ISSN: 2686-7877 (print)
2686-8385 (online)

ГИДРОСФЕРА

ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ



www.hydro-sphere.ru

Том 5 Выпуск 2



Нехлебова Полина. *В объятьях волн*

ГИДРОСФЕРА. ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ

Том 5, Выпуск 2

Выходит 4 раза в год

ISSN 2686-7877 (print)

2686-8385 (online)

Учредители журнала

Научно-исследовательский центр «Геодинамика»
Научно-производственное объединение «Гидротехпроект»
Институт водных проблем Российской академии наук

Главный редактор

академик РАН **Г.И. Долгих**, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичёва Дальневосточного отделения Российской академии наук, директор (г. Владивосток, Россия)

Заместители главного редактора

докт. техн. наук **А.Ю. Виноградов**, Научно-производственное объединение «Гидротехпроект», генеральный директор (г. Санкт-Петербург, Россия)
член-корреспондент РАН **А.Н. Гельфан**, Институт водных проблем Российской академии наук, главный научный сотрудник, заведующий отделом гидрологии речных бассейнов (г. Москва, Россия)
докт. геогр. наук, с.н.с. **Д.А. Субетто**, Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена, декан факультета географии (г. Санкт-Петербург, Россия)

Ответственный секретарь

докт. геогр. наук, доц. **В.А. Обязов**, Научно-производственное объединение «Гидротехпроект», технический директор (г. Санкт-Петербург, Россия), тел.: +7(812)313-83-48, e-mail: os@hydro-sphere.ru

HYDROSPHERE. HAZARD PROCESSES AND PHENOMENA (GIDROSFERA. OPASNYE PROTSESSY I YAVLENIYA)

Volume 5, Issue 2

Issued 4 times per year

ISSN 2686-7877 (print)

2686-8385 (online)

Founders

Research Center «Geodynamics»
Scientific Production Association «Gidrotechproekt»
Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences

Editor-In-Chief

Grigoriy I. Dolgikh, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences (Vladivostok, Russia)

Deputy Editor-In-Chief

Alexander N. Gelfan, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of of Hydrology of River Basins (Moscow, Russia)
Dmitriy A. Subetto, Doctor of Science, Dean of the Faculty of Geography of the Herzen State Pedagogical University of Russia (Saint-Petersburg, Russia)
Alexey Yu. Vinogradov, Doctor of Science, Director of the Scientific Production Association «Gidrotechproekt» (Saint-Petersburg, Russia)

Executive Editor

Victor A. Obyazov, Doctor of Science, Technical director of the Scientific Production Association «Gidrotechproekt» (Saint-Petersburg, Russia), tel. +7(812)313-83-48, e-mail: os@hydro-sphere.ru

Редакционный совет

академик РАН **Г.И. Долгих**, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичёва Дальневосточного отделения Российской академии наук, директор (г. Владивосток, Россия)
докт. техн. наук **А.Ю. Виноградов**, Научно-производственное объединение «Гидротехпроект», генеральный директор (г. Санкт-Петербург, Россия)
докт. геогр. наук **Б.И. Гарцман**, Институт водных проблем Российской академии наук, заведующий лабораторией гидрологии наводнений (г. Москва, Россия)
член-корреспондент РАН **А.Н. Гельфан**, Институт водных проблем Российской академии наук, главный научный сотрудник, заведующий отделом гидрологии речных бассейнов (г. Москва, Россия)
докт. геогр. наук, с.н.с. **Д.А. Субетто**, Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена, декан факультета географии (г. Санкт-Петербург, Россия)
докт. геогр. наук, доц. **В.А. Обязов**, Научно-производственное объединение «Гидротехпроект», технический директор (г. Санкт-Петербург, Россия)

Редакционная коллегия

докт. биол. наук **В.Н. Безносов**, Научно-производ-ственное объединение «Гидротехпроект», главный научный сотрудник (г. Санкт-Петербург, Россия)
докт. геогр. наук **В.П. Благовещенский**, Институт географии Республики Казахстан, заведующий лабораторией природных опасностей (г. Алматы, Казахстан)
докт. физ.-мат. наук **Ф.Ф. Брюхань**, Научно-производственное объединение «Гидротехпроект», руководитель проектов (г. Санкт-Петербург, Россия)
канд. геогр. наук, с.н.с. **Т.А. Виноградова**, Научно-производственное объединение «Гидротехпроект», старший научный сотрудник (г. Санкт-Петербург, Россия)
проф. **Ф. Вэй**, Институт зеленых и интеллектуальных технологий Китайской академии наук, заместитель директора (г. Чунцин, КНР)
член- корреспондент РАН **Е.Ж. Гармаев**, Бай-

Editorial Council

Grigoriy I. Dolgikh, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences (Vladivostok, Russia)
Boris I. Gartsman, Doctor of Science, Head of Flood Hydrology Department of Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)
Alexander N. Gelfan, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of of Hydrology of River Basins (Moscow, Russia)
Dmitriy A. Subetto, Doctor of Science, Dean of the Faculty of Geography of the Herzen State Pedagogical University (Saint-Petersburg, Russia)
Alexey Yu. Vinogradov, Doctor of Science, Director of the Scientific Production Association «Gidrotechproekt» (Saint-Petersburg, Russia)
Victor A. Obyazov, Doctor of Science, Technical Director of the Scientific Production Association «Gidrotechproekt» (Saint-Petersburg, Russia)

Editorial Board

Victor N. Beznosov, Doctor of Science, Principal Researcher of the Scientific Production Association «Gidrotechproekt» (Saint-Petersburg, Russia)
Victor P. Blagovechshenskiy, Doctor of Science, Head of the Laboratory of Natural Hazards, Institute of Geography of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan)
Fedor F. Bryukhan, Doctor of Science, professor of the Department of Engineering Survey and Geoecology of Moscow State University of Civil Engineering (Moscow, Russia)
Sergey S. Chernomorets, Associate Professor, Senior Researcher of the Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows of the Lomonosov Moscow State University, and President of the Debris Flow Association (Moscow, Russia)
Pavel A. Chernous, Ph.D., Leading Researcher of the Laboratory of Exogenous Geodynamic Processes and Snow Cover of the Special Design Bureau for Marine Research Automation Tools of the Far кальский институт природопользования Сибир-

ского отделения Российской академии наук, директор (г. Улан-Удэ, Россия)
докт. физ.-мат. наук **В.К. Гусяков**, Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, заведующий лабораторией математического моделирования волн цунами (г. Новосибирск, Россия)
докт. **В. Джомелли**, Институт экологии и окружающей среды Национального центра научных исследований Франции, Университета Пантеон-Сорбонна и Университета Париж-Восток Кретей, директор по исследованиям (г. Париж, Франция)
проф. **К. де Йонг**, Страсбургский университет, заведующая кафедрой международных отношений факультета географии и регионального планирования (г. Страсбург, Франция)
докт. физ.-мат. наук **А.И. Зайцев**, Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований Дальневосточного отделения Российской академии наук, заведующий лабораторией вычислительной гидромеханики и океанографии (г. Южно-Сахалинск, Россия)
докт. геогр. наук, проф. **Н.А. Калинин**, Пермский государственный национальный исследовательский университет, заведующий кафедрой метеорологии и охраны атмосферы (г. Пермь, Россия)
академик РАН **Б.М. Кизяев**, Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, научный руководитель (г. Москва, Россия)
докт. геол.-мин. наук, доц. **А.А. Лаврусевич**, Московский государственный строительный университет, заведующий кафедры инженерных изысканий и геоэкологии (г. Москва, Россия)
академик НАН Беларуси **В.Ф. Логинов**, Институт природопользования НАН Беларуси, главный научный сотрудник (г. Минск, Беларусь)
канд. геогр. наук, доц. **М.Л. Марков**, Государственный гидрологический институт, заведующий отделом прогнозирования гидрологических процессов и экспериментальной гидрологии (г. Санкт-Петербург, Россия)
академик НАН РК **А.Р. Медеу**, Институт географии Республики Казахстан, директор (г. Алматы, Казахстан)
докт. геогр. наук **Р.Я. Миньковская**, Морской гидрофизический институт РАН, старший научный сотрудник отдела гидрофизики шельфа (г. Севастополь, Россия)

Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Yuzhno-Sakhalinsk, Russia)
Sven Fuchs, Doctor of Sciences, Deputy of Head of the Institute of Mountain Risk Engineering of the BOKU University (Vienna, Austria)
Endon Zh. Garmaev, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Baikal Institute of Nature Management Siberian branch of the Russian Academy of sciences (Ulan-Ude, Russia)
Viacheslav K. Gusiakov, Doctor of Science, The Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory of Mathematical Modeling of Tsunami Waves (Novosibirsk, Russia)
Vincent Jomelli, Ph.D., Research Director of the Institute of Ecology and Environment of the French National Center for Scientific Research, the University Panthéon-Sorbonne and the University Paris-Est Créteil (Paris, France)
Carmen de Jong, Professor, Head of International Relations at the Faculty of Geography and Regional Planning, University of Strasbourg (Strasbourg, France)
Nicolay A. Kalinin, Professor, Head of the Department of Meteorology and Atmosphere Protection of the Perm State University (Perm, Russia)
Boris M. Kizyaev, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director of All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation (Moscow, Russia)
Andrey A. Lavrusevich, Doctor of Science, Head of the Department of Engineering Survey and Geoecology of Moscow State University of Civil Engineering (Moscow, Russia)
Vladimir F. Loginov, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Chief Researcher of Institute for Environmental Management (Minsk, Belarus)
Mikhail L. Markov, Associate Professor, Head of the Department of Forecasting Hydrological Processes and Experimental Hydrology of the State Hydrological Institute (Saint-Petersburg, Russia)
Akhmetkal R. Medeu, Academician of the National Academy of Sciences of Kazakhstan, Director of the Institute of Geography of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan)
Rosa Ya. Minkovskaya, Doctor of Science, Senior Researcher of the Shelf Hydrophysics Department of the Marine Hydrophysical Institute of the Russian

проф. **К. Нишимура**, Японская ассоциации снега и льда, президент (г. Токио, Япония)
докт. геогр. наук **А.В. Панин,** Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, профессор кафедры геоморфологии и палеогеографии (г. Москва, Россия)
академик НАН РК **И.В. Северский**, Институт географии Республики Казахстан, почётный директор; научный руководитель фундаментальных и прикладных исследований лаборатории гляциологии; вице-президент Международной гляциологической ассоциации (г. Алматы, Казахстан)
канд. геогр. наук, доцент **С.А. Сократов,** Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, заместитель декана географического факультета по научной работе (г. Москва, Россия)
докт. геогр. наук, проф. **Е.А. Таланов,** Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, профессор кафедры метеорологии и гидрологии (г. Алматы, Казахстан)
академик РАН **А.К. Тулохонов,** Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук, научный руководитель (г. Улан-Удэ, Россия)
канд. геол-мин. наук **В.Е. Тумской**, Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук, ведущий научный сотрудник лаборатории общей геокриологии (г. Якутск, Россия)
докт. техн. наук, проф. **С.А. Угрюмов**, Санкт-Петербургский лесотехнический университет им. С.М. Кирова, заведующий кафедрой (г. Санкт-Петербург, Россия)
докт. **С. Фукс**, Институт горных рисков Университета природных ресурсов и наук о жизни, заместитель директора (г. Вена, Австрия)
канд. геогр. наук, доц. **С.С**. **Черноморец**, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, старший научный сотрудник лаборатории снежных лавин и селей географического факультета, президент Селевой ассоциации (г. Москва, Россия)
канд. геогр. наук **П.А. Черноус**, Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований Дальневосточного отделения Российской академии наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экзогенных геодинамических процессов и снежного покрова (г. Южно-Сахалинск, Россия)

Academy of Sciences (Sevastopol, Russia)
Kouichi Nishimura, Professor, President of Japanese Society of Snow and Ice (Tokyo, Japan)
Andrey V. Panin, Doctor of Science, professor of the Department of Geomorphology and Paleogeography of Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)
Igor V. Severskiy, Academician of the National Academy of Sciences of Kazakhstan, Scientific leader of fundamental and applied researches of the Department of Glaciology of the Institute of Geography of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan)
Sergey V. Shvarev, Ph.D., Head of the Laboratory of Geomorphology of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)
Sergey A. Sokratov, Ph.D. in Environmental & Earth Sci., Associate Professor, Deputy Dean for Research of the Faculty of Geography of Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)
Yevgeniy A. Talanov, Professor, Professor of the Meteorology and Hydrology Department Al-Farabi Kazakh National University, (Almaty, Kazakhstan)
Arnold K. Tulokhonov, Academician of the Russian Academy of Sciences Scientific, Scientific Director of the Baikal Institute of Nature Management Siberian branch of the Russian Academy of sciences (Ulan-Ude, Russia)
Vladimir E. Tumskoy, Ph.D., Leading Research Scientist of the Laboratory of General Geocryology of the Melnikov Permafrost Institute Siberian branch of the Russian Academy of Sciences (Yakutsk, Russia)
Sergey A. Ugryumov, Professor, Doctor of Science Head of department at St. Petersburg Forestry University named after. C.M. Kirov (St. Petersburg, Russia)
Tatiana A. Vinogradova, Associate Professor, Senior Researcher of the Scientific Production Association «Gidrotechproekt» (Saint-Petersburg, Russia)
Fangqiang Wei, Professor, Vice-Director of the Chongqing Institute of Green and Intelligent Technology, Chinese Academy of Sciences (Chongqing, China)
Kouichi Nishimura, Professor, President of Japanese Society of Snow and Ice (Tokyo, Japan)
Satoru Yamaguchi, Ph.D., Chief Researcher of the Snow and Ice Research Division of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (Nagaoka, Japan)

канд. тех. наук **С.В. Шварёв**, Институт географии Российской академии наук, заведующий лабораторией геоморфологии (г. Москва, Россия)
докт. **С. Ямагучи**, Научно-исследовательский центр снега и льда Национального исследовательского института наук о Земле и устойчивости к стихийным бедствиям, старший научный сотрудник (г. Нагаока, Япония)

Andrey I. Zaitsev, Doctor of Science, Head of Laboratory of Computational Hydromechanics and Oceanography of Special Research Bureau for Automation of Marine Researches, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences (Yuzhno-Sakhalinsk, Russia)

Технический редактор

Информацию о принятых в печать материалах можно получить на сайте журнала или у технического редактора **Круковской Ольги Юрьевны**, e-mail info@hydro-sphere.ru.
Сведения о вышедших номерах и условиях подписки на сайте журнала: www.hydro-sphere.ru.
Свидетельство о регистрации СМИ **ПИ № ФС 77-76914** от 11.10.2019.

Technical editor

Information on materials accepted for publication can be obtained on the journal's website or by e-mail info@hydro-sphere.ru to technical editor **Olga Krukowskaya**.
Information about the issues and subscription conditions on the journal website: www.hydro-sphere.ru.
Certificate of registration as the media **ПИ No ФС 77-76914** from 11.10.2019.

Издание включено в **«Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук»** по специальностям (отраслям):
1.6.7. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение (Геолого-минералогические)
1.6.8. Гляциология и криология Земли (Географические)
1.6.12. Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов (Географические)
1.6.14. Геоморфология и палеогеография (Географические)
1.6.16. Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия (Географические)
1.6.17. Океанология (Физико-математические)
1.6.18. Науки об атмосфере и климате (Географические)
1.6.21. Геоэкология (Географические)
2.1.6. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология (Технические)
4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины (Технические)

ИЗДАТЕЛЬСТВО:
ООО НПО «Гидротехпроект»
АДРЕС РЕДАКЦИИ:
г. Санкт-Петербург, 14-я линия В.О. д. 97 пом. 3н
Для почтовых отправлений: 199155, г. Санкт-Петербург, а/я 136 Редакция журнала «Гидросфера. Опасные процессы и явления» Тел. +7(812)313-83-48, e-mail: info@hydro-sphere.ru

PUBLISHING:
Scientific Production Association «Gidrotechproekt»
EDITORIAL ADDRESS:
Russia, Saint-Petersburg, 14th line of Vasilyevsky Island, 97 of. 3n. For corresponding: 199155 Russia, Saint-Petersburg, PO Box 136. Editorial Board of the «Hydrosphere. Hazardous processes and phenomena» Tel. +7(812)313-83-48, e-mail: info@hydro-sphere.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Об историческом подходе к изучению природных условий прошлых эпох и их эволюции. Вступительная статья к специальному выпуску «Палеорусловедение» А. В. Чернов, Д. А. Субетто …… 124

Аллювиальные фации в отложениях верхнего неоплейстоцена разреза «Кирьяс» С. Е. Коркин, Е. А. Коркина …… 129

Условия формирования экстремально высоких половодий в бассейне Средней Десны (исторический обзор) Г. В. Лобанов, М. И. Сарнецкая …… 138

Динамика врезания и аккумуляции в речных долинах бассейна Волги в поздневалдайскую эпоху В. Ю. Украинцев, А. Л. Захаров …… 147

Некоторые особенности применения метода палеорусловедения на широкопойменных реках предгорий (на примере р. Вишеры) А. В. Чернов …… 160

Палеогидрология рек бассейна реки Дон А. Ю. Сидорчук, О. К. Борисова, А. В. Панин 172

Верхняя Кама и ее притоки в позднем плейстоцене и голоцене: реконструкция природных условий и освоение человеком С. В. Копытов, А. В. Чернов, Д. А. Демаков, Е. Л. Лычагина, Н. Е. Зарецкая …… 191

Эволюция русловых систем от нижнего карбона до квартера (на примере Удмуртии) А. Г. Истомин, И. И. Рысин …… 202

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ…….... 216

CONTENTS

On the historical approach to studying the natural conditions of past epochs and their evolution. Introductory article to the special issue "Paleoenvironmental Studies. Alexey V. Chernov, Dmitriy A. Subetto …… 124

Alluvial facies in the upper neopleistocene deposits of the Kiryas section Sergey E. Korkin, Elena A. Korkina…… 129

Conditions for the formation of extremely high floods in the middle Desna basin (historical review) Grigory V. Lobanov, Maria I. Sarnetskaya…… 138

Dynamics of downcutting and accumulation in river valleys of the Volga basin during the Late Pleniglacial Vadim Yu. Ukraintsev, Andrei L. Zakharov…… 147

Some features of the application of the paleofluvial geomorphology`s method on the wide-floodplanes rivers of the foothills (on the example of the Vishera River) Alexey V. Chernov …… 160

Paleohydrology of rivers in the Don River basin Aleksey Yu. Sidorchuk, Olga K. Borisova, Andrei V. Panin…… 172

The Upper Kama and its tributaries in the Late Pleistocene and Holocene: reconstruction of the environment and human occupation Sergey V. Kopytov, Alexey V. Chernov, Denis A. Demakov, Evgenia L. Lychagina, Natalia E. Zaretskaya…… 191

Evolution of channel systems from the Lower Carbon to the Quarter (by the example of Udmurtia) Alexandr G. Istomin, Ivan I. Rysin…… 202

AUTHORS GUIDELINE…… 216

А.В.Чернов[1], Д.А. Субетто[2]
([1]Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, [2]Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена)

ОБ ИСТОРИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ К ИЗУЧЕНИЮ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ПРОШЛЫХ ЭПОХ И ИХ ЭВОЛЮЦИИ. ВСТУПИТЕЛЬНАЯ СТАТЬЯ К СПЕЦИАЛЬНОМУ ВЫПУСКУ «ПАЛЕОРУСЛОВЕДЕНИЕ»

Вопросы эволюции природных условий, а конкретно, изменений окружающей среды во времени и пространстве, всегда интересовали широкий круг как специалистов в области палеогеографии, палеоклиматологии, палеоокеанологии, палеогидрологии и палеолимнологии, так и обычных людей, стремящихся познать окружающий их мир. Об этом свидетельствует большое количество научных и популярных статей и передач в средствах массовой информации. В последние десятилетия эти вопросы приобрели большую практическую значимость в связи с видимыми изменениями климата и других природных условий, с ним связанных. Необходимы все большая определённость в прогнозировании природных процессов в будущем и готовности человечества к ним. Поэтому изучение прошлого нашей планеты получило огромный импульс, который реализовался в единую задачу изучения эволюции природы: изучение прошлого ради познания будущего. Задача эта решалась наукой палеогеографией, но на новом современном этапе её развития, при расширении числа разнообразных изменчивых явлений на земной поверхности, в воде и в атмосфере, носящих как природный, так и природно-антропогенный характер, потребовалось расширение как числа направлений, изучающих уже отдельные изменяющиеся объекты, так и методов их изучения.

Как это всегда бывает, новое направление исследований проходит несколько этапов собственной эволюции. Вначале появляется «открытие» - открытие нового объекта исследования; часто он уже был известен ранее, но находился «в тени» более зримых и насущных проблем, связанных с этим объектом. Но появляется новый взгляд на этот же объект и очень скоро он начинает проявляться в первых публикациях, его отражающих. Сначала они единичные и охватывают новое видение старого объекта в целом – от самой констатации его существования и наиболее ярких его проявлений. На следующем этапе происходит оформление этого направления, и вот тут оказывается, что оно настолько многогранно, что даже для ответа на основные вопросы об этом объекте – что это, когда и где появилось, причина его возникновения и дальнейшее его развитие, требуется привлечение целого ряда разнообразных специалистов, исследующих этот объект собственными методами. И только разносторонний взгляд различных знаний и подходов вырисовывает более или менее объективную картину природы объекта – его структуру, эволюцию, взаимосвязи с окружающей реальностью, современное развитие и прогноз.

Так произошло и с тем объектом физической географии, которому посвящен специальный выпуск «Палеорусловедение» – речным долинам, а точнее, тем их составляющим, которые несут

информацию об их развитии, эволюции, а через нее – обо всех изменениях в окружающей природной, а сейчас уже и природно-антропогенной среде.

24–26 мая 2023 г. в Санкт-Петербурге состоялась впервые научно-практическая конференция на тему: «**Палео- и историческое русловедение**», организованная Межвузовским Советом по эрозионным, русловым и устьевым процессам при МГУ имени М. В. Ломоносова (руководитель д.г.н. Р. С. Чалов), палеолимнологической комиссией Санкт-Петербургского отделения РГО (руководитель д.г.н. Д. А. Субетто) и факультетом географии РГПУ им. А. И. Герцена. В рамках конференции было заслушано 15 тематических докладов; проведена научная экскурсия в г. Шлиссельбург (исток р. Невы) и в район Ивановских порогов.

Необычные аномалии в рельефе и строении широкопойменных долин, не объяснимые современными условиями их формирования, были известны очень давно, но впервые отдельный и пристальный интерес к ним проявился в середине 50-х годов XX столетия как у нас в стране, так и за рубежом. Следует отметить работы И.А. Волкова, Г.И. Горецкого, Г.В. Обедиентовой, Н.И. Маккавеевва, И.В. Попова, а также G.H. Dury, K. Heine, L. Starkel, J. Mangerud, S. Kozarsky, K. Rotnicki, L.B. Leopold, M.G. Wolman и других. На рубеже столетий к ним присоединились А.Ю. Сидорчук и А.В. Панин, статьи которых представлены в настоящем выпуске, и многие другие.

Эти исследователи обратили внимание на то, что во многих долинах, наряду с современными формами флювиального рельефа, созданные современными водными потоками, встречаются флювиальные формы, созданные потоками явно бóльшими, чем современные – это следы огромных излучин, сохранившихся в первичном пойменном рельефе; их размеры в десятки раз превышают размеры современных излучин сейчас протекающих там рек, следы крупных разветвлений ныне меандрирующих рек, запечатленные в пойменном рельефе в виде ложбин, ветвящихся между грядами бывших островов. Такие же несоразмерные формы флювиального рельефа встречаются и на более древних, чем поймы, поверхностях первых надпойменных террас; в рельефе более высоких и древних террас реликтовые формы флювиального рельефа уже не сохранились.

Совершенно очевидно, что подобные формы рельефа являются реликтовыми, созданными потоками значительно большей водности, чем современные. Следы повышенной водности древних рек проявляются также в строении их пойменного и террасового аллювия – в виде либо прослоев русловой фации повышенной крупности, либо, наоборот, в виде погребенных почвенных горизонтов наложенных пойм.

Данный вывод тут же требует ответа на новые возникшие вопросы: когда был период повышенной водности на реках умеренного пояса Северного полушария, откуда бралась вода для обеспечения повышенной водности рек, как это соотносится с природными условиями речных бассейнов в целом – температурным фоном, количеством и внутригодовым режимом осадков, наличием или отсутствием многолетней мерзлоты, режимом и интенсивностью ветров, плотностью растительного покрова…

Безусловно, для ответа на все вопросы, возникающие как при анализе самого реликтового рельефа долин, так и при его палеогеографической интерпретации, требуется тот самый разносторонний подход, о котором говорилось в начале статьи. И такой реализуется в настоящем специальном выпуске журнала.

Постановочной для всего цикла статей является статья А.В. Чернова «Некоторые особенности применения метода палеорусловедения на широкопойменных реках…». В ней на примере широкопойменного участка реки Вишеры (Пермский край) описываются цели, задачи и приёмы изучения истории развития речных долин методом палеорусловедения. Излагается принцип анализа первичного пойменного рельефа для восстановления положении русла реки в предшествующие эпохи. Для этого на пойме выделяются разновозрастные генерации, рисунок грив, гряд и ложбин на них, что позволяет определить положения русла в периоды их формирования, измеряются основные параметры древних русел: радиусы кривизны излучин, их шаг, ширины ложбин – бывших рукавов, говорящим о водности и русловом режиме протекавших тогда рек. В качестве равноправного участника палеоанализа русел выступает строение их пойм и низких надпойменных террас, методами абсолютной геохронологии определяется возраст форм пойменного рельефа, который отождествляется с возрастом древних формировавших их рек. Внимание в палеорусловом анализе уделяется и другим видам палеогеографического анализа – спорово-пыльцевому, диатомовому, териологическому, малакологическому, карпологическому и др.

В качестве примера применения основной части палеорусловедческого анализа – восстановления положения древних русел, взята река Вишера на ее предгорном широкопойменном участке. Здесь река образует серии из множества излучин, следы переформирований которых отражаются в пестрой мозаике пойменных сегментов.

Практическое применение метода палеорусловедения и смежных с ним палеогеографических изысканий приводятся в других статьях выпуска. Во многих их них детально описывается история развития ряда рек Европейской России, входящих в бассейны рек Волги, Камы, Дона, Днепра и молодых по возрасту рек, образовавшихся после таяния позднеплейстоценового (валдайского) ледника в северо-западной части Русской равнины. Их результаты, выполненные в рамках единой методологии палеорусловедения, могут быть сравнимы при воссоздании общей картины эволюции природной среды обширной территории Северной Евразии в позднеледниковье и голоцене.

В то же время, все представленные в специальном выпуске исследования, применяя пареорусловой анализ, не замыкаются только на нем. В каждой статье палеореконструкции используются затем и в палеогидрологических целях – для восстановления объема стока рек и его внутригодового режима (статья А.Ю. Сидорчука с соавторами, посвященная рекам бассейна Дона). Палеогеографию, которая изучает изменения природных условий в геологическом прошлом в различных регионах нашей планеты, стала привлекать к построению своих выводов археологическая наука, составляющая летопись истории развития человечества в доисторическую эпоху; методами палеорусловедения определяются природные условия, в которых жили сообщества древних людей начиная с неолита и заканчивая средневековьем. В жанре геоархеологии – научного направление,

использующее палеогеографические методы исследования и выводы для объяснения образа жизни и поведения человеческих сообществ, статья С.В. Копытова и Е.Л. Лычагиной с соавторами - работающими в содружестве географами и археологами по восстановлению условий жизнедеятельности неолитических сообществ.

Более широкую – в целом палеогеографическую задачу поставили перед собой В.Ю. Украинцев и А.Л. Захаров в статье «Динамика врезания и аккумуляции в речных долинах бассейна Волги в поздневалдайскую эпоху», где наряду с методами палеорусловедения используется весь набор сопряженных палеогеографических методов. В статье с помощью изучения разрезов аллювиальных отложений выполнена реконструкция развития больших палеорусел рек бассейна Волги и подтверждается «атмосферная» версия их формирования.

Одной из краеугольных задач палеорусловедения, имеющих самостоятельное значение, является определение генезиса, так называемых, «больших» излучин или макроизлучин и причин их образования. Речь идет о существовании следов огромных излучин в пойменном рельефе современных рек, явно несоответствующих водности последних. Они превышают современные излучины по всем параметрам в десятки раз; хотя в некоторых случаях существуют и следы промежуточных по своим размерам излучин. Очевидно, подобные излучины могла создать только река с очень высокой водностью. Однако на формирование форм русла влияет не среднегодовая, а руслоформирующая водность, реализующаяся в руслоформирующих расходах воды. Верхняя эпюра таких расходов находится уже в области экстремально высоких половодий и паводков. Используя метод аналогий, можно предположить, что именно очень высокие половодья вполне могли составлять в прошлом верхнюю кривую эпюры руслоформирующих расходов воды, т.е. происходить в рамках вполне реальной в то время водности. Причинами гидрологических экстремумов могли быть как высокий коэффициент стока, вызванный наличием многолетнемерзлых толщ, не дающий осадкам уйти в грунт, повышенной влагоотдачей теплеющих в голоцене океанов и увеличением количества выпадающих в бассейнах осадков, спуском бывших приледниковых озер и другими причинами. Возможность формирования очень высоких руслоформирующих половодий, которые могли бы происходить даже в современных условиях, описана в статье Г.В. Лобанова и М.И. Сарнецкой «Условия формирования экстремально высоких половодий в бассейне средней Десны (исторический обзор)». По результатам анализа повторяемости экстремальных половодий на реке Десне и особенности их протекания, их можно рассматривать, как одну из причин формирования «больших» излучин.

В статье С.Е. Коркина и Е.А. Коркиной проблема определения природных условий позднего неоплейстоцена решается с помощью детального анализа толщ опорного каргинского разреза «Кирьяс», слагающих II-ю надпойменную террасы средней Оби (возвышенной Юганско-Ларъёганской террасы). Здесь с применением целого комплекса тонких аналитических методов исследования – гранулометрического, минералогического, геохимического состава и других, определяется каргинский возраст верхних торфяников разреза, но при этом доказывается, что несмотря на период межледниковья, к которому относят весь каргинский межстадиал, условия в период отложения

верхнего торфяника (МИС-3) отличались повышенной влажностью и невысокими температурами; в это время река Обь уже отошла от местоположения разреза и эти торфяники и перекрывающие их толщи отлагались уже в условиях озерно-болотного литогенеза.

Самый широкий охват временного диапазона, в котором рассматриваются древние реки, содержится в статье А.Г. Истомина и И.И. Рысина «Эволюция русловых систем от нижнего карбона до квартера (на примере Удмуртии)». Здесь интерпретируются геологические данные бурения на углеводороды, направленные на поиск положения древних нижнекарбоновых рек и реконструкции положения рек (уже других, но уже прослеживающихся своими очертаниями вплоть до современных) в неоген-четвертичное время.

Конечно, ни о каком применении привычных нам методов палеорусловедения, как-то – анализ пойменного рельефа и конструирование по нему положений древних русел, а также вычисления палеостока, здесь речи идти не может, но всё-таки полученные в результате такого исследования данные позволяют сравнить как плановые очертания русел той и другой эпохи, так и глубину вреза их долин. Выяснено, что глубина плиоценовых врезов современных рек существенно превышает нижнекарбоновые (визейские), а четвертичные палеорусла по морфометрическим параметрам близки к нижнекарбоновым. Если палеозойские врезы могут являться потенциальными ловушками углеводородов, то неоген-четвертичные палеорусла часто содержат месторождения песчано-гравийных материалов, служат источником кондиционных пресных подземных вод, реже – аллювиальных россыпных месторождений.

В целом, подбор статей, помещенных в настоящий номер журнала, показывает широкий спектр задач, решаемых методами палеорусловедения, и имеющих при этом разностороннее применение в различных направлениях смежных наук и отраслях природопользования.

УДК 551.89
DOI: 10.34753/HS.2023.5.2.129

АЛЛЮВИАЛЬНЫЕ ФАЦИИ В ОТЛОЖЕНИЯХ ВЕРХНЕГО НЕОПЛЕЙСТОЦЕНА РАЗРЕЗА «КИРЬЯС»

С.Е. Коркин[1,2], Е.А. Коркина[1]
[1]Нижневартовский государственный университет, 628605, г. Нижневартовск, Россия;
[2]Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

egf_nv@mail.ru

Аннотация. В данной работе, представлены новые результаты геохронометрических данных, полученные на основе изучения геолого-геоморфологического разреза «Кирьяс К». Обнажение Юганско-Ларъёганской возвышенной террасы, относится к долине р. Обь, расположено к северу от 60°50′ с.ш. Разрез вскрывает аллювиальные фации палеорусла Оби, которые сверху перекрыты лессово-почвенными комплексами. Методами датирования проб: OSL и С 14 было определено, что аллювиальные отложения относятся к Кирьяским стадиям позднеплейстоценового времени на уровне МИС 5e, d. Их перекрывают палеопочвенные комплексы, представленные перегнойно-глеевой палеопочвой, с водно-аккумулятивными признаками и серо-гумусово-глеевой палеопочвой с криогенными признаками. Палеопочвы относятся к каргинской стадии и синхронизируются со стадией неоплейстоцена МИС 3.

Ключевые слова: аллювиальные отложения; долина реки Обь; палеорусло; палеопочвы с водно-аккумулятивными признаками.

ALLUVIAL FACIES IN THE UPPER NEOPLEISTOCENE DEPOSITS OF THE KIRYAS SECTION

Sergey E. Korkin[1,2], Elena A. Korkina[1]
[1]Niznevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia;
[2]Institute of Plant and Animal Ecology of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia
egf_nv@mail.ru

Abstract. This article presents new results of geochronometric indicators, which were obtained during the study of the geological and geomorphological rock outcrop "Kiryas K." The Yugan-Laryogan elevated terrace is located north of 60° 50′ N and belongs to the valley of the Ob River. The geological rock outcrop in the lower part is penetrated by the alluvial facies of the Ob paleo-riverbed rhound, which are overlain by loess-soil complexes from above. The Kiryan stage of late Pleistocene time at the level of MIS 5e, d and MIS 3 were determined by methods of age determination: OSL and radiocarbon. The alluvial sediments are overlain by paleosteal complexes, which are represented by humus-gley paleosteum, with water-accumulative features and gray-humus-gley paleosteum with cryogenic features. Paleo-soils belong to the Kargin stage and synchronize with the Neopleistocene stage.

Keywords: alluvial deposits; Ob river valley; paleo-riverbed; paleo-soils with water-accumulative features.

Введение

Эволюция речной системы Западно-Сибирской равнины отражает основные этапы формирования долины реки Обь в осадочных толщах водораздельных поверхностей. Седиментация речных и осадочных материалов содержат свидетельства прошлых гидрологических событий, по которым возможно интерпретировать природные условия. Во многих исследованиях авторами: В.А. Земцовым, А.М. Малолетко, А.Ю. Сидорчуком, А.В. Паниным доказывается, что в верхнем неоплейстоцене уровень моря неоднократно опускался ниже современного. Этот фактор определил неустойчивость береговой линии и

устьевое положение крупных рек таких как: Обь, Вах, Енисей. Формирование геоморфологии речной сети почти на всей территории Западно-Сибирской равнины практически завершилось к концу верхнего неоплейстоцена [Малолетко, 2008, Сидорчук, Панин, Борисова, 2008]. Неизвестным фактом в стратиграфических разрезах Западно-Сибирской равнины остаются геохронометрические показатели аллювиальных фаций, что является важным для корреляции слоёв в региональных схемах и фиксации изменений морфологии речных долин.

Исследуемый нами разрез «Кирьяс К» вскрывает возвышенную Юганско-Ларъёганскую террасу долины реки Обь в пределах таёжной зоны Западно-Сибирской равнины. Разрез «Кирьяс» считается стратотипом кирьясского подгоризонта каргинского горизонта на основании радиоуглеродных дат, полученных в 70-х гг. [Архипов, Довгаль, Левина и др., 1976; Архипов, Астахов, Волков, и др., 1980; Архипов, 1997; Волкова, Архипов, Бабушкин и др. 2002]. Описания стратиграфических разрезов «Кирьяс» неоднократно было опубликовано [Архипов, Довгаль, Левина и др., 1976; Архипов, Астахов, Волков и др., 1980; Левина 1979; Лаухин, Арсланов, Максимов, 2006; Лаухин, Шилова, Величкевич, 2007]. Основными особенностями Кирьяских разрезов, исследователи выделяют два уровня в виде погребенных торфяников. Возраст погребенных торфяных горизонтов, согласно радиоуглеродным датам 70-х гг., относится к каргинскому времени: 27,5–36,3 тыс. лет из торфяников верхнего уровня и 38,7–44,7 тыс. лет из торфяников нижнего уровня [Архипов, Астахов, Волков и др., 1980]. Современное радиоуглеродное-датирование подтвердило каргинский возраст верхнего уровня торфяников, в пределах 27,8–46,4 тыс. лет, и показало докаргинский возраст нижнего уровня торфяников, в кровле которых получена дата 14C ≥60,7 тыс. лет [Лаухин, Шилова, Величкевич, 2007]. В средней части торфяника нижнего уровня получена U/Th-дата: 105,5±3,6/3,3 (L/L) и 104,4±4,4/3,9 (TSD) тыс. лет [Лаухин, Шилова, Величкевич, 2007]. Таким образом, торфяник может быть отнесен к подстадии MIS-5c и сопоставлен с палеоклиматическим событием брёруп в гренландском ледовом керне прослеженным в Западной Европе [Dansgaard, Johnse, Clausen et al., 1993].

Методы

Современный уровень изучения палеогеографических событий плейстоцена и голоцена подразумевает использование комплексного подхода и широкого круга методов, позволяющих изучить геохронометрические показатели аллювиальных фаций в стратиграфических разрезах Западно-Сибирской равнины. К основным методам относятся методы датирования образцов, гранулометрический состав пород, морфометрический анализ минеральных зерен.

В нашем исследовании получены результаты радиоуглеродного датирования для разреза «Кирьяс К» произведенные в ЦКП «Лаборатории радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН и центра изотопных исследований Университета Джорджии (США). Датирование образцов песка произведено методом оптически стимулированной люминесценции, в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского».

Литологическая неоднородность почвенно-осадочной толщи диагностировалась по морфологическим признакам (на макро- и микроуровнях). Были произведены морфологические описания лессово-почвенных комплексов и песчано-суглинистых фаций для определения инситных и приобретенных, после погребения свойств и признаков подстилающих пород. Морфометрический анализ минеральных зерен проводили с использованием цифрового оптического микроскопа Hirox KH-7700 (Япония) с программным обеспечением, при следующих условиях: Lens MX(G)–10C: OL–35 II; Normal: x35 и под бинокуляром МБС 15. Гранулометрический состав пород изучался ситовым методом и методом пипетки по Н.А. Качинскому, с выделением фракций:

Korkin S.E., Korkina E.A. Alluvial facies in the upper neopleistocene deposits of the Kiryas section. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2023, vol. 5, iss. 2, pp. 129–137. (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2023.5.2.129.

глинистая фракция (<0,001 мм), пылеватая фракция (0,05–0,001мм), песчаная фракция (1–0,05 мм), гравий (1–3 мм). Полученные результаты дают информацию о структурной перестройке почвенно-осадочной толщи и особенностях осадконакопления: флювиальных, гляциальных, аллювиальных, эоловых и др. процессах.

Для определения климатических ритмов и биогенного генезиса в почвенно-осадочной толще использовали методы определения общего физико-химического состава. Аналитическая характеристика почвенных и осадочных образцов включала определение химических и физических параметров: содержание обменных катионов Ca^{2+} и Mg^{2+}, биофильного металла Mn^{2+}, который диагностирует условия с активными биологическими процессами. Обменные основания были определены фотоколориметрическим методом. Содержание обменных, силикатных и несиликатных форм железа, определяли в вытяжках Тамма и Мера-Джексона. Содержание органического вещества, его качественные характеристики являются важными, порой определяющими данными, позволяющими определить длительность естественных процессов почвообразования. Содержание гумуса в почвенно-осадочных толщах было определено по методу И.В. Тюрина для минеральных почв с окончанием на фотоколориметре.

Интеграция геолого-геоморфологических, почвенных методов помогает более детально интерпретировать полученные данные и получать сопряженный анализ на стыке географических наук.

Результаты

Морфологическое описание репера Кирьяских песков. **Слой D2=**13–14 м. Песок мелкозернистый с тонкой горизонтальной слоистостью. Прослойки мощностью 1–2 мм, темно-желтовато-коричневого цвета (10YR 4/6) переслаиваются с суглинистыми прослойками темно-оливково-серого цвета (5Y 5/2). **Слой Dox, aq** 14–15 м песок переслаивается с легким суглинком. Слои дифференцируются по характеру слоистости. Результаты мезоморфологического анализа песка, проведенные с помощью цифрового оптического микроскопа, показывают в исследуемом слое слабую окатанность кварцевых зерен размерностью от 0,1 до 0,4 мм, в составе имеются минеральные зерна лимонита неправильной формы и мелкие листовидные пластинки гидрослюды (рисунок 1). В данном слое, с глубин 14,65–14,70 м и 14,72–14,77 м были получены результаты датирования образцов. Возраст образцов составил: 90±15 тыс. лет (RGI-0372), 78±10 тыс. лет (RGI-0373) соответственно. **Слой Dq¨** 16–18,5 м. Песок, палево-коричневый (2,5Y 7/4), среднезернистый, горизонтально-слоистый. В верхней границе слой легкосуглинистый, мощностью 2–3 см оливково-коричневого цвета (2,5Y 4/4). Внутри слоя слоистость диагональная. Мезоморфологический анализ показывает наличие большого количества железистых конгломератов с включением мелких зерен кварца. В пробе, среди слабо окатанных зерен прозрачного кварца и других минералов (98 %), в большом количестве встречаются гидрослюды и неправильной формы сланцы и лимониты. **Слой Daq¨** 19 м до уреза представлен среднезернистым песоком, светло-оливково-коричневого цвета с темными прослойками (2,5Y 5/4). Горизонтально-диагональные прослойки мощностью 1–2 см темно-коричневого цвета (7,5YR 2,5/2). В верхней части слоя ферраллитная полоса мощностью 5 см красновато-коричневого цвета (7,5YR 5/8). Песок среднезернистый, хорошо окатанный; кварцевые зерна от 0,4 до 0,8 мм составляют основу пробы, с небольшим включением полевого шпата и зерен других минералов.

Верхняя часть разреза «Кирьяс К» до глубины 13 м представлена слоями лессовидных суглинков с палеопочвенными горизонтами Каргинского педокомплеса (рисунок 1) позднеплейстоценового времени: [Gox-redt]–[Gth, cf]–[Gox]–[Gox, aq]–[Gh, cf1] – это комплекс глеевых горизонтов, с признаками восстановленного железа и серией палеопочв: перегнойно-глеевая палеопочва [Ah, aq]–[Gcf], с водно-аккумулятивными признаками, торфяными остатками (рисунок 1) и серо-гумусово-глеевая палеопочва [AYcr]–[Gh,cf2]–[Gh] с криогенными признаками в виде клиньев, возраст которых составил 46647 (IGANAMS 5327 – калиброванная 14C AMS дата).

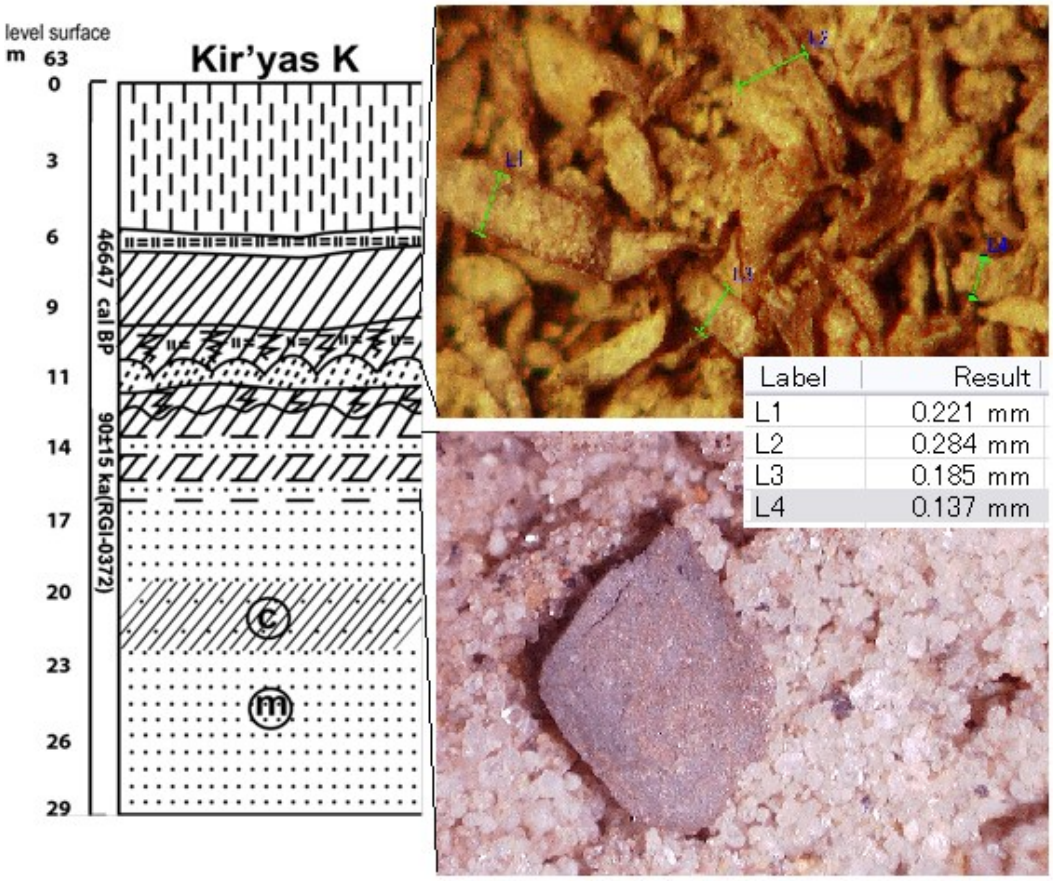


Рисунок 1. Схема разреза «Кирьяс К» и фотографиями морфологической мезосъёмки слоёв [AYcr] и Dox, aq цифровым микроскопом Hirox KH-7700.

Figure 1. A diagram of rock outcrops "Kiryas K" section and photographs of morphological mesography of layers [AYcr] and Doc, aq with a Hirox KN-7700 digital microscope.

Гранулометрический анализ. Резкая смена осадконакопления в разрезе «Кирьяс К» прослеживается при гранулометрическом анализе. С глубины 13,5 м илистой фракции становится меньше, происходит увеличение песчаной фракции (таблица 1).

Таблица 1. Гранулометрический состав почвенно-осадочной толщи разреза «Кирьяс К».

Table 1. Granulometric analysis of the soil-sedimentary strata of the "Kiryas K" of rock outcrop.

