который Ю.А. Мещеряков возглавлял в 1961–1970 гг. Исследования были направлены на дальнейшее развитие идей И.П. Герасимова и Ю.А. Мещерякова, совершенствование известных и отработку новых методов анализа. В соответствии с планами Ю.А. Мещерякова была создана серия монографий под общим названием "Геоморфология СССР". В 1974–1982 гг. выпущено 5 томов, посвященных характеристике и истории развития рельефа крупных регионов СССР, рельефообразующим процессам, морфоструктурному анализу горных и равнинных территорий и дна, омывающих СССР морей, что позволило выявить связи ныне существующего рельефа с глубинным строением земной коры и тектоническими движениями различного возраста, а также историю становления и развития морфоструктурного плана.

В эти же годы была создана коллективная монография "Морфоструктурный анализ речной сети СССР" – первый в отечественной и мировой науке опыт обобщающего исследования в области строения и истории формирования речной сети крупной части Евразии [6].

Значительное внимание Ю.А. Мещеряков уделял и сравнительному морфоструктурному анализу орогенов различного типа. Это направление разрабатывалось учениками и сотрудниками Юрия Александровича во многих горных регионах нашей страны, а также за рубежом. Результаты исследований опубликованы в упомянутых выше томах "Геоморфологии СССР", а также в монографиях "Проблемы геоморфологии гор" (1984 г.) [7] и "Горы шовных зон СССР и тектоника плит" (1990 г.) [8]. Важно отметить, что в последних двух монографиях строение орогенов и механизм их формирования трактуются с позиций неомобилизма; подчеркивается ведущая роль

в горообразовании крупномасштабных горизонтальных перемещений литосферных плит и рассмотрены различные варианты их взаимодействия. В этом же плане И.П. Герасимовым, Д.А. Лилиенбергом и Л.Е. Сетунской проведен сравнительный анализ морфоструктурного развития Кавказа, Альп и Балкан, позволяющий выявить как специфику строения каждого орогена, так и общие закономерности их формирования в системе Альпийско-Средиземноморского межплитового горного пояса. Была показана роль горизонтальных и вертикальных движений в дифференциации морфоструктур разного ранга, а также роль неотектоники в создании системы блоковых морфоструктур [9, 10].

Ю.А. Мещеряков в процессе изучения морфоструктуры Земли основное внимание уделял значению пликативных дислокаций, отводя блоковым морфоструктурам подчиненную роль. Позже блоковый аспект учения о морфоструктурах начал планомерно развиваться.

Выше упоминалось, что, будучи студентом, Ю.А. Мещеряков работал в крупной Комплексной южной геологической экспедиции – КЮГЭ – нефтепоисковой экспедиции И.О. Брода и оценил значение морфоструктурных исследований для решения прикладных задач. Эта проблема занимала его многие годы, он собирал материалы для специальной монографии “Геоморфология и практика”, оставшейся, к сожалению, незавершенной. Но это направление оказалось чрезвычайно актуальным, важным и получило тогда дальнейшее развитие в различных учреждениях и регионах нашей страны.

Новым направлением стало использование морфоструктурного анализа в целях сейсмологии. Его основы были заложены в начале 1950-х годов И.П. Герасимовым и успешно продолжены работами Н.А. Флоренсова, В.П. Солоненко и другими учеными в эпицентральной области Гоби-Алтайского землетрясения. Затем подобные исследования проводились в Прибайкалье и Забайкалье, в Становом хребте и на Кавказе, но уже с целью выявления палеосейсмодислокаций, что позволило определить сейсмоопасность этих территорий и провести их сейсмическое районирование. Были тщательно изучены морфоструктурно-геодинамические особенности, сейсмические и сейсмогравитационные дислокации в районе Спитакского землетрясения в Армении в 1988 г.

В последние десятилетия XX века морфоструктурный анализ широко используется при прогнозно-металлогенических исследованиях. Опыт изучения морфоструктур в регионах бывшего Советского Союза соратники и последователи Ю.А. Мещерякова перенесли на территории ряда зарубежных стран.

Ю.А. Мещеряков был идейным руководителем и ответственным редактором геоморфологических карт “Физико-географического атласа мира” [11], изданного в 1964 г., которые впервые были разработаны по методу раздельного показа морфоструктуры и морфоскульптуры. Метод вполне оправдал себя и получил дальнейшее развитие при составлении Геоморфологической карты СССР в м-бе 1:2500000 [12] и ряда других картографических произведений. Эти и многие другие работы свидетельствуют о том, что и в геоморфологическом картографировании идеи Ю.А. Мещерякова оказались весьма плодотворными и широко используются как в нашей стране, так и за рубежом.

Особенно интересна концепция поверхностей выравнивания Ю.А. Мещерякова. Она содержит весьма важные в научном и прикладном отношениях представления о полигенетических равнинах и полигенетических поверхностях выравнивания, т.е. о парагенетической связи денудационных и аккумулятивных равнин, о возможности определений возраста денудационных поверхностей по времени образования коррелятных отложений соответствующих аккумулятивных равнин.

***Современные тектонические движения земной коры.*** Современная эндодинамика рельефа была одним из новых научных направлений, которые стали особенно близки Ю.А. Мещерякову. Вместе с И.П. Герасимовым и Ю.Д. Буланже он стоял у истоков этого направления как у нас в стране, так и в международных исследованиях, заложил основы многих научных подходов, был основателем ряда комиссий, периодических совещаний и школ. Это направление оказалось очень эффективным в научном плане, актуальным в прикладном отношении и быстро прогрессировало.

Важным обобщением пространственных закономерностей проявления современных движений стали карты разного типа, основанные на результатах количественных инструментальных измерений (геодезических, мареографических, гидрологических, аэрокосмических и т.п.). Пионером в развитии этого направления стала наша страна. После издания в 1958 г. карты западной части Европейской территории СССР Ю.А. Мещеряков выступил инициатором создания упоминавшейся выше международной карты современных вертикальных движений Восточной Европы, в работе над которой приняли участие коллективы ученых Болгарии, Венгрии, ГДР, Польши, Румынии, СССР, Чехословакии и Югославии. К сожалению, он не дожил до полного завершения этого уникального проекта, который был закончен под руководством Д.А. Лилиенберга в виде обобщающих карт в масштабах 1:10000000 [13] и 1:2500000 [14], изданных на русском и ан-

глийском языках при титульной редактуре Ю.А. Мещерякова. Карты явились крупным вкладом в развитие наук о Земле. Впервые в мире на них были выявлены и отражены генеральные закономерности современной геодинамики платформенных равнин, кристаллических щитов, молодых и древних горных систем, тенденции и дифференциация вертикальных движений в региональном плане.

Картографическое обобщение современной геодинамики быстро прогрессировало, и за последние десятилетия XX века у нас в стране и за рубежом были изданы многочисленные карты, среди которых выделяется второй вариант карты современных вертикальных движений Восточной и Центральной Европы [15]. При ее составлении были использованы результаты ряда повторных нивелирований, и карта зафиксировала не только пространственные закономерности, но и изменение направленности и интенсивности современных движений во времени.

За короткое время в СССР была составлена примерно половина карт современных вертикальных движений, имеющихся сейчас в мире, в том числе карты Прибалтики, Украины, Советских Карпат, Кавказа, центра Русской равнины, Урала, Средней Азии, юга Западной Сибири, Сибири, Якутии, Дальнего Востока, Сахалина, Камчатки. В 1988 г. ГУГКом была издана сводная карта всего Советского Союза в м-бе 1:5 000 000. Появились карты разных типов: градиентов вертикальных движений, комплексные и др. Анализ их содержания, методики составления и обоснование морфоструктурной базы проведены Д.А. Лилиенбергом и Л.Е. Сетунской [10]. В то время в нашей стране сформировалась сильная национальная школа картографирования современной геодинамики, которая стала ведущей в мире. У истоков ее, как уже отмечалось, стоял Ю.А. Мещеряков. Созданию такой школы во многом способствовало объединение усилий учреждений Академии наук СССР и руководства ГУГКа.