Генетический горизонт	Глубина взятия образца, м	Размер частиц, мм; содержание фракций, %						
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	< 0,01
[Gh,cf2]	9–9,2	0	27	57	2	6	8	16
[Gh]	10–11	0	9	53	7	17	14	38
D1¨	11–12	6	61	4	6	22	1	29
[G=]	12–13	0	13	44	10	16	17	43
D2=	13–13,5	0	39	4	8	36	13	57
Dox, aq	13–14	19	29	20	4	23	5	33
Dq¨	15,5–19	16	11	20	12	36	5	53
Daq¨	19-до уреза	27	35	17	1	15	5	22

В разрезе «Кирьяс К» лёссово-почвенные комплексы до глубины 13 м (горизонт [Gh]) облёссованы. Содержание крупно-пылеватых фракций находится в пределах 40–62 %. С глубины 12 м происходит резкое увеличение мелких песчаных фракций до 61 %, фиксируются крупные и средние песчаные фракции – 6 %, резко уменьшается количество лёссовой фракции

до 4 %, очень низкое содержание ила – 1 %, содержание физической глины – 29 %. Нижняя часть разреза представлена слоистыми песками с суглинистыми прослойками, здесь фиксируется большое содержание песка: крупные и средние фракции – 16–27 %, мелкие фракции в среднем составляют 28 % от общей пробы. В подстилающих породу слоях D фиксируется высокое содержание физической глины от 22 до 57 %. Этот факт связан со слоистостью определяемых слоев и невозможностью детально отобрать пробу по прослойкам разнохарактерных фракций. Нижняя часть разреза показывает более стабильную илистую фракцию – 5 % (таблица 1).

Физико-химические свойства верхних Каргинских палеопочв отличаются от слоёв и погребенных горизонтов и осадочной толщи Кирьяских песков (таблица 2). Верхние горизонты имеют более слабокислую реакцию среды. Погребенный перегнойный водно-аккумулятивный горизонт, где зафиксированы остатки растительности и признаки торфа, показывает кислую реакцию среды, что отличает эту палеопочву от погребенной ниже палеопочвы. Погребенный серогумусовый горизонт и глеевый горизонт имеют более нейтральную реакцию среды.

Таблица 2. Физико-химические свойства почвенно-осадочной толщи разреза «Кирьяс К».
Table 2. Physicochemical properties of soil-sedimentary strata of the of the "Kiryas K" of rock outcrop.

Генетический горизонт	Глубина отбора проб	С общ, %	pH		Обменные основания ммоль (+)/в 100 г почвы				Содержание, %		
			H_2O	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Mn^{2+}	Al^{3+}	Обменного Fe^{2+}+ Fe^{3}	по Тамму	по Мера-Джексону
[Ah, aq]	485-500	2,2	5,9	4,8	0,0	0,00	3,2	0,4	0,1	0,4	0,4
	515-540	2,2	4,8	4,2	0,1	0,02	6,7	0,9	0,1	0,6	0,3
	540-555	2,4	4,8	4,1	1,1	0,01	7,1	0,9	0,1	0,3	0,3
	570-600	2,8	4,6	3,9	1,1	0,02	8,8	1,1	0,1	0,6	0,5
[Gcf]	680-700	1,6	5,8	5,1	1,2	0,02	20,6	2,7	0,1	0,6	0,5
	740-770	2,2	7,2	6,8	1,0	0,01	12,0	1,6	0,2	0,3	0,2
[AYcr]	820-840	6,9	5,9	5,4	0,1	0,00	38,5	5,0	0,3	0,8	0,7
	860-880	5,3	6,5	5,7	0,4	0,01	16,0	2,1	0,1	-	-
	880-900	2,8	6,4	5,7	0,6	0,01	18,7	2,4	0,2	-	-
	880-900 клин	9,0	6,0	5,5	0,4	0,00	29,3	3,8	0,3	0,6	0,5
[Gh,cf2]	920-940	1,3	6,7	5,7	0,6	0,01	5,4	0,7	0,0	0,1	0,1
[Gh]	1080-1100	3,3	6,3	5,6	0,6	0,01	7,3	1,0	0,1	0,2	0,2
D1¨	1140-1160	0,6	6,8	6,2	0,0	0,00	1,9	0,2	0,0	0,1	0,1
[G=]	1220-1225	3,3	6,7	5,9	0,7	0,01	8,5	1,1	0,2	0,5	0,6
	1225-1228	0,4	7,0	7,0	0,0	0,00	2,7	0,3	0,0	0,1	0,5
	1228-1305	1,3	7,9	7,0	0,4	0,00	4,5	0,6	0,2	0,5	0,3
D2=	1305-1355	0,3	7,5	5,8	0,0	0,00	0,1	0,0	0,0	0,2	0,3
Dox, aq	1360-1410	0,1	6,3	6,4	0,0	0,00	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2
Dq¨	1555-1853	0,3	6,5	6,3	0,0	0,00	0,1	0,1	0,0	0,3	0,4
Daq¨	1860-1880	0,2	6,6	6,3	0,0	0,00	0,1	0,1	0,0	0,2	0,3

Количество обменных оснований Ca^{2+} и Mn^{2+} минимально, и увеличивается в погребенных гумусовых горизонтах от 0,01 до 1,09 ммоль (+) в 100 г почвы. Увеличение количества биофильного марганца соотносится с погребенными гумусовыми и глеевыми горизонтами. Так нижние слои лёссово-почвенного комплекса имеют количество марганца, не превышающего 0,1 ммоль (+) в 100 г почвы. В погребенных гумусовых горизонтах его количество от 6,7 до 38,5 ммоль

(+) в 100 г почвы, в глеевых горизонтах 1 до 20,5 ммоль (+) в 100 г почвы.

Структура верхнеплейстоценовых отложений разреза «Кирьяс К» представляет серию погребенных почвенных комплексов в виде торфяных горизонтов, сформированных на глеевых горизонтах, и, показывает периодичность условий почвообразований, смену осадконакоплений, связанных с изменением климатических условий.

Обсуждение

Обнажение Юганско-Ларъёганской возвышенной террасы, вскрытое разрезом «Кирьяс К», показывает чёткую седиментационную дифференциацию отложений. В слоях разреза отражены основные этапы формирования долины реки Обь: нижние аллювиальные отложения сформированы в позднеплейстоценовое время и относятся к Кирьяским стадиям, на уровне МИС 5 e, d, сверху они перекрываются озерными субаэральными отложениями с включением палеопочвенного Каргинского комплекса на уровне МИС 3.

Описанные осадки позднеплейстоценового времени позволяют отнести их к аллювиальному генезису. В исследуемом разрезе эти слои образуют пачку песка мощностью 4 м и лежат с глубины 13 м от поверхности до уреза воды 21 м. Аллювиальная фация палеоруслa реки Обь характеризуется сменой крупно-линзовидной косой слоистости стрежневой фации к параллельно-косой с прослоями заиления, характерной для русловой отмели [Астахов, 2020], верхние слои в разрезе представлены тонкой слоистостью, которая характерна для ряби течения с ветровой рябью формирования аллювиальных фаций. Образованные текстуры речных отложений сильно зависят от транспортировки материала речных вод и скорости потока.

Результаты морфометрического и гранулометрического анализов показывают высокое содержание прозрачного, слабо и средне окатанного кварца в пробах Кирьяских слоёв с глубины 13 м. Это свидетельствует об водном осадконакоплении, здесь же фиксируются гидрослюдистые минералы. Однако, в этих слоях отмечается низкое содержание илистой фракции до 5 % и редки мелкие конгломераты оксидов железа, насыщенные кварцевыми зернами, что указывает на нанос материала при формировании палеоруслa. В нашем исследовании мы предполагаем, что осадконакопление аллювиальной и пойменной фаций происходило в холодных климатических условиях, о чем свидетельствуют морфологическая диагностика косослоистых песков и физико-химические показатели, диагностирующие отсутствие биогенных элементов в этих слоях. В Кирьяских песках очень низкое содержание органического вещества и других биофильных элементов. Косослоистоистая направленность песков, перемеженная суглинистыми прослойками, свидетельствует о поемном режиме.

Смена осадконакопления от аллювиальной к пойменной, а затем к озерным фациям происходила постепенно и непрерывно. Осадконакопление озерной фации происходило с отступанием речных вод в период МИС 4. Переходный климатический период фиксируется в разрезе палиноспектрами, где высока доля пыльцы травянистых видов, обилие видов со значимым вкладом пыльцы *Caryophyllaceae*, а также высокое содержание пыльцы *Cyperaceae*, в группе древесной пыльцы преобладает берёза. Планктонная и эвтрофная природа альгофлоры свидетельствует о высоком уровне воды [Галимов, Шахматов, 2023]. Виды растительности свидетельствуют о формировании поймы, наличие биогенного материала показывает на возрастающие температуры и потепление. Зарастание водоёма и формирование торфяника, который всё еще находился в соподчинении с рекой, произошло в период Каргинской стадии (МИС 3). Данный факт свидетельствует о понижении уровня воды в реке, и как следствие, уровня Мирового океана.

Каргинский палеопочвенный комплекс представлен глеевыми горизонтами позднеплейстоценового времени с водно-аккумулятивными признаками диагностирует

окислительно-восстановительные условия. Сформированные торфяные и перегнойно-гумусовые горизонты свидетельствует об активном гидрологическом режиме. Формирование перегнойно-гумусовых горизонтов связано с периодическим увлажнением, за счет поднятия уровня грунтовых вод и развитии застойных болотных условий. Глеевые процессы и криогенные признаки в виде клиньев свидетельствуют об отсутствии дренажа, за счет промерзшего водоупора ниже залегающих пород.

Таким образом, проведенное исследование показывает, принципиальную смену осадконакоплений в неоплейстоцеовый период в долине р. Обь при формировании Юганско-Ларъёганской возвышенной террасы.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Правительства ХМАО-Югры № 22-17-20011, https://rscf.ru/project/22-17-20011, а также РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-05259\21.

Литература

Астахов В.И. Четвертичная геология суши. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2020. 440 с.

Архипов С.А., Довгаль Л.А., Левина Т.П., Липагина В.Я., Сухорукова С.С. Литологическая, палинологическая характеристика, диатомовая флора и остракоды из разреза третьей надпойменной террасы реки Оби (Сургутское Приобье) // Этюды по палеофитологии Сибири. М.: Наука, 1976. С. 83–101.

Архипов С.А., Астахов В.И., Волков И.А., Панычев В.А. Палеогеография Западно-Сибирской равнины в максимум позднезырянского оледенения. Новосибирск: Наука, 1980. 110 с.

Архипов С.А. Геохронология геологических событий позднего плейстоцена Западно-Сибирской равнины // Геология и геофизика. 1997. № 12. С. 1863–1884.

Волкова В.С., Архипов С.А., Бабушкин А.Е., Кулькова И.А., Гуськов С.А., Кузьмина О.Б., Левчук Л.К., Михайлова И.В., Сухорукова С.С. Стратиграфия нефтегазовых бассейнов Сибири. Кайнозой Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал ГЕО, 2002. 247 с.

Галимов А.Т., Шахматов А.С. Позднеплейстоценовая флора местонахождения Кирьяс-Л по данным спорово-пыльцевого и альгологического анализа (Западная Сибирь, Россия) // Проблемы ботаников Южного Сибири и Монголии, 2023. – Т. 22, № 1. С. 90–96.

References

Astakhov V.I. *Chetvertichnaya geologiya sush I [Quaternary land geology]*. SPb.: Publishing house St. Petersburg. University, 2020, 440 p. (In Russian).

Arkhipov S.A., Dovgal L.A., Levina T.P. Lipagina V.Ya., Sukhorukova S.S. Litologicheskaya, palinologicheskaya kharakteristika, diatomovaya flora i ostrakody iz razreza tret'yey nadpoymennoy terrasy reki Obi (Surgutskoye Priob'ye [Lithological, palynological characteristics, diatomaceous flora and ostracods from the section of the third floodplain terrace of the Ob River (Surgut Priobye)]. *Etyudy po paleofitologii Sibiri [Studies on paleophytology of Siberia]*, Moscow, Science, 1976. pp. 83–101. (In Russian).

Arkhipov S.A., Astakhov V.I., Volkov I.A., Panychev V.A. *Paleogeografiya Zapadno-Sibirskoy ravniny v maksimum pozdnezyryanskogo oledeneniya [Paleogeography of the West Siberian Plain at the maximum of the Late Siberian glaciation],* Novosibirsk: Science, 1980, 110 p. (In Russian).

Arkhipov S.A. Geokhronologiya geologicheskikh sobytiy pozdnego pleystotsena Zapadno-Sibirskoy ravniny [Geochronology of Geological Events of the Late Pleistocene of the West Siberian Plain]. *Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics],* 1997, no, 12. pp. 1863–1884. (In Russian).

Volkova V.S., Arkhipov S.A., Babushkin A.E., Kulkova I.A., Guskov S.A., Kuzmina O.B., Levchuk L.K., Mikhailova I.V., Sukhorukova S.S. *Stratigrafiya neftegazovykh basseynov Sibiri. Kaynozoy Zapadnoy Sibiri [Stratigraphy of oil and gas basins of Siberia.*

Земцов А.А. Геоморфология Западно-Сибирской равнины (северная и центральная части). Томск: ТГУ, 1976. 344 с.

Левина Т.П. Палинологическая характеристика отложений позднечетвертичной ледниковой эпохи в долине Средней Оби // Стратиграфия и палинология мезозоя и кайнозоя Сибири. Новосибирск: Наука, 1979. С. 74–98.

Лаухин С.А., Арсланов Х.А., Шилова Г.Н., Величкевич Ф.Ю., Максимов Ф.Е., Кузнецов В.Ю., Чернов С.Б., Тертычная Т.В Палеоклиматы и хронология средневюрмского мегаинтерстадиала на Западно-Сибирской равнине // Докл. АН. 2006. Т. 411, №4. С. 540-544.

Лаухин С.А., Шилова Г.Н., Величкевич Ф.Ю. Палеоботаническая характеристика и палеоклиматы каргинского времени на Западно-Сибирской равнине // Вестник археологии, антропологии и этнографии, 2007. №7. С. 203-225.

Малолетко А.М. Эволюция речных систем Западной Сибири в мезозое и кайнозое. Томск: Томский государственный университет, 2008. 288 с.

Сидорчук, А.Ю. Панин А.В., Борисова О.К. Позднеледниковые палеорусла рек Западной Сибири // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2008. № 2. С. 67-75.

Dansgaard W., Johnse, S.J., Clausen H.B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N.S., Hammer C.U., Hvidberg C.S., Steffensen J.P., Sveinbjornsdottir A.E., Jouzel J., & Bond G. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. Nature, 364, 1993. pp. 218–220.

Cenozoic of Western Siberia], Novosibirsk: Publishing house SB RAS, Branch of GEO, 2002, 247 p. (In Russian).

Zemtsov A.A. *Geomorfologiya Zapadno-Sibirskoy ravniny (severnaya i tsentral'naya chasti) [Geomorphology of the West Siberian Plain (Northern and central parts)],* Tomsk: TSU, 1976, 344 p. (In Russian).

Galimov A.T., Shakhmatov A.S. Pozdnepleystotsenovaya flora mestonakhozhdeniya Kir'yas-L po dannym sporovo-pyl'tsevogo i al'gologicheskogo analiza (Zapadnaya Sibir', Rossiya) [Late Pleistocene flora of the Kiryas-L locality according to spore-pollen and algological analysis (Western Siberia, Russia)]. *Problemy botanikov Yuzhnogo Sibiri i Mongolii [Problems of botanists of Southern Siberia and Mongolia]*, 2023, Vol. 22, No. 1, pp. 90–96. (In Russian).

Levina T.P. Palinologicheskaya kharakteristika otlozheniy pozdnechetvertichnoy lednikovoy epokhi v doline Sredney Obi [Palynological Characterization of Late Quaternary Glacial Age Deposits in the Middle Ob Valley]. *Stratigrafiya i palinologiya mezozoya i kaynozoya Sibiri [Stratigraphy and Palynology of the Mesozoic and Cenozoic Siberia]*, Novosibirsk: Science, 1979, pp. 74–98. (In Russian).

Laukhin S.A., Arslanov H.A., Maksimov F.E., et al. Paleoklimaty i khronologiya srednevyurmskogo megainterstadiala na Zapadno-Sibirskoy ravnine [Paleoclimates and chronology of the Middle Jurassic megainterstadial on the West Siberian Plain]. *Doklady AN [Doklady Earth Sciences],* 2006, Vol. 411, No, 4. pp. 540–544. (In Russian).

Laukhin S.A., Shilova G.N., Velichkevich F.Yu. Paleobotanicheskaya kharakteristika i paleoklimaty karginskogo vremeni na Zapadno-Sibirskoy ravnine [Paleobotanical characteristics and paleoclimates of the Karginsky time on the West Siberian plain]. *Vestnik arkheologii, antropologii i etnografii [Bulletin of archeology, anthropology and ethnography]*, 2007, no, 7, pp. 203–225. (In Russian).

Malotko A.M. *Evolyutsiya rechnykh sistem Zapadnoy Sibiri v mezozoye i kaynozoye [Evolution of river systems of Western Siberia in the Mesozoic and Cenozoic],* Tomsk: Tomsk State University, 2008, 288 p. (In Russian).

Sidorchuk, A. Yu., Panin A. V., Borisova O. K. Pozdnelednikovyye paleorusla rek Zapadnoy Sibiri [Pozdnelednikovye paleorousels of rivers of Western Siberia]. *Izvestia of the Russian Academy of Sciences. The series is geographical,* 2008. No, 2, pp. 67–75. (In Russian).

Dansgaard W., Johnse, S.J., Clausen H.B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N.S., Hammer C.U., Hvidberg C.S., Steffensen J.P., Sveinbjornsdottir A.E., Jouzel J., & Bond G. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. Nature, 364, 1993. pp. 218–220.

УДК 556
DOI: 10.34753/HS.2023.5.2.138

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНО ВЫСОКИХ ПОЛОВОДИЙ В БАССЕЙНЕ СРЕДНЕЙ ДЕСНЫ (ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

Г.В. Лобанов, М.И. Сарнецкая
ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского», г. Брянск, Россия
lobanov_grigorii@mail.ru

Аннотация. Бассейн средней Десны – регион, расположенный в центре Восточно-Европейской равнины. Водосборная площадь занята в основном сельскохозяйственными угодьями, отдельные участки покрыты лесами. В гидрологическом режиме главной реки ярко выражен весенний паводок, периодически приводящий к наводнениям. Экстремально высокие половодья угрожают поселениям в бассейне средней Десны, в том числе городам Брянск и Трубчевск, вместе с тем методика их прогноза не обеспечивает адекватную оценку угроз. Одна из причин сложности прогнозирования заключается в разнообразии сочетаний факторов, обеспечивающих очень высокие подъёмы воды. Выявление таких сочетаний строится на базе исторического подхода, в частности детального изучения причин каждого экстремального половодья; обосновывается приоритет выбранного подхода по сравнению со статистическими методами исследования. Наибольшее внимание уделяется метеорологическим и климатическим факторам, которые как ритмически, так и поступательно изменяются во времени и пространстве. В статье представлен ретроспективный анализ метеорологических и климатических факторов, способствовавших возникновению чрезвычайных паводков с конца XIX до начала XXI века. Определяется их соотношение с геолого-геоморфологическими и антропогенными факторами. Рассматриваются сочетания факторов для каждого случая экстремально высокого половодья, обосновываются его возможные механизмы. Годы

CONDITIONS FOR THE FORMATION OF EXTREMELY HIGH FLOODS IN THE MIDDLE DESNA BASIN (HISTORICAL REVIEW)

Grigory V. Lobanov, Maria I. Sarnetskaya
Bryansk State University named academician I.G. Petrovsky, Bryansk, Russia
lobanov_grigorii@mail.ru

Abstract. The Middle Desna basin is a region located in the center of the East European Plain. The catchment area is occupied mainly by agricultural land, with some areas covered by forests. The hydrological regime of the main river is characterized by spring flooding, periodically leading to floods. Extremely high floods threaten settlements in the middle Desna basin, including the cities of Bryansk and Trubchevsk, but the methodology for forecasting them does not provide an adequate assessment of the threats. One of the reasons for the complexity of forecasting is the variety of combinations of factors that provide very high water rises. Identification of such combinations is based on the historical approach, in particular, detailed study of the causes of each extreme flood; the priority of the chosen approach over statistical methods of research is justified. The greatest attention is paid to meteorological and climatic factors, which both rhythmically and progressively change in time and space. The article presents a retrospective analysis of meteorological and climatic factors that contributed to the emergence of extreme floods from the end of XIX to the beginning of XXI century. Their correlation with geologic-geomorphologic and anthropogenic factors is determined. Combinations of factors for each case of extreme high floods are considered and its possible mechanisms are substantiated. Years with high floods do not differ from average multiyear years in the peculiarities of the thermal regime, both immediately before the flood and in

Lobanov G.V., Sarnetskaya M.I. Conditions for the formation of extremely high floods in the middle Desna basin (historical review). *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2023, vol. 5, iss. 2, pp. 138–146. (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2023.5.2.138.

с высокими половодьями не отличаются от средних многолетних особенностями термического режима, как непосредственно перед половодьем, так и в предшествующие месяцы. Вместе с тем сильно отличаются особенности режима и количества осадков текущего и предшествующего года – наиболее заметно зимних осадков (очевидно) и, прежде всего, дождей в период половодья. На медленный спад половодья, обусловленный широкой, сильно шероховатой поймой накладывается обильное поступление дождевой воды в русло. При этом значительные весенние осадки не являются исключительным фактором высоких половодий. Экстремальные и близкие им половодья распределены в ряду лет крайне неравномерно. Прямой связи динамики высоты половодья с короткопериодическими климатическими изменениями не обнаруживается – очень высокие весенние подъёмы воды приходятся на разные фазы колебаний. К тому же очень высокие половодья не являются результатом проявления факторов в течение только одного года. Метеорологические условия предыдущих лет влияют на высоту половодья через подземный сток. Приведённые соображения могут быть полезны при разработке концептуальных моделей формирования экстремальных половодий.

Ключевые слова: бассейн средней Десны; факторы стока половодья; экстремальные половодья; ретроспективный анализ; подземный сток.

the preceding months. At the same time, peculiarities of the regime and amount of precipitation of the current and preceding year differ greatly – most noticeably winter precipitation (obviously) and, above all, rainfall during the flood period. The slow recession of floods due to the wide, strongly rough floodplain is superimposed on the abundant inflow of rainwater into the channel. Significant spring precipitation is not the exclusive factor in high floods. Extreme floods and floods close to them are distributed very unevenly in a number of years. There is no direct connection between the dynamics of flood heights and short-period climatic changes – very high spring water rises occur in different phases of fluctuations. In addition, very high floods are not the result of factors occurring during only one year. Meteorological conditions of previous years influence flood heights through groundwater flow. The above considerations may be useful in the development of conceptual models of extreme flood formation.

Keywords: middle Desna basin; flood runoff factors; extreme floods; retrospective analysis; underground stock.

Введение

Высокие подъёмы уровня воды, приводящие к наводнениям, повторяются в бассейне средней Десны с нерегулярной периодичностью 1 раз в 5–10 лет. За время инструментальных наблюдений на гидропосте Брянск (1895–2023 гг.) отмечено 17 подъёмов воды над опасным уровнем (5 метров над нулём гидропоста). По литературным описаниям с упоминанием высоких разливов рек во второй половине XIX века [Оппоков, 1914], количество наводнений в бассейне средней Десны составляет уже 22 за 170 лет. Чаще всего наводнения приходятся на весеннее половодье (апрель–май) и, весьма редко – на паводки. Наибольшую опасность высокие подъёмы воды представляет для поселений, расположенных частично в поймах крупных и средних рек или на невысоких «надлуговых» террасах. Например, для экономического центра среднего Подесенья – г. Брянск (административный центр Брянской области с 1944 г.) и древнего малого города Трубчевск. Сёла в среднем Подесенье расположены на высоком правобережье значительно выше уровня экстремально высоких половодий. Застройка время от времени затапливаемых территорий началась в XIX веке в связи с развитием промышленности. Долгосрочные выгоды от размещения производственных и жилых зданий на поймах и

низких террасах (близость к воде, удобный для строительства почти плоский рельеф, близость к малонарушенным лесным и луговым ландшафтам) превышали ущерб от наводнений. В начале XXI века частичное затопление городов Брянск и Трубчевск, представляет не критическую, но вместе с тем трудно разрешаемую проблему развития этих поселений. Более того, в г. Брянск, площадь застройки потенциально затапливаемых земель увеличивается. Наряду с собственно экономическими интересами, хозяйственное освоение пойм и низких террас в Брянске стимулировал продолжительный маловодный период в конце XX – начале XXI века, который сформировал представление о малой вероятности затопления приречных территорий. Другую немаловажную проблему высоких половодий представляет размыв берегов. В целом для русла р. Десны не характерны высокие скорости горизонтальных деформаций и значительные длины фронтов размыва, но на отдельных участках берега отступают со скоростью 1,5–2,0 м в год, причём, прежде всего вследствие экстремально высоких расходов [Смирнова и др, 2009]. Недавние подъёмы воды выше опасного уровня (2013, 2022, 2023 гг.), сопровождавшиеся прямым экономическим ущербом и переформированием отдельных участков русла на фоне заметного изменения климатических факторов стока, определяют актуальность исследования условий формирования очень высоких половодий.

Факторы, определяющие высоту половодья на реках бассейна средней Десны, можно свести в пять групп: метеорологические, климатические, геолого-геоморфологические, ландшафтные и антропогенные. Более подробно в работе рассматриваются факторы первой и второй групп, вследствие их выраженной динамики. Помимо очевидной изменчивости погоды в месяцы перед половодьем или во время него меняются климатические характеристики, важные для формирования стока половодья причём, как поступательно, так и ритмично. Геолого-геоморфологические (строение и рельеф пойм) и ландшафтные (соотношение площадей лесов, лугов и болот) факторы влияют на скорость прохождения стока половодья, обусловленного климатическими и метеорологическими факторами. Группа антропогенных факторов включают действия по регулированию стока, прежде всего регулирование стока половодья сбросом из водохранилищ. В отдельные годы сбросы воды приводили к формированию волны паводка, которая распространялась на первые сотни километров ниже по течению и вызывала наводнения. Вместе с тем, необходимость сбросов в конечном итоге определяется метеорологическими и климатическими факторами.

Группа метеорологических факторов включает особенности погоды, значимые для формирования стока половодья, в месяцы, предшествующие весеннему подъёму воды или непосредственно во время него. Наиболее важными, хотя и не детерминирующими, факторами этой группы являются количество и режим осадков. Причём на высоту подъёма воды влияют осадки, выпадающие в разные сезоны – осенью, зимой и весной. Осенние осадки задают влажность почвы (а через неё интенсивность фильтрации воды); зимние осадки определяют запасы воды в снеге, а весенние дополняют (иногда весьма существенно) сток половодья. Другими важными метеорологическими факторами являются термические условия осени и зимы, предшествующих половодью, и весны в период половодья. В частности, температура почвы в конце осени – начале зимы влияет на соотношение поверхностного и подземного стока при снеготаянии; количество зимних оттепелей определяет количество талой воды, а температуры весной задают скорость поступления её в русло.

Группа климатических факторов включает режимы температуры и осадков в предшествующие годы и их различия внутри бассейна. Водный баланс бассейна в долгосрочной перспективе стремится к нулю, но в отдельные годы может быть отрицательным или положительным. При отрицательном балансе в течение одного или нескольких лет даже обильные осадки не формируют высокого половодья, поскольку значительная их часть уходит в подземный сток, пойменные озёра и болота. Значимая роль запасов подземных вод в регулировании высоты половодья отмечается уже

в трудах XIX века [Оппоков, 1914] и полагается таковой до настоящего времени в разных географических условиях [Yu et al, 2019; Frey et al, 2021]. Различия климатических условий внутри бассейна влияют на равномерность поступления талой воды с водосбора. В частности, сроки снеготаяния и, соответственно максимумы поступления талой воды, в северной и южной части бассейна средней Десны различаются на две недели.

Варианты ежегодных сочетаний климатических и метеорологических условий стока половодья весьма разнообразны; их влияние на высоту подъёма воды может взаимно усиливаться или ослабляться. Например, большие запасы воды в снеге являются важной предпосылкой высокого половодья, но холодная продолжительная весна приводит к медленному поступлению воды в русло и, соответственно, незначительному подъёму уровней. Напротив, небольшие запасы воды в снеге в конце зимы формируют ожидания среднего или невысокого половодья, но продолжительные ливни приводят к совпадению двух фаз гидрологического режима – половодья и паводка и, соответственно, очень высоким подъёмам уровня по сравнению со средними многолетними значениями (ситуации 2022 и 2023 гг.). Охарактеризованные выше особенности значительно затрудняют прогнозирование экстремально высоких половодий и работу по предотвращению и устранению их последствий.

В теории прогнозирования половодий отмечается, что связь высоты половодья с климатическими и метеорологическими условиями стока оказывается не всегда очевидной, имеет сложный, нелинейный характер [Foster, 1974]. Именно разнообразие сочетаний факторов определяет целесообразность подробного анализа условий каждого половодья. Для наиболее удалённых во времени событий (половодий) существует только описательная информация, для сравнительно недавних – подробные количественные характеристики метеорологических и климатических факторов.

Объекты и методы исследований

Закономерности формирования экстремально высоких уровней воды рассмотрены для среднего течения р. Десна. Регулярные гидрологические наблюдения ведутся на трёх гидропостах: Голубея (900 км от устья), Брянск (780 км от устья), Трубчевск (645 км от устья). Средний расход воды увеличивается вниз по течению соответственно от 29 м^3/с до 100 м^3/с [Ресурсы…, 1971].

Наибольшие расходы и подъёмы уровня воды обычно приходятся на половодье. Паводки случаются не ежегодно и сопоставимы с половодьями по максимальным уровням воды в исключительных случаях. В дальнейшем, условия экстремально высоких подъёмов воды рассматриваются для половодий. Следует отметить, что в редких случаях на половодье накладываются паводки, обусловленные продолжительными дождями. В таких ситуациях подъём воды оказывается очень высоким. Отношение максимальных расходов половодья к среднегодовым изменяется по наблюдениям в XXI веке от 2,7 до 10,7 (в среднем – 4,4)[1].

Пик половодья чаще приходится на апрель, реже на конец марта и начало мая. Максимальные расходы и уровни половодья значительно изменяются в ряду лет; за период наблюдений – от 100 до 2900 м^3/с, в том числе в последние десятилетия – до 1050 м^3/с. В колебаниях расходов и уровней воды прослеживается нерегулярная периодичность продолжительностью до 5–6 лет.

Геолого-геоморфологические условия, определяющие высоту подъёма воды в общих чертах схожи на всём среднем течении р. Десны: значительная ширина поймы, её сложный рельеф, с большим количеством крупных неровностей (грив, ложбин), большая лесистость [Лобанов, 2022]. Ширина поймы в целом увеличивается вниз по течению от нескольких сотен метров до 4 км, но существенно изменяется в зависимости от локальных особенностей строения долины. Значительная ширина поймы способствует распластыванию потока половодья и, тем самым, уменьшает высоту подъёма воды. Значительная

[1] Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) URL: https://gmvo.skniivh.ru/index.php?id=505 (дата обращения: 08.08.2023)

шероховатость и сложный рельеф поймы, препятствует оттоку воды и способствует формированию высоких половодий.

Высота подъёма воды и расходы половодий на гидропостах изменяются согласованно в ряду лет. Коэффициент парной корреляции максимальных уровней на гидропостах Голубея и Брянск составляет 0,82; на гидропостах Брянск и Трубчевск – 0,92. Различия обусловлены, прежде всего, асинхронностью короткопериодичных изменений климата в разных частях бассейна, в частности несовпадением во времени максимумов и минимумов осадков [Лобанов, 2016].

Сток половодья зарегулирован двумя водохранилищами: Десногорским на р. Десна (наполнено в 1979-1984 гг.)[2] и Людиновским на р. Ломпадь[3], в бассейне значительного левого притока – р. Болва (наполнено в 30-х гг. XVIII века). Полный объём воды соответственно – 0,32 км^3 и 0,03 км^3. Во время половодья, реже в другие фазы гидрологического режима, часть объёма сбрасывается. Сбросы увеличивают высоту половодий (паводков) ниже по течению или в отдельных случаях создают нетипичные паводки с весьма существенным подъёмом воды и затоплением поймы.

Первичные материалы исследования включают: данные гидрологических наблюдений на гидропосте Брянск (с 1896 г.) с привлечением сведений по гидропостам Голубея, Трубчевск, Чернигов; данные метеорологических наблюдений по метеостацнии Брянск (с 1928 г., по отдельным характеристикам – с 1966 г.) с привлечением данных по метеостацний Чернигов и Смоленск; аналитические описания погодных и климатических условий в бассейне средней Десны в конце XIX – первой половине XX века[4]. За экстремальный уровень половодья на поперечнике гидропоста Брянск принят уровень, превышающий нуль поста на 5,5 м, т.е. 148,57 БС. Кроме того, во внимание принимались подъёмы воды выше опасного уровня, т.е. на 5 м над нулём поста. Во время экстремальных половодий глубина затопления поймы превышает 3 м. Сведения об исключительно высоких половодьях до начала регулярных наблюдений на гидропосте Брянск) установлены косвенно – по материалам гидропоста Чернигов (допустимость сопоставления обоснована схожестью гидрологического режима).

Ограниченный объём гидрологических и метеорологических данных позволяет использовать статистическую оценку факторов высоких половодий, только со второй половины XX века. Условия, определявшие экстремально высокие подъёмы воды в конце XIX – начале XX века, анализировалось на качественном уровне. Вместе с тем, использованием приёмов выявления статистической связи факторов и уровней половодий не рассматривается нами как наилучшее решение. Во-первых, из-за небольшого объёма выборки (количество экстремальных половодий), во-вторых, из-за сложного взаимодействия стокоформирующих факторов, которое обосновывает заведомо слабую корреляционную связь между ними и характеристиками половодья.

Результаты

Выдающиеся половодья конца XIX – первой половины XX века описаны в краеведческой литературе, но в большинстве случаев сведения о метеорологических условиях представлены в самом общем виде, что позволяет только предполагать причины очень высоких подъёмов воды.

Первое подробно описанное экстремальное половодье с затоплением низких частей приречных поселений Подесенья, в том числе города Брянск, произошло весной 1908 г. Метеорологические особенности 1907–1908 гг. отличают: сухая осень с большими амплитудами температур и отрицательными температурами ночью; количество зимних осадков выше средних многолетних, холодная и затяжная весна

[2] Десногорское водохранилище // Вода России URL: https://water-rf.ru/Водные_объекты/2031/Десногорское_водохранилище.

[3] Людиновское водохранилище // Вода России URL: https://water-rf.ru/Водные_объекты/4120/Людиновское_водохранилище (дата обращения: 08.08.2023).

[4] Специализированные массивы для климатических исследований URL: http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index0.xhtml (дата обращения: 01.08.2023).

[Хитрово, 1925]. Важно отметить, что высокому половодью, предшествовали несколько лет с количеством осадков выше среднего многолетнего значения. Примечательно, что максимальный уровень половодья 1907 г. лишь немногим уступал принятым в работе экстремальным значениям (4,97 м).

Следующее выдающееся половодье (максимальное за весь период наблюдений) произошло в 1931 г.; причём, как и предыдущее, на всех крупных реках центральной России. Метеорологические условия стока конца 1930 – начала 1931 гг. незначительно отличаются от средних многолетних. Зима, равно как и весна, были весьма прохладными, почва промёрзла рано и оттаяла очень поздно. Немаловажно заметить, что третье десятилетие XX века в целом отличалось очень малым средним количеством осадков и холодными зимами (относительно средних многолетних значений). Последнее способствовало сохранению значительных запасов воды в конце зимы и медленному спаду половодья. Свыше опасного уровня (5 м над нулём поста) в ближайшие годы вода поднималась ещё дважды – в 1926 (5,45 м) и 1930 гг. (5,33 м). Высокому подъёму воды способствовали сильные продолжительные дожди, т.е. фактически дождевой паводок совпал с половодьем.

Изучение факторов выдающихся половодий второй половины XX – начала XXI века строится на подробных (срочных и суточных) материалах метеонаблюдений. Условия, способствующие формированию выдающихся половодий, характеризуются набором следующих показателей: средние температуры осени, зимы и весны, сумма осенних, зимних и весенних осадков, средняя мощность снежного покрова перед снеготаянием, средняя скорость снеготаяния. В связи с особенностями температурного режима зимы (частые оттепели) мощность снежного покрова рассчитывалась для последнего периода его постоянного залегания; аналогично, средняя скорость снеготаяния – относительно последнего в сезоне максимального уровня. Выбор характеристик обусловлен представлениями о факторах стока половодья, описанными выше. Половодья экстремальной высоты произошли на средней Десне в 1967, 1970 и 2023 гг., причём первый и второй случай – до зарегулирования стока Десногорским водохранилищем. Сводная характеристика метеоусловий в годы выдающихся половодий и близких к ним значений (выше отметки 5 м над нулём гидропоста) представлена в таблице 1.

В 1960-х гг. экстремально высокие половодья происходят чаще всего за весь период наблюдений за факторами стока. Выше уровня 5,5 м над нулём поста вода поднимается в 1963, 1967 и 1970 гг. (для 1963 г. характеристика факторов неполна). При сравнении факторов стока половодья двух лет более благоприятной их формированию представляется ситуация 1967 г: обильные осадки осенью, холодная снежная зима, тёплая весна с очень большим количеством осадков и, закономерный результат – подъём воды на 5,56 м выше нуля поста. Метеоусловия 1970 г. в некоторых факторах менее благоприятны для высокого половодья количество осадков во все сезоны заметно меньше. Вместе с тем уровень половодья по сравнению с 1967 г. оказался выше почти на 0,40 м. Причиной послужило, вероятно, большее промерзание и позднее оттаивание почвы, которое ограничивало поступление талой воды в подземный сток.

В 1970-х и 1980-х гг. экстремально высоких половодий не было. Значительные весенние подъёмы воды возвращаются в 90-х гг. XX века. Хотя экстремально высокие уровни не были достигнуты, внимания заслуживают 1994 и 1999 гг. с обширным затоплением поймы. Оба случая происходят в период большого среднегодового количества осадков, так что увлажнённость ландшафтов была выше, чем в предыдущие десятилетия. Для обоих лет характерна близкая и очень большая средняя мощность снежного покрова, а также значительное (но не выдающееся) количество осадков зимой и весной. Вместе с тем, высота половодья различается на 0,38 м, причём меньшая высота приходится на год с обильными весенними осадками (1999 г.). Наиболее вероятная причина различий – более высокая скорость снеготаяния в 1994 г., которая обеспечила сравнительно более быстрый подъём уровня воды.

Таблица 1. Характеристика метеорологических и климатических факторов высоких половодий в бассейне средней Десны.
Table 1. Characteristics of meteorological and climatic factors of high floods in the middle Desna basin.

Показатель	Год						Средние многолетние значения (1966-2022)
	1967	1970	1994	1999	2013	2022	
Максимальная высота половодья над нулём гидропоста, м	5,56	5,94	5,37	5,01	5,35	5,29	3,58
Среднегодовая температура, ˚С	5,4	5,4	5,5	7,1	7,1	7	6,1
Средняя температура осени, ˚С	5,8	6,0	1,7	3,5	7,8	6,1	5,8
Средняя температура зимы, ˚С	-10,6	-8,8	-5,2	-5,6	-6,5	-3,6	-5,9
Средняя температура весны, ˚С	7,6	5,8	5,5	6,7	6,9	5,5	6,7
Мощность снежного покрова перед снеготаянием, см	31,9	26,8	29,1	32,0	29,8	24,8	18,7
Скорость снеготаяния см/сутки	1,3	1,6	2,6	2,4	2,0	1,1	1,8
Количество осадков осенью, мм	213	142	130	246	143	229	166,7
Количество осадков зимой, мм	140	154	184	162	167	159	133,2
Количество осадков весной, мм	194	171	172	181	168	283	141,6

Условия половодья 2022 и 2023 гг. можно считать показательными (последний год не обеспечен данными). Высокому половодью способствовали: избыточное увлажнение осенью, прохладная весна с медленным спадом половодья и дождевой паводок. Причём, общее количество осадков осенью и весной значительно больше средних многолетних значений.

Выводы

1. Случаи экстремальных и близких им половодий распределены в ряду лет весьма неравномерно. Чаще всего весенние подъёмы воды были очень высокими в начале XX века (1908 г.); конце 20-х – начале 30-х гг. XX века (1926, 1930, 1931); 60-х гг. XX века (1963, 1967, 1970 гг.); 90-х гг. XX века (1994 и 1999 гг.) и начале 2-го десятилетия XXI века (2022 и 2023 гг.). За границами отмеченных периодов высокие половодья встречаются редко.

2. Высокие половодья приходятся на разные фазы короткопериодических колебаний климата: начало XX века – прохладно и влажно; конец 20-х гг. XX века – холодно и сухо; 2-я половина XX и начало XXI века – умеренно тепло и влажно. Характер распределения экстремальных половодий показывает, что направление изменений климата не является достаточным основанием для прогнозов изменения их частоты.

3. Годы с высокими половодьями в последние десятилетия отличаются обильными осадками зимой и, особенно, весной, в то же время распределение температур мало влияет на высоту половодья. Типичная ситуация, которая приводит к экстремально высоким подъёмам воды – снежная прохладная зима и обильные осадки весной, т.е. сочетание половодья с дождевым паводком. В одних случаях (1999 г.) существенно влияние обильных осенних осадков; в других – скорость снеготаяния. Статистическая связь высоты половодья с отдельными характеристиками погоды – слабая или отсутствует. Такое соотношение факторов сильно ограничивает ценность эмпирических прогнозов высоких половодий.

4. На формирование экстремальных половодий влияют метеорологические условия предыдущих лет. Удалённое во времени влияние обусловлено колебаниями подземного стока, объём которого косвенно оценивается через колебания уровней и напоров грунтовых вод. Пополнение «запаздывает» на несколько месяцев (в зависимости от глубины залегания) относительно колебаний увлажнения

водосборной территории. В годы с малым количеством осадков и большим испарением уровень и, соответственно ему, напор грунтовой воды снижается и подземный сток в реки уменьшается; в противоположные по метеорологическим условиям годы подземный сток в реки увеличивается. Колебания уровней близких от поверхности аллювиальных горизонтов, кроме того, ограничивают фильтрацию за счёт насыщения верхних слоёв грунта водой.

5. Разные варианты сочетания метеорологических и климатических условий, которые приводят к экстремальным половодьям, обосновывают необходимость разработки прогноза на основе нескольких сценариев, с учётом особенностей гидротермического режима водосборной в предыдущие годы и циркуляции атмосферы перед и во время снеготаяния.

Литература

Смирнова Е.А., Лобанов Г.В., Бастраков Г.В. Влияние прочностных характеристик грунтов на интенсивность русловых деформаций в среднем течении р. Десны // Геоморфология. 2009. № 2. С. 75–83.

Оппоков Е.В. Режим речного стока в бассейне верхнего Днепра (до гор. Киева) и его составных частях в период 1876-1901 г., а частью и в более отдаленное время, в связи с колебаниями атмосферных осадков и температуры в бассейне и с местными условиями стока. ч2. СПб: 1914. 240 с.

Frey S.K., Miller K., Khader O. et al. Evaluating landscape influences on hydrologic behavior with a fully-integrated groundwater – surface water model // Journal of Hydrology. 2021. №602. С. 1–15. doi: 10.1016/j.jhydrol.2021.126758.

Yu X., Moraetis D., Nikolaidis N, et al. A coupled surface-subsurface hydrologic model to assess groundwater flood risk spatially and temporally // Environmental Modelling & Software. 2019. №114. P. 129–139. doi:10.1016/j.envsoft.2019.01.008.

Foster S.S.D. Groundwater storage-riverflow relations in a chalk catchment // Journal of Hydrology. 1974. 23(3–4). P. 299-311. doi:10.1016/0022-1694(74)90010-9.

Ресурсы поверхностных вод СССР. том 6. Украина и Молдавия. выпуск 2. Среднее и нижнее Поднепровье / Под ред. М.С. Каганера. Л: Гидрометеорологическое издательство, 1971. 656 с.

Лобанов Г.В., Жохов М.В. Морфологическое разнообразие верхнего течения реки Десна //

References

Smirnova E.A., Lobanov G.V., Bastrakov G.V. Vliyanie prochnostny`x xarakteristik gruntov na intensivnost` ruslovy`x deformacij v srednem techenii r. Desny` [The influence of the strength characteristics of soils on the intensity of channel deformations in the middle reaches of the Desna River]. *Geomorfologiya [Geomorphology]*, 2009, vol. 2, pp. 75–83. (in Russian).

Oppokov E.V. Rezhim rechnogo stoka v bassejne verxnego Dnepra (do gor. Kieva) i ego sostavny`x chastyax v period 1876-1901 g., a chast`yu i v bolee otdalennoe vremya, v svyazi s kolebaniyami atmosferny`x osadkov i temperatury` v bassejne i s mestny`mi usloviyami stoka.ch2. [River flow regime in the upper Dnieper basin (up to the city of Kiev) and its constituent parts in the period 1876-1901, and partly in more distant times, due to fluctuations in precipitation and temperature in the basin and local flow conditions], St. Petersburg, 1914, 240 p. (in Russian).

Frey S.K., Miller K., Khader O. et al Evaluating landscape influences on hydrologic behavior with a fully-integrated groundwater – surface water model. *Journ. of Hydrology*, 2021, №602, pp. 1–15. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.126758.

Yu X., Moraetis D., Nikolaidis N, et al A coupled surface-subsurface hydrologic model to assess groundwater flood risk spatially and temporally. *Environmental Modelling & Software,* 2019, №114. pp. 129–139. DOI:10.1016/j.envsoft.2019.01.008.

Foster S.S.D. Groundwater storage-riverflow relations in a chalk catchment. *Journal of Hydrology*, 1974, 23(3–4), pp.299–311 DOI:10.1016/0022-1694(74)90010-9.

Региональные геосистемы. 2022. №1 (46). С. 81–93.

Лобанов Г.В., Полякова А.В., Зверева А. Ю. и др. Факторы стока рек верхнего Поднепровья: географические закономерности и многолетние изменения // Экологические аспекты эрозионных и русловых процессов: Межвузовский сборник. 2016. С. 100–103.

Хитрово В.Н. Природа Орловского края. Орёл: Труд, 1925. 576 с.

Resursy` poverxnostny`x vod SSSR. tom 6. Ukraina i Moldaviya. vy`pusk 2. Srednee i nizhnee Podneprov`e [Surface water resources of the USSR. volume 6. Ukraine and Moldova. issue 2. Middle and lower Dnieper region]. In M.S. Kaganera ed.., L: Hydrometeorological Publishing House, 1971, 656 p. (in Russian).