Таким образом, достигнутый прогресс в познании природы и закономерностей современной геодинамики рельефа подтверждает научную прозорливость Ю.А. Мещерякова, горячо пропагандировавшего новое направление. Данные о современной подвижности морфоструктур приобрели большое прикладное значение. Они широко использовались при нефтегазопоисковых исследованиях, оценке динамических напряжений и внезапных выбросов газов в каменноугольных шахтах, строительстве крупных сооружений (ГЭС, АЭС, водохранилищ, тоннелей и т.п.), для целей сейсмопрогноза.

Ю.А. Мещеряков вместе с Ю.Д. Буланже и А.А. Изотовым был инициатором изучения современных движений на специальных геодинамических полигонах.

Повторим, роль Ю.А. Мещерякова в изучении и картографировании современной геодинамики, его деятельность в Международной комиссии по современным движениям МГГС, первым президентом которой он был с 1960 по 1970 г., были высоко оценены мировой научной общественностью. Международная ассоциация геодезии учредила в 1985 г. “Медаль проф. Ю.А. Мещерякова”, на лицевой стороне которой – его изображение, а на оборотной – эмблема комиссии.

***Морфоскульптура.*** Наряду с основными направлениями своей научной деятельности – структурной геоморфологии, морфоструктурного анализа и современной эндогеодинамики – большой интерес представляют идеи Ю.А. Мещерякова в области экзогенной, или климатической геоморфологии. В наиболее концентрированном виде его система “экзогенных взглядов” изложена в одной из вводных глав упоминавшейся монографии “Рельеф СССР” [3]. Многие его представления получили дальнейшее развитие. Так, в трудах Ю.А. Мещерякова зависимость проявления экзогенных процессов от важнейших факторов рельефообразования выражена следующей формулой:

$$E = f(K, T, R, t),$$

где $K$ – климат, $T$ – тектонические движения, $R$ – рельеф и $t$ – время. А.П. Дедков [17] на основании новых материалов видоизменил эту зависимость:

$$E = f(K, T, R, L, A, t),$$

где $K$, $T$, $R$, $t$ – то же, что и в формуле Ю.А. Мещерякова, а $L$ – состав горных пород и $A$ – деятельность человека. Это с виду простое усложнение основывалось материалах, полученных А.П. Дедковым, полученных в результате анализов: спектров экзогенных процессов в различных климато-геоморфологических зонах, распределения модулей стока взвешенных наносов в различных ландшафтных зонах и зонах равнин Земли, а также анализе распределения средних модулей стока в различных высотных поясах Земли [17, с. 126–127].

Ю.А. Мещеряков успешно изучал три главные проблемы экзогенного рельефообразования: типы геоморфологических ландшафтов (морфоскульптуры), зональность экзогенного рельефообразования и автономность экзогенных процессов. Особенно много нового он внес в факторный анализ и автономность экзогенных процессов. О факторном анализе Юрий Александрович писал, что экзогенные процессы и формы рельефа обладают некоторыми весьма общими свойствами, выявление которых было и остается важной задачей геоморфологической науки. Он утверждал, что теория экзогенных процессов должна выражать функциональные зависимости экзо-

генных процессов от ряда факторов. В этом последнем утверждении постулируются перспективность и обязательность факторного анализа процессов рельефообразования, который в то время становился одним из основных действующих инструментов теоретической и прикладной геоморфологии.

Рассматривая проблему автономности экзогенных процессов, Ю.А. Мещеряков в отличие от мнения ряда зарубежных ученых полагал, что сила тяжести – это мощнейший фактор рельефообразования, но его роль можно вынести "за скобки" факторного анализа, так как величина силы тяжести на Земле практически постоянна; то же относится и к геоморфологическому эффекту вращения Земли.

Важно также отметить, что в числе основных факторов экзогенного морфогенеза Ю.А. Мещеряков рассматривал и фактор времени. Это было показано выше в его формуле. При этом он подошел к этому сложному вопросу также по-новаторски: предложил подразделить рельефообразующие процессы на две категории – длительные и кратковременные. Предполагалось, что различия в результатах действия этих двух категорий процессов выражаются в масштабах образуемых ими форм рельефа. По его мнению, длительно действующие процессы образуют крупные формы (точнее, комплексы форм, геоморфологические ландшафты), а кратковременные – мелкие формы (элементарные формы, в совокупности образующие геоморфологические ландшафты, области, зоны). Это предложение Ю.А. Мещерякова было учтено и развито И.П. Герасимовым в концепции об иерархическом соответствии типов и видов рельефообразующих процессов и размеров образуемых ими форм рельефа. Оно (направление) в геоморфологическом анализе и классификации по размерно-генетическому принципу продолжалось в работах учеников и последователей Ю.А. Мещерякова.

Ученый поставил вопрос о необходимости выделения и изучения "критических значений" тех или иных факторов рельефообразования, в частности тектонических движений и времени. По отношению к фактору времени он считал, что нужно исследовать те критические величины отрезков времени, продолжительность тех или иных процессов, учет которых становится необходимым. Эта идея близка к разрабатывавшимся позже концепциям о "критических порогах" в геоморфологических процессах, "характерных временах" тех или иных форм и явлений и, наконец, закону факторной относительности Н.И. Маккавеева [18], к которому и фактор времени, и характерное время, и критические рубежи имеют непосредственное отношение.

***Автономность экзогенных процессов.*** Рассматривая коренную проблему геоморфологии – взаимодействие эндогенных и экзогенных сил рельефообразования, Ю.А. Мещеряков выдвинул идею об автономности экзогенных процессов от тектонических движений. Эта автономность, т.е. некоторая независимость, понималась им как запаздывание экзогенной денудации и аккумуляции по отношению к типу и знаку движений земной коры. В соответствии с классическим морфоструктурным анализом предполагалось, что вначале происходят тектонические движения, выражающиеся в рельефе в виде тех или иных морфоструктур, а затем исходная форма рельефа – морфоструктура преобразуется комплексом экзогенных процессов. Поднятые морфоструктуры подвергаются денудации, опущенные – аккумуляции. При этом наблюдается несовпадение во времени деятельности деструктивно-аккумулятивных процессов с тектоническими движениями. С прекращением поднятия горной страны или даже с изменением знака тектонических движений денудация в ее пределах продолжается, так как изначально был создан перепад высот и нужно некоторое, весьма продолжительное время для приведения системы в равновесие, для выработки денудационно-аккумулятивной равнины (полигенетической поверхности выравнивания, по Ю.А. Мещерякову). Тем самым Ю.А. Мещеряков ясно показал роль самого рельефа как фактора экзогенного рельефообразования, что в последние годы XX века привлекало внимание геоморфологов. С годами созданное им учение о закономерностях рельефообразования начинает изменяться. В 2006 г. коллектив руководимого им отдела – лаборатория геоморфологии – издала, следуя его традиции, новый коллективный труд "Геоморфологические режимы Евразии" [19].

Разумеется, сказанным не исчерпыватся значение геоморфологических концепций и идей Ю.А. Мещерякова для развития современной науки. Не все его научные представления оказались справедливыми и получили дальнейшее развитие, но это не может служить темой для благодарных воспоминаний.