Lobanov G.V., Zhoxov M.V. Morfologicheskoe raznoobrazie verxnego techeniya reki Desna [Morphological diversity of the upper reaches of the Desna River]. *Regional`ny`e geosistemy [Regional geosystems],* 2022, vol. 1 (46), pp 81–93. (in Russian)

Lobanov G.V., Polyakova A.V., Zvereva A. Yu. i dr. Faktory` stoka rek verxnego Podneprov`ya: geograficheskie zakonomernosti i mnogoletnie izmeneniya [Factors of river flow in the upper Dnieper region: geographical patterns and long-term changes]. *E`kologicheskie aspekty` e`rozionny`x i ruslovy`x processov: Mezhvuzovskij sbornik [Ecological aspects of erosion and riverbed processes: Interuniversity collection]*, 2016, pp 100–103. (in Russian).

Xitrovo V.N. *Priroda Orlovskogo kraya [Nature of the Oryol region]*, Oryol: Trud, 1925, 576 p. (in Russian).

УДК: 551.89; 551.435.11 DOI: 10.34753/HS.2023.5.2.147

ДИНАМИКА ВРЕЗАНИЯ И АККУМУЛЯЦИИ В РЕЧНЫХ ДОЛИНАХ БАССЕЙНА ВОЛГИ В ПОЗДНЕВАЛДАЙСКУЮ ЭПОХУ

В.Ю. Украинцев[1,2], А.Л. Захаров[2]
[1]Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия; [2]Институт географии РАН, г. Москва, Россия

celerymors@gmail.com

Аннотация. Большие палеорусла – сохранившиеся в рельефе речных пойм древние речные русла, размеры которых значительно превышают размеры современных русел тех же рек. Их параметры и морфология указывают на то, что они формировались при увеличенном речном стоке. Большие палеорусла бассейна Волги могли играть ключевую роль в динамике береговой линии Каспийского моря. Произведено бурение и изучение строения больших палеорусел в разных частях бассейна Волги. Русловую фацию аллювия больших палеорусел подстилают мощные пачки отложений, заполняющих глубокие врезы. Датирование этих отложений показало, что в средневалдайскую эпоху реки были врезаны на значительную глубину, а в её конце и в первую половину поздневалдайского времени в речных долинах происходило заполнение этих врезов. По данным геодезической съёмки установлены отметки высоты кровли современного и поздневалдайского руслового аллювия. Хотя в течение эпохи формирования больших палеорусел реки бассейна должны были испытывать врезание вследствие роста стока воды, часто кровля руслового аллювия больших палеорусел расположена выше кровли современного руслового аллювия, формирующегося при более низком речном стоке. Это объясняется тем, что современные реки унаследовали профили дна долин от поздневалдайских; по окончании эпохи

DYNAMICS OF DOWNCUTTING AND ACCUMULATION IN RIVER VALLEYS OF THE VOLGA BASIN DURING THE LATE PLENIGLACIAL

Vadim Yu. Ukraintsev[1,2], Andrei L. Zakharov[2]
[1]Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;
[2]Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
celerymors@gmail.com

Abstract. Large paleochannels are ancient river channels preserved in the landscape of river floodplains, the dimensions of which significantly exceed the proportions of modern channels of the same rivers. Their parameters and morphology indicate that they were formed during periods of heightened water runoff. The large paleochannels of the Volga basin may have significant implications for the dynamics of the Caspian shoreline in past. This paper presents results of the drilling, dating, and study of the large paleochannels in different parts within the Volga basin. The channel alluvium of large paleochannels is underlain by thick units of sediments filling deep incisions. Dating of these deposits showed that in the Middle Weichselian time, river valleys were deep-incisioned, and at the end of this epoch and in the first half of the Late Weichselian time, these deep incisions were filled. According to geodetic survey data, the true altitude of modern and ancient alluvium tops was established. Although during the formation of large paleochannels, the rivers of the Volga basin must have incised due to increased runoff, often the top of the channel alluvium of large paleochannels is located above the top of the modern channel alluvium, which formed at the lower runoff volume. This is explained by the fact that modern rivers inherited the grade lines from the late Weichselian ones; at the end of the epoch with high fluvial activity, only a part of the rivers adapted their grade to decreased runoff.

Украинцев В.Ю., Захаров А.Л. Динамика врезания и аккумуляции в речных долинах бассейна Волги в поздневалдайскую эпоху // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2023. Т. 5. Вып. 2. С. 147–159. DOI: 10.34753/HS.2023.5.2.147.

обильного стока лишь у части рек произошла адаптация продольных профилей к уменьшившимся величинам стока.

Ключевые слова: ранний дриас; пленигляциал; последняя ледниковая эпоха; большие палеорусла; макроизлучины.

Keywords: Oldest Dryas; Pleniglacial; Late Glacial Period; large paleochannel; macromeander.

Введение

Современные палеогеографические данные дают основания утверждать, что в поздневалдайскую эпоху сток многих рек, в частности Волги, был гораздо выше современного [Sidorchuk, Panin, Borisova, 2009]. Существуют противоречащие друг другу представления о роли изменений климата и подпитки талыми ледниковыми водами в изменениях стока реки в это время [Панин, Сидорчук, 2006; Vandenberghe, Sidorchuk, 2020], хотя в последнее время консенсус сводится к ландшафтно-климатическому решению этой проблемы (см. [Панин, Сидорчук, Украинцев, 2021]). Другим феноменом являются большие палеорусла, встречающиеся на поймах рек южной половины Восточно-Европейской равнины, в том числе в бассейне Волги [Панин, Сидорчук, Чернов, 1992; Sidorchuk, Panin, Borisova, 2009]. Причины их формирования в различных районах Восточно-Европейской равнины исследованы в разных аспектах — геологическом, климатическом, геоморфологическом. Однако опубликованные работы относятся в основном к западной части равнины (с единичными свидетельствами из восточной); на большую часть бассейна Волги эти результаты переносятся априори за неимением данных по этой территории [Панин, Сидорчук, 2006]. Имеется ряд крупных работ по изучению речных долин западной и центральной Европы [Pastre et al., 2003; Gębica et al., 2022 и др.], затрагивающих и проблему больших палеорусел. В целом большинство исследований речных долин посвящено геолого-геоморфологическим вопросам. Между тем, упомянутые аспекты тесно между собой связаны: гидрологические изменения отражались в развитии речных долин – их углублении или заполнении, а также в динамике и морфометрии речных русел, следы которых остались в рельефе дна речных долин [Сидорчук, Панин, Борисова, 2008]. Это показывает, что проблему больших палеорусел, их возраста и динамики развития следует изучать в комплексе геолого-геоморфологических и палеогидрологических аспектов. Кроме того, водосборная площадь Волги является крупнейшим речным бассейном Восточно-Европейской равнины, а также главным поставщиком воды и наносов для Каспийского моря, динамика береговой линии которого в позднем плейстоцене и голоцене была сильно выражена [Kurbanov et al., 2021]. В связи с этим намечаются два направления, по которым возможно продвижение в познании проблематики больших палеорусел — палеогидрологические реконструкции по их геометрическим параметрам (см. [Сидорчук, Украинцев, Панин, 2021]) и получение новых данных по ним в неизученных частях бассейна. Последнее направление включает в себя поиск неисследованных ранее следов больших палеорусел (см. [Украинцев, 2022]), датирование русловой фации аллювия больших палеорусел для установления возраста их формирования в разных частях бассейна Волги (см. [Gelfan et al., 2024; Украинцев и др., 2024]) и оценку направленности вертикальных русловых деформаций древних рек. Для получения дат необходимо производить бурение больших палеорусел, для получения величины вреза/аккумуляции – геодезическую съёмку.

Остатки больших извилистых палеорусел являются типичной формой флювиального рельефа в современных речных долинах по всему земному шару, в особенности в умеренном поясе северного полушария. Их называют большими палеоруслами, поскольку они крупнее аналогичных форм рельефа современной реки. Большие палеорусла часто хорошо выражены в рельефе и пространственном облике ландшафта (например, урочищами с очертаниями русла и

Ukraintsev V.Yu., Zakharov A.L. Dynamics of downcutting and accumulation in river valleys of the Volga basin during the Late Pleniglacial. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2023, vol. 5, iss. 2, pp. 147–159. (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2023.5.2.147.

развитой влаголюбивой растительностью), отчётливо видны на аэро- и космоснимках или цифровых моделях рельефа. Это могут быть крупные старицы и серии грив, меандровые цирки; в ряде случаев большие палеорусла участками унаследованы современной рекой, однако шаг излучин которой на этих участках не соответствует среднестатистическому [Vandenberghe, Sidorchuk, 2020]. Большие палеорусла расположены на пойме реки, обычно за пределами современного пояса меандрирования, редко — на первой надпойменной террасе. Размер больших палеорусел и их расположение явно указывают на то, что они формировались не при современных гидрологических условиях, в то время как морфологическая выраженность указывает на их относительно молодой геологический возраст.

Бассейн Волги занимает южную половину Восточно-Европейской равнины. Почти вся территория бассейна расположена на Восточно-Европейском кратоне с относительно спокойной неотектонической обстановкой. Весь бассейн относится к умеренному климатическому поясу. Для большей части бассейна Волги характерен положительный коэффициент увлажнения. В бассейне Волги преобладает снеговое питание рек. Основная часть стока происходит весной, дата половодья смещается с ранней весны до поздней в направлении с юга на север [Чалов, Чернов, 1994].

В LGM (максимум последнего оледенения) бассейн Волги в основном находился в перигляциальной зоне. Средняя температура составляла около -6°C, климат был холодным и сухим, вся территория была зоной многолетней мерзлоты, либо непосредственно оледенения. Максимальной площади (до Рыбинского водохранилища) оледенение достигло примерно 20 тыс. лет назад (л.н.) [Rinterknecht et al., 2018]. В то же время на юге бассейна Волги прогрессировал раннехвалынский бассейн (первая стадия), затопляя территории дельтовой области Волги [Курбанов и др., 2023]. Вторая стадия трансгрессии начинается около 17 тыс. л.н., высота уровня раннехвалынского бассейна достигала +20 − +22 м [Kurbanov et al., 2021] и, возможно, даже больших высот. Около 16,5 тыс. лет назад покровное оледенение окончательно покидает территорию бассейна Волги [Astakhov et al., 2016; Hughes et al., 2016]. С окончанием пленигляциала климат стал контрастным, однако поначалу всё ещё довольно прохладным. Серьёзное потепление наступило только в бёллинг-аллерёдский интерстадиал. В это время интенсивно тает многолетняя мерзлота, а среднегодовые температуры достигают +1 − +2°C. В позднем дриасе происходит серьёзное похолодание; в то же время развивается енотаевская регрессия [Макшаев, Ткач, 2023]. В период времени с 17 до 14,5 тыс. л.н., согласно [Украинцев и др., 2024], происходило формирование больших палеорусел на территории Восточно-Европейской равнины и, следовательно, длилась эпоха обильного речного стока.

Методы

Методика исследования включала в себя полевые, лабораторные и дистанционные методы. Полевые методы включали в себя бурение и геодезическую съёмку. Точки бурения палеорусел выбирались заранее с использованием космоснимков. Само бурение осуществлялось буровой установкой «Pride Mount 80» на шасси УАЗ 3303 усовершенствованным шнековым способом. Производился отбор анализов на радиоуглеродное датирование. Помимо бурения производились также геодезические работы для определения превышения высот скважин над высотами реки и дальнейшего расчёта направленности вертикальных русловых деформаций. Использовался GNSS-приёмник EFT M4 в режиме RTK (real time kinematic) с точностью определения абсолютной высоты и координат до сантиметров [Елагин и др., 2020]. Уровень реки измерялся в позднеосеннюю или летнюю межень на ближайшем к скважине участке реки, либо выявлялся методом интерполяции при измерении высоты выше и ниже по течению. Лабораторные методы представлены датированием отобранных образцов, которое производилось в лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана СПбГУ, а также в центре прикладных изотопных исследований Университета Джорджии (AMS-датирование; пробоподготовка

– в лаборатории радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии Института географии РАН). Калибровка возраста производилась в среде OxCal 4.4 Online [Ramsey, 2009] по калибровочной кривой IntCal20, выбиралось медианное значение возраста со стандартным отклонением [Reimer et al., 2020]. Расчленение разрезов осуществлялось с учётом представлений об ожидаемой последовательности фаций в палеорусле [Шанцер, 1951]: пойменная (как правило, суглинистая, маломощная, только в заполненных палеоруслах), старичная (гиттия, торф, суглинок), затем русловая (песок, гравий в зависимости от размерности современного аллювия реки). Пользуясь принципом актуализма, можно утверждать, что в поздневалдайскую эпоху схема формирования фаций аллювия в палеоруслах не менялась.

Дистанционные методы включали в себя получение некоторых геометрических параметров больших палеорусел и их водосборных бассейнов. Это помогло осуществить оценку врезания/аккумуляции древних рек, сформировавших больших палеорусла. Были взяты абсолютные высоты устий скважин и высоты зеркала современной реки в непосредственной близости к палеоруслу, полученные геодезической съёмкой. Затем, используя эмпирические зависимости Р. А. Нежиховского [Нежиховский, 1971] по отношению площади бассейна реки и ширины её русла в межень к его максимальной глубине (для однорукавных русел Восточно-Европейской равнины) определялась глубина реки и, соответственно, кровля русловой фации современного аллювия. Значения средней ширины современной реки, площади её бассейна и величины расходов воды (среднемаксимальные и среднегодовые) были выявлены во время реконструкции палеостока (см. методику в [Сидорчук, Украинцев, Панин, 2021]). На колонках скважин отмечалась кровля русловой фации аллювия палеорусла, а затем – зеркало русла и кровля современного руслового аллювия. По разнице высоты кровли руслового аллювия палеорусла и высоты дна современного русла (глубине реки) определялась величина среза. Различия в высотах плюс-минус 1 метр находятся заведомо в пределах точности метода и поэтому трактуются как стабильное положение русла. Увеличение расходов воды сопровождается врезанием реки [Маккавеев, 1955], поэтому мы использовали среднемаксимальные и среднегодовые расходы воды древних и современных рек чтобы сравнить их с направленностью вертикальных русловых деформаций. Данные о расходах воды современных рек были получены из справочника «Основные гидрологические характеристики рек бассейна Волги» в трёх томах [Основные гидрологические…, 2015а; б; в].

Результаты и их обсуждение

Согласно полученным данным (подробно представлены в статье [Gelfan et al., 2024]), русловую фацию больших палеорусел часто подстилают довольно мощные пачки древнего аллювия, имеющего возраст от 45 и до 19 тыс. л.н., а также (в некоторых случаях) морские и озёрные отложения. Поскольку большинство дат имеют пограничные для радиоуглеродного метода значения (более 35 тыс. лет назад), начало и временной интервал формирования этого аллювия нам неизвестны.

Что касается оценки направленности вертикальных русловых деформаций поздневалдайских больших палеорусел, то наши результаты показали, что кровля русловой фации, по которой производилась оценка, находится систематически выше в древних руслах, а не в современных (меньших по размеру), несмотря на увеличенные показатели реконструированных среднемаксимальных и среднегодовых расходов воды (таблица 1). Исключение составили лишь реки предгорной и самой южной части бассейна, а также данные по отдельным скважинам.

При увеличении расходов воды в реках происходит адаптация формы продольного профиля к новым условиям и реки врезаются, особенно глубоко в среднем течении (Маккавеев, 1955). Повышенные расходы воды при формировании больших палеорусел должны были вызвать врезание рек. Полученный результат, что в большинстве случаев дно палеорусел находится выше дна современных русел, на первый взгляд, противоречит этому положению: при поверхностном рассмотрении этот факт можно трактовать как признак врезания

Таблица 1. Сопоставление величин вреза и расходов воды у древних рек и их преемников.
Table 1. Comparison of incision and discharge values of ancient rivers and their successors.

Река (местоположение), число скважин, по которым проводились высотные определения	**Разница высот дна современных и древних русел (м)**	**Расходы воды, м^3/с**			
		среднемаксимальные		**среднегодовые**	
		современные	**древние**	**современные**	**древние**
Дубна (Минино), 8	-0,5÷+3,3		-		-
Которосль (Бакланово), 1	0		-		-
Унжа (Мантурово), 1	-1,8	1150	8080	140	325
Мокша (Пителино), 16	0÷-3,8	-		-	
Тёша (Красный Бор), 2	-1,2÷-1,6		-		-
Ветлуга (Ветлужский), 1	-4	-		-	
Пьяна (Тарталей), 2	-1,5÷-1,8	505	2470	29	70
Сура (Шумерля), 2	-3,2÷-7	2130	5790	210	435
Свияга (Свияжский), 2	-2,5÷-2,8	300	1050	20	40
Кама (Афанасьево), 1	-2,5	-	-	-	-
Лолог (Коса), 3	0÷-2,4	-	-	-	-
Язьва (Нижняя Язьва), 2	-6÷-8,5	850	3510	95	95
Ашкадар (Стерлитамак), 2	+1÷+2,1	-	-	-	-
Инзер (Ирныкши), 2	0÷-1,1	-	-	-	-
Уршак (Стуколкино), 1	-4,8		-		-
Танып (Тангатарово), 2	+0,3÷+0,6	-		-	
Дёма (ср.–ниж. теч.), 10	-1,2÷+1,7	490	3410	60	140
Ик (Тюково), 3	0÷+2,5	-		-	
Иж (Агрыз), 2	-0,7÷+0,2	-		-	
Кильмезь (Малые Сюмси), 1	+1,9		-		-
Шешма (Горшково), 2	-1,2÷+2,4	-		-	
Мёша (Нармонка), 1	-0,2	500	1670	17	40
Большой Черемшан (Бригадировка), 2	-3,7÷-7,8	520	2190	30	80
Кондурча (Коммунарский), 2	-4,6÷-4,8	270	1180	20	30
Сок (Красный Яр), 5	-0,2÷-2,5	-		-	
Самара (ср.–ниж. теч.), 8	-0,6÷-5,2	-		-	
Ток (Яблоневый), 4	-2,4÷-3,2	295	1770	15	50
Бузулук (Перевозинка), 5	-1,9÷-3,8	250	1355	7	35
Бол. Кинель (Тургеневка), 6	-2,8÷-7	-		-	
Камелик (Муравли), 4	-9,6÷+0,7	-		-	
Большой Иргиз (Малоперекопное), 1	-6	585	1945	20	95
Терешка (Студеновка), 2	+1	335	1125	20	40
Еруслан (Полтавка), 2	+2,5÷+6,8	135	350	-	10
М. Узень (Малый Узень), 1	+1,2	-	-	-	-
Б. Узень (Крепость Узень), 3	+1÷-1,5	-	-	-	-
Б. Узень (Старухин), 1	+1,5	-	-	-	-

Примечание: красный цвет означает более низкое положение дна больших палеорусел по сравнению с современным руслом (после окончания формирования этих палеорусел в реке происходила направленная аккумуляция); зелёный цвет – наоборот, дно больших палеорусел расположено выше дна современных, после их формирования происходило врезание, оранжевый — нет разницы; «-» — нет данных.

рек уже после эпохи обильного стока и формирования больших палеорусел. Однако это не так. Наиболее чётко это видно на примере унаследованных макроизлучин, которые не были спрямлены современным руслом.

При формировании унаследованных макроизлучин Большого Иргиза происходило врезание реки, на которое указывают как лестницы террас в шпоре изгиба, так и последовательное понижение кровли руслового аллювия от основания к вершине макроизлучины (рисунок 1, скв. 1066−1068). Современное русло наследует этот изгиб и уровни поймы, а голоценовые староречья не обнаруживают признаков направленного врезания или аккумуляции, т.е. современное русло наследует то вертикальное положение, которые было задано углублением большого палеорусла в конце эпохи обильного стока. Дно макроизлучины-староречья в тыловой части поймы (скв. 1065) находится выше дна современного русла, поскольку староречье древнее унаследованных макроизлучин и в ходе его формирования врезание реки только началось или продолжалось, но было ещё далеко от завершения. Развитие серии врезанных макроизлучин в верхнем течении Волги в районе г. Ржева, судя по ОСЛ-датам аллювия из лестницы террас одной из них, происходило в позднеледниковье с 16−17 до 11,5 тыс. л.н., когда река врезалась и одновременно размывала берега с увеличением стрелы прогиба излучин (Panin et al., 2018). После этого как врезание, так и искривление макроизлучин прекратилось. Продолжение врезания вплоть до начала голоцена объясняется местными факторами – откликом реки на гляциоизостатическую адаптацию земной коры (поднятие приледникового прогиба).

Данные по долинам, где были пробурены большие серии скважин, также указывают на врезание рек в ходе эпохи обильного стока: положение дна разных макроизлучин может изменяться в достаточно широких пределах выше и ниже современных русел. Например, в долине р. Мокши, Дубны часть больших палеорусел находится на уровне современного русла (рисунок 1, скв. 20949), но другие – ниже его уровня (скв. 20950). Первые формировались в начале эпохи обильного стока, когда врезание только началось, вторые – в конце, когда врезание закончилось. Река врезалась глубже современной и при уменьшении стока произошло выравнивание продольного профиля путём небольшой аккумуляции (скв. 20951). В долинах Сока, Самары, Бузулука и других рек у части пробуренных макроизлучин дно находится на 3–5 м выше, у других – на уровне дна современных русел, что можно интерпретировать как постепенное углубление (врезание) рек в течение эпохи обильного стока. Последовательное углубление наглядно иллюстрируется сопоставлением положения дна палеорусла в макроизлучинах разных возрастных генераций, выделяемых по их взаимным соотношениям (одна подрезает другую), например, скважины 1042 и 1041 в долине Самары, 1052 и 1053 в долине Сока. Дно самых низких макроизлучин в обеих этих долинах находится на уровне или ниже дна современного русла, что говорит об отсутствии аккумуляции после падения стока, т.е. адаптации продольного профиля к новым, пониженным величинам стока не происходило, современная река (точнее, дно долины) унаследовала продольный профиль, сформированный в эпоху обильного стока. В бассейнах других рек Восточно-Европейской равнины – Дона, Днепра – древний врез эпохи обильного стока был значительно больше, чем в бассейне Волги – до 7–8 м ниже современных русел (Панин, Матлахова, 2013; Starkel et al., 2015; Panin et al., 2017; Матлахова и др., 2019). Это может быть связано с более благоприятными условиями для адаптации продольных профилей рек к изменяющимся расходам воды – врезом в слабоустойчивые аллювиальные отложения, отсутствием влияния базиса эрозии (в бассейне Волги серьёзное влияние на это имели трансгрессии и регрессии Каспия). В предгорной части бассейна Камы в долинах отсутствуют переуглубления, и реки вынуждены врезаться в устойчивые к размыву коренные породы. В бассейне нижней Волги врезание сдерживалось высоким уровнем Каспия, поскольку именно в эпоху обильного стока в бассейне Волги происходила раннехвалынская трансгрессия; водами этого обильного речного стока и заполнялся в значительно степени хвалынский Каспий (Sidorchuk et al., 2009; Панин, Сидорчук,

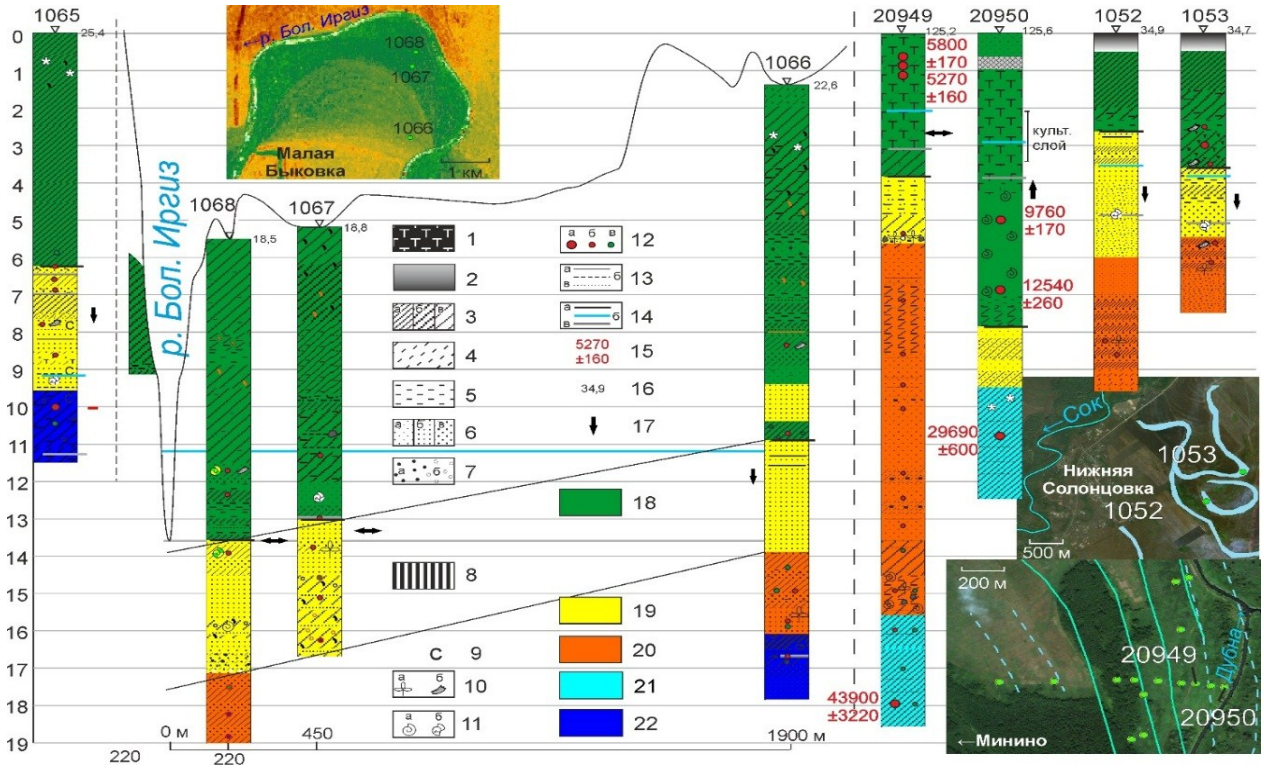


Рисунок 1. Свидетельства врезания поздневалдайских рек на примере профиля через шпору унаследованной макроизлучины в сравнении со строением старицы-макроизлучины в тыловой части террасы (р. Большой Иргиз), а также на примере строения подрезаемых и подрезающих стариц-макроизлучин рек Дубна и Сок. 1 – торф, оторфованность; 2 – почва, органо-минеральный грунт; 3 – суглинок (а – тяжёлый, б – средний, в – лёгкий); 4 – оглиненность; 5 – алеврит, алевритистость; 6 – песок (а – тонкий, б – мелкий-средний, в – крупный-грубый), опесчаненность; 7 – гравий (а – обломки соотв. цвета, б – глинистый); 8 – глины; 9 – дополнительное обозначение для слоистости; 10 – органика (а – растительная, б – древесная, в – уголь), 11 – ракуша (а – цельная, б – обломки; результаты малакофаунистического анализа: зелёный цвет – застойные условия; жёлтый – проточные); 12 – образцы на датирование (радиоуглеродное: а – общее сцинтиляционное, б – AMS; в – ОСЛ); 13 – прослои (а – суглинка, б – алеврита, в – песка); 14 – уровни (а – кровля русловой фации больших палеорусел, б – меженный уровень современной реки, в – дно современного русла); 15 – даты; 16 – абсолютная высота скважины, м; 17 – направленность вертикальных русловых деформаций после формирования больших палеорусел (стрелка вверх – аккумуляция, стрелка вниз – врезание, горизонтальная стрелка – стабильное положение); генезис отложений: аллювий: 18 – фация заиления, пойменные, 19 – русловая фация, 20 – древний (МИС 2/МИС 3 и старше); 21 – озёрные, 22 – морские.

Figure 1. Evidence of incision of Late Weichselian rivers: profile through the spur of an inherited macromeander (boreholes 1066−1068) in comparison with the structure of a large oxbow in the rear part of the river terrace (BH 1065; Bolshoy Irgiz River); structure of the younger and older macromeanders of the Dubna (BH 20949, 20950) and Sok (BH 1052, 1053) rivers. 1 – peat, peaty material; 2 – soil, organo-mineral material; 3 – loam (a – heavy, b – medium, c – light); 4 – loamy material; 5 – silt, silty material; 6 – sand (a – very fine, b – fine-medium, c – coarse-very coarse), sandy material; 7 – gravel (a – fragments with the corresponding color, b – clayey); 8 – clay; 9 – additional designation for layering; 10 – organic (a – vegetable, b – wood, c – coal), 11 – shell (a – whole, b – fragments; results of malacofaunal analysis: green color – stagnant conditions; yellow – flow-through); 12 – samples for dating (radiocarbon: a – beta counting, b – AMS; c – OSL); 13 – interlayers (a – loam, b – silt, c – sand); 14 – surfaces (a – top of the channel alluvium in the large paleochannels, b – river, c – top of the modern channel alluvium); 15 – dates; 16 – height of the borehole, m a.s.l., 17 – direction of vertical channel deformations; sediments: alluvium: 18 – paleochannel filling, 19 – channel alluvium, 20 – ancient (MIS 3 or older); 21 – lacustrine, 22 – marine.

Украинцев, 2021; Сидорчук, Украинцев, Панин, 2021). Кроме того, можно предполагать, что врезанию ряда рек бассейна препятствовал высокий твёрдый сток. В пользу этой гипотезы говорит обилие эоловых форм рельефа в днищах речных долин и на междуречьях (р. Сура, Мокша, Еруслан и т.д.), а также сведения о высокой эоловой активности в пленигляциале (Спасская, 2009). О высоком твёрдом стоке также говорит обвалованность некоторых русел (р. Которосль, Бол. Узень).

По буровым колонкам русловую фацию больших палеорусел подстилают иногда довольно мощные пачки древнего аллювия, имеющего возраст от 36 и ранее до 19 тыс. лет назад. Такая мощность аллювия с возрастом МИС3 (морская изотопная стадия) − первая половина МИС2 говорит о том, что он выполняет более древние врезы рек, гораздо более глубокие, чем последующие поздневалдайские. Из-за возрастов, соседствующих с границей применения радиоуглеродного метода, мы не можем судить даже о дате начала заполнения, и тем более о дате этого врезания. В литературе есть сведения о врезании европейских рек 50−40 тыс. л.н. (Cserkész-Nagy, Sztanó, 2016). В южной половине бассейна врез был более существенным (9−15 и более метров ниже уровня современной поймы — у рек Мокша, Сок, Бузулук), в то время как у северных рек он составлял 8−9 м (Ветлуга, Лолог, Язьва, Дубна).

Выводы

В средневалдайскую эпоху в равнинной внеледниковой части бассейна Волги реки были врезаны на значительную глубину. Во второй половине МИС 3 и первой половине МИС 2, до 18−19 тыс. лет назад, в речных долинах происходило заполнение этих врезов. В течение эпохи формирования больших палеорусел реки бассейна испытывали врезание вследствие роста водного стока. По окончании эпохи обильного стока у части рек произошла адаптация продольных профилей к уменьшившимся величинам стока, другие реки унаследовали профили дна долины от сформированных к концу эпохи обильного стока.

Источники финансирования

Исследование проведено при поддержке Российского научного фонда, проект № 19-17-00215п.

Funding

This study was supported by the Russian Science Foundation, project no. 19-17-00215p.

Литература

Борисова О.К. Ландшафтно-климатические условия в центральной части Восточно-Европейской равнины в последние 22 тысячи лет (реконструкция по палеоботаническим данным) // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 6. С. 664−675. DOI: 10.31857/S0321059621060031.

Елагин А.В., Зайцев М.В., Прохоров Д.А., Шендрик Н.К. Оценка точности определения координат спутниковыми приемниками EFT M3 GNSS и EFT M4 GNSS в режиме RTK // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. 2020. Т. 25. № 3. С. 26−33. DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-3-26-33.

Курбанов Р.Н., Беляев В.Р., Свистунов М.И., Бутузова Е.А., Солодовников Д.А., Таратунина Н.А., Янина Т.А. Новые данные о возрасте раннехвалынской трансгрессии Каспийского

References

Astakhov V., Shkatova V., Zastrozhnov A., Chuyko, M. Glaciomorphological map of the Russian Federation. *Quaternary International*, 2016, vol. 420, pp. 4−14. DOI: 10.1016/j.quaint.2015.09.024.

Borisova O.K. Landscape and Climatic Conditions in the Central East European Plain in the last 22 Thousand Years: Reconstruction based on Paleobotanical Data. *Water Resources*, 2021, vol. 48, pp. 886−896. DOI: 10.1134/S0097807821060038.

Chalov R.S., Chernov A.V. Geologo-geomorfologicheskiye usloviya; Rasprostraneniye tipov rusel [Geological and geomorphological conditions; Distribution of channel types]. In Chalov R.S. (ed.), *Ruslovoy rezhim rek Severnoy Yevrazii (v predelakh byvshego SSSR) [Channel operation of Northern Eurasia rivers (within the former USSR)]*.

моря // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2023. Т. 87. №. 3. С. 403−419. DOI: 10.31857/S2587556623030081.

Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в её бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 355 с.

Макшаев Р.Р., Ткач Н.Т. Хронология хвалынского этапа развития Каспия по данным радиоуглеродного датирования. Геоморфология и палеогеография. 2023. Т. 54. № 1. С. 37−54. DOI: 10.31857/S2949178923010103.

Матлахова Е.Ю., Панин А.В., Беляев В.Р., Борисова О.К. Развитие долины Верхнего Дона в конце позднего плейстоцена // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2019. № 3. С. 83−92.

Нежиховский Р.А. Русловая сеть бассейна и процесс формирования стока воды (Метод. основы и практика прогнозов паводочного стока рек). Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 476 с.

Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги. *Под ред. Георгиевского В.Ю.* Ливны: Издатель Мухаметов Г.В., 2015а. 467 с.

Основные гидрологические характеристики рек бассейна Камы. *Под ред. Георгиевского В.Ю*. Ливны: Издатель Мухаметов Г.В., 2015б. 373 с.

Основные гидрологические характеристики рек бассейна Нижней Волги. *Под ред. Георгиевского В.Ю.* Ливны: Издатель Мухаметов Г.В., 2015в. 228 с.

Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Чернов А.В. Макроизлучины рек ЕТС и проблемы палеогидрологических реконструкций // Водные ресурсы. 1992. Т. 19. № 4. С. 93−96.

Панин А.В., Сидорчук А.Ю. Макроизлучины («большие меандры»): проблемы происхождения и интерпретации // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2006. № 6. С. 14−22.

Панин А.В., Матлахова Е.Ю. Периодические проявления мощного речного стока в центре Русской равнины в валдайскую холодную эпоху // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 370. С. 168−174.

Moscow, Publ. Moscow University Press, 1994, pp. 20−26; 56−65. (in Russian).

Cserkész-Nagy Á., Sztanó O. Millennial-scale climatic fluctuation in the fluvial record during MIS3: Very high-resolution seismic images from NE Hungary. *Geomorphology*, 2016, vol. 274, pp. 116−128. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.09.016.

Elagin A.V., Zaytsev M.V., Prokhorov D.A., Shendrik N.K. Otsenka tochnosti opredeleniya koordinat sputnikovymi priyemnikami EFT M3 GNSS i EFT M4 GNSS v rezhime RTK [Estimation of coordinates accuracy determination by EFT M3 GNSS and EFT M4 GNSS satellite receivers in RTK mode]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologiy [Bulletin of the Siberian State University of Geosystems and Technologies]*. 2020, vol. 25, no. 3, pp. 26−33 (in Russian; abstract in English). DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-3-26-33.

Gębica P., Michno A., Sobucki M., Wacnik A., Superson S. Chronology and dynamics of fluvial style changes in the Younger Dryas and Early Holocene in Central Europe (lower San River, SE Poland). *Science of The Total Environment*, 2022, vol. 830, pp. 154700. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.154700.

Gelfan A., Panin A., Kalugin A., Morozova P., Semenov V., Sidorchuk A., Ukraintsev V., Ushakov K. Hydroclimatic processes as the primary drivers of the Early Khvalynian transgression of the Caspian Sea: new developments // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2024. V. 28. № 1. P. 241−259. DOI: 10.5194/hess-28-241-2024

Hughes A., Gyllencreutz R., Lohne Ø., Mangerud J., Svendsen J. The last Eurasian ice sheets–a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1. *Boreas*, 2016, vol. 45, no. 1, pp. 1−45. DOI: 10.1111/bor.12142.

Kurbanov R., Taratunina N., Murray A.S., Yanina T. First reliable chronology for the Early Khvalynian Caspian Sea transgression in the Lower Volga River valley. *Boreas*, 2021, vol. 50, no. 1, pp. 134−146. DOI: 10.1111/bor.12478.

Kurbanov R.N., Belyaev V.R., Svistunov M.I., Butuzova E.A., Solodovnikov D.A., Taratunina N.A., Yanina T.A. Novyye dannyye o vozraste rannekhvalynskoy transgressii Kaspiyskogo morya [New data on the age of the early Khvalynian

Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Украинцев В.Ю. Вклад талых ледниковых вод в формирование стока Волги в последнюю ледниковую эпоху // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 6. С. 656–663. DOI: 10.31857/S0321059621060146.

Панин А.В., Сорокин А.Н., Бричева С.С., Матасов В.М., Морозов В.В., Смирнов А.Л., Солодков Н.Н., Успенская О.Н. История формирования ландшафтов Заболотского торфяника в контексте инициального заселения Дубнинской низины (бассейн верхней Волги) // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2022. Т. 57. № 2. С. 85−100. DOI: 10.20874/2071-0437-2022-57-2-7.

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. DOI: 10.1134%2FS0097807808040027.

Сидорчук А.Ю., Украинцев В.Ю., Панин А.В. Оценка годового стока Волги в позднеледниковье по данным о размерах палеорусел // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 6. С. 643−655. DOI: 10.31857/S0321059621060171.

Украинцев В.Ю. Следы мощного речного стока в долинах рек бассейна Волги в поздневалдайскую эпоху // Геоморфология. 2022. № 1. С. 26−34. DOI: 10.31857/S0435428122010126.

Украинцев В.Ю., Зазовская Э.П., Захаров А.Л., Максимов Ф.Е., Петров А.Ю. О времени проявления эпохи обильного речного стока в бассейне Волги // Водные ресурсы. 2024 (в печати).

Спасская И.И. Экзогенный морфогенез // Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Под ред. профессора А.А. Величко. М.: ГЕОС, 2009. С. 64−70.

Чалов Р.С., Чернов А.В. Геолого-геоморфологические условия; распространение типов русел // Русловой режим рек Северной Евразии (в пределах бывшего СССР). Под ред. Р. С. Чалова. М.: Издательство Московского университета, 1994. — С. 20−26; 56−65.

transgression of the Caspian Sea]. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya geograficheskaya [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical series],* 2023, vol. 87, no. 3, pp. 403−419 (in Russian; abstract in English). DOI: 10.31857/S2587556623030081.

Makkaveev N.I. *Ruslo reki i eroziya v yeyo basseyne [River bed and erosion in its basin]*. Moscow, Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1955, 355 p. (in Russian).

Makshaev R., Tkach N. Chronology of Khvalynian Stage of the Caspian Sea According to Radiocarbon Dating. *Doklady Earth Sciences*, 2022, vol. 507, suppl, 1, pp. S51−S60. DOI: 10.1134/S1028334X22601341.

Matlakhova E.Yu., Panin A.V., Belyaev V.R., Borisova O.K. Razvitie doliny Verkhnego Dona v kontse pozdnego pleistotsena [The Upper Don river valley evolution in the End of the Late Pleistocene]. *Vestnik Moskovskogo Unviersiteta. Seriya 5. Geografiya [Lomonosov Geography Journal],* 2019, no. 3, pp. 83–92. (in Russian; abstract in English).

Nezhikhovskiy R.A. *Ruslovaya set' basseyna i protsess formirovaniya stoka vody (Metod. osnovy i praktika prognozov pavodochnogo stoka rek) [The channel network of the basin and the formation process of water runoff (Methodological bases and practice for forecasting the rivers flood runoff)]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1971, 476 p. (in Russian).

Osnovnyye gidrologicheskiye kharakteristiki rek basseyna Verkhney Volgi [The main hydrological characteristics of the rivers of the Upper Volga basin]. Ed. Georgievsky V.Y. Livny, 2015a, Publ. Mukhametov G.V., 467 p. (in Russian).

Osnovnyye gidrologicheskiye kharakteristiki rek basseyna Kamy [The main hydrological characteristics of the rivers of the Kama basin]. Ed. Georgievsky V.Y. Livny, 2015b, Publ. Mukhametov G.V., 373 p. (in Russian).

Osnovnyye gidrologicheskiye kharakteristiki rek basseyna Nizhnei Volgi [The main hydrological characteristics of the rivers of the Lower Volga basin]. Ed. Georgievsky V.Y. Livny, 2015v, Publ. Mukhametov G.V., 228 p. (in Russian).

Шанцер Е.В. Аллювий равнинных рек умеренного пояса и его значение для познания закономерностей строения и формирования аллювиальных свит // Тр. ин-та геол. наук АН СССР. 1951. № 135. 274 с.

Astakhov V., Shkatova V., Zastrozhnov A., Chuyko, M. Glaciomorphological map of the Russian Federation // Quaternary International. 2016. V. 420. P. 4−14. DOI: 10.1016/j.quaint.2015.09.024.

Cserkész-Nagy Á., Sztanó O. Millennial-scale climatic fluctuation in the fluvial record during MIS3: Very high-resolution seismic images from NE Hungary // Geomorphology. 2016. Vol. 274. P. 116−128. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.09.016.

Gębica P., Michno A., Sobucki M., Wacnik A., Superson S. Chronology and dynamics of fluvial style changes in the Younger Dryas and Early Holocene in Central Europe (lower San River, SE Poland) // Science of The Total Environment. 2022. V. 830. P. 154700. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.154700.

Gelfan A., Panin A., Kalugin A., Morozova P., Semenov V., Sidorchuk A., Ukraintsev V., Ushakov K. Hydroclimatic processes as the primary drivers of the Early Khvalynian transgression of the Caspian Sea: new developments // Hydrology and Earth System Sciences. 2024. V. 28. № 1. P. 241−259. DOI: 10.5194/hess-28-241-2024.

Hughes A., Gyllencreutz R., Lohne Ø., Mangerud J., Svendsen J. The last Eurasian ice sheets–a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1 // Boreas. 2016. V. 45. № 1. P. 1−45. DOI: 10.1111/bor.12142.

Kurbanov R., Taratunina N., Murray A.S., Yanina T. First reliable chronology for the Early Khvalynian Caspian Sea transgression in the Lower Volga River valley // Boreas. 2021. V. 50. № 1. P. 134−146. DOI: 10.1111/bor.12478.

Panin A., Adamiec G., Buylaert J., Matlakhova E., Moska P., Novenko E. Two Late Pleistocene climate-driven incision/aggradation rhythms in the middle Dnieper River basin, west-central Russian Plain // Quaternary Science Reviews. 2017. V. 166. P. 266−288. DOI: 10.1016/j.quascirev.2016.12.002.

Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., Chernov A.V. Makroizluchiny rek ETS i problemy paleogidrologicheskikh rekonstruktsiy [Macromeanders of the rivers in the European Part of Russia and problems of paleohydrological reconstructions]. *Vodnye resursy [Water resources],* 1992, vol. 19, no. 4, pp. 93−96. (in Russian).

Panin A.V., Sidorchuk A.Yu. Makroizluchiny («bol'shie meandry»): problemy proiskhozhdeniya i interpretatsii [Macromeanders («large meanders»): problems of origin and interpretation]. *Vestnik Moskovskogo Unviersiteta. Seriya 5. Geografiya [Lomonosov Geography Journal]*, 2006, no. 6, pp. 14–22. (in Russian; abstract in English).

Panin A.V., Matlakhova E.Yu. Periodicheskiye proyavleniya moshchnogo rechnogo stoka v tsentre Russkoy ravniny v valdayskuyu kholodnuyu epokhu [Periodic instances of a powerful river runoff in the center of the Russian Plain during the Valdai Cold Epoch]. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Unviersiteta [Bulletin of the Tomsk State University],* 2013, no. 370, pp. 168−174. (in Russian).

Panin A., Adamiec G., Buylaert J., Matlakhova E., Moska P., 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, pp. 266−288. DOI: 10.1016/j.quascirev.2016.12.002.

Panin A., Baranov D., Moska P. Rates of postglacial incision of the upper Volga river estimated by luminescence dating of the terrace staircase. *Practical Geography and XXI Century Challenges (Moscow, 04-06 june 2018)*. Moscow, Institute of Geography RAS Publ., 2018, pp. 569−574. DOI: 10.15356/IGRAS100CONF_V1.

Panin A., Sidorchuk A., Ukraintsev V. The Contribution of Glacial Melt Water to Annual Runoff of River Volga in the Last Glacial Epoch. *Water Resources*, 2021, vol. 48, no. 6, pp. 877−885. DOI: 10.1134/S0097807821060142.

Panin A.V., Sorokin A.N., Bricheva S.S., Matasov V.M., Morozov V.V., Smirnov A.L., Solodkov N.N., Uspenskaya O.N. Istoriya formirovaniya landshaftov Zabolotskogo torfyanika v kontekste initsial'nogo zaseleniya Dubninskoy niziny (basseyn verkhney Volgi) [Landscape development history of the

Panin A., Baranov D., Moska P. Rates of postglacial incision of the upper Volga river estimated by luminescence dating of the terrace staircase // Practical Geography and XXI Century Challenges (Moscow, 04-06 june 2018). Moscow: Institute of Geography RAS Publ., 2018. P. 569–574. DOI: 10.15356/IGRAS100CONF_V1.

Pastre J., Limondin-Lozouet N., Leroyer C., Ponel P., Fontugne M. River system evolution and environmental changes during the Lateglacial in the Paris Basin (France) // Quaternary Science Reviews. 2003. V. 22. № 20. P. 2177−2188. DOI: 10.1016/S0277-3791(03)00147-1.

Ramsey C.B. Bayesian analysis of radiocarbon dates // Radiocarbon. 2009. V. 51. № 1. P. 337−360. DOI: 10.1017/S0033822200033865.

Reimer P.J., Austin W.E., Bard E., Bayliss A., Blackwell P.G., Ramsey C.B., Butzin M., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P., Guilderson T., Hajdas I., Heaton T., Hogg A., Hughen A., Kromer B., Manning S., Muscheler P., Palmer J., Pearson C., Plicht J., Reimer R., Richards D., Scott E., Southon J., Turney C., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A., Talamo S. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP) // Radiocarbon. 2020. V. 62. № 4. P. 725−757. DOI: 10.1017/RDC.2020.41.

Rinterknecht V., Hang T., Gorlach A., Kohv M., Kalla K., Kalm V., Subetto D., Bourlès D., Léanni L., Guillou V., Aster Team. The Last Glacial Maximum extent of the Scandinavian Ice Sheet in the Valday Heights, western Russia: Evidence from cosmogenic surface exposure dating using 10Be // Quaternary Science Reviews. 2018. V. 200. P. 106−113. DOI: 10.1016/j.quascirev.2018.09.032.

Sidorchuk A., Panin A., Borisova O. Morphology of river channels and surface runoff in the Volga River basin (East European Plain) during the Late Glacial period // Geomorphology. 2009. V. 113. P. 137–157. DOI: 10.1016/j.geomorph.2009.03.007.