Больше 50 лет с нами нет Юрия Александровича. Огромные изменения произошли в нашей стране и в мире. Значительно изменилась наша Академия наук, изменились Институт географии РАН и отдел геоморфологии, которым руководил он. Но непреходящие ценности, присущие Ю.А. Мещерякову, остались незыблемыми. Нечеловеческая работоспособность, преданность науке, умение все свои начинания доводить до конца, радость от успехов своих учеников, дружелюбие и благородство; желание и умение вовремя помочь своим коллегам и друзьям – вот далеко не полный перечень замечательных личных качеств

Юрия Александровича. Плюс обаяние, сердечность и постоянное внимание.

Представленный читателю краткий обзор работ и научных направлений Ю.А. Мещерякова свидетельствует о плодотворности его идей для отечественной и мировой геоморфологии. Юрий Александрович умело и целенаправленно, с расчетом на будущее, выбирал и ставил наиболее актуальные и перспективные проблемы нашей науки и в каждой из них он заложил основы для дальнейших исследований. Вклад Ю.А. Мещерякова в развитие современной геоморфологии весьма необычен и очень велик. Юрий Александрович Мещеряков был и остается выдающимся геоморфологом эпохи XX века. Хочется надеяться, что свет знаний его далекой звезды долго будет освещать нашу науку и служить примером для геоморфологов следующих поколений.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках темы госзадания ИГРАН № 0148-2019-0005.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мещеряков Ю.А.* Структурная геоморфология равнинных стран. М.: Наука, 1965. 390 с.
2. Рельеф Земли (морфоструктура и морфоскульптура) / Отв. ред. И. П. Герасимов, Ю. А. Мещеряков. М.: Наука, 1964. 330 с.
3. *Мещеряков Ю.А.* Рельеф СССР. М.: Мысль, 1972. 519 с.
4. *Герасимов И.П.* Проблемы глобальной геоморфологии. М.: Наука, 1986. 207 с.
5. *Хаин В.Е.* Мегарельеф Земли и тектоника литосферных плит // Геоморфология. 1989. № 3. С. 3–14.
6. Морфоструктурный анализ речной сети СССР / Отв. ред. И. П. Герасимов, С.С. Коржуев. М.: Наука, 1979. 303 с.
7. Проблемы геоморфологии гор / Отв. ред. Н.А. Флоренсов. М.: Наука, 1984. 214 с.
8. Горы шовных зон и тектоника плит / Отв. ред. С.С. Коржуев. М.: Наука, 1990. 270 с.
9. Альпы – Кавказ: современные проблемы конструктивной географии горных стран // Научные итоги франко-советских полевых симпозиумов в 1974 и 1976 гг. / Отв. ред. И.П. Герасимов. М.: Наука, 1980. 325 с.
10. *Лилиенберг Д.А., Сетунская Л.Е.* Проблемы содержания, типологии и методики составления карт современных тектонических движений // Современные движения земной коры. Теория, методы, прогнозы. М.: Наука, 1980. С. 76–84.
11. Физико-географический атлас Мира. М.: АН СССР, ГУГК, 1964. 298 с.
12. Геоморфологическая карта СССР м-ба 1:2500000. М.: ГУГК, 1987. 16 л.
13. Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы м-ба 1:1000000 / Гл. ред. Ю.А. Мещеряков. М.: ГУГК, 1971.
14. Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы м-ба 1:2500000 / Гл. ред. Ю.А. Мещеряков. М.: ГУГК, 1973.
15. Карта современных вертикальных движений земной коры на территории Болгарии, Венгрии, ГДР, Польши, Румынии, СССР, Чехословакии (Европейская часть) м-ба 1:2500000. М.: ГУГК, 1986.
16. Карта поверхностей выравнивания и кор выветривания СССР м-ба 12500000 / Гл. ред.: *И.П. Герасимов, А.В. Сидоренко*. Л.: Недра, 1972. 16 л.
17. *Дедков А.П.* К теории экзогенного рельефообразования // Юрий Александрович Мещеряков. М: Медиа-Пресс, 2002. С. 124–135.
18. *Маккавеев Н.И.* Некоторые особенности эрозионно-аккумулятивного процесса // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1961. Вып. 8. С. 5–16.
19. Геоморфологические режимы Евразии / Отв. ред. Д.А. Тимофеев. М.: Медиа-Пресс, 2006. 399 с.

# 100th birth anniversary of Yuri Aleksandrovich Meshcheryakov – outstanding Russian scientist

**V. P. Chichagov**[a,#]

[a] *Institute of Geography RAS, Moscow, Russia*

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

In 2021, we marked the 100th birth anniversary of Yuri Meshcheryakov, outstanding Russian geodesist and geomorphologist. The vast contribution of this progressively minded scientist of the postwar generation of Soviet geomorphologists to science made during his short life cannot but amaze. With no higher education in geography (he graduated with honors from the Moscow State Institute of Geodesy and Cartography) he promptly assessed, assimilated and accepted the main achievements of geomorphology in the Soviet Union and abroad; he organized large-scale collective studies of structural morphology and modern tectonic movements, developed the methods of geomorphological cartography and studies of exogenic processes of morphogenesis. A successful explorer and theoretician he had several new methods of structural geomorphological studies to his name; he organized large-scale collective efforts and supervised the studies and theses of his pupils. He took part in geological and geomorphological expeditions in the central and south-eastern parts of the Russian Plain, Bashkiria, the Volga and the Caspian areas, West Siberia and the Eastern Sayan Moun-

tains which inspired him to elaborate and improve the use of certain geodesic and geographic methods in the studies of modern and ancient reliefs. He generalized and formulated the basic theoretical ideas about modern tectonic processes, methods of their studies and enriched geomorphology with qualitative methods of studies and geophysical approaches. As a scientific advisor he was personally involved in drawing, in the shortest time possible, of the first maps of the modern movements of the Earth's crust in the European part of the Soviet Union and East European countries. He was the recognized leader of studies of the modern movements of the Earth's crust. The Geomorphological Commission at the USSR Academy of Sciences set up in 1958 and the *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)* journal, another unique project started in 1970 are indisputable evidence of his organizational talents; both have survived the ups and downs of our history. He was born at the right time in the right country. We should cherish his memory.

*Keywords:* geomorphology, geodesy, morphostructural analysis, polygenic planation surfaces, modern movement of the Earth's crust, maps of movements in the European Part of Russia and Eastern Europe

## ACKNOWLEDGEMENTS

The work was made within the framework of the theme of the state mission of IGRAN No. 0148-2019-0005.