Starkel L., Michczyńska D., Gębica P., Kiss T., Panin A., Perşoiu I. Climatic fluctuations reflected in the evolution of fluvial systems of Central-Eastern Zabolotsky peat bog in the context of initial settlement of the Dubna River lowland (Upper Volga basin)]. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii [Bulletin of Archeology, Anthropology and Ethnography]*, 2022, no. 2, pp. 85−100. (in Russian; abstract in English). DOI: 10.20874/2071-0437-2022-57-2-7.

Pastre J., Limondin-Lozouet N., Leroyer C., Ponel P., Fontugne M. River system evolution and environmental changes during the Lateglacial in the Paris Basin (France). *Quaternary Science Reviews*, 2003, vol. 22, no. 20, pp. 2177−2188. DOI: 10.1016/S0277-3791(03)00147-1.

Ramsey C.B. Bayesian analysis of radiocarbon dates // *Radiocarbon*, 2009, vol. 51, no. 1, pp. 337−360. DOI: 10.1017/S0033822200033865.

Reimer P.J., Austin W.E., Bard E., Bayliss A., Blackwell P. G., Ramsey C. B., Butzin M., Cheng H., Edwards R. L., Friedrich M., Grootes P., Guilderson T., Hajdas I., Heaton T., Hogg A., Hughen A., Kromer B., Manning S., Muscheler P., Palmer J., Pearson C., Plicht J., Reimer R., Richards D., Scott E., Southon J., Turney C., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A., Talamo S. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, 2020, vol. 62, no. 4, pp. 725−757. DOI: 10.1017/RDC.2020.41.

Rinterknecht V., Hang T., Gorlach A., Kohv M., Kalla K., Kalm V., Subetto D., Bourlès D., Léanni L., Guillou V., Aster Team. The Last Glacial Maximum extent of the Scandinavian Ice Sheet in the Valday Heights, western Russia: Evidence from cosmogenic surface exposure dating using 10Be. *Quaternary Science Reviews*, 2018, vol. 200, pp. 106−113. DOI: 10.1016/j.quascirev.2018.09.032.

Shantser E.V. Allyuviy ravninnykh rek umerennogo poyasa i yego znacheniye dlya poznaniya zakonomernostey stroyeniya i formirovaniya allyuvial'nykh svit [Alluvium of temperate climate lowland rivers and its significance for understanding the structure patterns and the formation of alluvial series]. *Tr. in-ta geol. nauk AN SSSR [Collected Scientific Works of the Institute of Geological Sciences of the USSR Academy of Science]*, 1951, no. 135, 274 p. (in Russian).

Europe (60–8 ka cal BP) // Quaternary International. 2015. V. 388. pp. 97−118. DOI: 10.1016/j.quaint.2015.04.017.

Vandenberghe J., Sidorchuk A. Large Palaeomeanders in Europe: Distribution, Formation Process, Age, Environments and Significance // Palaeohydrology. Springer Cham, 2020. P. 169−186. DOI: 10.1007/978-3-030-23315-0_9.

Sidorchuk A., Panin A., Borisova O. Climate-induced changes in surface runoff on the North-Eurasian plains during the late glacial and Holocene. *Water Resources*, 2008, vol. 35, no. 4, pp. 386–396. DOI: 10.1134/S0097807808040027.

Sidorchuk A., Panin A., Borisova O. 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, pp. 137–157. DOI: 10.1016/j.geomorph.2009.03.007.

Sidorchuk A., Ukraintsev V., Panin A. Estimating Annual Volga Runoff in the Late Glacial Epoch from the Size of River Paleochannels. *Water Resources*, 2021, vol. 48, no. 6, pp. 864−876. DOI: 10.1134/S0097807821060178.

Spasskaya I.I. Ekzogennyy morfogenez [Exogenous morphogenesis]. In Velichko A.A. (ed.), *Paleoklimaty i paleolandshafty vnetropicheskogo prostranstva Severnogo polushariya [Paleoclimates and paleolandscapes of the extratropical space of the Northern Hemisphere]*. Moscow, Publ. GEOS, 2009, pp. 64−70. (in Russian).

Starkel L., Michczyńska D., Gębica P., Kiss T., Panin A., Perşoiu I. Climatic fluctuations reflected in the evolution of fluvial systems of Central-Eastern Europe (60–8 ka cal BP). *Quaternary International*, 2015, vol. 388, pp. 97−118. DOI: 10.1016/j.quaint.2015.04.017.

Ukraintsev V. Y. Geomorphological Evidence of High River Runoff in the Volga Basin during the Late Glacial. *Doklady Earth Sciences*, 2022, vol. 506, suppl. 1, pp. S1-S6. DOI: 10.1134/S1028334X2260030X.

Ukraintsev V., Zazovskaya E., Zakharov A., Maksimov F., Petrov A. On the timing of the epoch of abundant river flow in the Volga basin. *Water Resources*, 2024 (in press).

Vandenberghe J., Sidorchuk A. Large Palaeomeanders in Europe: Distribution, Formation Process, Age, Environments and Significance. *Palaeohydrology*, Springer Cham, 2020, pp. 169−186. DOI:10.1007/978-3-030-23315-0_9.

УДК 551.89+562/569 DOI: 10.34753/HS.2023.5.2.160

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ПАЛЕОРУСЛОВЕДЕНИЯ НА ШИРОКОПОЙМЕННЫХ РЕКАХ ПРЕДГОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ Р. ВИШЕРЫ)

А.В. Чернов
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
Alexey.chernov@inbox.ru

Аннотация. В статье рассматривается эволюция русла р. Вишеры на предгорном участке, непосредственно прилегающим к подножью Уральских гор. История развития р. Вишеры реконструируется по анализу рисунка первичного пойменного рельефа, отложениям пойм, методами абсолютной геохронологии и сопряженного палеогеографического анализа. Сущность методов заключается в выделении на пойме по рисунку грив разной направленности и ландшафтам нескольких разновозрастных генераций, определению их абсолютного возраста, т.е. времени их формирования, восстановлению по параметрам грив и ложбин на этих генерациях водности реки в это время, ее внутригодового распределения и климатических условий в долине в целом. Диапазон времени эволюции реки охватывает поздний плейстоцен и голоцен.

В предгорьях объект исследования – поймы, отличается необычной сложностью по сравнению с поймами рек, протекающих далеко за пределами предгорных краевых прогибов. Здесь можно выделить не один десяток разновозрастных генераций, тогда как на далеких от гор реках число пойменных генераций не превышает семи. Это говорит о крайне низкой устойчивости русел рек в предгорьях, что может быть объяснено как тектоническими подвижками шовной зоны, так и локальными флуктуациями климата, обязанными климатораздельной ролью гор. Статья носит постановочный характер, в ней впервые ставятся упомянутые выше вопросы,

SOME FEATURES OF THE APPLICATION OF THE PALEOFLUVIAL GEOMORPHOLOGY`S METHOD ON THE WIDE-FLOODPLANES RIVERS OF THE FOOTHILLS (ON THE EXAMPLE OF THE VISHERA RIVER)

Alexey V. Chernov
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
Alexey.chernov@inbox.ru

Abstract. The article considers the Vishera River channel evolution of within its piedmont section directly adjacent to the foot of the Ural Mountains. The river channel deformations history is reconstructed basing on a complex approach including analysis of the initial floodplain topography patterns, floodplain deposits, absolute dating, coupled paleogeographic analysis. The essence of the approach employed is in identifying several floodplain age generations according to different orientations of the ridges-and-hollows topographic patterns, landscape characteristics, absolute age of associated deposits. In addition, it is possible to reconstruct the effective channel-forming discharges and flow intra-annual variability for each of the floodplain generations distinguished from the ridges-and-hollows morphometry, as well as evaluate general climatic conditions for the studied valley sections. The river channel evolution period under investigation includes the Late Pleistocene and Holocene.

Floodplains of the piedmont rivers are characterized by unusual complexity compared to those of rivers flowing far beyond the piedmont marginal tectonic depressions. Several tens of floodplain generations of different ages can be distinguished within the piedmont river valleys, whereas for river valleys farther from the mountains its number does not normally exceed seven. That indicates an extremely low channel stability of the piedmont rivers, which can be explained both by tectonic activity along the piedmont lineament zone and by local climate fluctuations caused by the

Chernov A.V. Some features of the application of the paleofluvial geomorphology`s method on the wide-floodplanes rivers of the foothills (on the example of the Vishera River). *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2023, vol. 5, iss. 1, pp. 160–171. (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2023.5.2.160

которые, в случае их репрезентативного решения, могут быть распространены на предгорья других гор и протекающих в них рек.

Ключевые слова: речные русла; речные поймы; предгорья; реконструкции речных долин и физико-географических условий в целом; методы палеорусловедения.

climatic role of mountains. The article is aimed to point at the above-listed problems for the first time. Positive and representative solution of those can allow extrapolation of the results to piedmonts of other mountains and rivers draining them.

Keywords: river channels, river floodplains, piedmonts, reconstructions of river valleys and physical and geographical conditions in general, methods of fluvial paleogeomorphology.

Введение

Одним из направлений Исторического Землеведения, активно развивающегося в настоящее время, стало палеорусловедение; учитывая более широкий, чем речное русло, охват объектов исследований, его еще можно назвать флювиальной палеогеоморфологией. Объектом изучения этого направления является речная долина, но более конкретно – те её части, которые образовались в позднеледниковье и голоцене и содержат в своем рельефе и отложениях картину развития природы в этот период. Иными словами, это речная пойма и низкая (первая) надпойменная терраса. Именно в первичном пойменном рельефе, образующемся, как известно, в процессе блуждания речного русла по дну долины, содержится информация о речном стоке во время формирования поймы, его внутригодовом распределении, высоте половодий и паводков, скорости течения и, в итоге, о природных условиях того времени, когда там протекала река. Первичный пойменный рельеф, как правило, сохраняется и после выхода поймы из-под затопления и превращения ее в надпойменную террасу. Со временем, этот рельеф и вместе с ним палеогеографическая информация исчезает, что и объясняет ограничение временного диапазона применения палеорусловедения только голоценом и поздним плейстоценом, когда этот рельеф и неизмененные отложения ещё сохраняются.

Методы

Впервые палеорусловедение, как направление русловедения, выделил Р.С. Чалов в своей статье «Историческое и палеорусловедение – предмет, методы исследований и роль в изучении рельефа» [Чалов, 1996]. С тех пор это направление приобрело самостоятельные черты и в нем, в свою очередь, оформилось два подхода – количественный и качественный. Количественный подход основан на реконструкциях характеристик стока, его внутригодового распределения и других гидрологических и климатических параметров с использованием морфометрических зависимостей: между шириной русла и средним максимальным расходом воды: и между максимальным расходом половодья и площадью водосбора.

Качественный подход восстанавливает картины прошлого по морфологическому облику и параметрам форм флювиального рельефа, запечатленных в первичном рельефе пойм изучаемых рек: превалировании гривистых сегментов или островных массивов разного облика размеров, существовании в разное время пойменных проток, по кривизне и ширине стариц, а также в характере русловых и пойменных отложений, слагающих пойму или 1-ю надпойменную террасу.

Первый подход активно разрабатывается А.Ю. Сидорчуком, А.В. Паниным и другими исследователями [Панин, Сидрочук, Власов, 2013, Sidorchuk, Borisova, 2000]. В области качественного палеоруслового анализа определённые успехи достигнуты Н.Н. Назаровым, С.В. Копытовым и автором настоящей статьи [Назаров, Копытов, Чернов, 2020, Копытов, Чернов, 2022, Назаров, 2017]. Вместе с тем качественный палеорусловой анализ, основанный на устоявшихся правилах, допускает определенную вариативность, зависящую от конкретных особенностей

анализируемого материала – наличия широких пойм (в узкопойменных и беспойменных долинах палеорусловой анализ вообще невозможен), сохранности первичного пойменного рельефа, возможности плановой интерпретации его облика и параметров.

Наиболее типичным и распространённым в практике применения является палеорусловой анализ на реках, обладающих широкой поймой, представленной широким набором разновозрастных сегментов (при сегментно-гривистой пойме меандрирующих рек) или крупных островных массивов (при ложбинно-островной пойме разветвлённых рек). Его методика описана в разделах «методика исследований» многих статей; наиболее подробно она была доложена на совещании в Минске в 2019 году [Чернов, 2019].

Алгоритм выполнения полного комплексного палеоруслового анализа включает ряд последовательных действий: (1) выделение конечного числа разновозрастных фрагментов поймы – возрастных генераций, отличающихся друг от друга ландшафтами, иногда высотой → (2) картографирование этих фрагментов и составление геоморфологической карты изучаемой поймы → (3) восстановление положений древнего русла, которое было во время формирования генераций → (4) абсолютные датировки отложений, слагающих ту или иную генерацию → (5) измерение параметров древних русел: кривизны пойменных грив и стариц, размеров элементарных пойменных островов, ширины древних рукавов, ныне стариц и староречий, и суммарной ширины русла → (6) анализ (возможно даже количественный) полученных данных на предмет восстановления по этим параметрам влияющих на них внешних природных условий: осадков, величины стока и его внутригодового распределения, температуры атмосферного воздуха. Конечный вывод качественного палеорусловедения в этой части перекликается с результатами количественного палеоруслового подхода.

Результаты

В изложенном качественном подходе палеоруслового анализа были выполнены реконструкции рек Чулыма в его верхнем течении [Чернов, 1994], Вычегды [Зарецкая, Панин и др., 2014, Чернов, Зарецкая, Панин., 2015], Камы [Дедков, Стурман, 1992; Зарецкая, Лычагина и др., 2020], Колвы [Чернов, Назаров, 2023], Косы [Demakov, Lychagina et al. 2022]. На каждой из этих рек выделялись периоды многоводья и маловодья, связанные с периодическими колебаниями климата и его производных (многолетней мерзлоты). Любопытно, что означенные колебания климата проявлялись на реках, протекающих в разных регионах России синхронно, что указывает на существование общих глобальных климатических изменений с шагом в первые тысячи лет.

Однако далеко не на всех широкопойменных реках условия – рельеф пойм и 1-х террас и их строение позволяли проводить качественный палеорусловой анализ, используя весь арсенал его методов. Чаще реальные особенности рельефа и строения поймы не давали такой возможности. Так, на реках Ока и Москва длительное (почти тысячелетнее) воздействие человека на поймы создало значительные затруднения в интерпретации пойменного рельефа, строения и даже конфигурации пойменных массивов.

Так, на пойме р. Оки в ее среднем течении, где Ока огибает с юга и востока Мещерскую низменность, оказалось возможным выделить с той или иной степенью достоверности шесть разновозрастных генераций: две современных, две среднеголоценовых и две раннеголоценовых. Однако вместе они занимают менее половины от всей площади поймы. Большая её часть остается нерасчленённой по возрасту – вся эта поверхность почти полностью лишена гривистого пойменного рельефа, отдельные участки ее распаханы; в тыловой части встречаются мелиоративные каналы. И хотя на отдельных участках взаимное расположение гривистых генераций и позволяет восстановить положение древнего русла Оки и измерить его параметры, общей картины развития реки в позднем плейстоцене и голоцене

восстановить не удается [Чернов, Воробьев, 2022].

Еще менее информативной является пойма р. Москвы на широкопойменном участке в районах городов Жуковский и Вознесенск. Здесь на 50-тиклометровом широкопойменном участке шириной 8–10 км разновозрастные пойменные генерации в агрикультурном ландшафте поймы почти не выделяются – они идентифицируются только за счет сохранившихся стариц. Однако здесь существует т. н. москворецкий феномен – микроизлучины, параметры которых в разы меньше, чем параметры стариц, соответствующих современным излучинами реки [Чернов, 2021]. Высокая изменённость первичного рельефа всей москворецкой поймы не позволяет проследить положение русла р. Москвы ни во время развития излучин древних генераций, ни в период, когда наряду с ними в долине существовали излучины русла значительно меньшего размера, не являвшиеся при этом ни руслами притоков, ни пойменными протоками самой р. Москвы. Всего на этом участке насчитывается 15 стариц с размерами микроизлучин; выше г. Москвы даже в расширениях долины микростариц и других следов микроизлучин практически нет.

Казалось бы, чем полнее представлена палеорусловедческая информация на реках, тем больше выводов о недавней эволюции этой реки и условий, в которых она формировалась, можно сделать. Однако в некоторых случаях картина пойменного рельефа на широкопойменной реке оказывается столь детализированной, что мешает составить представление об эволюции реки в целом на относительно протяженном участке. При обычном подходе к выделению разновозрастных пойменных генераций, учитывающем и взаимное расположение форм пойменного микрорельефа, и ландшафтный облик каждой из этих форм, пришлось бы выделить десятки пойменных генераций, возникающих на одних участках поймы, исчезающих на соседних и вновь проявляющихся через несколько километров.

Поэтому для палеоруслового анализа эволюции широкопойменных рек предлагается способ объединения серий последовательных генераций внутри отдельных более крупных русловых форм. Условием выделения таких форм должна быть их пространственная завершенность, отличающая или отделяющая их от аналогичных образований. Производится своеобразная кластеризация днища долины.

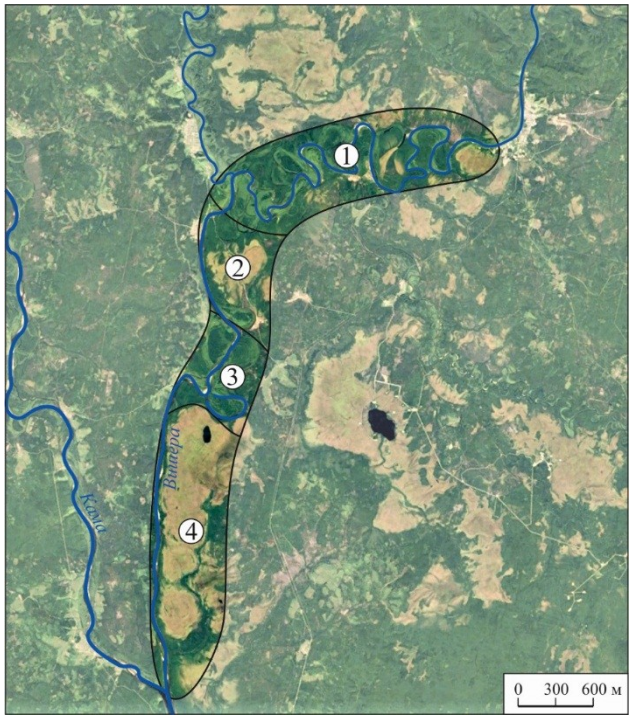


Рисунок 1. Морфологически однородные участки пойменно-руслового комплекса (ПРК) р. Вишера в нижнем течении: 1 – предгорный Красновишерский участок широкопойменного ПРК; 2 – Рябининский участок асимметричного левостороннего ПРК; 3 – Редикорский участок широкопойменного ПРК; 4 – Усть-Камский участок асимметричного левостороннего ПРК с заболоченной 1-й террасой.
Figure 1. Morphologically homogeneous sections of the floodplain-channel complex (FCC) of the Vishera River in the lower reaches: 1 – the foothill Krasnovishersky section of the wide – floodplain FCC; 2 – the Ryabininsky section of the asymmetric left–sided FCC; 3 –- the Redikorsky section of the wide-floodplain FCC; 4 – the Ust-Kama section of the asymmetric left-sided FCC with a swampy 1st terrace.

Именно такой рекой оказалась Вишера (приток Камы) ниже выхода ее из Уральских гор в предгорья. Большую часть своей протяженности Вишера протекает в Уральских горах. Там она течет во врезанной узкопойменной долине в русле с одиночными аккумулятивными островами, почти не меняя своей морфологии. Иная картина начинается ниже по течению города Красновишерска – здесь река выходит в предгорья, где на протяжении 76 км (по оси долины) четыре раза резко меняет морфологию

своей долины и, следовательно, характер современных и древних русловых деформаций. Соответственно на относительно коротком отрезке долины выделяется четыре внутренне однородных участка пойменно-русловых комплексов (ПРК) (куда включены здесь и 1-е надпойменные террасы): Красновишерский, Рябининский, Редикорский и Усть-Камский (рисунок 1).

Сразу после выхода из Уральских гор долина р. Вишеры резко расширяется (до 4–5 км) и приобретает широтное направление, ориентируясь на запад. Длина субширотного Красновишерского участка Вишеры равна по дну долины 30 км, но по руслу – 75 км. То есть коэффициент извилистости Вишеры (отношение длины по руслу к длине по оси долины) составляет здесь 2,6. Это очень высокая извилистость. В конце участка в Вишеру справа впадает р. Колва.

Русло реки образует здесь 9 смежных крупных свободных излучин петлеобразной формы с вершинами, упирающимися в борта долины (рисунок 2). Крылья крупных излучин, которые можно представить как излучины первого порядка, часто бывают осложнены излучинами второго порядка; их шпоры, соответственно, также имеют гривистый рельеф, но с меньшими параметрами (шагом, кривизной). Некоторые из них также являются вынужденными – их вогнутые берега опираются на коренные борта долины.

Шпоры всех излучин отличаются сложным сегментно-гривистым рельефом, представленным как разновозрастными генерациями поймы, так и останцами 1-й надпойменной террасы. Некоторые из пойменных генераций последовательно вложены в шпоры и занимают пространство от корневых участков – самых древних генераций или островных массивов первых террас, почти до современного русла Вишеры у выпуклых берегов излучин. Другие пойменные генерации, находясь в шпорах крупных излучин, на самом деле к этим шпорам отношения не имеют, а образовались внутри каких-то других шпор, принадлежащих каким-то древним, давно спрямленным излучинам, оставшимся от предыдущих циклов развития излучин Вишеры. Старицы этих древних излучин также хорошо сохранились в шпорах некоторых современных больших излучин.

Внимательный визуальный анализ структуры шпор даже соседних излучин 1 порядка показывает, что их возраст не одинаков. Излучины первого порядка развивались асинхронно – одни излучины уже достигли максимального размаха, причем в некоторых из них уже произошли вторичные спрямления, следы которых сохранились внутри них в виде собственных стариц, тогда как шпоры других излучин первого порядка характеризуются еще относительно простой структурой с последовательно вложенными в них пойменными генерациями.

На основании визуального анализа рельефа и ландшафтов разновозрастные пойменные генерации в шпорах излучин первого порядка были объединены в группы, и дальнейшее рассмотрение истории развития излучин Вишеры проводилось уже на уровне этих групп. Был определён относительный возраст групп генераций в шпорах, а сами излучины были ранжированы по «старшинству» относительно друг друга. Тогда: а) наиболее древние из них, отягощённые в своей корневой части фрагментами 1-й надпойменной террасы и древними пойменными массивами, окруженными древними старицами, получили индекс I, б) группы генераций в шпорах более молодых излучин, в пределах которых отсутствуют древние старицы, индексируются значением II, в) группам генераций и шпорам излучин 1-го порядка, на крыльях которых еще не начали еще не начали образовываться излучины 2-го порядка, присваивался индекс III, г) невысокие пойменные гривы принадлежат генерации наиболее молодых излучин во всем ряду петлеобразных излучин Вишеры; они обозначаются индексом IV. Разделение всего ПРК Вишеры на шпоры (группы генераций) на Красновишерском участке также показано на рисунке 2.

В каждой из групп выделяются собственные разновозрастные пойменные генерации, получившие порядковые номера (набранные арабскими цифрами) в соответствии с их последовательным образованием при росте шпор и искривлении, и усложнении излучин (рисунки 3 и 4), однако синхронизировать их в

разных группах пока не представляется возможным.

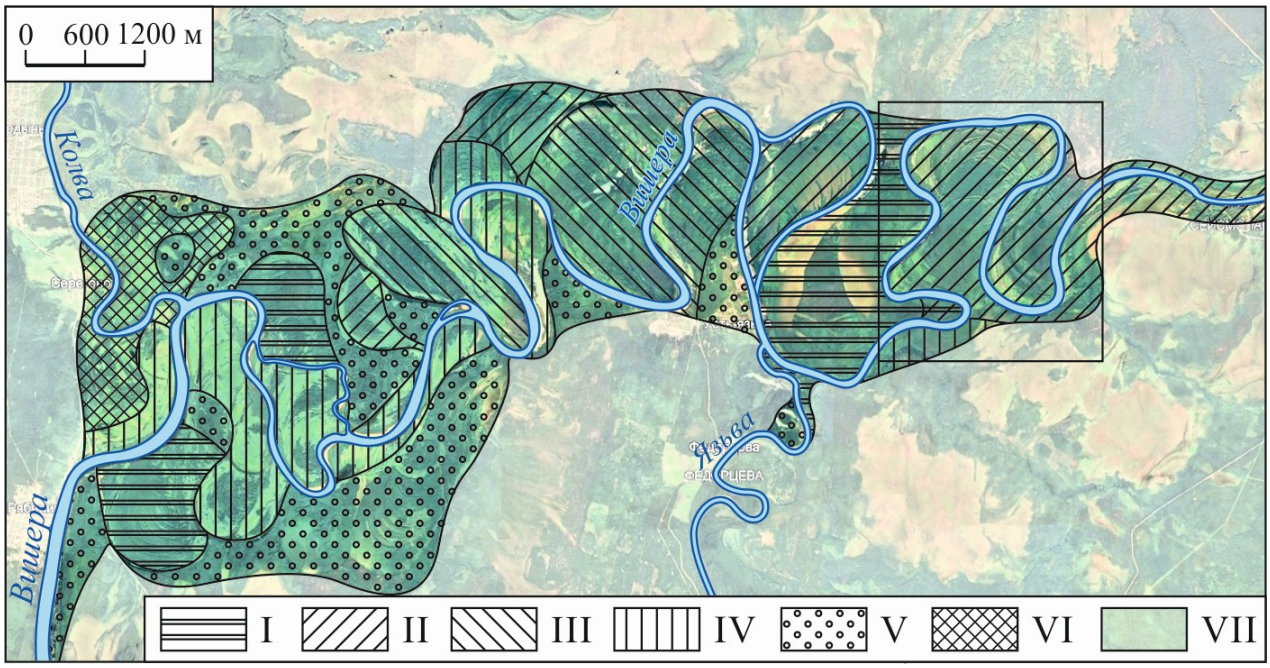


Рисунок 2. Разновозрастные шпоры излучин и пойменных генераций в их пределах на Красновишерском участке нижней Вишеры. Условные обозначения: I–IV – разновозрастные шпоры излучин со своим набором пойменных генераций: самые древние (I), более молодые (II), ещё более молодые (III), современные (формирующиеся в позднем голоцене) (IV). 1-я надпойменная терраса (V); пойменно-русловой комплекс р. Колвы (VI). Фотофон (VII) – вторая и более высокие террасы и коренные поверхности. Линиями показаны границы пойменно-руслового комплекса и 1-й надпойменной террасы, а также границы отдельных шпор излучин. Квадратом отмечен фрагмент карты шпор излучин первого порядка с детализацией пойменных генераций внутри этих шпор (на примере шпор II возрастного уровня).

Figure 2. Spurs of different ages of bends and floodplain generations within their limits on the Krasnovishersk section of the lower Vishera. Symbols: I–IV – spurs of bends of different ages with their own set of floodplain generations: the oldest (I), younger (II), even younger (III), modern (formed in the late Holocene) (IV). 1st above-floodplain terrace (V); floodplain-channel complex of the river Colva (VI). Photophone (VII) – the second and higher terraces and root surfaces. The lines show the boundaries of the floodplain-channel complex and the 1st above-floodplain terrace, as well as the boundaries of individual spurs of bends. The square marks a fragment of the map of the first-order bend spurs with details of floodplain generations inside these spurs (using the example of age-level II spurs).

Ещё одна морфологическая сложность в структуре всех групп образована весьма своеобразным процессом отмирания уже спрямленных излучин всех выделенных групп, а точнее – его отсутствием: по всем старицам, в которые они превратились, независимо от времени их спрямления и положения в той или иной группе, до сих пор продолжается (в то м числе и в межень) сток воды, что сохраняет в них процесс руслоформирования, т.е. размыва вогнутых берегов и намыва выпуклых, хотя и весьма низкими темпами. Поэтому молодая пойма, относящаяся к 1-й генерации, выделяется не только вдоль современного русла, но и вдоль всех стариц – и молодых и древних; где-то она широкая, как на старицах, где-то узкая, как у берегов современного русла.

Картина распространения групп пойменных массивов и содержащихся в них пойменных генераций усложняется, также, на пойме Вишеры близ впадения в нее справа р. Колвы, соизмеримой по водности с Вишерой. Русловые деформации на обеих реках в узле их слияния активизируются, в результате чего: а) сегменты IV-й – пойменной группы – следствие этой активизации, появляются на пойме Вишеры непосредственно перед слиянием Вишеры и Колвы; б) фрагменты поймы р. Колвы

внедряются вглубь поймы Вишеры, что говорит о большей активности деформаций русла этой реки при слиянии ее с Вишерой. В результате, в узле слияния двух рек пойма представлена пёстрым ковром из разновозрастных пойменных сегментов, принадлежащих и Вишере, в частности, IV-й и II-й её группам, и Колве (см. рисунок 2, левую часть). Следует отметить, что при слиянии двух широкопойменных рек примерно одинаковой водности периодическая активизация русловых деформаций попеременно то на одной из сливающихся рек, то на другой – явление типичное, и везде оно сопровождается усложнением пойменного рельефа в узлах слияния [11].

В узле слияния Вишеры и Колвы заканчивается Красновишерский участок долины Вишеры. Ниже река меняет ориентировку на субмеридиональную, её русло прижимается к высокому коренному правому берегу и на протяжении 10 км приобретает прямолинейную форму. Начинается Рябининский участок долины Вишеры. Здесь слева вдоль русла сначала протягивается заболоченная поверхность 1-й надпойменной террасы высотой 14–15 м над меженным урезом Вишеры; однако через 7 км ещё при прямом русле там появляется пойма, а еще через 3 км русло Вишеры вновь становится широкопойменным. Начинается Редикорский участок Вишеры (рисунок 3).

Но несмотря на наличие двусторонних массивов сегментно-гривистой поймы, морфологический облик и вся структура днища долины здесь совершенно не похожи на долину Красновишерского участка Вишеры. Почти все излучины русла спрямлены и сейчас оно имеет относительно прямолинейную форму в плане. Массивы сегментно-гривистой поймы, судя по морфологии сегментов и ландшафтному облику, образовались в один цикл руслоформирования, охватывающий все 5 пойменных генерации и принадлежащий к одной, скорее всего IV группе излучин (продолжая логику описания Красновишерского участка). По взаимному расположению грив и старичных понижений можно восстановить процесс искривления русла Вишеры в период формирования поймы в Редикорском расширении – искривление смежных излучин, завершение этого процесса на стадии крутых сегментных излучин и последующее почти современное спрямление русла, оставившее следы своего и изогнутого этапа развития в виде крутых заболоченных стариц.

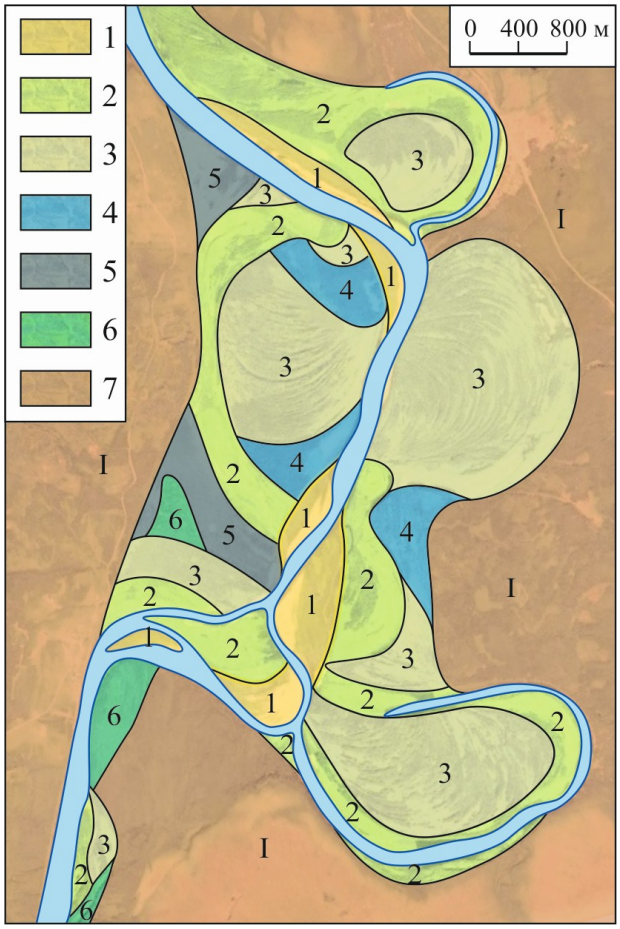


Рисунок 3. Редикорское расширение долины нижней Вишеры с разновозрастными генерациями сегментно-гривистой поймы, не синхронизирующимися с группами генераций в шпорах Красновишерского участка. 1, 2, 3, 4, 5 – пойменные генерации участка.
Figure 3. The Redikorsky extension of the lower Vishera valley with different-age generations of the segmented-maned floodplain that do not synchronize with the generation groups in the spurs of the Krasnovishersky section. 1, 2, 3, 4, 5 – floodplain generation of the site.

Ниже пос. Редикор русло Вишеры вновь прижимается к левому высокому берегу, становится прямолинейным и практически беспойменным. Левый берег, как и на Рябининском участке, имеет высоту 1-й надпойменной террасы – 12–14 м, и он также покрыт болотами; сквозь толщу торфяника угадываются следы извилистых грив, говорящих о том, что в раннем голоцене данный участок реки

отличался высокой извилистостью. Так же, как и при слиянии с Колвой, рисунок пойменного рельефа в узле слияния Вишеры и Камы подчёркивает взаимное влияние обеих рек и переменчивый подпор, зависящий то от превалирования водности Вишеры, то от превалирования водности Камы. Поэтому в рельефе поймы на стрелке двух рек можно увидеть, как следы перетока вод Вишеры в долину Камы, так, по соседству, и следы обратного смещения Камы в долину Вишеры [Чернов, 2014].

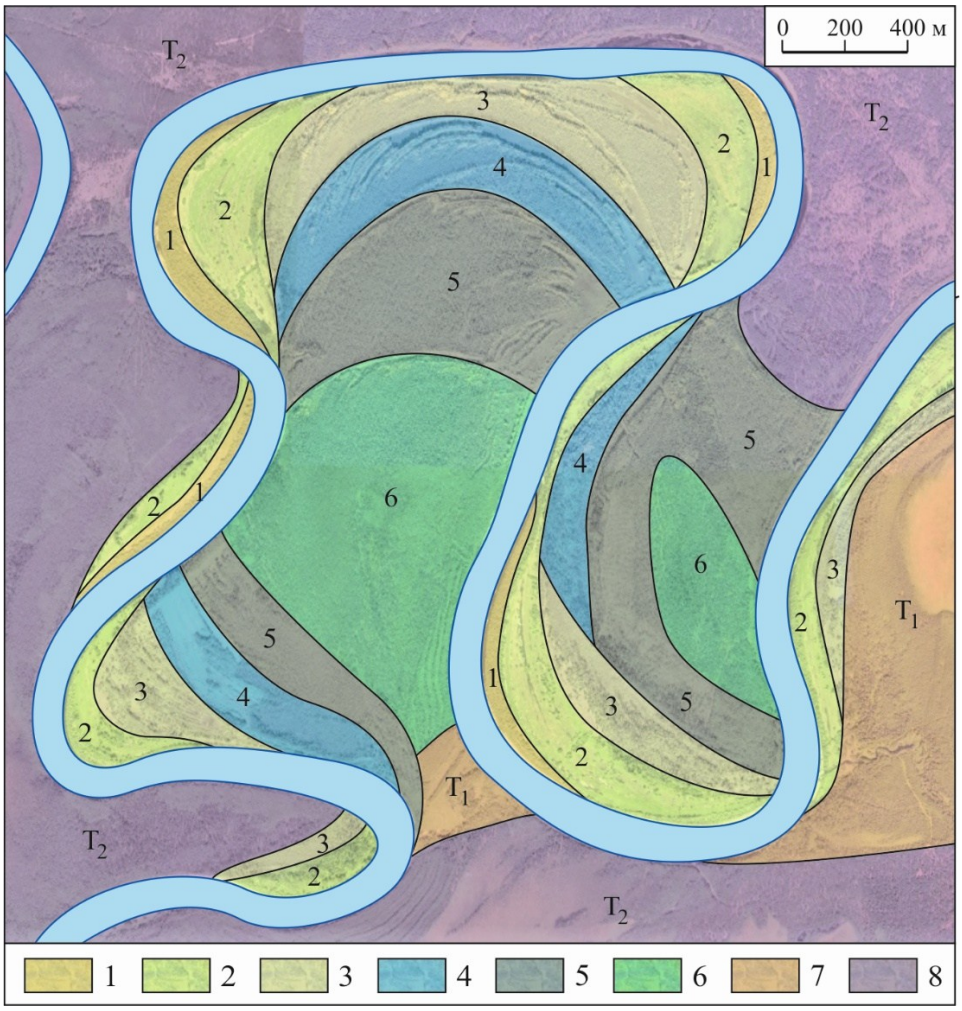


Рисунок 4. Детализация разновозрастных пойменных генераций внутри шпор II возрастного уровня (две верхние шпоры излучин на Красновишерском участке). Выделены шесть пойменных генераций, последовательно наращивавшихся к выпуклому берегу и формируя излучину первого порядка, а затем и излучины второго порядка на ее крыльях. Условные обозначения: 1 – молодая современная пойма, 2 – пойма 2-й (более древней) генерации, 3, 4, 5, 6 – пойма, соответственно, 3-й, 4-й, 5-й и 6-й генераций с увеличивающимся возрастом, 7 – поверхность 1-й надпойменной террасы, 8 – поверхность 2-й и более высоких террас и коренных водоразделов.

Figure 4. Detailing of floodplain generations of different ages inside the spurs of the II age level (two upper spurs of bends on the Krasnovishersk site). Six floodplain generations were identified, which successively increased to the convex shore and formed a bend of the first order, and then bends of the second order on its wings. Symbols: 1 – young modern floodplain, 2 – floodplain of the 2nd (older) generation, 3, 4, 5, 6 – floodplain, respectively, of the 3rd, 4th, 5th and 6th generations, 7 – surface of the 1-th above-floodplain terrace, 8 – the surface of the 2-th and higher terraces and indigenous watersheds

Обсуждение

Проведенный анализ рельефа пойменно-руслового комплекса нижней Вишеры, крайне разнообразного и изменчивого на небольшом расстоянии, ставит, в случае необходимости реконструкции развития долины в предгорных условиях, сложную задачу определения возраста

пойменных генераций или их групп и, в итоге, времени, в течение которого река претерпевала столь сложные и неоднозначные изменения. Определив время быстротекущих изменений, можно делать уже более широкие выводы о причинах таких изменений – лежат ли они в области локальных или региональных флуктуаций климата в предгорьях, или же они связаны с тектоническими подвижками геологических структур переходной зоны между горами и предгорьями.

Но, так или иначе, первой задачей, стоящей перед решением палеогеографических вопросов, является определение возраста пойменных массивов и их составляющих. Эта задача при современном уровне развития методов палеогеографических исследований может быть решена в три этапа. На первом этапе необходимо разделить каждую шпору излучин на составляющие ее отдельные пойменные генерации, т.е. детализировать рельеф этих шпор. Иными словами, провести традиционный качественный палеорусловой анализ пойменного рельефа, как это показано на рисунке 4. На втором этапе необходимо «исследовать» заранее выделенные пойменные массивы в пределах их групп с помощью георадара или иных средств бесконтактного зондирования. На втором этапе, основываясь на полученных результатах, целесообразно провести уже контактное зондирование изучаемого участка поймы и террасы с помощью бурения в чётко выверенных местах, чтобы данные, полученные в его результате, отличалась максимальной информативностью.

Благодарности

Работа выполнена по плану темы госзадания НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М. В. Ломоносова «Гидрология, морфодинамика и геоэкология эрозионно-русловых систем», государственного задания Министерства просвещения России по проекту № FSZN-2020-0016 и при финансовой поддержке РНФ (проект РНФ № 23-17–00065).

Acknowledgments

The work was carried out according to the plan of the topic of the state task by the N.I. Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and riverbed processes of Lomonosov Moscow State University "Hydrology, morphodynamics and geoecology of erosion-channel systems", the state task of the Ministry of Education of Russia under project No. FSZN-2020-0016 and with the financial support of the RNF (project RNF No. 23-17–00065).

Литература

Дедков А.П., Стурман В.И. Кирсинская палеодолина и перестройка речной сети в верховьях Вятки и Камы // Геоморфология. 1992, №2. С.49–55.

Зарецкая Н.Е., Лычагина Е.Л., Лаптева Е.Г., Трофимова С.С., Чернов А.В. Пойма Камы: реконструкция среды обитания древних и средневековых сообществ среднего Предуралья Российская археология, 2020, № 1, с.44–59.

Зарецкая Н.Е., Панин А.В., Голубева Ю.В., Чернов А.В. Седиментационные обстановки и геохронология перехода от позднего плейстоцена к голоцену в долине р. Вычегда // ДАН. 2014. Т. 455, № 1. С. 52–57.

Копытов С.В., Чернов А.В. Палеорусловедение на службе археологии: опыт исследований в Верхнем и Среднем Прикамье // Труды Камской

References

Dedkov A.P., Sturman V.I. Kirsinskaya paleodolina i perestrojka rechnoj seti v verxov`yax Vyatki i Kamy` [The Kirsinskaya paleovalley and the reorganization of the river network in the upper reaches of the Vyatka and Kama rivers]. *Geomorfologiya [Geomorphology]*, 1992, vol. 2, pp. 49–55. (In Russian).

Zareczkaya N.E., Ly`chagina E.L., Lapteva E.G., Trofimova S.S., Chernov A.V. Pojma Kamy`: rekonstrukciya sredy` obitaniya drevnix i srednevekovy`x soobshhestv srednego Predural`ya [Kama Floodplain: Reconstruction of the habitat of ancient and medieval communities of the Middle Urals]. *Rossijskaya archeologiya [Russian Archeology]*, 2020, No. 1, pp.44–59. (In Russian).

Zareczkaya N.E., Panin A.V., Golubeva Yu.V., Chernov A.V. Sedimentacionny`e obstanovki i

археолого-этнографической экспедиции. Пермь. 2022. № 20. С. 28–40.

Назаров Н.Н., Копытов С.В., Чернов А.В. История развития и деградации бассейна верхней Камы в среднем и позднем плейстоцене // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 7. М.: МГУ. 2020. С.244–249.

Назаров Н.Н. Плейстоценовые перестройки речных русел и современное развитие пойменно-русловых комплексов верхней Камы // Геоморфология. 2017. № 3. С. 88–100. DOI: 10.7868/S0435428117030087

Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Власов М.В. Мощный поздневалдайский речной сток в бассейне Дона // Известия РАН. Серия географическая. 2013. № 1. С. 118–129.

Сидорчук А.Ю., Украинцев В.Ю., Панин А.В. Оценка годового стока Волги в позднеледниковье по данным о размерах палеорусел // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 6. С. 643–655. DOI: 10.31857/s0321059621060171.

Сидорчук А.Ю., Борисова О.К., Панин А.В. Палеогидрология рек бассейна р. Дон. См. статью в настоящем номере журнала.

Чалов Р.С. Историческое и палеорусловедение – предмет, методы исследований и роль в изучении рельефа // Геоморфология, 1996. С. 13–18.

Чалов Р.С., Рулева С.Н. Влияние переформирований русел на развитие узлов слияния рек // География и природные ресурсы, 2014. № 1. С. 161–168.

Чернов А.В. Развитие русла и поймы Верхнего Чулыма в голоцене // География и природные ресурсы, 1994, № 2. С.132–142.

Чернов А.В. Развитие узлов слияния различных по водности рек в голоцене при меняющихся природных условиях. XXIX-е пленарное Меж-вузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов// Доклады и сообщения. Ульяновск, 22-24 октября 2014 г. Ульяновск, Ульяновский гос. пед. ун-т, 2014. С.135–137.

Чернов А.В. Палеорусловедение, как метод изучения прошлого речных долин. Современные направления развития физической географии: научные и образовательные аспекты в целях

geoxronologiya perexoda ot pozdnego plejstocena golocenu v doline r. Vy`chegda [Sedimentation conditions and geochronology of the transition from the Late Pleistocene to the Holocene in the valley of the Vychegda river]. *DAN*, 2014. Vol. 455, No. 1. pp. 52-57. (In Russian).

Kopy`tov S.V., Chernov A.V. Paleoruslovedenie na sluzhbe arxeologii: opy`t issledovanij v Verxnem I Srednem Prikam`e. [Paleo Chanell in the service of archaeology: research experience in the Upper and Middle Kama region]. *Trudy` Kamskoj arxeologo-e`tnograficheskoj e`kspedicii [Proceedings of the Kama Archaeol. and Ethnogr. Expedition]*. Perm, 2022, No. 20, pp. 28–40. (In Russian).

Nazarov N.N., Kopy`tov S.V., Chernov A.V. Istoriya razvitiya i degradacii bassejna verxnej Kamy` v srednem i pozdnem plejstocene [The history of development and degradation of the Upper Kama basin in the Middle and Late Pleistocene]. *E`rozionny`e i ruslovy`e problemy [Erosion and riverbed processes]*, M, Publ. of MSU, 2020. Iss. 7, pp.244–249 (In Russian).

Nazarov N.N. Plejstocenovy`e perestrojki rechny`x rusel i sovremennoe razvitie pojmenno-ruslovy`x kompleksov verxnej Kamy` [Quaternary changes in the position of river channels and the modern name of floodplain-channel complexes of the Upper Kama]. *Geomorfologiya. [Geomorphology]*, 2017, № 3, pp. 88–100. DOI: 10.7868/S0435428117030087.

Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., Vlasov M.V. Moshhny`j pozdnevaldajskij rechnoj stok v bassejne Dona [Powerful Late Valdai river flow in the Don basin]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya [News of the Russian Acad. of Sciences. Geogr. Ser.]*, 2013, No. 1, pp. 118–129. (In Russian).

Sidorchuk A.Yu., Ukraincev V.Yu., Panin A.V. Ocenka godovogo stoka Volgi v pozdnelednikov`e po danny`m o razmerax paleorusel [Estimation of the annual flow of the Volga in the Late Glacial period according to data on the size of paleorousels]. *Vodny`e resursy` [Water resources]*, 2021, Vol. 48., No. 6, pp. 643–655. DOI: 10.31857/s0321059621060171.

Sidorchuk A.Yu., Borisova O.K., Panin A.V. Paleogidrologiya rek bassejna reki Don.Sm. stat`yu v nastoyashhem nomere zhurnala. Paleohydrology of

устойчивого развития // Мат-лы междунар. научно-практ. конф., Минск, изд-во «Аверсэв», 2019. С. 464–468.

Чернов А.В. Морфология и история развития долины р. Москвы в позднеледниковье и голоцене // Геоморфология, 2021, том 52, № 4. С. 79–96.

Чернов А.В., Воробьёв А.Ю. Морфогенетические особенности поймы средней Оки (постановка проблемы). Тридцать седьмое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Доклады и сообщения. Рязань, 3–7 октября 2022 г. М.: изд. МГУ, 2022. С. 178–181.