## REFERENCES

1. Meshcheryakov Yu.A. *Strukturnaya geomorfologiya ravninnykh stran* (Structural geomorphology of lowland countries). Moscow: Nauka (Publ.), 1965. 390 p. (in Russ.)
2. *Rel'ef Zemli (morfostruktura i morfoskul'ptura)* (The relief of the Earth (morphostructure and morphosculpture). I.P. Gerasimov and Yu.A. Meshcheryakov (Eds.). Moscow: Nauka (Publ.), 1964. 330 p. (in Russ.)
3. Meshcheryakov Yu.A. *Rel'ef SSSR* (Relief of the USSR). Moscow: Mysl' (Publ.), 1972. 519 p. (in Russ.)
4. Gerasimov I.P. *Problemy global'noi geomorfologii* (Problems of global geomorphology). Moscow: Nauka (Publ.), 1986. 207 p. (in Russ.)
5. Khain V.E. *Megarel'ef Zemli i tektonika litosfernykh plit* (Mega-relief of the Earth and tectonics of lithospheric plates). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1989. No. 3. P. 3–14. (in Russ.)
6. *Morfostrukturnyi analiz rechnoi seti SSSR* (Morphostructural analysis of the drainage system of the USSR). I.P. Gerasimov and S.S. Korzhuev (Eds.). Moscow: Nauka (Publ.), 1979. 303 p. (in Russ.)
7. *Problemy geomorfologii gor* (Problems of geomorphology of mountains). N.A. Florensov (Ed.). Moscow: Nauka (Publ.), 1984. 214 p. (in Russ.)
8. *Gory shovnykh zon i tektonika plit* (Suture mountains and plate tectonics). Korzhuev S.S. (Ed.). Moscow: Nauka (Publ.), 1990. 270 p. (in Russ.)
9. Gerasimov I.P. *Geologicheskoe stroenie i rel'ef. Al'py – Kavkaz* (Geological structure and relief. Alps - Caucasus.). Moscow: Nauka (Publ.), 1980. 270 p. (in Russ.)
10. Lilienberg D.A., Setunskaya L.E. *Problemy soderzhaniya, tipologii i metodiki sostavleniya kart sovremennykh tektonicheskikh dvizhenii* (Problems of content, typology and methods of compiling maps of modern tectonic movements). *Sovremennye dvizheniya zemnoi kory. Teoriya, metody, prognozy*. Moscow: Nauka (Publ.), 1980. P. 76–84. (in Russ.)
11. *Fiziko-geograficheskii atlas Mira* (Physical and geographical atlas of the World). I.P. Gerasimov (Ed.). Moscow: AN SSSR, GUGK (Publ.), 298 p. (in Russ.)
12. *Geomorfologicheskaya karta SSSR m-ba 1:2500000* (Geomorphological map of the USSR on a scale of 1:2500000). I.P. Gerasimov and A.A. Aseev (Eds.). Moscow: GUGK (Publ.), 1987. 16 p. (in Russ.)
13. *Karta sovremennykh vertikal'nykh dvizhenii zemnoi kory Vostochnoi Evropy m-ba 1:1000000* (Map of modern vertical movements of the earth's crust in Eastern Europe, on a scale of 1:1000000.). Yu.A. Meshcheryakov (Ed.). Moscow: GUGK (Publ.), 1971. (in Russ.)
14. *Karta sovremennykh vertikal'nykh dvizhenii zemnoi kory Vostochnoi Evropy m-ba 1:2500000* (Map of modern vertical movements of the earth's crust in Eastern Europe, on a scale of 1:2500000). Yu.A. Meshcheryakov (Ed.). Moscow: GUGK (Publ.), 1973. (in Russ.)
15. *Karta sovremennykh vertikal'nykh dvizhenii zemnoi kory na territorii Bolgarii, Vengrii, GDR, Pol'shi, Rumynii, SSSR, Chekhoslovakii (Evropeiskaya chast') m-ba 1:2500000* (Map of modern vertical movements of the earth's crust on the territory of Bulgaria, Hungary, East Germany, Poland, Romania, USSR, Czechoslovakia (European part) on a scale of 1:2500000). V.M. Antonov (Ed.). Moscow: GUGK (Publ.), 1986. (in Russ.)
16. *Karta poverkhnostei vyravnivaniya i kor vyvetrivaniya SSSR m-ba 12500000* (Map of alignment surfaces and weathering crusts of the USSR on a scale of 12500000). I.P. Gerasimov and A.V. Sidorenko (Eds.). M.: Vsesoyuz. aerogeol. trest (Publ.), 1972. 16 l. (in Russ.)
17. Dedkov A.P. *K teorii ekzogennogo rel'efoobrazovaniya* (To the theory of exogenous relief formation). *Yurii Aleksandrovich Meshcheryakov. Vospominaniya. Nauchnye stat'i.* Moscow: Media-Press (Publ.), 2002. P. 124–135. (in Russ.)
18. Makkaveev N.I. *Nekotorye osobennosti erozionno-akkumulyativnogo processa* (Some features of the erosion-accumulative process). *Eroziya pochv i ruslovye processy (Soil erosion and channel processes)*. M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1961. Vol. 8. P. 5–16.
19. *Geomorfologicheskie rezhimy Evrazii* (Geomorphological regimes of Eurasia). D.A. Timofeev (Ed.). Moscow: Media-Press (Publ.), 2006. 399 p. (in Russ.)