Demakov D. A., Lychagina E. L., Zaretskaya N. E., Kopytov S V., Chernov A.V., Lapteva E.G., Trofimova S.S., Kosintsev P. A. Kosa Mesolithic Sites in the Context of the Paleoenvironmental History of the Upper Kama Basin in the Late Glacial and Early Holocene // Doklady Earth Sciences. 2022. Vol. 507. Suppl. 1. pp. S92–S103. Pleiades Publishing, Ltd., 2022. DOI: 10.1134/S1028334X22601201.

Sidorchuk A.Yu., Borisova O.K. Method of paleogeographical analo gues in paleohydrological reconstructions // Quaternary International. Vol. 72, no 1. 2000. P. 95–106. DOI: 10.1016/S1040-6182(00)00025-2.

the rivers of the Don River basin. See the article in this issue of the journal.

Chalov R.S. Istoricheskoe i paleoruslovedenie – predmet, metody` issledovanij i rol` v izuchenii rel`efa [Historical and paleological studies – subject, research methods and role in the study of relief]. *Geomorfologiya [Geomorphology]*, 1996, pp. 13–18.

Chalov R.S., Ruleva S.N. Vliyanie pereformirovanij rusel na razvitie uzlov sliyaniya rek [The influence of riverbed transformations on the development of river confluence nodes]. *Geografiya i prirodny`e resursy` [Geography and Natural Resources]*, 2014, No. 1, pp. 161–168.

Chernov A.V. Razvitie rusla i pojmy` Verxnego Chuly`ma v golocene [The development of the Upper Chulym riverbed and floodplain in the Holocene]. *Geografiya i prirodny`e resursy` [Geography and Natural Resources]*, 1994, No. 2, pp.132–142.

Chernov A.V. Razvitie uzlov sliyaniya razlichny`x po vodnosti rek v golocene pri menyayushhixsya prirodny`x usloviyax [The development of nodes of confluence of rivers of different water content in the Holocene under changing natural conditions]. *XXIX-e plenarnoe Mezhvuzovskoe koordinac. soveshha-nie po probleme e`rozionny`x, ruslovy`x i ust`evy`x processov. [XXIXTH Plenary Interuni. Coord. Meeting on the problem of erosion, riverbed and estuarine processes, Ulyanovsk, October 22–24, 2014]*, Ulyanovsk, Publ. of Ulyanovsk State Pedagogical University, 2014. pp.135–137. (In Russian).

Chernov A.V. Paleoruslovedenie, kak metod izucheniya proshlogo rechny`x dolin. Sovremenny`e napravleniya razvitiya fizicheskoj geografii: nauchny`e i obrazovatel`ny`e aspekty` v celyax ustojchivogo razvitiya [Paleoscience as a method of studying the past of river valleys. Modern trends in the development of physical geography: scientific and educational aspects for sustainable development]. *Mat-ly` mezhdunar. nauchno-prakt. konf. [Materials of the Int. Scientific and Practical Conf.],* Minsk, Averse, 2019, pp. 464–468. (In Russian).

Chernov A.V. Morfologiya i istoriya razvitiya doliny` reki Moskvy` v pozdneledniko v`e i golocene [Morphology and history of the development of the Moscow River Valley in the Late Glacial and

Holocene]. *Geomorfologiya [Geomorphology]*, 2021, Vol. 52, No. 4, pp. 79–96. (In Russian).

Chernov A.V., Vorob`yov A.Yu. Morfogeneticheskie osobennosti pojmy` srednej Oki (postanovka ɜroblemy`) [Morphogenetic features of the floodplain of the Middle Oka (problem statement)]. *XXXVII plenarnoe mezhvuzovskoe koordinacionnoe soveshhanie po probleme e`rozionny`x, ruslovy`x i ust`evy`x processov [XXXVII plenary interuniversity coordination meeting on the problem of erosion, riverbed and estuarine processes. Reports and communications. Ryazan, October 3–7, 2022]*, Moscow: Publ. of MSU, 2022, pp. 178–181. (In Russian).

Chernov A.V., Zareczkaya N.E., Panin A.V. E`volyuciya i dinamika verxnej i srednej Vy`chegdy` v golocene [Evolution and dynamics of the Upper and Middle Glaciers in the Holocene]. *Izvestiya Russkogo geograf. ob-va. [News of the Russian Geogr. Soc.]*, 2015, Vol.147, Iss.5, pp. 27–49. (In Russian).

Chernov A.V., Nazarov N.N. Morfologiya i istoriya razvitiya dolin Verxnej Kamy` i Kolvy` v pozdneledenikov`e i golocene [Morphology and history of the Upper Kama and Kolva valleys in the Late Glacial and Holocene]. *Izvestiya Russkogo geograf. ob-va. [News of the Russian Geogr. Soc.]*, 2023, No. 2, pp. 1–13. (In Russian).

Demakov D. A., Lychagina E. L., Zaretskaya N. E., Kopytov S V., Chernov A.V., Lapteva E.G., Trofimova S.S., Kosintsev P. A. Kosa Mesolithic Sites in the Context of the Paleoenvironmental History of the Upper Kama Basin in the Late Glacial and Early Holocene. *Doklady Earth Sciences*, 2022, Vol. 507, Suppl. 1, pp. S92–S103. Publ. Pleiades, 2022. DOI: 10.1134/S1028334X22601201.

Sidorchuk A.Yu., Borisova O.K. Method of paleogeographical analo gues in paleohydrological reconstructions. *Quaternary International,* Vol. 72, no 1, 2000, pp. 95–106. DOI: 10.1016/S1040-6182(00)00025-2.

УДК 551.435.11:551.89(1-924.85/.86) DOI: 10.34753/HS.2023.5.2.172

ПАЛЕОГИДРОЛОГИЯ РЕК БАССЕЙНА РЕКИ ДОН

А.Ю. Сидорчук[1], О.К. Борисова[2], А.В. Панин[2]
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», г. Москва, Россия;
[2]Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии РАН», г. Москва, Россия
fluvial05@gmail.com

Аннотация. На основе морфометрии палеорусел реконструирован гидрологический режим крупных меандрирующих рек, существовавших в бассейне реки Дон 18–14 тыс. лет назад. Для палеогидрологических реконструкций применялся метод морфометрических зависимостей, полученных на основе гидравлической геометрии речных русел – связи между шириной русла и средним максимальным расходом воды и отношения между максимальным расходом половодья и площадью водосбора. Реконструированные палеовеличины максимального суточного слоя поверхностного стока в период снеготаяния составили на севере бассейна р. Дон, в перигляциальной лесостепи, до 120 мм/сут и в центральной части бассейна, в перигляциальной степи, 20–30 мм/сут. Средний по бассейну суточный максимальный слой стока составил около 50 мм, что более чем в шесть раз превышает современное значение. Годовой сток рек был рассчитан по соотношению среднего за половодье и среднего максимального слоя стока с помощью упрощенной модели снеготаяния с учетом температур воздуха на территориях современных аналогов климата и ландшафтов бассейна р. Дон в древности. Общий годовой сток с территории бассейна р. Дон составлял около 113 км^3, что в четыре раза больше современного стока из того же бассейна. Из этих оценок годового и особенно максимального стока следует наличие обильных зимних осадков при

PALEOHYDROLOGY OF RIVERS IN THE DON RIVER BASIN

Aleksey Yu. Sidorchuk[1], Olga K. Borisova[2], Andrei V. Panin[2]
[1]Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "M.V. Lomonosov Moscow State University", Moscow, Russia;
[2] Federal State Budgetary Institution of Science "Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences", Moscow, Russia

fluvial05@gmail.com

Abstract. The hydrological regime of large meandering rivers that existed in the Don River basin 18–14 thousand years ago was reconstructed using paleochannel hydraulic geometry, in particular, bankfull width. For paleohydrological reconstructions, the method of regime equations was used. The relationship between the channel bankfull width and the average maximum discharge is derived from the data on the modern channels. This equation is applied for calculating the maximum discharges of the paleorivers using bankfull width of paleochannels. Then, relationships are constructed between the calculated maximum paleodischarges and catchment areas for the territories within the Don River basin with homogeneous paleolandscapes. On this basis, specific discharges are calculated for elementary catchments. They do not depend on the catchment area and therefore can be mapped. The reconstructed maximum daily specific discharges during the snowthaw period were up to 120 mm/day in the north of the Don River basin, in the periglacial forest steppe, and 20–30 mm/day in the central part of the basin, in the periglacial steppe. The average daily maximum runoff depth for the basin was about 50 mm, which is more than six times higher than the current value. The annual river runoff was calculated from the ratio of the average flood and the average maximum runoff depth using a simplified snowthaw model, taking into account air temperatures within the modern region-analogues. The total annual runoff from the territory of the Don River basin was about 113 km^3, which is four times the modern runoff from

Sidorchuk A. Yu., Borisova O.K., Panin A. V. Paleohydrology of rivers in the Don River basin. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2023, vol. 5, iss. 2, pp. 172–190. (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2023.5.2.172

коротком и быстром снеготаянии в период формирования больших палеорусел.

Ключевые слова: большие меандрирующие реки; переход от ледниковой эпохи к межледниковью; максимальный суточный слой стока; среднегодовой сток.

the same basin. From these estimates of the annual and especially maximum discharges, it follows that there was abundant winter precipitation with short and rapid snowmelt during the formation of large paleochannels.

Keywords: large meandering rivers; transition from the glacial to interglacial epoch; maximum daily runoff depth; annual runoff.

Введение

Крупные извилистые реки прошлого были открыты в конце 19 века [Докучаев, 1878; Davis, 1895]. Их русла были значительно крупнее современных в тех же водосборных бассейнах. Первоначально происхождение этих крупных рек объясняли местными факторами: наличием озер в долинах рек или речными перехватами. В 1950–1960-х годах после работ Дж. Дьюри [Dury, 1954, 1964, 1965], И.А. Волкова [Волков, 1960, 1963], С.А. Шамма [Schumm, 1965, 1968] и Н.И. Маккавеева с соавторами [Маккавеев, Хмелева, Гун Го-юань, 1969] стало ясно, что это явление имеет глобальное распространение и обусловлено глобальными климатическими условиями времени перехода от ледниковой эпохи к межледниковью (голоцену), которые отличались от современных. Эти авторы основали количественную палеогидрологию, основанную на морфологических показателях в гидрологии. Использовались три основные способа палеогидрологических реконструкций:

1. Расчет стока палеорек по палеоклиматическим реконструкциям с использованием уравнений водного баланса [Schumm, 1965].
2. Расчет скорости течения и расхода в палеореке для заданного уровня на основе геометрии поперечного сечения, уклона палеореки и гидравлических сопротивлений [Dury, 1965; Rotnicki, 1991].
3. Расчет стока по морфометрическим зависимостям на основе гидравлической геометрии палеорусла [Dury, 1965; Маккавеев, Хмелева, Гун Го-юань, 1969].

Все эти методы широко обсуждались и применялись для реконструкции речного стока по всему миру. В результате были получены такие палеогидрологические характеристики, как средний максимальный и среднегодовой сток, например, для рек на территориях Западной и Центральной Европы [Popov, Marković, Štrbac, 2008; Vandenberghe, Sidorchuk, 2019], Восточно-Европейской равнины [Сидорчук, Панин, Борисова, 2008] и Западной Сибири [Волков, 1963].

Эти количественные оценки палеорасходов бывших крупных рек оказались значительно выше расходов современных рек тех же бассейнов. Хотя Дж. Дьюри перечислил возможные причины этого явления [Dury, 1965, стр. 15], обсуждение этих вопросов показало общее недоверие к результатам количественных реконструкций палеостока. Причиной такого недоверия является устоявшееся мнение о сухости климата конца последнего оледенения и об отсутствии атмосферных осадков, достаточных для формирования этих больших палеорусел. Таким образом, существует дилемма: или большие палеорусла были сформированы процессами, не требующими увеличения количества выпадавших осадков, или климатические условия времени перехода от эпохи оледенения к межледниковью существенно отличались от общепризнанных.

Удобным пространством для разрешения этого противоречия являются низменности Северного полушария, особенно бассейн р. Дон. Во-первых, в бассейне р. Дон как нигде лучше сохранились многочисленные фрагменты крупных извилистых палеорусел. Во-вторых, для бассейна р. Дон сразу отпадает часто называемая причина формирования больших палеорусел – сток вод таявшего материкового ледника, и остаются только особенности климата.

Как было отмечено в [Панин, Сидорчук, 2006], количественные палеогидрологические реконструкции призваны решить три главные проблемы:

1. Геоморфологическую: каковы механизм и время образования больших меандрирующих палеорусел, многократно превосходивших по размерам современные речные русла?

2. Гидрологическую: какими были гидрологический режим, максимальный и годовой расходы воды, создавшие такие большие палеорусла?

3. Палеогеографическую: каковы были ландшафтно-климатические условия, обеспечившие необходимые параметры стока?

В данной статье мы анализируем распространение и размеры палеорек в бассейне р. Дон, используем морфометрические зависимости для выявления гидрологического режима этих рек прошлого и на основании палеогидрологической аналогии реконструируем климатические условия их формирования.

Материалы исследований

Распространение и морфология палеорусел в бассейне р. Дон

Как уже указывалось во введении, бассейн реки Дон представляет собой уникальный объект для палеорусловых и палеогидрологических исследований. Во-первых, в отличие от других рек Восточно-Европейской равнины и Западной Сибири, в бассейне р. Дон реки были врезаны практически на всем их протяжении в период формирования палеорусел (рисунок 1). Уровень Черного моря в тот период контролировался условиями стока в проливах Босфор и Дарданеллы и был не выше –64 м абс [Сидорчук, Панин, Борисова, 2018]. Устье Дона располагалось тогда на краю шельфа, отметки дна реки составляли –40 м абс в районе современного Керченского пролива, –15 м абс ниже устья р. Северский Донец [Неваленный, 2000]. На участке от устья р. Черная Калитва до устья р. Воронеж русло р. Дон было врезано на 10–12 м относительно современного уровня воды [Хруцкий, Смольянинов, Косцова, 1974].

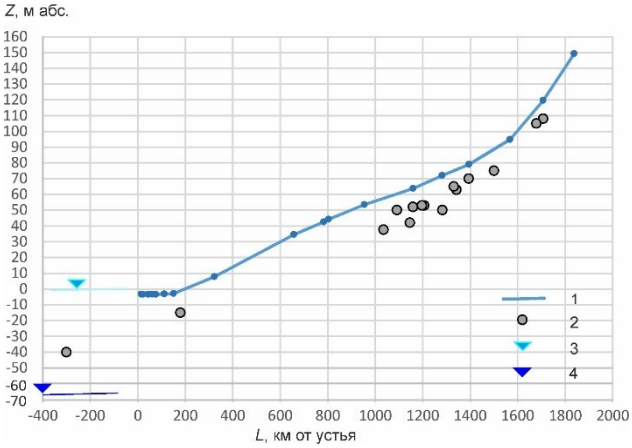


Рисунок 1. Продольный профиль р. Дон по подошве аллювия: 1 – современного и 2 – позднеледникового (по [Хруцкий, Смольянинов, Косцова, 1974; Неваленный, 2000]). Вершины треугольников показывают положение уровня моря: 3 – современного и 4 – позднеледникового (по [Сидорчук, Панин, Борисова, 2018]).

Figure 1. Longitudinal profile of the Don River along the base of alluvium: 1 – modern and 2 – Late Glacial (after [Khrutsky, Smolyaninov, Kostsova, 1974; Nevalenny, 2000]). The vertices of the triangles show the position of the sea level: 3 – modern and 4 – Late Glacial (according to [Sidorchuk, Panin, Borisova, 2018]).

Во-вторых, обычно остатки больших палеорусел распределены вдоль рек фрагментарно, с большими участками отсутствия таких остатков. Например, на территории Западной Сибири площадью более 3 млн км^2 выявлено только 64 участка с хорошо сохранившимися фрагментами палеорусел [Sidorchuk, 2023]. Фрагментарность палеорусел является одним из аргументов в пользу их неруслового происхождения [Рычагов, 2005]. На реках же бассейна р. Дон палеорусла прослеживаются практически на всем их протяжении, без существенных перерывов. Вероятно, хорошая сохранность палеорусел в бассейне р. Дон объясняется их врезанностью. Палеорусла или наследуются современными руслами (рисунок 2а), или представляют собой большие староречья на пойме (рисунок 2б). Основные типы соотношений древних и современных русел, выделенные по их морфологии, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные типы соотношений древних и современных русел.
Table 1. Main types of relationships between ancient and modern channels.

Индекс	Тип
A	современное русло полностью наследует палеорусло
B1	унаследованное русло с современными меандрами (пологими)
B2	унаследованное русло с современными меандрами (крутыми)
C	унаследованное русло с макроизлучинами палеорусла на пойме
D	унаследованное русло с современными излучинами с широкой древней поймой с макроизлучинами
E1	река с современными излучинами с широкой древней поймой с макроизлучинами
E2	река с пойменной многорукавностью с широкой древней поймой с макроизлучинами
F	река с современными излучинами (или пойменная многорукавность) на широкой пойме



Рисунок 2. Главные типы палеорусел в долинах рек бассейна р. Дон: а) унаследованные современными руслами (р. Хава около д. Ильиновка); б) в виде больших староречий на пойме (р. Медведица около д. Лысые горы) Космоснимки из Гугл Планета Земля.
Figure 2. The main types of paleochannels in the river valleys of the Don River basin: a) inherited by modern channels (the Khava River near Ilyinovka village); b) in the form of large oxbows on the floodplain (the Medveditsa River near Lysyye Gory village). Images from Google Earth.

Пространственное распространение главных типов соотношений древних и современных русел и величин отношения их ширин показано на рисунке 3. В низовьях р. Дон (в основном ниже устья р. Цимлы) река широкопойменная с пойменной многорукавностью и современными излучинами (тип F в таблице 1). Палеорусла на этом участке морфологически не выражены. Буровой профиль, проходящий через долину р. Дон в 16 км ниже устья р. Сал показывает мощную толщу аллювия, обозначенного как голоценовый и перекрывающего морские и аллювиальные карангатские отложения в широкой долине [Неваленный, 2000]. Подошва аллювия расположена на отметках –15 м абс, что соответствует рассматриваемому врезанному руслу палео-Дона. Вероятно, все следы врезанных палеорусел погребены под этой толщей.

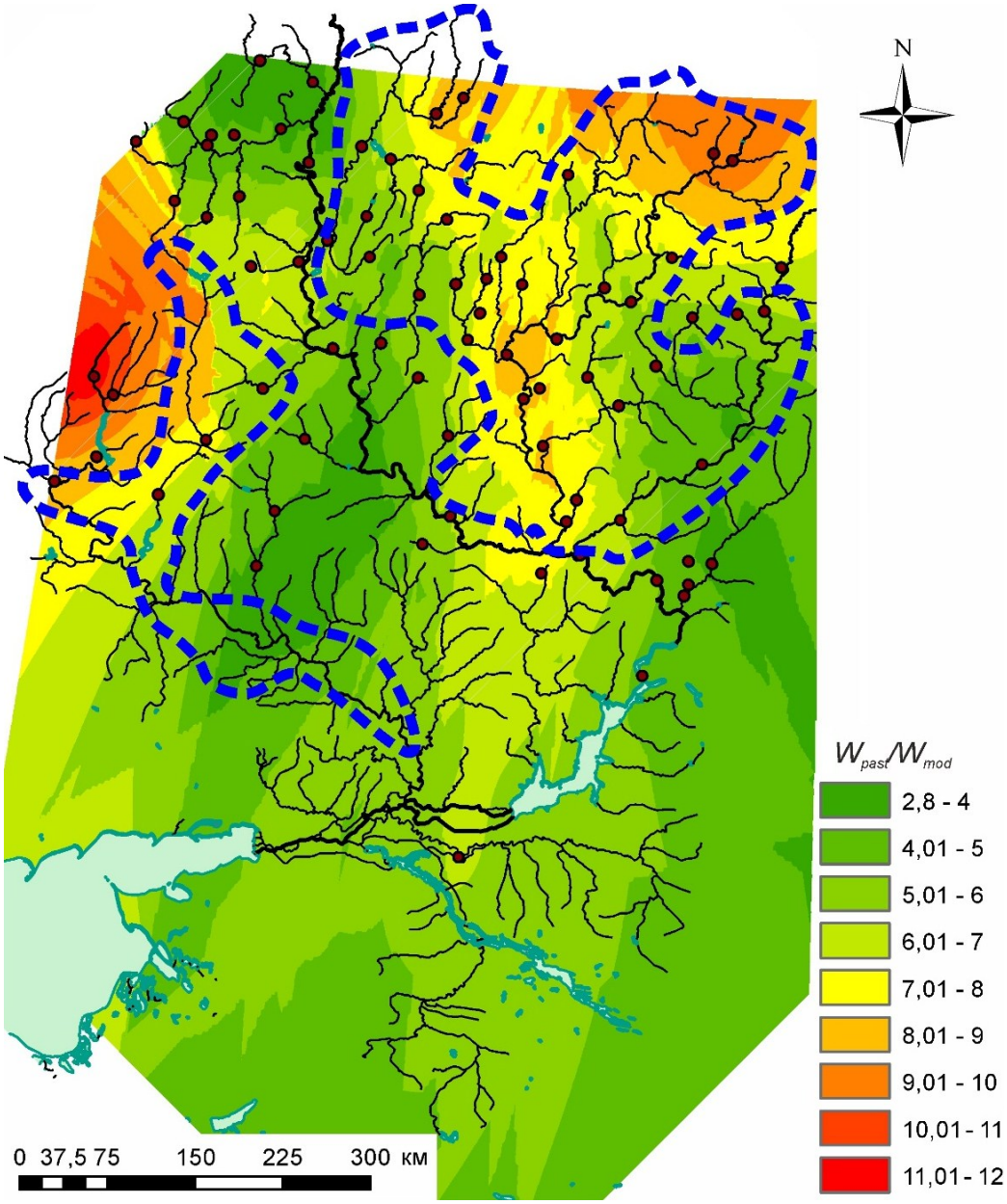


Рисунок 3. Пространственное распространение отношения ширин древних (W_{past}) и современных (W_{mod}) русел в бассейне р. Дон. Пунктиром выделены области преобладания русел типов D–E, где оценка этого отношения может быть завышена.

Figure 3. Spatial distribution of the ratio of the widths of ancient (W_{past}) and modern (W_{mod}) channels in the basin of the Don River. The dash lines mark the areas of predominance of channels of the D–E types, where this ratio can be overestimated.

На большей части бассейна р. Дон современные русла так или иначе унаследовали хорошо выраженные палеорусла, а пойма или практически отсутствует (типы A–B), или относительно узкая (тип C). Отношение ширин древних и современных русел в основном изменяется в пределах 3–7 и только в верховьях р. Северский Донец достигает 10–12. В бассейнах рек Битюг, Хопер, в среднем течении р. Северский Донец и р. Медведица пойма широкая (типы D–E). Здесь возможно относительное уменьшение ширин современных русел за счет распластывания потока половодья на пойме. Этим объясняются большие значения отношения ширин древних и современных русел, часто лежащие в диапазоне 7–12. Бурение на таких поймах показывает широкие и глубокие поперечные профили палеорусел [Панин, Сидорчук, Власов, 2013, рисунки 4 и 5; Матлахова, 2021]. Датирование вскрытых бурением отложений определяет время формирования палеорусел в диапазоне 18–14 тыс. лет назад (здесь и далее даты приведены к календарным годам).

Важной морфометрической характеристикой речных излучин является отношение шага излучин λ (расстояния по прямой между соседними точками смены знака кривизны оси русла) и ширины русла при уровне руслонаполнения W. Теоретически, это отношение определяется гидравлическими сопротивлениями и интенсивностью поперечной циркуляции потока на повороте [Сидорчук, 2020]. На практике для равнинных рек величина λ/W находится в диапазоне от 5 до 7 для свободных излучин и несколько большем – для врезанных излучин. Величина λ/W более 20 может служить признаком негидравлического происхождения такой излучины речного русла и невозможности использования ее морфометрии для палеогидрологических построений.

Для современных рек бассейна р. Дон отношение λ_{mod}/W_{mod} варьирует в диапазоне 4,3–12,5, распределение величин асимметричное, близкое к гамма-распределению (что характерно для этого показателя), среднее значение 7,5, стандартное отклонение 2,2. Для палеоизлучин λ_{past}/W_{past} (индекс «past» относит все величины к прошлому) варьирует в диапазоне 4–17, распределение величин также асимметричное, близкое к гамма-распределению, среднее значение 7,5, стандартное отклонение 2,3. Различия функций распределения статистически незначимые. Отсюда следует вывод, что морфология излучин палеорусел в бассейне р. Дон не отличается от морфологии современных излучин и может быть использована для палеогидрологических реконструкций.

На некоторых участках рек было невозможно измерить среднюю ширину палеорусел, но средний шаг излучин измерялся уверенно. В этих случаях ширина палеорусел восстанавливалась с помощью зависимости:

$$W_{past} = {\lambda_{past}}/{7{,}5} \qquad (1)$$

Гидрологические данные

В бассейне р. Дон измерения расхода воды проводятся более чем на 80 постах; в прошлом это количество было больше более чем в два раза. Данные наблюдений публиковались в гидрологических ежегодниках, и дважды было проведено обобщение этих данных: первое – за период от начала наблюдений до 1970 года [Протасьев, 1973], второе – от начала наблюдений до 2017 года включительно [Георгиевский, 2020]. В настоящем исследовании мы в основном опирались на данные, приведенные в первой обобщающей работе, так как гидрологический режим рек бассейна Дона существенно изменился в конце 1970-х годов, в первую очередь за счет уменьшения расходов воды половодья. В этом обобщении имеются сведения о расходах воды на 183 гидрологических станциях в диапазонах площадей водосбора от 0,06 до 378000 км^2 и средних максимальных среднесуточных расходов от 0,006 до 5620 м^3/с. На большинстве участков рек, где расположены эти станции, были измерены ширины и шаг излучин современных русел и палеорусел. Эта база данных существенно превышает по размерам ранее использованную в работе [Панин, Сидорчук, Власов, 2013].

Методы

Основным методом палеогидрологических реконструкций, принятым в данной работе, является метод морфометрических зависимостей на основе гидравлической геометрии палеорусла.

Этот метод, в приложении к меандрирующим руслам, был заложен в работах Н.И. Маккавеева [Маккавеев, Советов, 1940] и К. Инглиса [Inglis, 1947] и теоретически обоснован М.А. Великановым [1958]. Для палеогидрологических реконструкций на большой территории, в силу недостаточной информации о гидравлической геометрии палеорусел, возможно использовать только наиболее простые морфометрические зависимости, такие как связь между шириной русла при уровне руслонаполнения W и средним максимальным расходом половодья Q_{max} и связь между модулем стока на максимуме половодья q_{max} и площадью водосбора F.

Определение связи между шириной русла и расходом воды

Связь между шириной русла W и расходом воды может быть получена для одного створа при разных уровнях воды и для разных створов по длине реки при единой кривой свободной поверхности или, что применяется чаще, при расходе воды одинаковой обеспеченности. Обычно таким расходом воды является расход при уровне руслонаполнения в бровках поймы. Руслонаполняющий расход воды обычно близок к среднему максимальному расходу Q_{max} и так называемому руслоформирующему расходу, действие которого на русло равнозначно среднему действия всех расходов воды, составляющих гидрограф. Обычно такая связь записывается в виде:

$$W = a_0 Q_{max}^{b_0} \qquad (2)$$

Аналогичного вида морфометрические зависимости записываются для остальных главных гидравлических характеристик: скорости U и глубины D потока, уклона свободной поверхности S, а также для таких связанных с шириной русла показателей, как шаг излучин λ и радиус их кривизны R.

Для целей количественной палеогидрологии зависимость (2) записывается в виде

$$Q_{max} = aW^b \qquad (3)$$

Был проведен анализ зависимостей (2) и (3) для бассейнов рек, протекающих в самых разных природных условиях и с самыми разными гидрологическими режимами, таких как реки современной перигляциальной зоны (р. Лена) и экваториальных лесов (р. Амазонка), а также древние реки, для которых расходы воды были вычислены по уравнениям гидравлики [Сидорчук, Украинцев, Панин, 2021]. Этот анализ показал, что если использовать именно среднемаксимальные расходы воды, то эти зависимости близки (практически одинаковы в пределах доверительного интервала 95 %) для самых разных рек, например, для таких как Лена и Амазонка. Если же в зависимостях (2) и (3) использовать средний годовой расход воды, то единой связи не получается (см. рисунки 6 и 7 в [Sidorchuk, 2023]). Этот анализ подтверждает, что ширина речного русла является индикатором именно максимальных расходов воды, и что при палеогидрологических расчетах по измеренным ширинам палеорусел можно непосредственно получить только эти максимальные расходы.

Коэффициент a и показатель степени b в формуле (3) определяются по данным измерений и расчетов средних максимальных расходов половодья на гидропостах и измерений ширин русел современных рек в бровках поймы. Среднемноголетние расходы половодья древних рек Q_{max_past} рассчитываются по формуле (3) на основе измерений ширин палеорусел W_{past}.

Определение связи между модулем стока на максимуме половодья и площадью водосбора

Известно [Евстигнеев, 1990], что среднемноголетний расход воды на максимуме половодья Q_{max} нелинейно увеличивается с увеличением площади водосбора F:

$$Q_{max} = \frac{q_0 F}{(F+1)^n}\delta \qquad (4)$$

Здесь q_0 – модуль максимального стока на единичном водосборе, n – коэффициент редукции. При расчетах необходимо вводить коэффициенты изменения размерности, а также влияния озерности, заболоченности и залесенности водосбора δ.

Эффект нелинейности в зависимости (4) именуется редукцией модуля стока половодья и проявляется во всех больших речных бассейнах. Существует мнение [Ye et al., 2009], что наличие вечной мерзлоты в бассейне Лены этот эффект

нивелирует, но это мнение основано на использовании наблюдений на ограниченном числе гидрологических станций, расположенных только вдоль основного русла р. Лены, где связь (4) действительно линейная.

Линейность зависимости (4) характерна для малых водосборов, где происходит замедление редукции. Наблюдения показывают, что при площади водосбора меньше некоторой критической величины $F<F_{кр}$ показатель степени редукции становится равным нулю, а модуль максимального стока q_{max} для таких водосборов равен модулю стока на единичном водосборе q_0.

Для древних рек с известной площадью водосбора строятся зависимости (4) и рассчитываются среднемноголетние модули стока максимума половодья $q_{max_past} = Q_{max_past}/F$. Эти модули стока приводятся к площади водосбора $F_{кр}$ для получения максимального модуля стока древних рек на единичном водосборе $q_{max_кр_past}$, уже не зависящего от площади водосбора:

$$q_{max_кр_past} = \frac{q_{max_past}}{\left(F_{кр}+1\right)^n}(F+1)^n \qquad (5)$$

Способы оценки среднемноголетнего годового расхода воды древних рек

В руководствах по гидрологическим расчетам при отсутствии гидрометрических наблюдений рекомендуются редукционные формулы для оценки модуля стока максимума половодья по известному среднему слою стока за половодье h, например, [Евстигнеев, 1990]:

$$q_{max_кр_past} = \frac{q_{max_past}}{\left(F_{кр}+1\right)^n}(F+1)^n \qquad (6)$$

Здесь K_0 – параметр дружности половодья малого водосбора, который рекомендуется вычислять для рек-аналогов.

Для оценки слоя стока за половодье древних рек формулу (6) для водосбора с площадью $F<F_{кр}$ можно записать в виде:

$$h_{past} = \left(F_{кр}+1\right)^n \frac{q_{\max_past}}{\delta K_0} \qquad (7)$$

Зависимость типа (6) для малого водосбора можно также получить с помощью модели снеготаяния. В работе [Matveeva, Sidorchuk, 2020] предложена упрощенная модель поступления талых вод на элементарный водосбор, являющаяся синтезом моделей В.Л. Комарова [1961] и Ю.Б. Виноградова [1983].

Выбор современных аналогов

Выбор районов-аналогов для палеоландшафтов в современных условиях осуществляется на основе ландшафтно-гидрологической аналогии. Для палеорек был предложен принцип палеогидрологической аналогии, который базируется на близких предположениях: характеристики стока для древних речных бассейнов близки к характеристикам стока современных бассейнов с ландшафтными условиями, сходными с палеогеографическими [Sidorchuk, Borisova, 2000]. Основным методом определения границ района-аналога является палеофлористический анализ палеоботанических (в основном палинологических) данных [Гричук, 1969; Борисова, 2021]. Для датированных образцов аллювия палеореки определяется состав древней флоры. По картам современных ареалов видов растений-компонентов палеофлоры устанавливаются современные районы совместного произрастания всех этих растений или их большинства. Каждый такой район принимается в качестве современного ландшафтно-климатического аналога для бассейна данной палеореки соответствующего возраста, и внутри района-аналога определяются необходимые климатические показатели.

Сравнение с обобщенным эмпирическим методом

Палеогидрологические расчеты для рек Восточно-Европейской равнины и Западной Сибири проводились нами и ранее. Применялся полностью эмпирический метод, основанный на зависимости между шириной русла при уровне руслонаполнения и средним годовым расходом воды Q_{mean}:

$$Q_{mean} = 0{,}012y^{0{,}73}W^{1{,}36} \qquad (8)$$

Здесь

$$y = 100\frac{Q_{mean}}{Q_{max}} = aF^{0{,}125} \qquad (9)$$

Зависимость (8) была получена путем обработки данных по более чем 450 гидрологических станций в широком диапазоне ландшафтов от тундры до сухих степей

[Сидорчук, Панин, Борисова, 2008]. Коэффициент a и показатель степени в формуле (9) были определены для регионов-аналогов. Главным отличием формул (8) и (9) от изложенных выше является получение по ширине русла сразу среднего годового расхода воды на основе обобщенной эмпирической формулы. Такой подход делает неявной достоверно установленную и единственно правильную связь между шириной русла и максимальным расходом воды и нарушает изложенную выше логичную последовательность расчетов при палеогидрологических реконструкциях.

Обсуждение результатов

Связь между шириной русла и расходом воды для рек бассейна р. Дон

Искомая связь устанавливалась для современных рек с унаследованным руслом и узкой поймой (типы А–С в таблице 1). Не использовались данные по рекам, где влияние распластывания вод половодья на пойме на ширину русла существенно, а также по рекам с сухими или сильно заросшими растительностью руслами. Ширины рек в бровках поймы W_{mod}, м, измерялись по космическим изображениям с сайта Гугл-Планета, средние расходы максимума половодья Q_{max_mod} (м^3/с), получены из работы [Протасьев, 1973] для периода измерений до 1970 года с относительно стабильным гидрологическим режимом рек. Получена зависимость:

$$Q_{\max_mod} = 1{,}59W_{mod}^{1{,}39} \qquad (10)$$

с коэффициентом достоверности R^2 = 0.91 (рисунок 4). Значение показателя степени b находится в пределах 1,3–1,5, характерных для рек с самым разным гидрологическим режимом, от Лены до Амазонки. Значение коэффициента a для рек бассейна р. Дон несколько больше, чем для рек бассейнов Амазонки, Лены, Оби, т.е. при одинаковых расходах воды русла рек бассейна р. Дон более узкие. В то же время, зависимость (8) для рек бассейна р. Дон практически совпадает с таковой для рек бассейна Волги, которая была построена на основе большего количества измерений [Сидорчук, Украинцев, Панин, 2021].

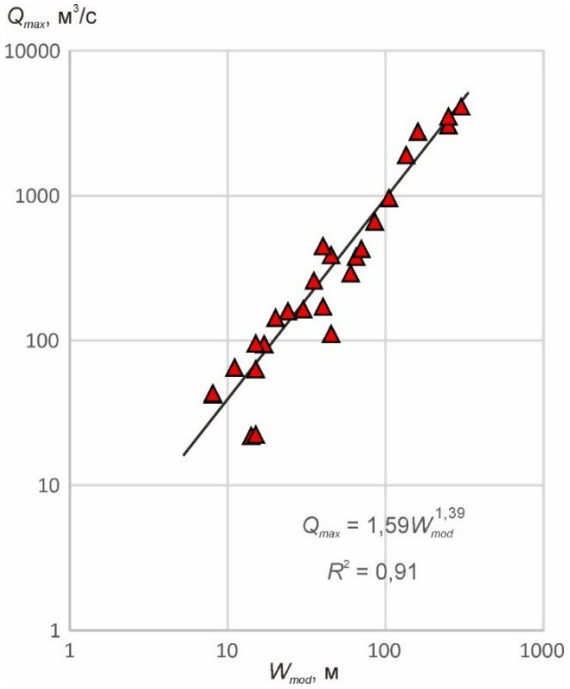


Рисунок 4. Связь между шириной русла в бровках поймы W и среднегодовым максимальным расходом воды Q_{max} для рек бассейна р. Дон (устанавливалась для современных рек с унаследованным руслом и узкой поймой, типы А–С в таблице 1).

Figure 4. Relationship between the bankfull width of the channel W and the average maximum water discharge Q_{max} for the rivers of the Don River basin (established for modern rivers with inherited channels and narrow floodplains, types A–C in Table 1).

Связь между модулем стока на максимуме половодья и площадью водосбора для палеорек бассейна р. Дон

Для палеорусел рек бассейна р. Дон с помощью зависимости (10) рассчитаны древние среднемноголетние максимумы расходов воды половодья Q_{max_past} и соответствующие модули стока q_{max_past}. На основе карты палеоландшафтов на максимум последнего оледенения [Гричук, 2002] в бассейне р. Дон выделены три области со сходными ландшафтами и, предположительно, сходными гидрологическими режимами палеорек. Для каждой такой области построены региональные связи вида (4) между Q_{max_past} и площадью водосбора F (рисунок 5). Показатели степени редукции n для областей перигляциальной лесостепи, для степной зоны с вечной мерзлотой и без нее статистически не различаются и приняты равными 0,29. Коэффициенты q_{0_past} меняются в зависимости от палеоландшафта, в целом уменьшаясь с севера на

юг. Таким образом, существенный разброс отношений расхода воды на максимуме половодья Q_{max_past} к площади водосбора (рисунок 5) объясняется не только ошибками измерений (которые могут быть значительными), но и закономерной географической неоднородностью исходных данных.

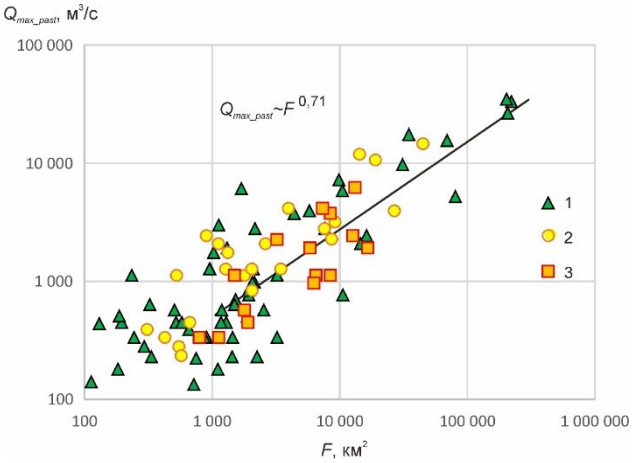


Рисунок 5. Связь между расходом воды на максимуме половодья Q_{max} и площадью водосбора F для палеорек бассейна р. Дон. Данные для водосборов, находившихся: 1 – в зоне перигляциальной лесостепи с вечной мерзлотой, 2 – в степной зоне с вечной мерзлотой, 3 – в степной зоне без мерзлоты.

Figure 5. Relationship between maximum water discharge at the flood Q_{max} and the catchment area F for the paleorivers of the Don River basin. Data for watersheds located: 1 – in the zone of periglacial forest-steppe with permafrost, 2 – in the steppe zone with permafrost, 3 – in the steppe zone without permafrost.

Распределение древнего модуля стока половодья по площади бассейна р. Дон

Для дальнейшего анализа модуля стока его необходимо привести к единичной (критической) площади водосбора. Зависимость, показанная на рисунке 5, не дает такой возможности из-за значительного разброса точек в области малых площадей водосборов в силу указанных выше причин. Поэтому для установления критической площади воспользуемся данными наблюдений на современных реках. Зависимость типа (4) для рек перигляциальной зоны с вечномерзлыми грунтами, а также для древних рек с Q_{max_past}, рассчитанными по формулам гидравлики, показала, что критическая площадь водосбора $F_{кр}$=1000 км² [Sidorchuk, 2023]. В бассейнах с площадями меньше критической величины максимальный расход воды изменяется с площадью водосбора линейно, а модуль стока от площади водосбора не зависит. Для современных рек бассейна р. Дон критическая площадь водосбора также близка к 1000 км² (рисунок 6). Эти наблюдения дают возможность и для древних рек бассейна р. Дон установить критическую площадь водосбора в 1000 км² и привести к этой площади модули стока максимума половодья древних рек:

$$q_{max_кр_past} = \frac{q_{max_past}}{(1000+1)^n}(F+1)^n \qquad (11)$$

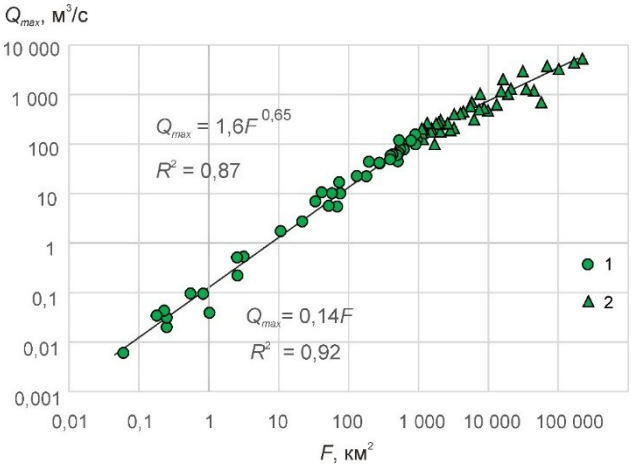


Рисунок 6. Связь между расходом воды на максимуме половодья Q_{max} и площадью водосбора F для современных рек бассейна р. Дон с площадями бассейнов <1000 км² (1) и >1000 км² (2).

Figure 6. Relationship between maximum water discharge at the flood Q_{max} and the catchment area F for modern rivers in the Don River basin with basin areas <1000 km² (1) and >1000 km² (2).

Такие модули стока близки к величинам слоя максимальной суточной водоотдачи во время снеготаяния h_{max_past} (без учета трансформации стока при склоновом сбегании). Поскольку приведенные модули стока не зависят от площади водосбора, их распределение может быть показано в изолиниях (рисунок 7).

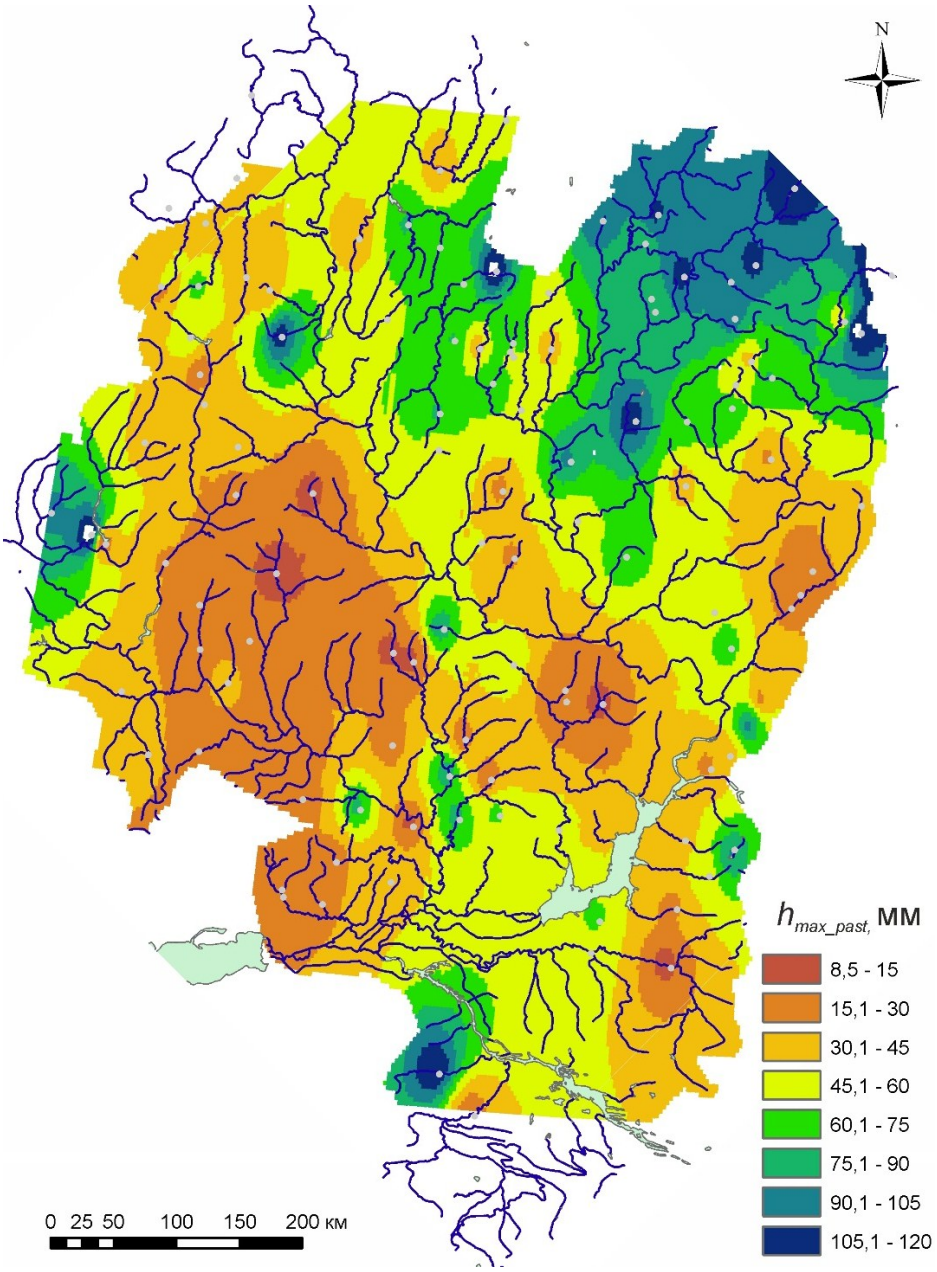


Рисунок 7. Распределение слоя максимальной суточной водоотдачи во время снеготаяния h_{max_past} (без учета трансформации стока при склоновом сбегании) для бассейна р. Дон в период формирования больших рек, 18–14 тыс. лет назад.

Figure 7. Distribution of the daily surface runoff depth during the snow thaw period h_{max_past} (without taking into account the transformation of hydrograph due to slope runoff) for the Don River basin during the formation of large rivers, 18–14 thousand years ago.

Изменение максимального модуля стока $q_{max_кр_past}$ по территории бассейна р. Дон вполне закономерно. Это подтверждает, что большой разброс точек на рисунке 6 связан не с ошибками измерений, а имеет географическую обусловленность. Хорошо выражена общая тенденция к уменьшению модуля стока с севера на юг, от перигляциальной лесостепи к степи, с последующим увеличением в южной области, по направлению к Кавказу. Средняя по бассейну величина максимального модуля стока составляла около 50 мм/сут, что в 6 раз больше соответствующего современного показателя. На севере и северо-западе бассейна максимальный модуль стока $q_{max_past_кр}$ достигал 120 мм/сут, в центральной области минимальных значений понижался до 10–30 мм/сут, что близко к современным максимумам этого показателя для северной части бассейна р. Дон.

В целом тенденция уменьшения модуля стока с севера на юг в прошлом совпадает с его современным пространственным распределением. Отличительной чертой является область увеличения $q_{max_past_кр}$ в прошлом на юге бассейна, которое можно связать с влиянием оледенения Кавказа. Очень большие величины $q_{max_past_кр}$, пропорциональные слою максимальной суточной водоотдачи на малых водосборах во время снеготаяния h_{max_past}, предполагают наличие в прошлом значительных запасов воды в снеге к началу весны и дружного весеннего снеготаяния.

Годовой сток воды древних рек в бассейне р. Дон

Переход от максимальных суточных величин стока к среднемноголетним годовым значениям при отсутствии гидрологических наблюдений невозможен без применения географической аналогии. Эта задача тем более сложна для древних ландшафтов определенного времени и территории, когда аналоги приходится искать в ландшафтах современных. Палеофлористический анализ дает такую возможность, но ограниченное количество изученных палеофлор определенного возраста и территории (для бассейна р. Дон имеется только одна палеофлора с возрастом 14 тыс. лет назад) заставляет использовать для поиска аналогов также данные по бассейнам Западной Двины, Днепра и Волги [Борисова, 2021]. Обоснованием такого подхода служит представление о формировании в эпоху последнего оледенения перигляциальной гиперзоны, в пределах которой географическая дифференциация ландшафтов была выражена существенно слабее, чем в современных условиях [Величко, 1973].

Современные центры концентрации видов изученных палеофлор в диапазоне возрастов 18–14 тыс. лет назад расположены в межгорных котловинах Алтая и Саян. Для этих территорий с климатических карт были сняты современные температуры января и июля, а также годовое количество осадков. По связи с зимними температурами проведена оценка коэффициентов стока. Для трех больших палеорек в центральной части Восточно-Европейской равнины с помощью формул гидравлики были проведены расчеты расхода воды при уровне руслонаполнения [Панин, Борисова, 2019]. В результате получено отношение слоя осадков и максимального модуля стока при снеготаянии $y = \frac{P_{\text{п}}}{q_{\max_past_кр}}$ (в единицах $\frac{\text{мм}}{\text{год}} / \frac{\text{мм}}{\text{сут}}$), приведенное к единичному водосбору с площадью менее 1000 км^2 (таблица 2). В пределах регионов-аналогов в межгорных котловинах Алтая и Саян можно подобрать такой ход современной температуры воздуха в весенний период, чтобы получить близкое отношение $P_{\text{п}}$ и $q_{max_кр}$. Расчеты по упрощенной (без учета испарения и осадков) модели снеготаяния [Matveeva, Sidorchuk, 2020] для температуры воздуха по метеостанции Кызыл в 2008 г. (рисунок 8а) и разных расчетных величин запасов воды в снеге, от 100 до 500 мм, дают линейную зависимость (рисунок 8б):

$$P_{\text{п}} = 5{,}3 q_{\max_кр} \qquad (12)$$

Таблица 2. Соотношения между слоями стока воды в половодье $P_{\text{п}}$ и максимальными модулями стока $q_{max_past_кр}$ для некоторых древних больших рек Восточно-Европейской равнины.

Table 2. Correlation between the depths of surface runoff during the flood $P_{\text{п}}$ and the maximum specific discharges $q_{max_past_кр}$ for some ancient large rivers of the East European Plain.

Река	F, км^2	Q_{max_past}, м^3/с	$q_{max_past_кр}$, мм/сут	$P_{\text{п}}$, мм	$P_{\text{п}}/q_{max_past_кр}$, мм/год:мм/сут
Москва	8170	5400	95	900	9,5
Протва	1800	1600	90	900	10,2
Свапа	6310	6000	130	450	3,5

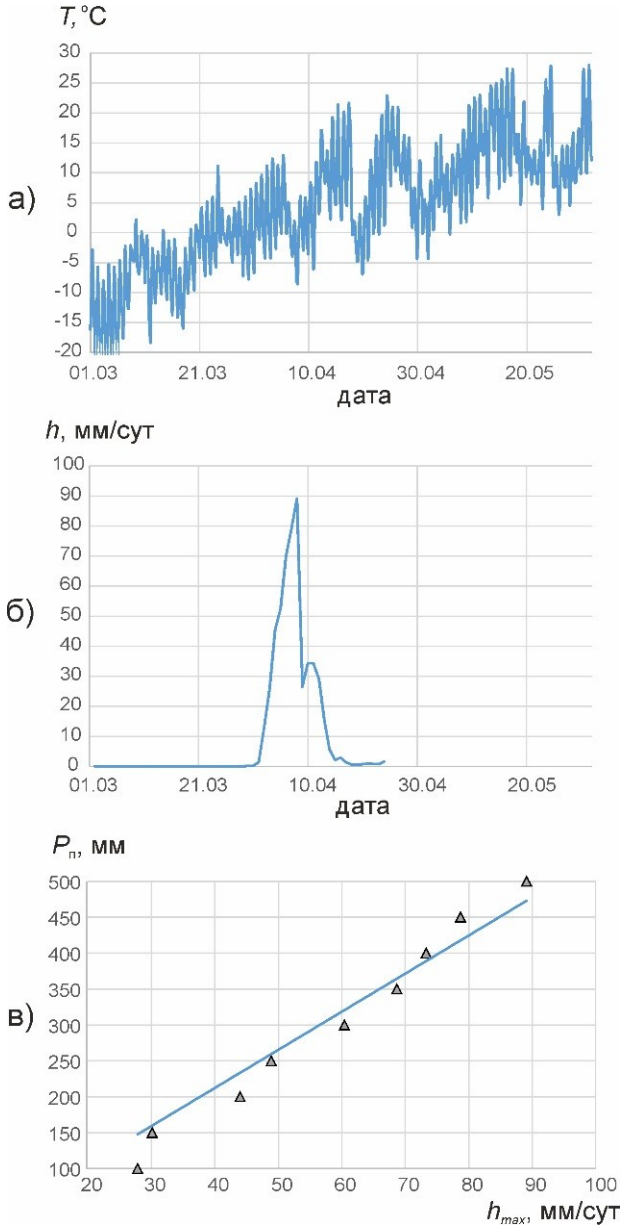


Рисунок 8. Расчеты по модели снеготаяния [Matveeva, Sidorchuk, 2020] для метеостанции Кызыл: ход температуры воздуха T для периода снеготаяния в 2008 г.(а), гидрограф суточного склонового стока h (мм) при расчетной величине запасов воды в снеге в начале снеготаяния 500 мм (б) и максимальный суточный слой стока талых вод h_{max} (мм/сут) при разных расчетных величинах запасов воды в снеге $P_п$, от 100 до 500 мм (в).

Figure 8. Calculations based on the snow thaw model [Matveeva, Sidorchuk, 2020] for the Kyzyl weather station: variation of air temperature T for the snow thaw period in 2008 (a), hydrograph of daily surface runoff h (mm) at the given value of water equivalent in snow at the beginning of snowmelt 500 mm (b), and maximum daily melt water runoff depth h_{max} (mm/day) at different given values of water equivalent in snow $P_п$, from 100 to 500 mm (c).

При таком соотношении, запасы воды в снеге перед началом снеготаяния составляли 265 мм, а объем стока палео-Дона за половодье, принимаемый близким к годовому объему стока, – 113 км^3, что в 4 раза больше современного стока. Нужно отметить, что расчеты по обобщенной эмпирической формуле давали величину 90 км^3 [Панин, Сидорчук, Власов, 2013], что укладывается в ошибку палеогидрологических расчетов около ±20 %, установленную в [Сидорчук, Панин, Борисова, 2008].

Заключение

Проведенные исследования палеорек бассейна р. Дон позволяют сделать следующие выводы.

1) Современные меандрирующие реки являются аналогами больших меандрирующих палеорусел. Доказательством (количественным) является близость (практически равенство) как функций распределения вероятностей, так и средних величин отношений шагов излучин и ширин русел для современных и древних меандрирующих русел. Дополнительные (качественные) аргументы, как-то наличие гривистой поймы, побочней, характерные поперечные профили палеорусел в области плесов и перекатов, характерное строение аллювия, были рассмотрены в [Панин, Сидорчук, 2006].

2) Для палеогидрологических реконструкций возможно использование связи между максимальным расходом воды и шириной русла (формулы 3), полученной для современных рек. Это утверждение обосновано довольно обширным эмпирическим материалом по рекам разных размеров и с самыми разными гидрологическими режимами, включая и палеореки, для которых расход воды восстанавливался гидравлическими методами. Рассчитанные максимальные расходы древних рек приводятся к критическому малому водосбору, где максимальные модули стока (максимальные суточные слои стока при снеготаянии) не зависят от площади водосбора и могут быть нанесены на карту в изолиниях.

3) Точность палеогидрологических расчетов невелика и составляет около ±20 % от среднего [Сидорчук, Панин, Борисова, 2008].

Палеогидрологические реконструкции можно считать достоверными только для территорий и периодов времени с существенными отличиями размеров палеорусел от современных русел. Это условие соблюдается для бассейна р. Дон, так как ширины палеорусел в 3–12 раз больше современных для тех же площадей водосборов.

4) Средняя по бассейну величина максимального суточного слоя стока при снеготаянии составляла для бассейна р. Дон около 50 мм/сут, что в 6 раз больше современного соответствующего показателя. Запасы воды в снеге перед началом снеготаяния составляли 265 мм, а объем стока за половодье, принимаемый близким к годовому объему стока – 113 км^3, что в 4 раза больше современного.

5) На севере и северо-западе бассейна р. Дон запасы воды в снеге перед началом снеготаяния доходили до 600 мм, суточный слой стока талых вод – до 120 мм. В центральной части бассейна запасы воды в снеге понижались до 60–160 мм, суточный слой стока талых вод – до 10–30 мм. Подобные соотношения не противоречат модельному ходу снеготаяния при ходе температур воздуха весеннего периода, характерном для современных территорий-аналогов палеоландшафтов бассейна р. Дон 18–14 тыс. лет назад.

6) Климатическая модель для бассейна р. Дон для перехода от ледниковой эпохи к современному межледниковью должна включать обильные зимние осадки, короткое и быстрое снеготаяние с максимальным стоком талых вод за сутки, достигавшим 18 % общих запасов воды в снеге.

Благодарности

Исследования выполнены в рамках госбюджетной темы (ГЗ) № 121051100166-4 «Гидрология, морфодинамика и геоэкология эрозионно-русловых систем» и в рамках темы Государственного задания Института географии РАН № FMGE-2019-0005.

Acknowledgements

The studies were carried out within the framework of the State Assignment No. 121051100166-4 "Hydrology, morphodynamics and geoecology of erosion-channel systems" and within the framework of the State Assignment of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences No. FMGE-2019-0005.

Литература

Борисова О.К. Ландшафтно-климатические условия в центральной части Восточно-Европейской равнины в последние 22 тысячи лет (реконструкция по палеоботаническим данным) // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 6. С. 664–675. DOI: 10.31857/S0321059621060031.

Великанов М.А. Русловой процесс. М.: Физматгиз, 1958. 395 с.

Величко А.А. Природный процесс в плейстоцене. М.: Наука, 1973. 256 с.

Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования *стока.* Опыт критического анализа. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 312 с.

Волков И.А. О недавнем прошлом рек Ишим и Нура // Труды лаборатории аэрометодов АН СССР. № 9. 1960. С. 59–71.

References

Borisova O.K. Landscape and climatic conditions in the central East European Plain in the last 22 thousand years: reconstruction based on paleobotanical data. *Water Resources*, 2021, vol. 48, no. 6, pp. 886–896. DOI: 10.1134/S0097807821060038 (Russ. ed.: Borisova O.K. Landshaftno-klimaticheskiye usloviya v tsentral'noy chasti Vostochno-Yevropeyskoy ravniny v posledniye 22 tysyachi let (rekonstruktsiya po paleobotanicheskim dannym). *Vodnyye resursy*, 2021, vol. 48, no. 6, pp. 664–675. DOI: 10.31857/S0321059621060031).

Davis W.M. La Seine, la Meuse et la Moselle. *Ann. De Géographie*, 1895, vol. 4, pp. 25–49.

Dokuchaev V.V. *Sposoby obrazovaniya rechnykh dolin Evropeiskoi Rossii [The ways of the river valleys formation at the European Russia]*. St. Petersburg, Tipografiya V. Dermakova, 1878. 221 p. (In Russian).

Волков И.А. Следы мощного стока в долинах рек юга Западной Сибири // Доклады АН СССР. 1963. Т. 151. № 3. С. 23–25.

Георгиевский В.Ю. Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики водных объектов бассейна реки Дон. СПб: Свое издательство, 2020. 262 с.

Гричук В.П. Гляциальные флоры и их классификация // Последний ледниковый покров на северо-западе Европейской части СССР. М.: Наука, 1969. С. 57–70.

Гричук В.П. Растительность позднего плейстоцена // Динамика ландшафтных компонентов и внутренних морских бассейнов Северной Евразии за последние 130000 лет. Отв. ред. А.А. Величко. М.: ГЕОС, 2002. С. 64–89.

Докучаев В.В. Способы образования речных долин Европейской России. СПб: Типография В. Дермакова, 1878. 221 с.

Евстигнеев В.М. Речной сток и гидрологические расчеты. М.: Изд-во МГУ, 1990. 304 с.

Комаров В.Д. Весенний сток равнинных рек европейской части СССР, условия его формирования и методы прогнозов. М.: Гидрометеоиздат, *1959*. 296 с.

Маккавеев Н.И., Советов В.С. Трассирование землечерпательных прорезей на перекатах равнинных рек Европейской части СССР // Труды ЦНИИРФ. 1940. Вып. 3. 60 с.

Маккавеев Н.И., Хмелева Н.В, Гун Го-юань. Свободные меандры // Экспериментальная геоморфология. Вып. 2 / Под ред. Н.И. Маккавеева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1969. С. 25–62.

Матлахова Е.Ю. Макроизлучины р. Вороны как свидетельства мощного речного стока в позднеледниковье // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2021. № 2. С. 103–109.

Неваленный Ю.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. Изд. 2-е. Серия Донецкая. Лист L-37-V (г. Шахты). Объяснительная записка. М., 2000. 183 с.

Dury G.H. Contribution to a general theory of meandering valleys. *Am. J. Sci.*, 1954, vol. 252, pp. 193–224.

Dury G.H. Principles of underfit streams. *US Geological Survey Professional Paper 452-A*. Washington, DC, USA: U.S. Government Printing Office, 1964. 67 p. DOI: 10.3133/pp452A.

Dury G.H. Theoretical implications of underfit streams. *US Geological Survey Professional Paper 452-C*. Washington, DC, USA: U.S. Government Printing Office, 1965. 43 p. DOI: 10.3133/pp452C.

Evstigneev V.M. *Rechnoy stok i gidrologicheskiye raschety [River flow and hydrological calculations]*. Moscow, Publ. of Moscow State University, 1990. 304 p. (In Russian).

Georgiyevskiy V.Yu. *Nauchno-prikladnoy spravochnik: Osnovnyye gidrologicheskiye kharakteristiki vodnykh ob"yektov basseyna reki Don [Scientific and Applied Handbook: Basic Hydrological Characteristics of Water Bodies of the Don River Basin]*. St. Petersburg, Publ. Svoye Izdatel'stvo, 2020. 262 p. (In Russian).

Grichuk V.P. Glyatsial'nyye flory i ikh klassifikatsiya [Glacial floras and their classification]. *Poslednii lednikovyi pokrov na severo-zapade Evropeiskoi chasti SSSR [The last glacial period in northwestern European Russia]*. Moscow, Nauka Publ., 1969, pp. 57–70. (In Russian).

Grichuk V.P. Rastitel'nost' pozdnego pleystotsena [Vegetation of the late Pleistocene]. *Dinamika landshaftnykh komponentov i vnutrennikh morskikh basseynov Severnoy Yevrazii za posledniye 130000 let [Dynamics of landscape components and internal marine basins of Northern Eurasia over the past 130,000 years]*. A.A. Velichko (ed.). Moscow, Publ. GEOS, 2002, pp. 64–89 (In Russian).

Inglis C.C. Meanders and their bearing on river training. *Inst. Civ. Eng. Mar. Waterways Eng. Div.*, 1947, vol. 7, pp. 3–54.

Khrutsky S.V., Smolyaninov V.M., Kostsova E.V. *Al'bom geologicheskikh razrezov tsentral'no-chernozemnykh oblastey [Album of geological sections of the Central Chernozem regions]*. Voronezh, Izdatel'stvo VGU, 1974. 176 p. (In Russian).

Панин А.В., Сидорчук А.Ю. Макроизлучины ("большие меандры"): проблемы происхождения и интерпретации // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2006. № 6. С. 14–22.

Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Власов М.В. Мощный поздневалдайский речной сток в бассейне Дона // Известия РАН. Серия географическая. 2013. № 1. С. 118–129.

Протасьев М.С. (ред.) Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 7. Донской район. Л.: Гидрометиоздат, 1973. 460 с.

Рычагов Г.И. Макроизлучины в долинах рек: геоморфологический феномен // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2003. № 5. С. 22–28.

Сидорчук А.Ю. Морфология грядового рельефа речных русел // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 1. С. 33–45. DOI: 10.31857/S0321059620010137.

Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Борисова О.К. Геоморфологические подходы к оценке величины речного стока в геологическом прошлом (ст. 5. Сравнительный анализ результатов, полученных разными методами) // Геоморфология. 2019. № 1. С. 66–79.

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. DOI: 10.31857/S0321059621060171.

Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Борисова О.К. Речной сток на Восточно-Европейской равнине за последние 20 тысяч лет и проблема изменения уровней южных морей // Вопросы географии. Сб. 145. Гидрологические изменения. М.: Издательский дом «Кодекс», 2018. С. 144–168.

Сидорчук А.Ю., Украинцев В.Ю., Панин А.В. Оценка годового стока Волги в позднеледниковье по данным о размерах палеорусел // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 6. С. 643–655. DOI: 10.31857/s0321059621060171.

Хруцкий С.В., Смольянинов В.М., Косцова Э.В. Альбом геологических разрезов центрально-

Komarov V.D. *Vesenniy stok ravninnykh rek yevropeyskoy chasti SSSR, usloviya yego formirovaniya i metody prognozov [Spring runoff of lowland rivers in the European part of the USSR, conditions for its formation and methods of forecasting]*. Moscow, Publ. Gidrometeoizdat, 1959. 296 p. (In Russian).

Makkaveev N.I., Khmeleva N.V., Gong Guo-yuan. Svobodnyye meandry [Free meanders] // *Eksperimental'naya geomorfologiya. Vypusk 2 [Experimental geomorphology. Issue 2]*. Makkaveev N.I. [Ed.]. Moscow, Publ. of Moscow State University, 1969, pp. 25–62. (In Russian).

Makkaveev N.I., Sovetov V.S. Trassirovaniye zemlecherpatel'nykh prorezey na perekatakh ravninnykh rek Yevropeyskoy chasti SSSR [Designing dredging passages on the riffles of the rivers in the plains of the European part of the USSR]. *Trudy TsNIIRF [Proceedings of TsNIIRF]*, 1940, iss. 3. 60 p. (In Russian).

Matlakhova E.Yu. Makroizluchiny reki Vorony kak svidetel'stva moshchnogo rechnogo stoka v pozdnelednikov'ye [Macrobends of the Vorona River as evidence of powerful river runoff in the Late Glacial]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*, 2021, no. 2, pp. 103–109. (In Russian).

Matveeva T., Sidorchuk A. Modelling of surface runoff on the Yamal peninsula, Russia, using era5 reanalysis. *Water*, 2020, vol. 12, no. 8. P. 2099. DOI: 10.3390/w12082099.

Nevalenny Yu.V. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:200000. Izd. 2-ye. Seriya Donetskaya. List L-37-V (g. Shakhty) Ob"yasnitel'naya zapiska. [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:200000. 2nd edition. Series Donetsk. Sheet L-37-V (Mine). Explanatory text]*. Moscow, 2000. 183 p. (In Russian).

Panin A.V., Sidorchuk A.Yu. Makroizluchiny ("bol'shiye meandry"): problemy proiskhozhdeniya i interpretatsii [Macrobends ("large meanders"): problems of origin and interpretation]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya,* 2006, no. 6, pp. 14–22. (In Russian).

Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., Vlasov M.V. Moshchnyy pozdnevaldayskiy rechnoy stok v basseyne Dona [Powerful Late Valdai river runoff in

черноземных областей. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1974. 176 с.

Davis W.M. La Seine, la Meuse et la Moselle // Ann. de Géographie. 1895. Vol. 4. P. 25–49.

Dury G.H. Contribution to a general theory of meandering valleys // Am. J. Sci. 1954. Vol. 252. P. 193–224.

Dury G.H. Principles of underfit streams // US Geological Survey Professional Paper 452-A. Washington, DC, USA: U.S. Government Printing Office, 1964. 67 p. DOI: 0.3133/pp452A

Dury G.H. Theoretical implications of underfit streams // US Geological Survey Professional Paper 452-C. Washington, DC, USA: U.S. Government Printing Office, 1965. 43 p. DOI: 10.3133/pp452C

Inglis C.C. Meanders and their bearing on river training // Inst. Civ. Eng. Mar. Waterways Eng. Div. 1947. Vol. 7. P. 3–54.

Matveeva T., Sidorchuk A. Modelling of surface runoff on the Yamal peninsula, Russia, using era5 reanalysis // *Water*. 2020. Vol. 12, no. 8. P. 2099. DOI: 10.3390/w12082099

Popov D., Marković S.B., Štrbac D. Generations of meanders in Serbian part of Tisa valley // Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijic", SASA. 2008. Vol. 58. P. 29–41. DOI: 10.2298/IJGI0858029P

Rotnicki K. Retrodiction of palaeodischarges of meandering and sinuous rivers and its palaeoclimatic implications // Temperate palaeohydrology. Chichester, UK: John Wiley and Sons, 1991. P. 431–470.

Schumm S.A. Quaternary paleohydrology // The Quaternary of the United States / Wright H.E., Jr, Frey D.G. (Eds.). Princeton, NY, USA: Princeton University Press, 1965. P. 783–794.

Schumm S.A. River adjustment to altered hydrologic regimen – Murrumbidgee River and paleochannels // US Geological Survey Professional Paper 598. Washington, DC, USA: U.S. Government Printing Office, 1968. 65 p. DOI: 10.3133/pp598.

Sidorchuk A. The large rivers of the past in West Siberia: Unknown hydrological regimen // *Water*. the Don basin]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 2013, no. 1, pp. 118–129. (In Russian).

Popov D., Marković S.B., Štrbac D. Generations of meanders in Serbian part of Tisa valley. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijic", SASA,* 2008, iss. 58, pp. 29–41. DOI: 10.2298/IJGI0858029P.

Protasiev M.S. (ed.). *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Tom 7. Donskoy rayon [Resources of surface waters of the USSR. Vol. 7. Donskoy region]*. Leningrad, Publ. Gidrometiozdat, 1973. 460 p. (In Russian).

Rotnicki K. Retrodiction of palaeodischarges of meandering and sinuous rivers and its palaeoclimatic implications. *Temperate palaeohydrology*. Chichester, UK, John Wiley and Sons, 1991, pp. 431–470.

Rychagov G.I. Makroizluchiny v dolinakh rek: geomorfologicheskiy fenomen [Macrobends in river valleys: a geomorphological phenomenon]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*, 2003, no. 5. (In Russian).

Schumm S.A. Quaternary paleohydrology. *The Quaternary of the United States.* Wright H.E., Jr, Frey D.G. (eds.). Princeton, NY, USA, Princeton University Press, 1965, pp. 783–794.

Schumm S.A. River adjustment to altered hydrologic regimen – Murrumbidgee River and paleochannels. *US Geological Survey Professional Paper 598*. Washington, DC, USA, U.S. Government Printing Office, 1968, 65 p. DOI: 10.3133/pp598.

Sidorchuk A. The large rivers of the past in West Siberia: Unknown hydrological regimen. *Water*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 258. DOI: 10.3390/w15020258.

Sidorchuk A.Yu. Morfologiya gryadovogo rel'yefa rechnykh rusel [Morphology of dune-like relief in rivers]. *Water Resources*, 2020, vol. 47, no. 1, pp. 65–76. DOI: 10.1134/S0097807820010133 (Russ. ed.: Sidorchuk A.Yu.. *Vodnyye resursy*, 2020, vol. 47, no. 1, pp. 33–45. DOI: 10.31857/S0321059620010137).

Sidorchuk A.Yu., Borisova O.K. Method of paleogeographical analogues in paleohydrological reconstructions. *Quaternary International*, 2000, vol. 72, no. 1, pp. 95–106. DOI: 10.1016/S1040-6182(00)00025-2.

2023. Vol. 15, no. 2. P. 258. DOI: 10.3390/w15020258.

Sidorchuk A.Yu., Borisova O.K. Method of paleogeographical analogues in paleohydrological reconstructions. Quaternary International. Vol. 72, no 1. 2000. P. 95–106. DOI: 10.1016/S1040-6182(00)00025-2.

Vandenberghe J., Sidorchuk A. Large palaeomeanders in Europe: Distribution, formation process, age, environments and significance // Palaeohydrology. Geography of the physical environment. Cham, Switzerland: Springer, 2019. P. 169–186.

Ye B., Yang D., Zhang Z., Kane D.L. Variation of hydrological regime with permafrost coverage over Lena Basin in Siberia // J. Geophys. Res. 2009. Vol. 114(D7). DOI: 10.1029/2008JD010537.

Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., Borisova O.K. Climate-induced changes in surface runoff on the North-Eurasian plains during the Late Glacial and Holocene. *Water Resources*, 2008, vol. 35, no. 4, pp. 386-396. DOI: 10.1134/S0097807808040027 (Russ. ed.: Klimaticheski obuslovlennyye izmeneniya rechnogo stoka na ravninakh severnoy Yevrazii v pozdnelednikov'ye i golotsene. *Vodnyye Resursy*, 2008, vol. 35, no. 4, pp. 406-416. DOI: 10.31857/S0321059621060171).

Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., Borisova O.K. Geomorfologicheskiye podkhody k otsenke velichiny rechnogo stoka v geologicheskom proshlom. Statya 5. Sravnitel'nyi analiz rezul'tatov, poluchennykh raznymi metodami [Geomorphological approaches to assessing the value of river flow in the geological past. Paper 5. Comparative analysis of the results obtained by different methods]. *Geomorfologiya*, 2019, no. 1, pp. 66–79. (In Russian).

Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., Borisova O.K. Rechnoy stok na Vostochno-Yevropeyskoy ravnine za posledniye 20 tysyach let i problema izmeneniya urovney yuzhnykh morey [River runoff in the East European Plain over the past 20 thousand years and the problem of changes in the levels of the southern seas]. *Voprosy geografii. Sbornik 145. Gidrologicheskiye izmeneniya [Problems of Geography. Volume 145. Hydrological changes]*. Moscow, Codex Publishing House, 2018, pp. 144–168. (In Russian).

Sidorchuk A.Yu., Ukraintsev V.Yu., 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, pp. 864-876. DOI: 10.1134/S0097807821060178 (Russ. ed.: Otsenka godovogo stoka Volgi v pozdnelednikov'ye po dannym o razmerakh paleorusel. *Vodnyye resursy*, 2021, vol. 48, no. 6, pp. 643–655. DOI: 10.31857/s0321059621060171).

Vandenberghe J., Sidorchuk A. Large palaeomeanders in Europe: Distribution, formation process, age, environments and significance. *Palaeohydrology. Geography of the physical environment*. Cham, Switzerland, Springer, 2019, pp. 169–186.

Velichko A.A. *Prirodnyi protsess v pleystotsene [Natural Process in the Pleistocene]*. Moscow, Publ. Nauka, 1973. 256 p. (In Russian).

Velikanov M.A. *Ruslovoy protsess [Channel process]*. Moscow, Publ. Fizmatgiz, 1958. 395 p. (In Russian).

Vinogradov Yu.B. *Matematicheskoye modelirovaniye protsessov formirovaniya stoka. Opyt kriticheskogo analiza [Mathematical modeling of runoff formation processes. The experience of critical analysis]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1988, 312 p. (In Russian).

Volkov I.A. O nedavnem proshlom rek Ishima i Nury [On the recent past of the rivers Ishim and Nura]. *Trudy Laboratorii Aerometodov AN SSSR*, 1960, no. 9, pp. 15–19. (In Russian).

Volkov I.A. Remnants of powerful flow in the valleys of the southern West Siberia [Sledy moschnogo stoka v dolinakh rek yuga Zapadnoy Sibiri]. *Doklady AN SSSR*, 1963, vol. 151, pp. 23–25. (In Russian).

Ye B., Yang D., Zhang Z., Kane D.L. Variation of hydrological regime with permafrost coverage over Lena Basin in Siberia. *J. Geophys. Res.*, 2009, vol. 114(D7). DOI: 10.1029/2008JD010537.

УДК 551.8

DOI: 10.34753/HS.2023.5.2.191

ВЕРХНЯЯ КАМА И ЕЕ ПРИТОКИ В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ГОЛОЦЕНЕ: РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ И ОСВОЕНИЕ ЧЕЛОВЕКОМ

С.В. Копытов[1], А.В. Чернов[2], Д.А. Демаков[3], Е.Л. Лычагина[1,3], Н.Е. Зарецкая[4]

[1]Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия; [2]МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия; [3]Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, г. Пермь, Россия; [4] Институт географии РАН, г. Москва, Россия

kopytov@psu.ru

Аннотация. В статье представлены результаты изучения пойменных и террасовых отложений рек бассейна верхней Камы: долины верхней Камы, а также ее крупного притока Косы. На основе палеоруслового анализа и археологических исследований выявлены особенности расположения разновозрастных памятников в долине р. Камы и охарактеризована специфика адаптации древнего человека к природным условиям севера Верхнего Прикамья в позднем плейстоцене – голоцене. Изменения в речном стоке и интенсивности меандрирования, скорее всего, повлияли на выбор древними людьми мест для поселения. Для создания хронологической основы района работ применялся радиоуглеродный метод. На основе методов палеорусловедения в долине верхней Камы удалось выделить 7 разновозрастных генераций поймы, предпринята попытка восстановления конкретных положений древнего русла Камы в каждый период формирования разновозрастных генераций. Установлено, что в позднеледниковье исследуемая территория еще не осваивалась древним человеком из-за неблагоприятных природных условий.

THE UPPER KAMA AND ITS TRIBUTARIES IN THE LATE PLEISTOCENE AND HOLOCENE: RECONSTRUCTION OF THE ENVIRONMENT AND HUMAN OCCUPATION

Sergey V. Kopytov[1], Alexey V. Chernov[2], Denis A. Demakov[3], Evgenia L. Lychagina [1,3], Natalia E. Zaretskaya [4]

[1] Perm State University, Perm, Russia; [2] Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; [3]Perm State Humanitarian Pedagogical University, Perm, Russia; [4] Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

kopytov@psu.ru

Abstract. The article presents the results of a study on floodplain and terrace deposits in the rivers of the upper Kama basin, focusing on the upper Kama valley, as well as its large tributary, the Kosa. Based on paleochannel analysis and archaeological research, the features of the location of monuments of different ages in the river valley were revealed. The research highlights the adaptation of ancient human populations to the natural environment in the northern region of the Upper Kama during the late Pleistocene and Holocene periods. The article suggests that changes in river flow and meandering intensity most likely influenced the selection pf settlement sites by ancient people. To create a chronological basis for the work area, the radiocarbon dating method was used. Based on the methods of paleochannel studies in the valley of the upper Kama, it was possible to identify 7 generations of the floodplain of different ages; an attempt was made to reconstruct the specific positions of the ancient Kama channel in each period of the formation of these different generations of. It was established that during the Late Glacial period, the study area was not inhabited by ancient humans due to unfavorable natural conditions. Its initial settlement in the area occurred at the beginning of the

Копытов С.В., Чернов А.В., Демаков Д.А., Лычагина Е.Л., Зарецкая Н.Е. Верхняя Кама и ее притоки в позднем плейстоцене и голоцене: реконструкция природных условий и освоение человеком // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2023. Т.5. Вып. 2. С. 191–201. DOI: 10.34753/HS.2023.5.2.191.

Первоначальное ее заселение произошло в начале голоцена после того, как сформировалась вторая надпойменная терраса. В это время она приобрела комфортный для освоения человеком облик, была покрыта таежными сосновыми и березовыми формациями с участием ели. К этому периоду относятся мезолитические стоянки. Они располагались либо на второй надпойменной террасе, либо на коренных берегах. В среднем голоцене сформировалась 6-я и 5-я пойменные генерации, реки бассейна характеризовалась высокой водностью. К этому периоду относятся стоянки неолита, расположенные на террасах. К концу среднего голоцена относится время существования поселений гаринской энеолитической культуры. Они располагались либо на 4–5-й генерациях поймы, либо на коренном склоне долины. Поздний голоцен ознаменован с расселением средневекового населения. Средневековые городища располагались на коренных берегах, а поселения были связаны с речными террасами, берегами стариц и поймами небольших рек.

Ключевые слова: поздний плейстоцен; голоцен; палеорусловой анализ; селитебные предпочтения; пойма; надпойменная терраса.

Holocene after the formation of the second floodplain terrace. During this time, the area underwent favorable transformations, becoming suitable for human habitaion and covered with taiga pine and birch formations, often including spruce. Mesolithic sites date back to this period. They were situated on either the second terrace or the original riverbanks. In the Middle Holocene, the 6th and 5th floodplain generations were formed, the rivers of the basin were characterized by high water content. Neolithic sites on terraces date back to this period. The period of existence of settlements of the Garin Eneolithic culture dates back to the end of the Middle Holocene. They were located either on the 4th–5th generations of the floodplain or on the bedrock slope of the valley. The late Holocene was marked by the settlement of the medieval population. Medieval fortifications were located on the original banks, and the settlements were associated with river terraces, the banks of oxbow lakes, and the floodplains of small rivers.

Keywords: Late Pleistocene; Holocene; paleochannel analysis; human residential preferences; floodplain; terrace.

Введение

Одним важнейших палеоархивов позднего плейстоцена и голоцена являются заполнения палеорусел активно меандрирующих равнинных рек, к которым относятся реки бассейна верхней Камы (рисунок 1). Инженерные геологические съемки с комплексом палеогеографических исследований (спорово-пыльцевой, диатомовый, минералогический анализы) в данном районе были начаты еще в первой половине XX века [Краснов, 1948], но лишь единичные данные последних десятилетий можно использовать для детальной реконструкции истории природной среды Верхнего Прикамья [Shumilovskikh et al., 2020; Nazarov et al., 2020].

Изучение пойменных отложений позволяет реконструировать природные условия речной долины на разных этапах ее развития, опираясь на данные палеоруслового, радиоуглеродного, спорово-пыльцевого и палеокарпологического анализов. В результате анализа первичного пойменного рельефа (пойменных грив и понижений между ними, стариц, гряд, ложбин и пойменных отложений) выделяются разновозрастные пойменные генерации, позволяющие по их взаимному расположению реконструировать положение древнего русла реки на разных этапах формирования поймы. Размеры форм руслового рельефа напрямую зависят от гидрологических, а, следовательно, и климатических условий формирования русла и поймы. Крупность аллювия в отложениях опорных разрезов и скважин свидетельствует о скоростном режиме потока затопления поймы.

Актуальность палеогеографических реконструкций для Верхнего Прикамья обусловлена также важной ролью этого региона во время расселения древнего человека в позднем

Kopytov S.V., Chernov A.V., Demakov D.A., Lychagina E.L., Zaretskaya N.E. The Upper Kama and its tributaries in the Late Pleistocene and Holocene: reconstruction of the environment and human occupation. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2023, vol. 5, iss. 1, pp. 191–201. (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2023.5.2.191

плейстоцене – голоцене по восточным окраинам Русской равнины. На протяжении всего голоцена бассейн верхней Камы являлся важной транзитной магистралью, связывающей Волго-Камский район, крайний северо-восток Европы, а также Зауралье. Это прослеживается по наличию на севере памятников камской мезолитической и неолитической и гаринской энеолитической культур [Lapteva et al., 2023]. В железном веке, наоборот, с севера в Прикамье происходила русская колонизация.

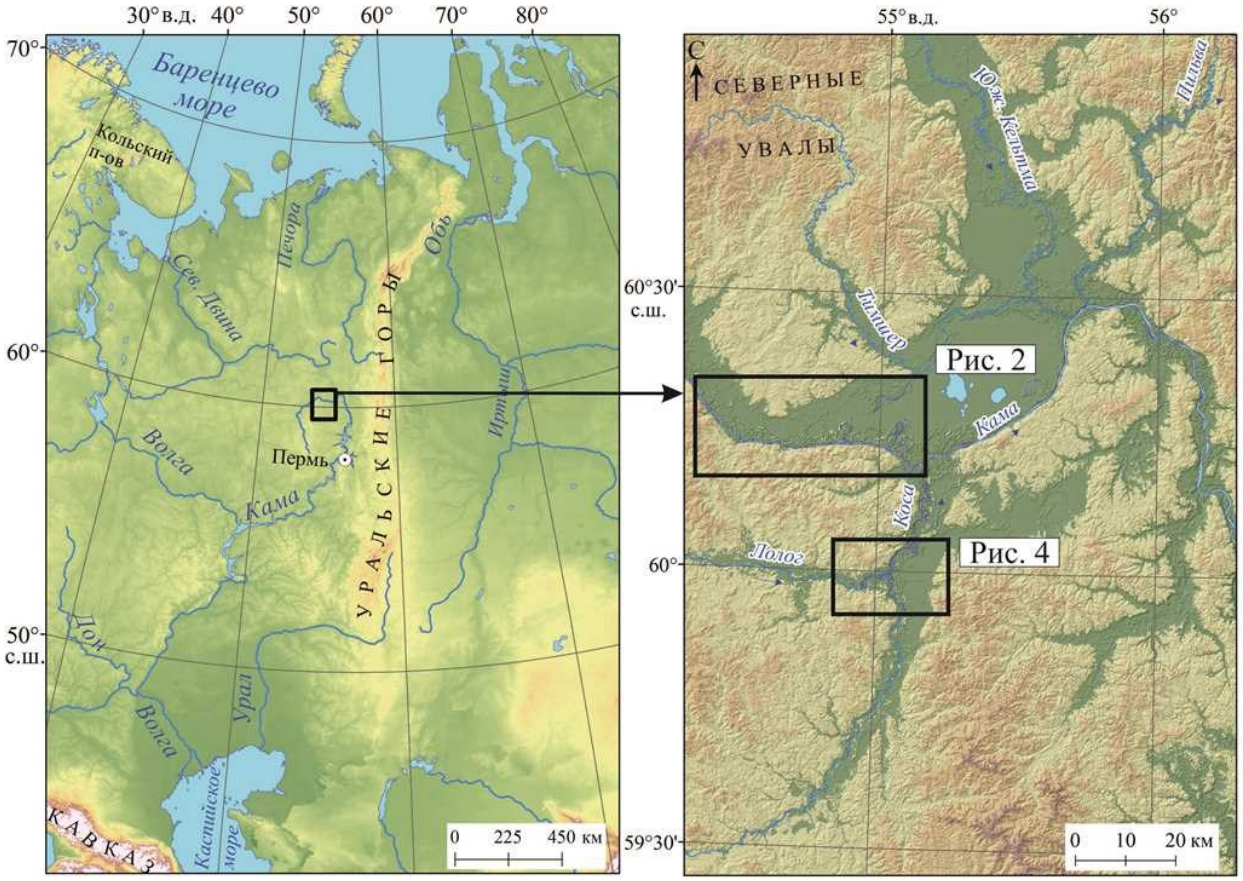


Рисунок 1. Местоположение района исследований.
Figure 1. Study area.

Методы

Восстановление положений русел рек осуществлялось посредством изучения первичного рельефа и строения поймы. В результате определялись палео-параметры реки, такие как ее водность и морфодинамические типы русла – его меандрирование и многорукавность [Чалов, 1996]. Группы сегментов поймы, по которым можно восстановить положение русла, объединялись в одновозрастные пойменные поверхности (генерации). В пределах выделенных генераций было восстановлено положение главного русла реки и ее рукавов во время формирования того или иного пойменного массива.

Для подтверждения предположений о возрасте генераций и верификации палеогеоморфологической карты было проведено радиоуглеродное датирование. Образцы для комплексных исследований отбирались из разрезов береговых обнажений в долинах Верхней Камы, Косы, Лолога. Все разрезы представляют собой заполнения палеорусел и ложбин разных пойменных генераций и надпойменных террас. Образцы для радиоуглеродного анализа отбирались у границ органогенных горизонтов (торф, оторфованный суглинок) для определения возраста смены обстановок осадконакопления. Возраст образцов показывает время, когда активное русло начинало

либо смещаться в сторону, либо вообще отмирать из-за спрямления крутой излучины.

Радиоуглеродное датирование проводилось в лаборатории геохимии изотопов и геохронологии Геологического института РАН (код лаборатории ГИН), а также в лаборатории изотопных исследований РГПУ им. А.И. Герцена (код лаборатории СПб). Все датировки были откалиброваны с помощью программы Calib 810 и калибровочной кривой IntCal 2020 (таблица 1) [Reimer et al.,2020].

Для определения приуроченности археологических памятников к определённым геосистемам внутри речной долины было проведено их картографирование в соответствии с известными GPS-координатами.

Таблица 1. Радиоуглеродные даты и их калиброванные значения.
Table 1. Radiocarbon dates and their calibrated ages.

Разрез/скважина	Глубина отбора, см	Материал	Лабораторный номер	Радиоуглеродная дата	Калиброванная дата, 1σ
долина Верхней Камы					
Амбор	150	Торф	ГИН-15221	1370±40	1320–1270
	180	Торф	СПб-2028	1721±35	1620–1570
	240	Торф	СПб-2029	2635±50	2780–2730
Бондюг	139	Оторфованный суглинок	ГИН-15219	4540±40	5180–5120
Керчевский	240	Оторфованный суглинок	ГИН-15224	8750±40	9790–9655
Кушмангорт	220	Растительный детрит	ГИН-15220	2230±50	2260–2160
Леваты	60	Торф	ГИН-15891	3800±40	4240–4145
	70	Оторфованный суглинок	ГИН-15890	4400±60	5050–4870
	120	Оторфованный суглинок	ГИН-15889	8230±70	9300–9090
Пянтег	225	Торф	ГИН-15223	4390±40	4980–4870
Тюлькино	55	Торф	СПб-2027	3762±70	4238–4074
	150	Оторфованный суглинок	ГИН-15225	3770±40	4160–4090
	160	Фрагмент дерева	СПб-1374	4341±80	4990–4840
долина Косы					
1028 (у стоянки Коса I)	390	Торф	ГИН-15880	9350±50	10600–10500
1030 (у стоянки Коса II)	230	Торф	ГИН-15881	7075±40	7960–7860
1034 (у стоянки Коса III)	235	Торф	ГИН-15884	7100±50	7975–7860
1035 (болото Ыджиднюр)	417	Оторфованный суглинок	ГИН-15885	8750±40	9785–9660
1036 (палеорусло Лолога)	415	Сапропель	ГИН-15886	11900±60	13650–13800

Результаты

Долина верхней Камы. На основе анализа первичного пойменного рельефа и отложений, слагающих пойму р. Камы и ее притоков, в сопряженности с радиоуглеродными датами, полученными по органогенным отложениям опорных разрезов и скважин, удалось выделить 7 разновозрастных генераций (рисунок 2), точно относящихся к пойме, и еще две или три генерации, уже не затапливающиеся во время половодий, но хорошо сохраняющих первичный

пойменный рельеф. На отсутствие затопления указывает их высокая заболоченность, невозможная при промывном режиме поймы; тем самым, эти поверхности можно отнести либо к первой надпойменной террасе, либо к переходной поймо-террасе. Все эти генерации последовательно сменяли друг друга в постоянно меандрировавшем русле. При образовании каждой последующей генерации частично уничтожалась предыдущая в процессе размыва берегов.

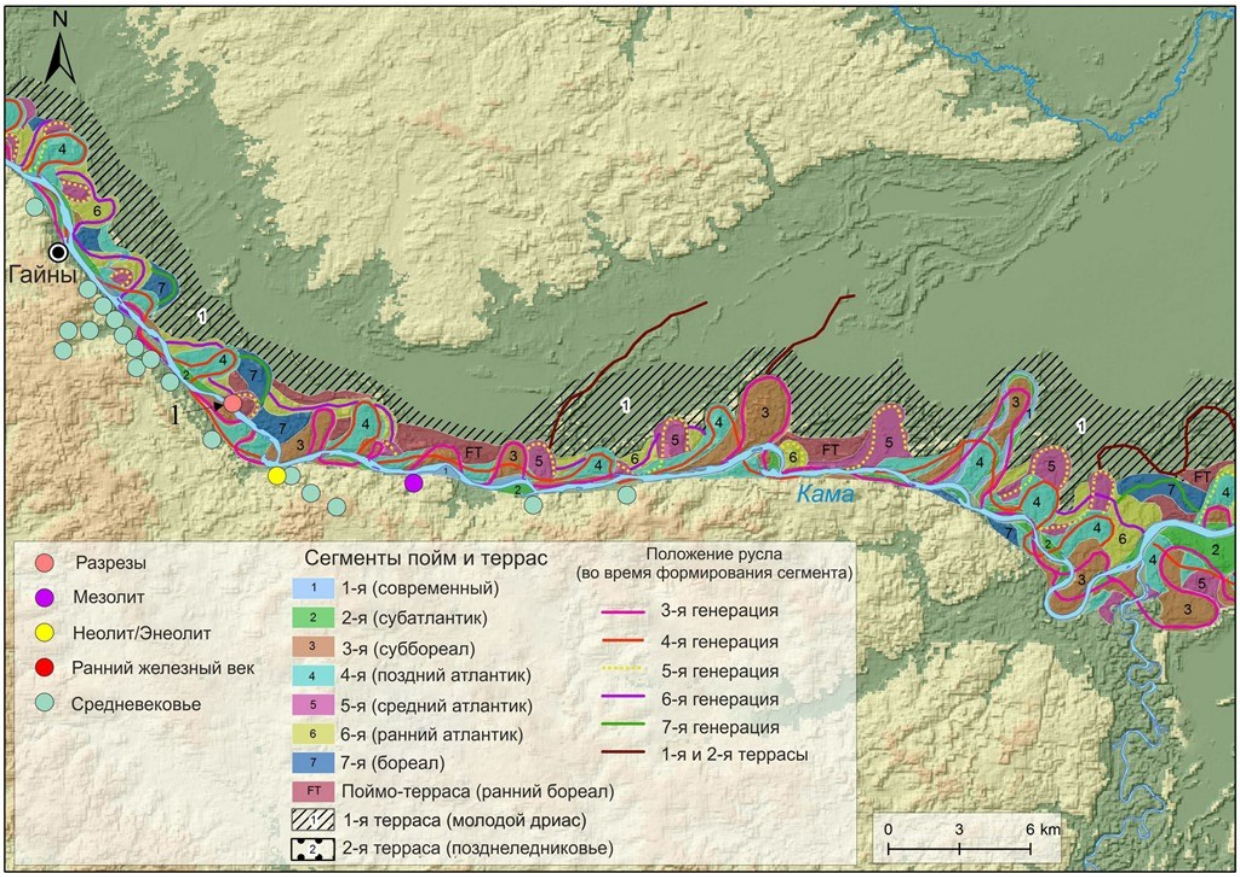


Рисунок 2. Фрагмент палеогеоморфологической карты долины верхней Камы с археологическими памятниками.

Figure 2. The fragment of the paleogeomorphological map of the upper Kama valley with archaeological sites.

Используя арсенал методов палеорусловедения, была сделана попытка восстановления конкретных положений древнего русла Камы в каждый период формирования разновозрастных генераций – от времени образования первой надпойменной террасы до наших дней. В силу асимметрии долины и сосредоточения пойменных грив и стариц – индикаторов положений русла только на левом берегу, сплошное восстановление положений русла оказалось невозможным. Поэтому восстановлены только отдельные фрагменты древних русел, по конфигурации которых удалось воссоздать и основные параметры древних излучин (таблица 2). Выявленные изменения показателей свидетельствуют об активном меандрировании реки Камы в течение голоцена. Вместе с тем, периодические изменения параметров стариц на разных генерациях говорят о колебании водности Камы на протяжении голоцена. Значения радиусов кривизны и шага стариц напрямую зависят от водности реки во время половодий и паводков, когда происходят основные деформации речного русла и когда эти старицы были действующим руслом.

В наиболее характерных местах для каждой пойменной генерации р. Камы осуществлялось литостратиграфическое изучение разрезов естественных обнажений или кернов скважин ручного бурения в заполнениях палеорусел (рисунок 3).

Таблица 2. Сводная характеристика пойменных генераций и надпойменных террас в долине верхней Камы.

Table 2. Summary of the characteristics of the Kama valley floodplain generations in the Upper Kama valley.

Пойменная генерация / надпойменная терраса	Календарный возраст, тыс. лет	Археологическая эпоха	Радиус кривизны стариц, м	Шаг изогнутых стариц и ложбин, км	Условия формирования
Перваянадпойменная терраса	14,0–11,0	Верхний палеолит	1500–1800	2–2,9	Последняя перестройка камской гидрографической системы
Пойменно-террасовая поверхность	8,4–9,3	Мезолит	1000	1,9	Высокие руслоформирующие расходы воды
7-я пойменная генерация	8,4–9,3		920	1,9	Высокие руслоформирующие расходы воды (продолжение увеличения размера излучин)
6-я пойменная генерация	7,5–8,0		980–1700	1,7–3,4	
5-я пойменная генерация	6,0–7,5	Неолит	600–1080	1,2–1,9	Сокращение руслоформирующих расходов воды
4-я пойменная генерация	4,5–5,9	Неолит – энеолит	1050–1200	1,5–2,1	Увеличение водности, вызванное изменениями физико-географических условий бассейна (возрастание увлажнения), отразилось в активизации русловых процессов Камы (размывов берегов, миграциях русла, его неустойчивости)
3-я пойменная генерация	2,1–3,1	Ранний железный век	550–870	1,1–1,5	Сокращение руслоформирующих расходов воды, аридизация климата
2-я пойменная генерация	1,3		–	–	Увеличение водности, массовое спрямление излучин
1-я пойменная генерация	Менее 1000	Средневековье	680–1240	1,4–2,.3	Продолжающееся увеличение водности, формирование современного русла

Разрез Леваты (60°14'46.10" с.ш., 54°28'21.00"в.д.) расположен на левом берегу р. Камы. Изученный разрез представляет собой типичное заполнение палеорусла, и его строение отражает последовательную смену условий осадконакопления: активное русло – отчленение от основного русла и начало озёрного (старичного) осадконакопления – эвтрофикация водоёма и последующее заболачивание – подновление активности русла – отложение песка во время паводков и половодий. По органогенным отложениям получены три радиоуглеродные даты. Дата, полученная из подошвы органогенных отложений, маркирует время формирования 7-ой пойменной генерации.

Разрез Бондюг (60°27'58.80" с.ш., 55°56'36.90" в.д.) располагается на правом берегу р. Камы и маркирует период формирования 4-й пойменной генерации. Разрез представляет собой заполнение палеорусла (песок – суглинок – суглинок с органикой), в котором впоследствии возобновилось течение воды. В основании оторфованного суглинка получена среднеголоценовая радиоуглеродная дата – 5,2–5,1 тыс. кал. л.н.

Разрез Кушмангорт (60°24'59.40" с.ш., 56°05'06.40" в.д.) располагается на правом берегу

р. Камы и маркирует формирование 3-й пойменной генерации. Пойменная толща мощностью 225 см представляет собой заполнение затона с чередованием разных условий осадконакопления. Полученная радиоуглеродная дата в основании разреза датирует начало формирования отложений поздним голоценом в интервале 2,3–2,2 тыс. кал. л.н.

Разрез Пянтег (60°08'03.10" с.ш., 56°16'15.60" в.д.) располагается в левом берегу р. Камы. Разрез представляет собой заполнение палеорусла 4-ой пойменной генерации с постепенным переходом от руслового аллювия (песок) к старичному (оторфованный суглинок и торф), впоследствии перекрытому современным наилком (супесь). Из торфа с глубины 225 см получена радиоуглеродная дата, соответствующая среднему голоцену в интервале 5,0–4,8 тыс. кал. л.н.

Разрез Амбор (60°13'45.70" с.ш., 56°11'00.70" в.д.) располагается на левом берегу р. Камы. В целом, разрез представляет собой заполнение палеорусла, в котором произошло возобновление обстановки текучей воды. По органогенным отложениям получены три радиоуглеродные даты, самая нижняя из которых маркирует время формирования 3-ей пойменной генерации.

Разрез Керчевский (59°57'57.80" с.ш., 56°18'29.70" в.д.) расположен на левом берегу Камы. Разрез демонстрирует постепенный переход от русловой фации аллювия (песок) к пойменной (суглинок), а затем к старичной (оторфованный суглинок и торф). Из оторфованного суглинка с глубины 240 см получена радиоуглеродная дата, соответствующая раннему голоцену в интервале 9,8–9,65 тыс. кал. л.н. и маркирующая время формирования 7-ой пойменной генерации.

Разрез Тюлькино (59°52'21.90" с.ш., 56°27'55.60" в.д.) располагается на левом берегу р. Камы. В разрезе толща старичного аллювия из заполнения палеорусла перекрыта современным наилком. Для органогенных отложений разреза получены 2 радиоуглеродные даты.

Долина Косы. Детальное изучение рельефа пойм и надпойменных террас проведено в месте впадения Лолога в крупный приток Камы реку Косу. Долины Косы и Лолога – широкие, состоят из поймы и надпойменных террас, сложенных легкоразмываемыми аллювиальными песками и суглинками, которые подстилаются песчаниками, глинами и мергелями пермского возраста. Правый борт долины Косы занят обширным грядово-мочажинным болотом Ыджиднюр. По высоте болото соответствует первой надпойменной террасе, но полностью лишенного следов гривистого флювиального рельефа.

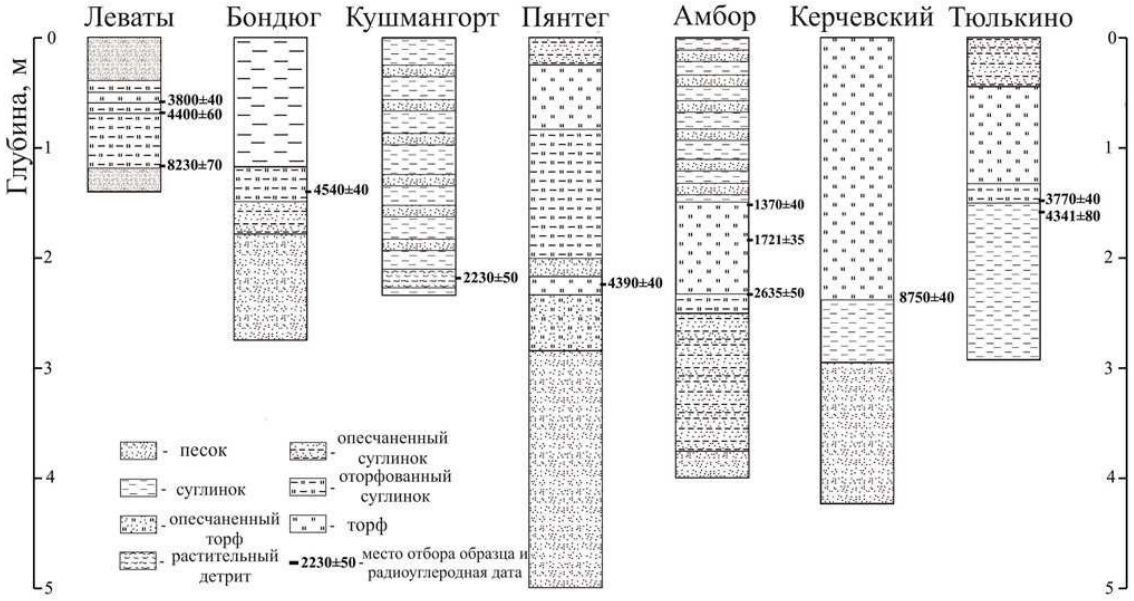


Рисунок 3. Литологическое строение изученных разрезов в долине верхней Камы.
Figure 3. Lithology of the studied sections in the upper Kama valley.

Относительная высота первой надпойменной террасы 7–8 м, второй – 17–19 м. Пойма представлена почти непрерывной полосой шириной 1–2 км вдоль Лолога и Косы, достигая максимального развития на участке их слияния (рисунок 4). Низкая пойма, изобилующая молодыми незаросшими старицами, имеет высоту 2–3 м. Высокая пойма имеет относительную высоту 4–5 м.

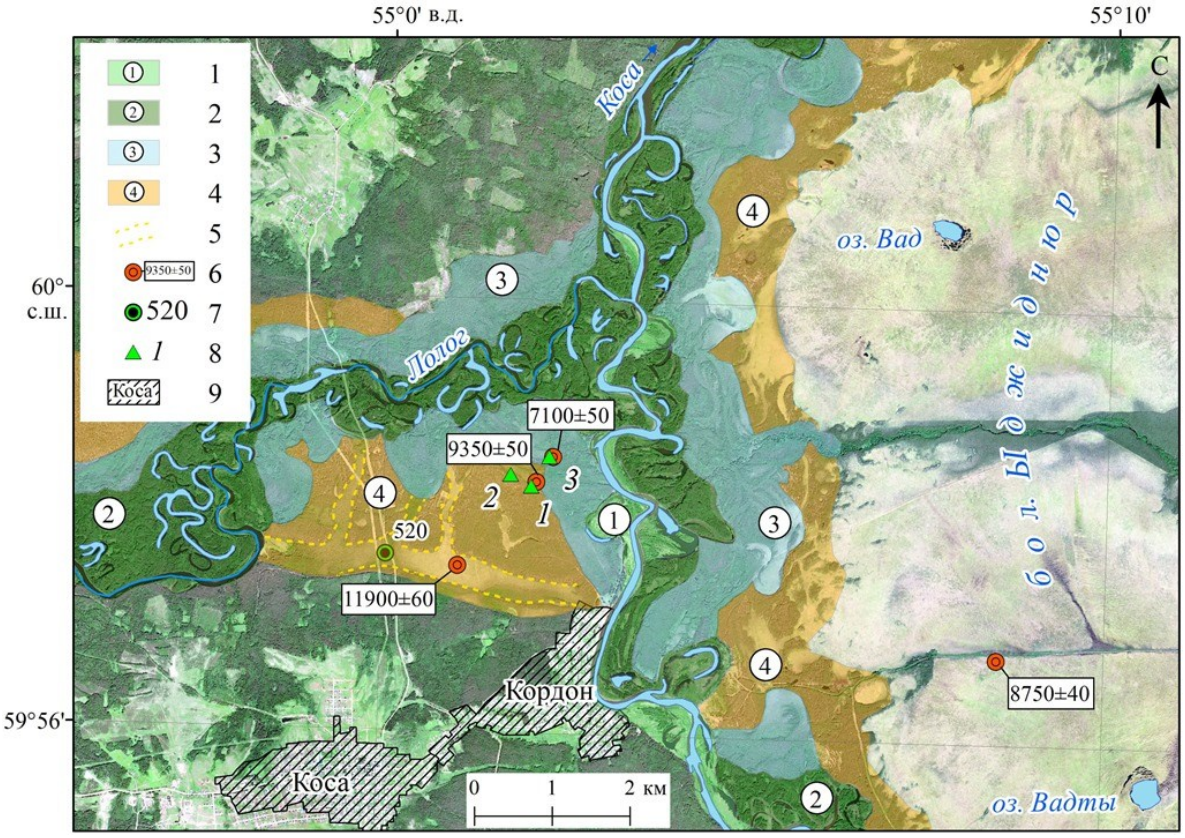


Рисунок 4. Фрагмент палеогеоморфологической карты долины Косы с археологическими памятниками. Пойма: 1 – низкая, 2 – высокая; надпойменная терраса: 3 – первая, 4 – вторая; 5 – контур заболоченной ложбины (палеорусла Лолога) и ее притоков на второй надпойменной террасе; 6 – расположение пробуренных скважин и радиоуглеродные даты; 7 – местоположение скважины Камской партии Всесоюзного гидрогеологического треста; 8 – археологические памятники (стоянки): 1 – Коса I, 2 – Коса II, 3 – Коса III; 9 – населенные пункты.

Figure 4. Fragment of a paleogeomorphological map of the Kosa valley with archaeological sites. 1 – low floodplain; 2 – high floodplain; 3 – 1st terrace; 4 – 2nd terrace; 5 – palaeochannels of Lolog and its tributaries on the 2nd terrace; 6 – location of boreholes and 14C dates; 7 – location of deep-drilling boreholes; 8 – archaeological sites: 1 – Kosa I, 2 – Kosa II, 3 – Kosa III; 9 – settlements.

В районе слияния Косы и Лолога также выделяется «слепая» заболоченная ложбина, которая вытянута в субширотном направлении в 2 км южнее современного русла р. Лолог и заканчивается в 4 км выше его устья (рисунок 4). Ориентировка ложбины, вероятно, указывает на то, что она является палеоруслом самого Лолога, а ее ширина (350–370 м) может указывать на ширину пояса меандрирования водотока. Аналогичные формы рельефа повсеместно встречаются и в левобережной части бассейна Верхней Камы, на междуречьях Тимшера, Южной Кельтмы и Пильвы [Назаров и др., 2020].

Картографирование археологических памятников

Всего в районе исследования выявлено 100 памятников. Хронологически они представлены следующим образом: 4 многослойных (присутствуют слои каменного века и средневековья); 23 памятника каменного и бронзового веков (мезолит/неолит/энеолит/ бронза); 2 – эпохи

раннего железа (ананьинская культура) и 79 средневековых памятников ломоватовской и родановской культур (53 селища, 14 могильников и 12 городищ) [Лычагина и др., 2021].

Обсуждение

Первый этап изменения палеогеографических условий в бассейне верхней Камы связан с позднеледниковьем. Для него характерен достаточно холодный климат, высокая влажность, распространение перигляциальных ландшафтов. Вторая надпойменная терраса находилась в стадии формирования и не могла рассматриваться как удобное место даже для кратковременной стоянки древнего человека.

Во время формирования первой надпойменной террасы водность Камы была выше современной. Об этом говорят параметры древних излучин. Судя по положению сохранившихся массивов террасы, река Кама располагалась тогда в 6–6,5 км левее (северо-восточнее) своего нынешнего положения (рисунок 2). Возможно, с этим связано отсутствие археологических памятников, относящихся к финальному палеолиту в данном районе. В настоящее время эти берега также размываются рекой, вследствие чего происходит постепенное уничтожение средневековых городищ.

Следующий этап относится уже к раннему голоцену. В это время сформировалась поверхность второй террасы. Она приобрела комфортный для освоения человеком облик. Как показывают исследования [Demakov et al., 2022], поверхность террасы была покрыта таежными сосновыми и березовыми формациями с участием ели.

Время формирования седьмой пойменной генерации датируется 9,3–8,4 тыс. кал. л.н. К этому времени основная река бассейна – Кама – уже сместилась вправо и ось её долины заняла близкое к современному положение под крутым береговым уступом. Однако, русло реки, несмотря на наличие крутого ведущего берега, свободно меандрировало в широкой пойме. Подобное интенсивное меандрирование стало характерным типом русла верхней Камы почти на протяжении всего голоцена; менялись только размеры излучин. В это время существовали мезолитические стоянки. Они располагались либо на второй надпойменной террасе, либо на коренном берегу. В настоящее время часть памятников находится на берегах старичных озер, на значительном расстоянии от современного русла Камы. Высокое расположение второй надпойменной террасы и коренного берега позволяли не опасаться ежегодных половодий.

Во время формирования 6-й пойменной генерации (8,0–7,5 кал. л.н.) параметры излучин ненамного возросли, что может трактоваться, как увеличение водности речного потока в раннем атлантическом периоде. С этим периодом развития реки мы можем связать существование стоянок позднего мезолита.

В это время в долинах Косы и Лолога формировалась первая надпойменная терраса, русла при этом сместились на север и восток, а здесь какое-то время сохранялся палеоводоем с медленнотекущей или стоячей водой. Миграции русел Лолога и Косы привели к тому, что человек вынужден был осваивать невысокую песчаную дюну, которая сформировалась на поверхности первой надпойменной террасы.

В середине атлантического периода (7,5–6,0 тыс. кал. л.н.) в период термического оптимума коэффициент стока понизился из-за увеличения испарения. Это отразилось на параметрах русла Камы – излучины, которые образовывались в то время, были заметно меньшего размера, чем формировавшиеся до и после них. Следы от этого этапа сохранились на 5-й пойменной генерации. В археологическом плане, это время существования неолитических памятников. К сожалению, в данном районе неолитические стоянки практически не известны. Можно отметить только стоянки Лёкмартово II, Лёкмартово III, находящиеся на первой и второй надпойменной террасе, высоко от воды.

Похолодание конца атлантического периода вызвало рост количества осадков, что отразилось на увеличении водности реки во все фазы режима. Именно этим обстоятельством можно объяснить резкую активизацию русловых деформаций во время формирования 4-ой пойменной генерации, которая датируется интервалом 5,9–4,5 тыс. кал. л.н. Русло Камы при формировании этой генерации оставило свои следы в виде гривистых сегментов и стариц почти

по всей ширине поймы. Это был период, когда блуждающая река быстро размывала свои берега, уничтожая, вероятно, при этом стоянки более раннего времени. Именно с этим процессом мы связываем почти полное отсутствие неолитических памятников в этом районе. Скорее всего, они были уничтожены в процессе резких изменений русла реки. В это время в регионе распространяются энеолитические памятники, относящиеся к гаринской культуре. Часть из них расположена на сохранившихся участках 5-ой пойменной генерации (или на границе поймы и первой террасы), часть – на коренных берегах.

3-я пойменная генерация формировалась в промежуток 3,1–2,1 тыс. кал. л.н. Многоводье предыдущего периода завершилось, руслоформирующие расходы воды снизились. Тем не менее, русло Камы в этот период по-прежнему активно перерабатывало пойменные берега, отходя от правого берега вглубь левобережной поймы. В археологическом плане к этому периоду относятся памятники раннего железного века. В районе исследований они практически не известны. Исключение составляют селище Вилисово I и стоянка Усть-Уролка I, расположенные на значительном расстоянии от современного русла Камы.

Пойменные массивы 2-ой генерации, возраст которых составляет 1,4–1,0 тыс. кал. л.н., лежат вблизи современного русла, повторяя его прямолинейную конфигурацию на некотором удалении от него. Одновременно более устойчивыми стали пойменные берега предшествующих генераций – опасность их размыва и уничтожения построек на них резко снизилась. На крутом правом берегу стали возникать поселения, некоторые из которых сохранились до середины XX века. К этому времени относится распространение средневековых памятников, расположение которых во многом зависело от типа памятника. Городища больше связаны с коренными берегами, в то время как селища привязаны к надпойменным террасам, берегам старичных озер и поймам малых рек.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №22-77-00086, https://rscf.ru/project/22-77-00086/

Acknowledgments

This research became possible due to Russian Science Foundation grant 22-77-00086, https://rscf.ru/project/22-77-00086/

Литература

Краснов И.И. Четвертичные отложения и геоморфология Камско-Печорско-Вычегодского водораздела и прилегающих территорий // Материалы по геоморфологии Урала. М.-Л.: Изд-во Мин. геол. СССР, 1948. С. 47–88.

Лычагина Е.Л., Демаков Д.А., Чернов А.В., Зарецкая Н.Е., Копытов С.В., Лаптева Е.Г., Трофимова С.С. Среда обитания древнего человека в бассейне Верхней Камы: опыт реконструкции // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2021. № 1 (52). С. 5–19. DOI: 10.20874/2071-0437-2021-52-1-1.

Назаров Н.Н., Копытов С.В., Жуйкова И.А., Чернов А.В. Плейстоценовые каналы стока в Южной части Кельтминской ложбины (Камско-Вычегодское междуречье) // Геоморфология.

References

Krasnov I.I. Chetvertichnye otlozheniya i geomorfologiya Kamsko-Pechorsko-Vychegodskogo vodorazdela i prilegayushchih territorii [Quaternary deposits and geomorphology of the Kama-Pechora-Vychegda watershed and adjacent territories]. In *Materialy po geomorfologii Urala [Materials on geomorphology of Urals]*. Moscow, Gosgeolizdat (Publ.), 1948, Vol. 1, P. 47–87. (In Russian).

Lychagina E.L., Demakov D.A., Chernov A.V., Zaretskaya N.E., Kopytov S.V., Lapteva E.G., Trofimova S.S. Sreda obitaniya drevnego cheloveka v bassejne Verhnej Kamy: opyt rekonstrukcii [Human palaeoenvironment in the Upper Kama river basin: experience of reconstruction]. In: *Vestnik Archeologii, Antropologii i Etnografii*, 2021, № 1 (52), pp. 5-19. (In Russian; abstract in English).

2020. № 4. С. 74–88. DOI: 10.31857/S0435428120040070.

Чалов Р.С. Историческое и палеорусловедение: предмет, методы исследований и роль в изучении рельефа // Геоморфология. 1996. № 4. С. 13–18.

Demakov D.A., Lychagina E.L., Zaretskaya N.E., Kopytov S.V., Chernov A.V., Lapteva E.G., Trofimova S.S., Kosintsev P.A. Kosa Mesolithic Sites in the Context of the Palaeoenvironmental History of the Upper Kama Basin in the Late Glacial and Early Holocene // Doklady Earth Sciences. 2022. Vol. 507. Suppl. 1. pp. S92–S103. DOI: 10.1134/S1028334X22601201.

Lapteva E.G., Zaretskaya N.E., Lychagina E.L., Trofimova S.S., Demakov D.A., Kopytov S.V., Chernov A.V. Holocene vegetation dynamics, river valley evolution and human settlement of the upper Kama valley, Ural region, Russia // Vegetation History and Archaeobotany. 2023. Vol. 32. pp. 361–385. DOI: 10.1007/s00334-023-00913-5.

Reimer P., Austin W., Bard E., Bayliss A., Blackwell P., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R., Friedrich M., Grootes P., Guilderson T., Hajdas I., Heaton T., Hogg A., Hughen K., Kromer B., Manning S., Muscheler R., Palmer J., Pearson C., van der Plicht J., Reimer R., Richards D., Scott E., Southon J., Turney C., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A., Talamo S. The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP) // Radiocarbon. 2020. Vol. 62. Iss. 4. P. 725–757. DOI: 10.1017/RDC.2020.41.

Shumilovskikh L.S., Schmidt M., Pereskokov M.L., Sannikov P.Yu. Postglacial history of East European boreal forests in the mid-Kama region, pre-Urals, Russia // Boreas. 2020. Vol. 49, Iss. 3. P. 526–543. DOI: 10.1111/bor.12436.

Nazarov N.N., Kopytov S.V., Zhuikova I.A., Chernov A.V. Plejstocenovye kanaly stoka v YUzhnoj chasti Kel'tminskoj lozhbiny (Kamsko-Vychegodskoe mezhdurech'e) [Pleistocene runoff channels in the southern part of the Keltma hollow (Kama–Vychegda watershed)]. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS),* 2020, № 4, pp. 74-88. (In Russian; abstract in English).

Chalov R.S. Istoricheskoe i paleoruslovedenie: predmet, metody issledovanij i rol' v izuchenii rel'efa [Historical and palaeochannel studies: subject, research methods and role in the study of relief]. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS),* 1996, No. 4, pp. 13–18. (In Russian; abstract in English).

Demakov D.A., Lychagina E.L., Zaretskaya N.E., Kopytov S.V., Chernov A.V., Lapteva E.G., Trofimova S.S., Kosintsev P.A. Kosa Mesolithic Sites in the Context of the Palaeoenvironmental History of the Upper Kama Basin in the Late Glacial and Early Holocene. Doklady Earth Sciences, 2022, Vol. 507, Suppl. 1, pp. S92–S103. DOI: 10.1134/S1028334X22601201ю

Lapteva E.G., Zaretskaya N.E., Lychagina E.L., Trofimova S.S., Demakov D.A., Kopytov S.V., Chernov A.V. Holocene vegetation dynamics, river valley evolution and human settlement of the upper Kama valley, Ural region, Russia. Vegetation History and Archaeobotany, 2023, Vol. 32, pp. 361–385. DOI: 10.1007/s00334-023-00913-5ю

Reimer P., Austin W., Bard E., Bayliss A., Blackwell P., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R., Friedrich M., Grootes P., Guilderson T., Hajdas I., Heaton T., Hogg A., Hughen K., Kromer B., Manning S., Muscheler R., Palmer J., Pearson C., van der Plicht J., Reimer R., Richards D., Scott E., Southon J., Turney C., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A., Talamo S. The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). Radiocarbon, 2020, Vol. 62, Iss. 4, P. 725–757. DOI: 10.1017/RDC.2020.41.

Shumilovskikh L.S., Schmidt M., Pereskokov M.L., Sannikov P.Yu. Postglacial history of East European boreal forests in the mid-Kama region, pre-Urals, Russia. Boreas, 2020, Vo, 49, Iss. 3, P. 526–543. DOI: 10.1111/bor.12436ю

УДК 551.4.075 (470.51) DOI: 10.34753/HS.2023.5.2.202

ЭВОЛЮЦИЯ РУСЛОВЫХ СИСТЕМ ОТ НИЖНЕГО КАРБОНА ДО КВАРТЕРА (НА ПРИМЕРЕ УДМУРТИИ)

А.Г. Истомин[1], И.И. Рысин[2]
[1] ГК «Дальпромсинтез», г. Ижевск, Россия;
[2] Удмуртский госуниверситет, г. Ижевск, Россия
rysin.iwan@yandex.ru

Аннотация. В статье приводятся материалы по морфометрическим и литолого-стратиграфическим характеристикам палеорусел визейского яруса нижнего карбона и неоген-четвертичного времени на территории Удмуртской Республики, представляющие интерес как эволюционные звенья эрозионных форм. Представлены материалы геофизических исследований (наземной сейсморазведки в комплексе с данными бурения) с применением метода общей глубинной точки (МОГТ) в пределах Чутырско-Киенгопской группы месторождений нефти на площади более 1,8 тыс. км^2 за период с 1999 по 2017 гг. Целевым назначением исследований являлось уточнение геологического строения для определения границ перспективных поднятий, контролируемых залежи углеводородного сырья. При интерпретации трехмерных массивов данных, полученных в результате реализации съемок МОГТ-3D, за счет разницы в акустических свойствах терригенных пород, составляющих тело палеорусла, и вмещающих карбонатных пород подстилающей толщи, эрозионный объект выделялся более однозначно на палеогеоизохронных сечениях терригенной толщи визейского яруса. В результате было выделено палеорусло, имеющее линейную форму с зачатками излучин, протяженностью более 60 км и шириной от 1,5 км на севере до 2,5–4 км в центральной и южной части изучаемой территории. Глубина речной палеодолины изменялась от 60 м в северной части до 80–100 м в центральной и сокращалась до 35–50 м в южной

EVOLUTION OF CHANNEL SYSTEMS FROM THE LOWER CARBON TO THE QUARTER (BY THE EXAMPLE OF UDMURTIA)

Alexandr G. Istomin[1], Ivan I. Rysin[2]
[1] GC "Dalpromsintez"; [2] Udmurt State University, Izhevsk, Russia
rysin.iwan@yandex.ru

Abstract. Here, paleochannels of different geological periods are considered as evolutionary links of erosional systems. The paper presents the materials of geophysical studies (land seismic survey in combination with drilling data) using the common depth point (CDP) method within the Chutyrsko-Kiengopskaya group of oil fields over an area of more than 1.8 thousand km^2 for the period from 1999 to 2017. As a result, a paleochannel was identified, which has a linear shape with the beginnings of meanders, more than 60 km long and from 1.5 km in the north to 2.5–4 km in the central and southern parts of the study area. The depth of the river paleovalley varied from 60 m in the northern part to 80–100 m in the central part and decreased to 35–50 m in the southern part, where it had a pronounced floodplain. It was established that the course of the paleo-river passed from north to southeast. A comparative analysis of the morphological and morphometric features of the paleochannels of the Lower Carboniferous and the Neogene-Quaternary time showed that the depth of the Pliocene incisions of modern rivers significantly exceeds the Visean, and the paleochannels of the Quaternary are close in morphometric parameters to the Lower Carboniferous. If the Paleozoic incisions can be potential hydrocarbon traps, then the Neogene-Quaternary paleochannels usually contain deposits of sand and gravel materials, serve as a source of conditioned fresh groundwater, less often alluvial placer deposits.

Istomin A.G., Rysin I.I. Evolution of channel systems from the Lower Carbon to the Quarter (by the example of Udmurtia). *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2023, vol. 5, iss. 2, pp. 202–215. (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2023.5.2.202

части, где имела выраженную пойменную часть. Установлено, что течение палеореки проходило с севера на юго-восток. Сравнительный анализ морфолого-морфометрических особенностей палеорусел нижнего карбона и неоген-четвертичного времени показал, что глубина плиоценовых врезов современных рек существенно превышает визейские, а палеорусла квартера по морфометрическим параметрам близки к нижнекарбоновым. Если палеозойские врезы могут являться потенциальными ловушками углеводородов, то неоген-четвертичные палеорусла обычно содержат месторождения песчано-гравийных материалов, служат источником кондиционных пресных подземных вод, реже – аллювиальных россыпных месторождений.

Ключевые слова: палеорусла; визейский ярус; неоген-четвертичный этап; геофизические методы; Удмуртия.

Keywords: paleochannels; Visean stage; Neogene-Quaternary stage; geophysical methods; Udmurtia.

Введение

Равнинная территория Удмуртской Республики (УР) расчленена густой сетью рек, общая протяженность которых составляет почти 30 тыс. км. Проявляется также и зональное увеличение густоты речной сети с юга (0,35–0,45 км/км^2) на север (0,60–0,70 км/км^2). Преобладают широкопойменные реки с активным развитием процессов меандрирования [Атлас Удмуртской…, 2020; Рысин, Петухова, 2006]. Территория Удмуртии расположена в пределах двух крупных тектонических структур Волго-Камской антеклизы: Северо-Татарского свода и Верхнекамской впадины.

История геологического развития территории УР условно делится на три крупных цикла, характеризующихся различной интенсивностью тектонической перестройки, условиями образования осадков, глубиной залегания пластов и протяженностью во времени: 1) раннедокембрийский; 2) позднедокембрийский и 3) палеозойско-кайнозойский. Стратиграфия и литология региона к настоящему времени достаточно хорошо изучены [Геология и нефтеносность…, 1976].

Проблема формирования погребенных долин как на равнинных, так и в горных областях всегда имела большой интерес геологов и геоморфологов в связи с поисками и разведкой россыпных и других месторождений. Уже в первых крупных обобщениях по геологии россыпей большое внимание уделялось процессу формирования долин в разные динамические фазы [Билибин, 1956]. Это направление получило развитие в работах Н.А. Шило [2000], Ю.И. Гольдфарба [2009] и других исследователей. Позднее Г.А. Постоленко [2013] впервые рассмотрены закономерности формирования погребенных долин на протяжении крупных временных периодов – климатохронов, обусловившие основные черты морфологического сходства долин.

Однако исследования погребенных долин в основном имели обобщающий характер и касались пространственного и гипсометрического соотношения разновозрастных врезов, связи процесса формирования долин с климатическими ритмами. Детальные исследования морфологии погребенных врезов и строения приуроченных к ним россыпей в зависимости от локальных

литолого-тектонических условий, влияния морфодинамических типов русел и палеопритоков на различных участках долин к настоящему времени изучены недостаточно [Виноградова, 2020]. Об удовлетворительной изученности погребенных долин указывал в свое время и С.А. Сладкопевцев [1974]. В работе автора показана недостаточность сведений, касающихся механизма образования долин как форм рельефа и закономерностей накопления выполняющих их осадков. Не выяснены многие аспекты взаимодействия эндогенных и экзогенных факторов в процессе разработки и захоронения долин.

Палеореки докембрия, условно называемые эореками, палеореки палеозоя или протореки, значительно отличаются как от палеорек мезозоя и кайнозоя (без антропогена) или собственно палеорек, так и от антропогеновых палеорек или прарек. Вместе с тем палеореки всех геологических периодов характеризуются некоторыми общими чертами, определяемыми общими гидрологическими особенностями речных вод, которые отражаются в специфике аллювия, как особого генетического типа осадочных пород [Горецкий, 1974; Сидорчук, 2004]. Поэтому основной целью данной статьи является сопоставление морфолого-морфометрических особенностей палеорек нижнего карбона с неоген-четвертичными руслами, что позволит в будущем проследить эволюцию русловых образований за продолжительный геологический этап развития.

Первые русловые системы в палеозойском осадочном чехле были выявлены в начале 80-х годов XX века на юго-востоке Удмуртии: в процессе эксплуатационного разбуривания месторождений Арланской группы в ряде скважин отметили существенное расхождение ожидаемой и фактической глубины целевого карбонатного горизонта турнейского яруса нижнекаменноугольной системы. Одновременно с этим, при каротажных исследованиях в разрезе скважин фиксировалось значительное увеличение толщины покрывающих терригенных отложений визейского яруса нижнего карбона. Далее, в процессе накопления информации и построении карт распространения аномальных зон было установлено, что данные объекты, как правило, имеют линейные формы, напоминающие русла рек. Также было установлено, что врезы влияют на форму и на размеры залежей углеводородного сырья (УВС) как в карбонатах толщи, подвергшейся эрозии (разделение единых палеоподнятий на отдельные купола, разрушение покрывающих пластов-флюидоупоров и расформирование залежей), так и в покрывающей терригенной толще [Шпилевая, Трофимов и др., 2001].

Наилучшая сохранность в осадочном разрезе нижнего карбона и кайнозоя наблюдается у эрозионных врезов, как правило, сформировавшихся в результате деятельности русловых потоков и представляющих погребенные речные долины, реже – сформировавшиеся в результате карстовых процессов подстилающих карбонатов, последующего обрушения и заполнения полостей терригенными осадками. Широкое распространение в Удмуртии, прилегающих областях Татарстана, Башкортостана и Пермского края имеют визейские (возрастом 347–331 млн лет) и верейские врезы (около 315 млн лет), а к наиболее древним относятся вендские врезы (600–555 млн лет), обнаруженные при проведении геофизических исследований в Шарканском и Дебесском районах УР.

Методы исследования

С развитием технологий геофизических исследований, в первую очередь наземной сейсмической разведки [Куликов, Абросимова и др., 2015; Владов, Старовойтов, 2004; Santos-Assunsao S., Perez-Gracia V., et al, 2016], выделение эрозионных объектов в интервале нижнего карбона стало возможным и на малоизученных бурением территориях. В процессе исследований было установлено, что древние палеорусла распространены в пределах крупных палеоструктур верхнедевонско-турнейского палеошельфа: карбонатных палеоплато, рифогенных массивов и барьерных рифов; выделяются на границе смены типа осадков (турнейского карбонатного и визейского терригенного), а возраст врезов относится к предвизейскому и визейскому. Дальнейшее совершенствование как геофизических методик (переход от двумерных (2D) к трехмерным (3D)

наблюдениям, увеличение плотности наблюдений, повышение чувствительности приборов), так и программного обеспечения для интерпретации геофизических материалов, позволило выделять в разрезе не только крупные эрозионные объекты (врезы), но и более мелкие формы, отождествляемые с палеоканалами, сечение которых в поперечнике составляет единицы метров. Наличие таких объектов в разрезе, при благоприятном структурном факторе контролирующих залежи УВС (т.н. «шнурковые» залежи), определило необходимость проведения дополнительных геологоразведочных работ, направленных на прогноз и выявление нефтеловушек литологического и структурно-литологического типов, приуроченных к терригенному комплексу нижнего карбона [Истомина, Яруллин, 2021; Истомина, Истомин, 2018; Ермолова, Мушин и др., 2019; Савельев, 2003].

В настоящей статье приводится пример выделения визейского вреза, закартированного при проведении сейсморазведочных работ на территории Игринского, Якшур-Бодьинского и Шарканского районов УР. Исследуемый русловый объект был выявлен при интерпретации геофизических материалов (наземной сейсморазведки в комплексе с данными бурения).

В период с 1999 по 2017 гг. на данной территории проводились сейсмические исследования методом общей глубинной точки (МОГТ-2D и МОГТ-3D), суммарная площадь исследований составила более 1,8 тыс. км^2. Назначением работ являлось уточнение геологического строения с целью определения границ перспективных поднятий, контролируемых залежи УВС в продуктивных пластах среднекаменноугольной и нижнекаменноугольной систем.

В процессе интерпретации, на отдельных участках съемок МОГТ-2D выделялись фрагменты эрозионного объекта, отождествляемого с визейским врезом в подстилающую карбонатную толщу турнейско-верхнефаменского возраста. При интерпретации трехмерных массивов данных, полученных в результате реализации съемок МОГТ-3D, за счет разницы в акустических свойствах терригенных пород, составляющих тело палеорусла, и вмещающих карбонатных пород подстилающей толщи, эрозионный объект выделялся более однозначно на палеогеоизохронных сечениях (субгоризонтальных сечениях, равноудаленных относительно границ кровли и подошвы терригенной толщи визейского яруса).

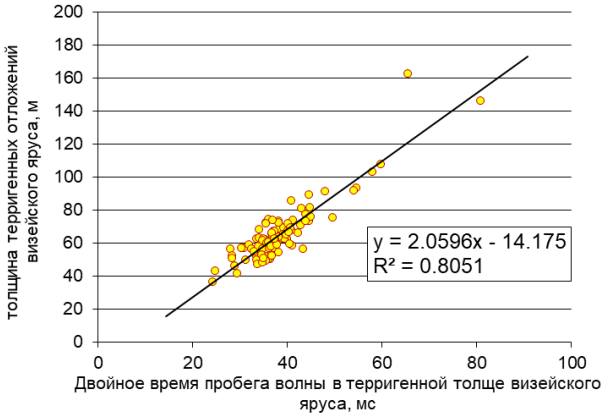


Рисунок 1. Взаимосвязь зарегистрированного времени пробега сейсмической волны в терригенной толще визейского яруса и соответствующей мощности по данным бурения на Чутырско-Киенгопской площади.

Figure 1. Relationship between the recorded travel time of a seismic wave in the terrigenous strata of the Visean stage and the corresponding thickness according to drilling data in the Chutyrsko-Kiengopskaya area.

В процессе подготовки материалов к представленной статье были выполнены работы по увязке и обобщению информации, полученной в разные годы с использованием различных модификаций сейсморазведки. Выделяемые в области времен на сейсмических разрезах границы от кровли и подошвы терригенной толщи визейского яруса контролировались на предмет наличия технических ошибок наложением корреляции на загруженные сейсмические разрезы, далее проводилась коррекция при необходимости, увязка и «сшивка» массива данных в единую площадь всех участков работ разных лет. В результате была получена обобщенная карта интервальных времен, отождествляющая физические характеристики терригенной толщи визейского яруса. Затем устанавливалась взаимосвязь времени пробега волны от кровли до подошвы терригенной толщи (по данным сейсморазведки) и соответствующей толщины терригенных отложений по данным бурения в точках скважин, вскрывших изучаемый интервал разреза (рисунок 1).

Полученное уравнение регрессионной зависимости использовалось для пересчета всей карты интервальных времен в соответствующую карту интервальных мощностей терригенной толщи нижнего карбона, которая на завершающем этапе была увязана с фактическими данными бурения.

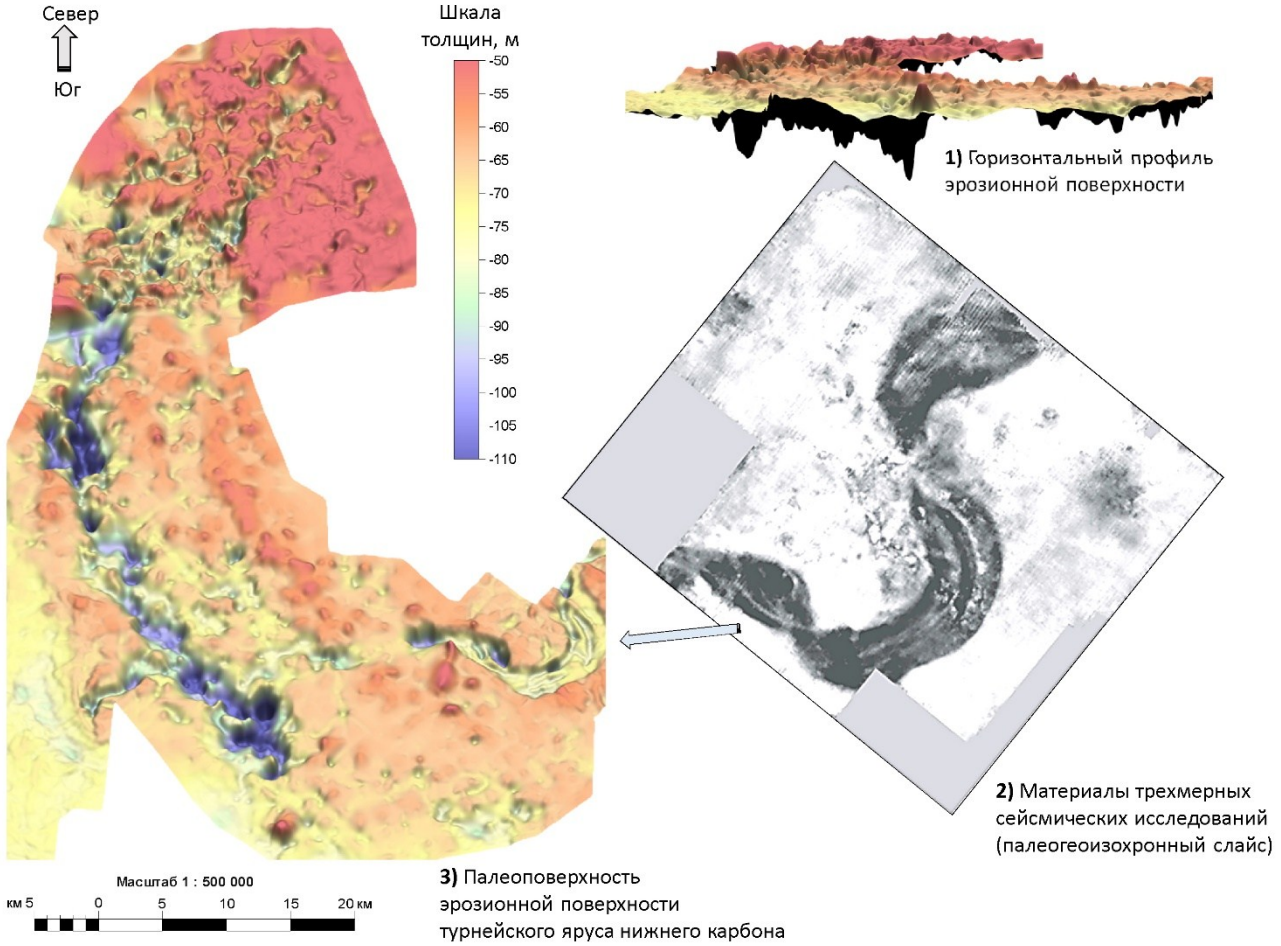


Рисунок 2. Чутырско-Киенгопская площадь сейсморазведочных работ. Палеореконструкция эрозионной поверхности турнейского яруса:
1 – эрозионная поверхность турнейского яруса, профильная плоскость; 2 – геофизические данные (материалы сейсмических исследований); 3 – эрозионная поверхность турнейского яруса, палеореконструкция на момент эрозионных процессов и накопления осадков.

Figure 2. Chutyrsko-Kiengopskaya seismic area. Paleoreconstruction of the erosional surface of the Tournaisian stage:
1 – erosional surface of the Tournaisian stage, profile plane; 2 – geophysical data (materials of seismic surveys); 3 – erosional surface of the Tournaisian stage, paleoreconstruction at the time of erosion processes and accumulation of sediments.

Результаты и их обсуждение

Учитывая тот факт, что формирование терригенной толщи визейского яруса проходило в схожих условиях на протяжении всего времени осадконакопления (с максимальным накоплением в погруженных и эрозионных участках подстилающей поверхности карбонатов), полученную карту можно также рассматривать как палеореконструкцию эрозионной поверхности карбонатов турнейского яруса на начало визейского периода. В результате было выделено палеорусло, имеющее линейную форму, протяженностью более 60 км и шириной от 1,5 км на севере до 2,5–4 км в центральной и южной части площади исследования (рисунок 2). Глубина речной палеодолины определялась на поперечных сечениях как разница отметок между осью вреза и бровкой коренного палеосклона – она возрастала от 60 м в северной части до 80–100 м в центральной и сокращалась до 35–50 м в южной части, где имела выраженную пойменную часть с узким и наиболее глубоким

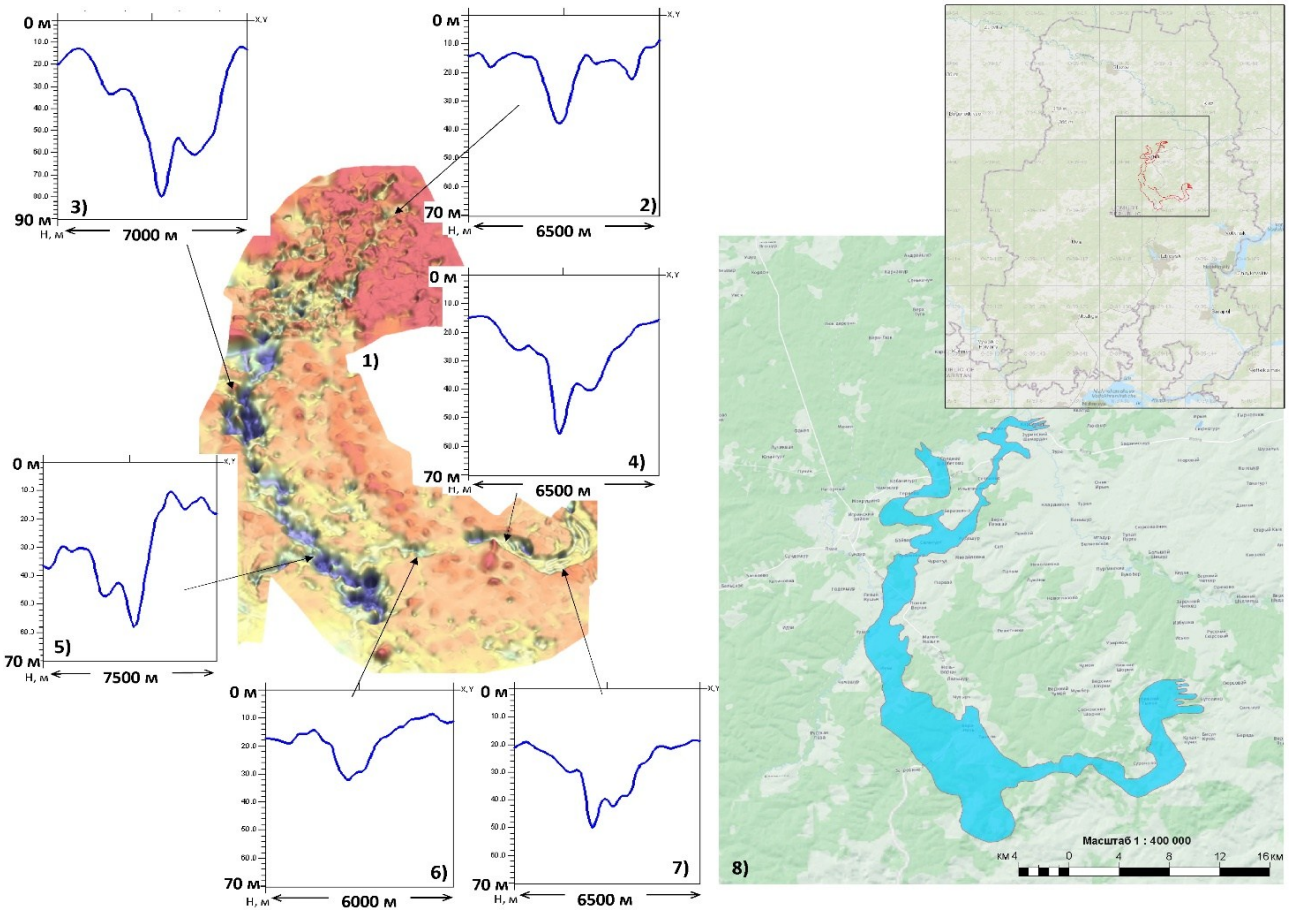


Рисунок 3. Поперечные профили рельефа дна речной палеодолины на различных участках: 1 – эрозионная поверхность турнейского яруса, палеореконструкция на момент эрозионных процессов и накопления осадков; 2–7 – поперечные срезы палеоповерхности турнейского яруса; 8 - проекция древнего визейского палеорусла на современный топографический план.

Figure 3. Cross profiles of the bottom relief of the river paleovalley in different areas: 1 – erosional surface of the Tournaisian stage, paleoreconstruction at the time of erosion processes and accumulation of sediments; 2–7 – transverse sections of the paleosurface of the Tournaisian stage; 8 – projection of the ancient Visean paleochannel on the modern topographic plan.

участком палеорусла (рисунок 3) [Истомин, Пуртова и др., 2003; Ощепкова, Истомин и др., 2012].

На участках наибольшей эрозии были размыты подстилающие карбонатные отложения черепетского, малевского и упинского горизонтов турнейского яруса нижнего карбона. Это подтверждено результатами бурения: при отборе керна из скважин, вскрывших данный интервал разреза, отмечено различие песчаных отложений по площади (мелкозернистые кварцевые песчаники, слагающие отдельные пласты терригенной толщи визейского яруса и сформированные в прибрежно-морских условиях) и составу песчаника в теле русла (крупнозернистые песчаники с включением мелкой гальки и темновато-серой глины) (рисунок 4).

Кроме того, выявленные врезы на севере УР (Карсовайская, Пибаньшурская площади), в центральной части (Михайловская, Кайсегуртская площади) и на юге (Казаковская, Арланская и Ельниковская площади), также распространены в зонах палеоплато и карбонатных массивов позднедевонско-турнейского палеошельфа, где ширина врезов составляет 150–500 м, длина от нескольких до десятков километров. Амплитуда врезов, по данным бурения, составляет 70–120 м [Савельев, 2003].

Типичный состав керна визейского яруса на примере Ельниковской площади УР представлен

алевропесчаником кварцевым, он неясно слоистый, коричневый, с округлыми включениями серого и коричневато-серого цветов (пятнистая текстура), размером от 1 до 5 мм в диаметре, составляющими 35–40 % от объема образца. Алевритовая (0,05–0,1 мм) и мелкопесчаная (0,1–0,25 мм) фракции содержатся в примерно равном объеме и сложены обломками кварца с единичными зернами калиевых полевых шпатов и мельниковита (рисунок 5). Порода состоит из обломочного материала (~69 %), цемента (~6 %) и пор (~25 %). Обломочный материал угловатый, угловато-оглаженный, иногда овальный, размером 0,06–0,25 мм, редко до 0,35 мм, представлен: зернами кварца трещиноватыми, с волнистым угасанием, нередко с тонкими неполными каемками регенерации, часто с волнистыми и фестончатыми контурами, замутненными зернами пелитизированного калишпата.

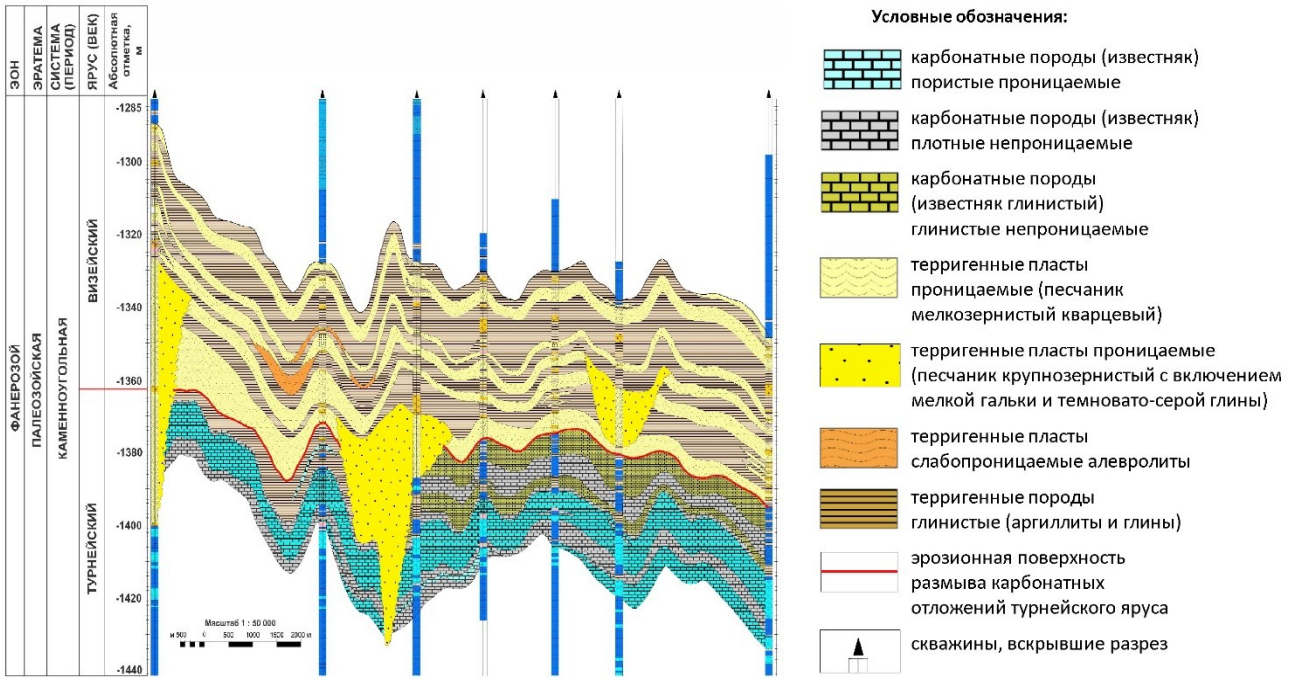


Рисунок 4. Геологический разрез нижнекаменноугольных отложений (визейский и турнейский ярус).
Figure 4. Geological section of the Lower Carboniferous deposits (Visean and Tournaisian stages).

Часто встречается алевролит слоистый. Наблюдаются серии слойков с косой, косоволнистой, линзовидной и горизонтальной слоистостью. Толщина слойков меняется от долей мм до 1 см. Слоистость нарушена ходами илоедов, что создает сочетание слоистой и пятнистой текстур. Диаметр ходов от 1 мм до 4 мм, выполнены они разнозернистым кварцевым алевритом с базально-поровым кальцитом цементом. В кернах также имеется алевролит кварцевый серый, разнозернистый (0,01–0,1 мм), линзовиднослоистый с порами. Линзовидную слоистость подчеркивают примазки (толщиной от долей мм до 0,5 мм) на границах линз черного глинисто-углистого вещества с примесью зерен кварца мелкоалевритовой размерности (0,01–0,05 мм).



Рисунок 5. Типичный керн визейского яруса, представленный алевропесчаником кварцевым темно-коричневым с сильным нефтенасыщением (на примере Ельниковской площади УР).
Figure 5. Typical core of the Visean stage, represented by dark brown silty sandstone with strong oil saturation (on the example of the Elnikovskaya field of the UR).

По результатам анализа толщины русловых отложений, а также поперечных размеров палеорусла предполагается, что течение палеореки проходило с севера на юго-восток (рисунки 2, 3) и определялось строением подстилающей толщи верхнедевонско-турнейского палеошельфа, а именно наличием погребенных Красногорского и Чутырско-Киенгопского барьерных рифов. Эндогенные процессы, предшествовавшие визейскому веку осадконакопления, привели к подъему данной территории и последующему размыву, а максимальные по интенсивности процессы протекали на наиболее выступающих поверхностях, которые располагались над погребенными барьерными рифами.

Если самые выразительные палеорусла выделяются в вендском и визейском интервалах, то позже, с конца нижнекаменноугольного периода до нижнепермского, на территории УР существовали типично морские условия осадконакопления. Стратиграфические перерывы были непродолжительными и не формировали контрастных амплитудных эрозионных объектов. Хотя палеорусла в виде небольших по ширине, но протяженных «шнурков» фиксируются геофизикой в верейское и в начале каширского времени среднекаменноугольного периода.

В неоген-четвертичный этап развития палеорусла хорошо изучены в долинах нижнего Ижа и его притоков и особенно в долине Камы благодаря классической работе Г.И. Горецкого [Горецкий, 1964]. Плиоценовый врез Ижа прослеживается от устья и примерно до широты г. Ижевска и имеет ширину от 2–2,5 км выше г. Агрыз и до 5 км в устье. Уклоны врезов днищ палеорусел в 5–6 раз превышают современные. Общая мощность плиоценовых отложений достигает 160 м. В основании разреза залегают маломощные галечники и пески русловой фации. Выше залегает мощная глинистая (реже алевриты) толща акчагыльского яруса.

Материалы по палеоруслу Нижней Камы были получены в результате изыскательских работ в 1950–1960-х годах для строительства Воткинской и Нижнекамской ГЭС. На участке между будущими плотинами, а также в низовьях Вятки и Белой через долины разбурено около 50 профилей с расстояниями между скважинами порядка сотен метров.

Согласно исследованиям [Горецкий, 1964], плиоценовая Палео-Кама текла в узкой, глубокой, каньонообразной долине. Днище ее долины близ устья Белой лежит на отметках -80 – -90 м, а в районе Самары опускается до -200 – -250 м. Ширина палеодолины составляла 700–800 м по

днищу и от 1,5 до 3,5 км по верху. Общая мощность плиоценовых отложений здесь меньше, чем в долине Ижа, и составляет всего 100–120 м, что связано с большей глубиной размыва.

Шешминский горизонт в основном слагается русловыми песками и галечниками мощностью 10–15 м. Выше эти отложения резко сменяются озерно-аллювиальными глинами и алевритами с тонкой горизонтальной слоистостью челнинского горизонта (отложения 1-й фазы акчагыльской трансгрессии, мощностью 60–70 м). Над челнинским залегают отложения сокольского горизонта (регрессивная фаза Акчагыльского бассейна), где увеличивается присутствие песков и алевритов и появляется косая слоистость. Мощность горизонта достигает 50 м. Из отложений периода максимума трансгрессии (чистопольский горизонт) в долине Камы сохранились лишь нижние слои. Эти отложения лучше сохранились в долинах его притоков, они представлены желто-бурыми известковистыми глинами. Мощность отложений чистопольского горизонта до 60 м. Разрез акчагыльского яруса завершает бикляньский горизонт (заключительная регрессивная фаза). Они имеют ограниченное распространение и представлены темными, жирными глинами, а также алевритами и песками глинистыми мощностью до 20 м.

Раннечетвертичный (венедский) врез прослеживается по всей Нижней Каме и обычно располагается под среднечетвертичным аллювием (рисунок 6). Вследствие того, что верхние слои сильно размыты, в разрезе обычно преобладают русловые пески и галечники фации размыва. Мощности выше устья Белой всего 2–3 м, ниже достигают 10–20 м. Местами в кровле появляются линзы пойменных суглинков, супесей и темных старичных глин и суглинков.

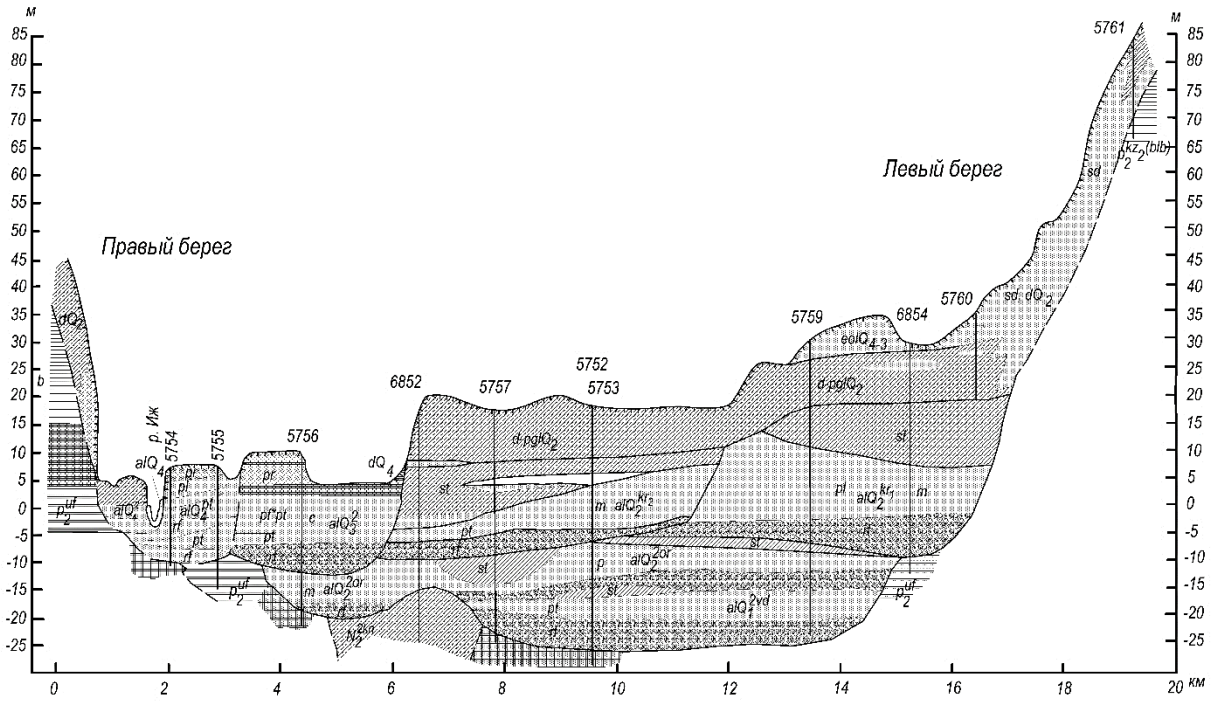


Рисунок 6. Схематический геологический профиль по Усть-Ижскому поперечнику [Горецкий, 1964].
Figure 6. Schematic geological profile along the Ust-Izhsky cross section [Goretskiy, 1964].

Среднечетвертичные отложения слагают III и IV надпойменные террасы, пользуются широким распространением, имеют сходное строение и близкие отметки. Обе террасы в нижней части слагаются гумидными аллювиальными свитами лихвинского и шкловского возрастов, названных Г.И. Горецким кривичской. Эти свиты слагаются всеми основными фациями, в их кровле залегает четко выраженный и почти повсеместно распространенный горизонт старичных глин и илов, осложненных морозобойными клиньями и

криотурбациями. Выше залегает перигляциальный аллювий, впервые выделенный Г.И. Горецким [1964] именно на материалах по Нижней Каме. Он характеризуется отсутствием деления на фации, лёссовидным супесчано-песчаным составом, тонкой горизонтальной слоистостью, псевдоморфозами по ледяным клиньям.

Верхнечетвертичные отложения слагают I и II надпойменные террасы. Вторая терраса имеет микулинско-калининский возраст с мощностью аллювия 15–20 м, сложенной всеми фациями аллювия. В верхней его части имеется небольшой по мощности горизонт перигляциального аллювия, переходящего в делювиально-солифлюкционные суглинки. Первая терраса относится к мончаловско-осташковскому времени и слагается аллювием мощностью 10–15 м, в котором также представлены все основные фации.

Днище долины Камы в пределах УР образовано поймой, которая, также, как и террасовый комплекс, развита преимущественно на левом берегу. Поверхность поймы параллельно-гривистая, в значительной степени заболоченная. По высоте над меженным горизонтом воды различаются три пойменные ступени: низкая – до 3 м, средняя – 4–5 м и высокая – 6–7 м [Ившин, Рысин и др., 2007]. Ширина левобережной поймы составляет в основном 2–3 км, максимальное значение – 3,5–4 км. Пойма Нижней Камы слагается аллювием с преобладанием галечников фации размыва и русловых песков. Мощность аллювия варьирует в пределах 12–17 м. Особенностью современного аллювия Нижней Камы является значительное распространение галечников, образующих многочисленные месторождения песчано-гравийной смеси.

Заключение

Первые русловые системы в палеозойском осадочном чехле были выявлены в начале 1980-х годов на юго-востоке Удмуртии. Было установлено, что данные объекты, преимущественно имеют линейные формы, напоминающие русла современных рек. Исследования показали, что погребенные эрозионные врезы влияют на форму и размеры залежей углеводородного сырья (нефти), что усилило интерес к их изучению. Наилучшая сохранность в осадочном разрезе наблюдается у эрозионных врезов, как правило, сформировавшихся в результате длительной эрозионной работы русловых потоков и представляющих погребенные речные долины, реже – у сформировавшихся в результате карстовых процессов. Наиболее широкое распространение в Удмуртии и соседних территориях имеют визейские (возрастом 347–331 млн лет) и верейские врезы (около 315 млн лет) нижнего карбона.

Совершенствование как геофизических методов исследования (переход от двумерных 2D к трехмерным 3D наблюдениям, увеличение плотности наблюдений, повышение чувствительности приборов), так и программного обеспечения для интерпретации геофизических материалов, позволило выделять в разрезе не только крупные эрозионные объекты (палеорусла), но и более мелкие формы, отождествляемые с палеоканалами, сечение которых в поперечнике составляет единицы метров.

В результате проведенных исследований на Чутырско-Киенгопской площади УР было выделено палеорусло, имеющее линейную форму с зачатками излучин (меандр), протяженностью более 60 км и шириной от 1,5 км на севере до 2,5–4 км в центральной и южной части изучаемой территории. Глубина речной палеодолины изменялась от 60 м в северной части до 80–100 м в центральной и сокращалась до 35–50 м в южной части, где имела выраженную пойменную часть с узким и наиболее глубоким участком палеорусла. По результатам анализа мощности и гранулометрического состава русловых отложений, а также поперечных размеров палеорусла установлено, что течение палеореки проходило с севера на юго-восток.

В неоген-четвертичный этап развития палеорусла хорошо изучены в долинах нижнего Ижа и его притоков и особенно в долине Камы благодаря классической работе Г.И. Горецкого [Горецкий, 1964], опирающегося на богатый материал изыскательских работ (в т.ч. многочисленные скважины), проведенных в

1950–1960-х годах для строительства Воткинской и Нижнекамской ГЭС.

Сравнительный анализ морфолого-морфометрических особенностей палеорусел нижнего карбона и неоген-четвертичного времени показал, что глубина плиоценовых врезов современных рек существенно превышает визейские, а палеорусла квартера по морфометрическим параметрам близки к нижнекарбоновым. Если палеозойские врезы могут являться потенциальными ловушками углеводородов, то неоген-четвертичные палеорусла часто содержат месторождения песчано-гравийных материалов, служат источником кондиционных пресных подземных вод, реже – аллювиальных россыпных месторождений.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00194, https://rscf.ru/project/23-27-00194

Acknowledgments

This research became possible due to Russian Science Foundation grant 23-27-00194, https://rscf.ru/project/23-27-00194

Литература

Атлас Удмуртской Республики / Под общей ред. И.И. Рысина, изд. 2-е, доп. и перераб. М.: Феория; Ижевск: Удмуртия, 2020. 288 с.

Рысин И.И., Петухова Л.Н. Русловые процессы на реках Удмуртии. Ижевск: Ассоциация «Научная книга», 2006. 176 с.

Геология и нефтеносность Удмуртии / под ред. Л.В. Шаронова. Ижевск: Удмуртия, 1976. 127 с.

Билибин Ю.А. Основы геологии россыпей. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 463 с.

Шило Н.А. Учение о россыпях. М.: Академия горных наук, 2000. 630 с.

Гольдфарб Ю.И. Динамика формирования, классификация и возраст аллювиальных россыпей золота Северо-Востока Азии. Автореф. дис. … докт. геол. наук. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2009. 49 с.

Постоленко Г.А. Становление современных долин и его значение для геологии россыпей // Геоморфология. 2013. № 3. С. 11–23.

Виноградова О.В. Морфология погребенных долин Ленского золотоносного района и связанные с ней особенности строения аллювиальных россыпей // Геоморфология. 2020. № 2. С. 39–49.

Сладкопевцев С.А. Погребенные долины (вопросы образования и классификации) // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного

References

Atlas Udmurtskoy Respubliki [Atlas of the Udmurt Republic] Russ. ed.: I.I. Rysin, 2nd. edition. M.: Publ. Feoriya; Izhevsk: Publ.Udmurtiya, 2020. 288 p. (In Russian).

Rysin I.I., Petukhova L.N. *Ruslovyye protsessy na rekakh Udmurtii [Channel processes on the rivers of Udmurtia]*. Izhevsk, Publ. Nauchnaya kniga, 2006. 176 p. (In Russian).

Geologiya i neftenosnost' Udmurtii [Geology and oil content of Udmurtia] In L.V. Sharonov (ed.). Izhevsk, Udmurtiya, 1976. 127 p. (In Russian).

Bilibin Yu.A. *Osnovy geologii rossypey [Fundamentals of placer geology]*. Moscow, Publ. of AN SSSR, 1956. 463 p. (In Russian).

Shilo N.A. *Ucheniye o rossypyakh [The doctrine of placers]*. Moscow, Publ. of Academy of Mining Sciences, 2000. 630 p. (In Russian).

Gol'dfarb Yu.I. *Dinamika formirovaniya, klassifikatsiya i vozrast allyuvial'nykh rossy- pey zolota Severo-Vostoka Azii:* avtoref. dis. kand. geogr. nauk *[Dynamics of formation, classification and age of alluvial gold deposits in Northeast Asia. Dr. geol.* sci. *diss]*. Magadan: Publ. of NEISRI DVO RAN, 2009. 49 p. (In Russian).

Postolenko G.A. Stanovleniye sovremennykh dolin i yego znacheniye dlya geologii rossypey [Formation of modern valleys and its significance for the geology of placers]. *Geomorfologiya [Geomorphology],* 2013,№ 3, pp. 11–23. (In Russian).

периода. № 41. Изд-во «Наука», М., 1974. С. 24–34.

Горецкий Г.И. Основные проблемы палеопотамологии антропогена // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. № 42. Изд-во «Наука», М., 1974. С. 3–17.

Сидорчук А.Ю. Основные результаты палеогидрологического исследования палеорусел перигляциальной зоны последнего оледенения Русской равнины // Маккавеевские чтения. М.: Изд-во МГУ, 2004. С. 62–70.

Шпилевая И.К., Трофимова Е.В., Фурман В.Ф., Истомин А.Г. Некоторые особенности визейских врезов в Удмуртии. Журнал «Геология нефти и газа», № 6, 2001. С. 40–43.

Куликов В.А., Амбросимова М.И., Бобачев А.А., Ермаков А.П., Модин И.Н., Паленов А.Ю., Соловьева А.В. Строение погребенной долины в урочище Борисенки (Юхновский район, Калужская область) по результатам комплексных геофизических работ // Инженерные изыскания, № 4, 2015. С. 42–55.

Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию: учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 2004. 153 с.

Santos-Assunsao S., Perez-Gracia V., Salinos V., Caselles O., Gonzales-Drigo R., Pujades L.G., Lantada N. GPR backcattering paleochannels amd infilled streams for seismic nanozonation in urban environments // IEEE Jornal of Selected Topics in Applied Earth observations and Remote Sensing. 2016. № 9(1). pp. 167–177.

Истомина Н.Г., Яруллин Т.Р. Перспективы поиска новых ловушек нефти и газа неантиклинального типа. // Сборник тезисов 11-й международной научно-практической конференции (16 апреля 2021 г.). Ижевск: 2021. С. 129–135.

Истомина Н.Г., Истомин А.Г. Выделение фаций алексинского горизонта по данным сейсморазведки на территории Удмуртии // Современные технологии извлечения нефти и газа. Перспективы развития минерально-сырьевого комплекса (российской и мировой опыт): Всероссийская научно-практическая

Vinogradova O.V. Morfologiya pogrebennykh dolin Lenskogo zolotonosnogo rayona i svyazannyye s ney osobennosti stroyeniya allyuvial'nykh rossypey [Morphology of buried valleys of the Lena gold-bearing region and associated structural features of alluvial placers]. *Geomorfologiya [Geomorphology],* 2020, № 2, pp. 39–49. (In Russian).

Sladkopevtsev S.A. Pogrebennyye doliny (voprosy obrazovaniya i klassifikatsii) [Buried Valleys (issues of education and classification)]. *Byulleten' komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda [Bulletin of the Commission for the Study of the Quaternary Period]*. № 41. Moscow, Publ. Nauka, 1974, pp. 24–34. (In Russian).

Goretskiy G.I. Osnovnyye problemy paleopotamologii antropogena [The main problems of paleopotamology of the Anthropocene]. *Byulleten' komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda [Bulletin of the Commission for the Study of the Quaternary Period]*. № 42. Moscow, Publ. Nauka, 1974, pp. 3–17. (In Russian).

Sidorchuk A.Yu. Osnovnyye rezul'taty paleogidrologicheskogo issledovaniya paleorusel periglyatsial'noy zony poslednego oledeneniya Russkoy ravniny [The main results of the paleohydrological study of paleochannels of the periglacial zone of the last glaciation of the Russian Plain]. *Makkaveyevskiye chteniya [N. I. Makkaveev Readings]*, Moscow, Publ. of MSU, 2004, pp. 62–70. (In Russian).

Shpilevaya I.K., Trofimova Ye.V., Furman V.F., Istomin A.G. Nekotoryye osobennosti vizeyskikh vrezov v Udmurtii [Some features of Visean incisions in Udmurtia]. *Geologiya nefti i gaza [Geology of Oil and Gas]*, № 6, 2001, pp. 40–43. (In Russian).

Kulikov V.A., Ambrosimova M.I., Bobachev A.A., Yermakov A.P., Modin I.N., Palenov A.YU., Solov'yeva A.V. Stroyeniye pogrebennoy doliny v urochishche Borisenki (Yukhnovskiy rayon, Kaluzhskaya oblast') po rezul'tatam kompleksnykh geofizicheskikh rabot [The structure of a buried valley in the Borisenki tract (Yukhnovsky district, Kaluga region) based on the results of complex geophysical work]. *Inzhenernyye izyskaniya [Engineering survey],* № 4, 2015, pp. 42–55. (In Russian).

конференция с международным участием в честь 25-летия высшего нефтяного образования Удмуртской Республики, посвященная памяти основателя нефтяного факультета УдГУ д-ра техн. наук Кудинова Валентина Ивановича (24.05.1931-19.05.2017). Ижевск: Удмуртский университет, 2018. С. 65–72

Ермолова Т.Е., Мушин И.А., Ступак А.А., Фролов Б.К., Оксман Г.А., Холмянская Н.Ю. Перспективы поиска новых нефтегазоносных объектов в верхнетурнейско-визейских терригенных отложениях востока Волго-Уральской нефтегазоносной провинции на основе комплексных седиментологических и сейсмогеологических исследований // Геология нефти и газа, 2019. № 3. С. 67–85.

Савельев В.А. Нефтеносность и перспективы освоения ресурсов нефти Удмуртской республики. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. 288 с.

Истомин А.Г., Пуртова Т.Н., Волчкова Т.Н. и др. Отчет о результатах сейсморазведочных работ МОГТ-3D на Восточно-Богдановской площади Удмуртской Республики. Удмуртский филиал ТФГИ по ПФО. Ижевск, 2003, 216 с.

Ощепкова Л.В., Истомин А.Г., Рябова Е.Н. и др. Отчет о результатах сейсморазведочных работ 2D на Чутырско-Киенгопском месторождении. Удмуртский филиал ТФГИ по ПФО. Ижевск, 2012. 260 с.

Горецкий Г.И. Аллювий великих антропогеновых прарек Русской равнины. М.: Наука, 1964. 415 с.

Ившин С.Ю., Рысин И.И., Турыкин Л.А. Горизонтальные и вертикальные деформации русла Камы на участке от Воткинского гидроузла до г.Сарапул // Вестник Удмурт. ун-та, сер. Науки о Земле, № 11, 2007. С. 83–98.

Vladov M.L., Starovoytov A.V. *Vvedeniye v georadiolokatsiyu: uchebnoye posobiye [Introduction to Ground Penetrating Radar: Study Guide]*. Moscow, Publ. of MSU, 2004, 153 p. (In Russian).

Santos-Assunsao S., Perez-Gracia V., Salinos V., Caselles O., Gonzales-Drigo R., Pujades L.G., Lantada N. GPR backcattering paleochannels amd infilled snreams for seismic nanozonation in urban environments. *IEEE Jornal of Selected Topics in Applied Earth observations and Remote Sensing.* 2016, № 9(1), pp. 167–177.

Istomina N.G., Yarullin T.R. Perspektivy poiska novykh lovushek nefti i gaza neantiklinal'nogo tipa [Prospects for searching for new oil and gas traps of non-anticlinal type]. Sbornik tezisov 11-y mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Collection of abstracts of the 11th international scientific and practical conference (April 16, 2021)]. Izhevsk, 2021, pp. 129–135. (In Russian).

Istomina N.G., Istomin A.G. Vydeleniye fatsiy aleksinskogo gorizonta po dannym seysmorazvedki na territorii Udmurtii [Identification of facies of the Aleksinsky horizon according to seismic data in the territory of Udmurtia]. *Sovremennyye tekhnologii izvlecheniya nefti i gaza. Perspektivy razvitiya mineral'no-syr'yevogo kompleksa (rossiyskoy i mirovoy opyt) [Modern technologies for oil and gas extraction. Prospects for the development of the mineral resource complex: Russian and world experience]*, Izhevsk: Publ. of Udmurt Univ., 2018, pp. 65–72. (In Russian).

Yermolova T.Ye., Mushin I.A., Stupak A.A., Frolov B.K., Oksman G.A., Kholmyanskaya N.YU. Perspektivy poiska novykh neftegazonosnykh ob"yektov v verkhneturneysko-vizeyskikh terrigennykh otlozheniyakh vostoka Volgo-Ural'skoy neftegazonosnoy provintsii na osnove kompleksnykh sedimentologicheskikh i seysmogeologicheskikh issledovaniy [Prospects for searching for new oil and gas objects in the Upper Tournaisian-Visean terrigenous deposits of the east of the Volga-Ural oil and gas province based on complex sedimentological and seismic geological studies]. *Geologiya nefti i gaza [Geology of Oil and Gas]*, 2019, № 3, pp. 67–85. (In Russian).

Savel'yev V.A. Neftenosnost' i perspektivy osvoyeniya resursov nefti Udmurtskoy respubliki [Oil

content and prospects for the development of oil resources of the Udmurt Republic]. Moscow-Izhevsk, Publ. of: Inst. Comp. Res., 2003. 288 p. (In Russian).

Istomin A.G., Purtova T.N., Volchkova T.N. [et al.]. *Otchet o rezul'tatakh seysmorazvedochnykh rabot MOGT-3D na Vostochno-Bogdanovskoy ploshchadi Udmurtskoy Respubliki [Report on the results of seismic exploration work CDP-3D in the Vostochno-Bogdanovskaya area of the Udmurt Republic]*. Izhevsk, Publ. of TFGI, 2003, 216 p. (In Russian).

Oshchepkova L.V., Istomin A.G., Ryabova Ye.N. [et al.]. *Otchet o rezul'tatakh seysmorazvedochnykh rabot 2D na Chutyrsko-Kiyengopskom mestorozhdenii.[Report on the results of 2D seismic exploration at the Chutyrsko-Kiengopskoye field]*. Izhevsk, Publ. of TFGI, 2012, 260 p. (In Russian).

Goretskiy G.I. *Allyuviy velikikh antropogenovykh prarek Russkoy ravniny [Alluvium of the great anthropogenic ancestral rivers of the Russian Plain]*. Moscow, Science, 1964. 415 p. (In Russian).

Ivshin S.Yu., Rysin I.I., Turykin L.A. Gorizontal'nyye i vertikal'nyye deformatsii rusla Kamy na uchastke ot Votkinskogo gidrouzla do g. Sarapul [Horizontal and vertical deformations of the Kama riverbed in the area from the Votkinsk hydroelectric complex to the city of Sarapul]. *Vestnik Udmurt. Univ., Ser. Nauki o Zemle [Vestnik Udmurt University, Geosciences Series],* № 11, 2007. pp. 83-98. (In Russian).

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

В научный журнал «Гидросфера. Опасные процессы и явления» принимаются статьи на русском и английском языках в соответствии с основными тематическими разделами:

1. Фундаментальные проблемы гидросферы Земли
2. Опасные процессы в гидросфере: фундаментальные и инженерные аспекты
3. Экологические проблемы и опасности в гидросфере
4. Эволюция гидросферы
5. Методы, модели и технологии
6. Вопросы совершенствования нормативной документации
7. Мониторинговые, экспериментальные и экспедиционные исследования
8. Научные дискуссии
9. Наследие
10. Хроника

Плата за публикации статей не взымается. Гонорар авторам не выплачивается. Все статьи после формирования выпуска размещаются на сайте журнала в свободном доступе.

Общие требования к оформлению статьи:

- формат **.doc** или **.docx**; все поля страницы – по 2 см;
- шрифт Times New Roman, размер – 11 pt;
- междустрочный интервал – множитель 1,15, переносы в словах не допускаются;
- абзацный отступ – 1 см, выравнивание текста – по ширине (за исключением титульной страницы, формул, сносок, рисунков и таблиц).

Титульная страница должна содержать следующие элементы:

- УДК (выравнивание по левому краю);
- название статьи (регистр как в предложении, выравнивание по центру) не более 14 слов;
- инициалы и фамилия автора (авторов) (выравнивание по центру);
- полное название организации, в которой работают авторы, с указанием города и страны (курсив, выравнивание по центру);
- e-mail контактного автора (выравнивание по центру);
- аннотация объемом 230-250 слов, которая должна включать актуальность темы исследования, постановку проблемы, цели исследования, методы исследования, результаты и ключевые выводы;
- ключевые слова – 6-10 слов, предельно отражающих предмет исследования.

При подготовке статьи редакция настоятельно рекомендует придерживаться формата **IMRAD**, подразумевающего структурирование статьи на следующие элементы:

- введение (Introduction), содержащпй актуальность исследования, обзор литературы, постановку проблемы, формулирование целей и задач исследования;
- методы (Methods), содержащий описание методики (методов) и схем экспериментов/наблюдений, материалов, приборов, оборудования и условий экспериментов/наблюдений;
- результаты (Results) – фактические результаты исследования и их интерпретация;
- обсуждение (Discussion) – краткие итоги разделов статьи без дословного повторения.

Таблицы и рисунки оформляются без абзацного отступа с выравниванием по центру, отделяются пустыми строками от основного текста. Все рисунки должны быть максимального качества. В таблицах допускается использование одинарного междустрочного интервала, шрифта меньшего размера (не менее 10 pt). Каждая таблица и рисунок должны иметь номер (используются арабские цифры) и название. Все подписи к таблицам и рисункам должны содержать источники информации (за исключением случаев, когда они созданы автором статьи).

Единицы измерения по тексту статьи указываются в международной системе единиц.

Десятичные числа набираются через запятую (например, 1,25).

Аббревиатуры и сокращения должны быть расшифрованы при первом употреблении. Если таких элементов много, статью можно дополнить списком сокращений с расшифровкой.

Формулы должны быть вставлены как объект Microsoft Equation или набраны в редакторе формуле Word, располагаться по центру страницы без абзацного отступа, сопровождаться сквозной нумерацией (по правому краю), а также иметь экспликацию (расшифровку обозначений при первом их упоминании с указанием единиц измерения).

В конце статьи могут быть приведены **Благодарности**, в котором следует упоминать людей, которые помогали при работе над статьей; источники финансирования.

Отсылка на затекстовые библиографические ссылки приводится по тексту статьи в квадратных скобках путем упоминания всех авторов (при отсылке к источнику с 1-3 авторами), либо первого автора и слов «и др.» («et al.») (при отсылке к источнику с 4 и более авторами) и года издания. Ссылки на несколько публикаций одного автора за один год помечаются добавлением буквы к году издания. В случае отсылки на несколько источников, они приводятся в хронологическом порядке и разделяются точкой с запятой.

Форматы оформления основных видов затекстовых библиографических ссылок:

Ссылка на книгу: *Фамилия И.О.* Заглавие книги: Сведения, относящиеся к заглавию книги / Сведения об ответственности (например, редактор). Место издания (город): Издательство, год. Количество страниц в книге. DOI:

Ссылки на диссертацию или автореферат: *Фамилия И.О.* Заглавие диссертации. Тип диссертации. Место издания (город), год. Количество страниц в диссертации. DOI:

Ссылки на статью в книге: *Фамилия И.О.* Заглавие статьи // Заглавие книги: Сведения, относящиеся к заглавию книги / Сведения об ответственности. Место издания (город): Издательство, год издания. Страницы статьи. DOI:

Ссылки на статью в периодическом издании: *Фамилия И.О.* Заглавие статьи // Заглавие журнала. Год. Том. №. Страницы статьи. DOI:

Ссылки на материалы в сборнике конференции: *Фамилия И.О.* Заглавие статьи // Заглавие сборника конференции: Сведения, относящиеся к заглавию сборника (место и даты проведения конференции). Место издания (город): Издательство, год. Том. Страницы статьи. DOI:

Ссылки на электронный источник: *Фамилия И.О.* Заглавие материала [Электронный ресурс]: сведения, относящиеся к заглавию // Заглавие интернет-источника. Год создания ресурса. URL: адрес статьи (дата обращения: 01.01.2013).

В затекстовые библиографические ссылки включаются только рецензируемые источники (статьи из научных журналов, материалы конференций, разделы книг и книги). Если необходимо сослаться на нормативный документ либо на статью в газете, текст на сайте или в блоге, следует поместить информацию об источнике в сноску по основному тексту статьи. **Сноски** оформляются сквозной нумерацией по всему документу арабскими цифрами. В сносках помимо источников может быть другая дополнительная информация. Текст в сносках оформляется без абзацного отступа, выравнивается по ширине, размер шрифта – 9 pt.

Кроме того, обязательно подается **авторская справка**, содержащая информацию обо всех авторах: фамилия, имя, отчество (полностью); ученые степень и звания; место работы с указанием должности; контактный телефон; e-mail; авторские индексы.

На **английском языке** в обязательном порядке приводятся: титульная страница; названия таблиц и рисунков; благодарности (при наличии); литература (содержащая, как транслитерацию, так и перевод на английский язык); авторская справка. При этом англоязычный вариант аннотации (**Abstract**) должен быть информативным (не содержать общих слов); оригинальным (не быть калькой русскоязычной аннотации); содержательным (отражать основное содержание статьи и результаты исследований); структурированным (следовать логике описания результатов в статье); «англоязычными» (написаны качественным английским языком); компактным (укладываться в объем до 250 слов).

Подробные правила приведены http://hydro-sphere.ru/index.php/hydrosphere/requirements.

AUTHOR GUIDELINES

Articles in Russian and English accepted at the journal "Hydrosphere. Hazard processes and phenomena" in accordance with the main sections:

1. Fundamental problems of the Earth's hydrosphere
2. Hazardous processes in the hydrosphere: fundamental and engineering aspects
3. Ecological problems and hazards in the hydrosphere
4. The evolution of the hydrosphere
5. Methods, models and technologies
6. Issues of improving regulatory documentation
7. Monitoring, experimental and expeditionary research
8. Scientific discussions
9. Heritage
10. Chronicles

There is no fee for publishing articles. The authors are not paid a fee.

All articles after the formation of the issue are posted on the journal's website in the public domain. Materials published in journal are freely available and posted on the journal website.

The general format requirements for articles to be published:

- file format .doc or .docx; fields 2 cm on the perimeter of the page;
- font Times New Roman, the main font size – 11 pt;
- line spacing – 1,15, the use of automatic hyphenation in words is not permitted;
- indent – 1 cm, text alignment on the page width (except for the title page, formulas, links, figures and tables).

The title page should contain the following elements:

- title of the article (register as in the sentence, alignment in the centre) no more than 14 words;
- author (s)' name (alignment in the centre);
- organization affiliation, indicating the city and country (in italics, alignment in the centre);
- e-mail of the contact author (center alignment);
- abstract up to 250 words, which should include the relevance of the research topic, problem statement, research objectives, research methods, results and key findings;
- keywords – 6-10 words, reflecting the content of an article.

The main text.

The editors strongly recommend original research articles are structured in IMRAD format:

Introduction – Why was the study undertaken? What was the research question, the tested hypothesis or the purpose of the research?

Methods – When, where, and how was the study done? What materials were used or who was included in the study groups (patients, etc.)?

Results – What answer was found to the research question; what did the study find? Was the tested hypothesis true?

Discussion – What might the answer imply and why does it matter? How does it fit in with what other researchers have found? What are the perspectives for future research?

Tables and figures should be centered on page without indentation, separated from the main text by empty lines. All figuries should be in highest quality. There are allowed of using a single line spacing, and a smaller font (no less 10 pt) in tables. Each table and figure should have a number and a title. All signatures to tables and figures should contain sources of information (except when they are created by the author of the curent article).

Units of measurement in the text of the article are indicated in the international system of units.

Decimal numbers are comma-separated (e.g. 1,25).

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter. If there are a lot of abbreviations, the article can be supplemented by a section with a list of abbreviations with decryption.

For equations use a Microsoft Equation object or Word equation editor, they should be located in the center of the page without indentation and accompanied by continuous numbering (on the right edge). All equations must have an explication (defining of symbols at the first mention of them with units measurements).

If it necessary **Acknowledgments** of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section before the reference list. The names of funding organizations should be written in full.

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. Footnotes to the text are numbered consecutively.

Cite references in the text by last name and year in square brackets. If reference consist not more than three authors, you should place in text all author. If there are more than four authors - place in brackets the first author and words "et al." and not forget about year of publishing. If you need several reference cite in one place of text - please separate each reference by semicolons. If you use several references of one author in the same published year - you must separate it by letter near the year in reference list and in text.

References list should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should be mentioned in the footnotes. Reference list should be alphabetized by the last names of the first author. If you use several references of author.

Some formats for references list:

Book reference: Author A.A. *Title of book*. City, Publisher, year. 100 p. DOI:

Book chapter reference: Author A.A. Title of chapter. In Editor E.E. (ed.), *Title of book.* City, Publisher, year, pp. 1-20. DOI:

Dissertation reference: Author A.A. *Title of thesis. Thesis type.* City, year. 100 p. DOI:

Jornal article reference: Author A.A., Author B.B., Author C.C., Author D.D. Title of article. *Title of Journal*, 2005, vol. 10, no. 2, pp. 49-53. DOI:

Conference Proceedings reference: Author A.A., Author B.B., Author C.C., Author D.D. Title of article. *Title of Conference Proceedings (date and place of the conference)*, City, Publisher, 2005, vol. 1, pp. 49-53. DOI:

Online document reference: Author A.A., Author B.B., Author C.C., Author D.D. Title of article. *Title of Journal*, 2005, vol.10, no. 2, pp. 49-53. Available at: http://example.com/example.

For the detailed information about the author(s), please at the end of article give us some additional information:

full names of author(s);

academic degree and title;

organization affiliation with full address (including Post Code);

position in organization;

contact telefon (for all authors);

contact e-mail (for all authors);

scientific indexes (scopus, orcid, web of science etc.).

Detailed rules for articles will be given on the website of the journal "Hydrosphere. Hazard processes and phenomena": http://hydro-sphere.ru/index.php/hydrosphere/requirements.

Научное издание

ГИДРОСФЕРА. ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ. HYDROSPHERE. HAZARD PROCESSES AND PHENOMENA (GIDROSFERA. OPASNYE PROTSESSY I YAVLENIYA)

Главный редактор: академик РАН Г.И. Долгих
Компьютерная верстка: О.Ю. Круковская
На обложке фото Н.А. Казакова
рисунки П.Нехлебовой, П.Белавой
Подписано в печать 10.12.2023. Формат: 60x84/8
Бумага: офсетная. Печать плоская Усл. печ. л. 19,2. Тираж 50 экз. Заказ № ____
Выход в свет __.__.2023
Тип распространения: бесплатно на сайте журнала www.hydro-sphere.ru

Издатель: ООО НПО «Гидротехпроект» г. Санкт-Петербург, 14-я линия В.О. д. 97 пом. 3н
Для почтовых отправлений: 199155, г. Санкт-Петербург, а/я 136
Редакция журнала «Гидросфера. Опасные процессы и явления»
Тел. +7(812)313-83-48 e-mail: info@hydro-sphere.ru

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в издательстве «Лема»
г. Санкт-Петербург, 1-я линия В.О., д. 28



Белава Полина. *У водопада*



© 2023. «Гидросфера. Опасные процессы и явления». Все права защищены