

На правах рукописи



Уткина Анна Олеговна

**ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ДОЛИНЫ ВОЛГИ В
ЯРОСЛАВСКО-КОСТРОМСКОМ РЕГИОНЕ В
ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНОЕ ВРЕМЯ**

Специальность 1.6.14 — Геоморфология и
палеогеография

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени кандидата
географических наук

Москва — 2025

Работа выполнена в Отделе палеогеографии четвертичного периода Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт географии Российской академии наук» (г. Москва).

Научный руководитель —

Панин Андрей Валерьевич
доктор географических наук, член-корреспондент РАН, заместитель директора, заведующий отделом палеогеографии четвертичного периода Института географии РАН.

Официальные оппоненты —

Рысин Иван Иванович
доктор географических наук, профессор кафедры экологии и природопользования Института естественных наук ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет» (г. Ижевск);

Матлахова Екатерина Юрьевна
кандидат географических наук, доцент кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова (г. Москва).

Ведущая организация —

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А. П. Карпинского, г. Санкт-Петербург

Защита диссертации состоится 5 декабря 2025 г. в 11 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 24.1.049.02 на базе ФГБУН «Институт географии Российской академии наук» по адресу: 119017, г. Москва, Старомонетный переулок, д. 29, стр. 4. Факс: (495) 959-00-16, e-mail: d00204603@igras.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института географии РАН и на интернет-сайте: <http://igras.ru/>

Отзывы на автореферат (в электронном виде и на бумажном носителе в одном экземпляре, заверенные подписью и печатью) просим направлять на указанный выше адрес.

Автореферат разослан «_____» _____ 2025 г.



Ученый секретарь диссертационного совета, кандидат географических наук

Белоновская Елена Анатольевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Изучение истории формирования речных долин занимает ключевое место в системе геоморфологических и палеогеографических исследований (Горецкий, 1964, 1966, 1970, 1980; Обедиентова, 1975, 1977 и др.). Долина Волги, крупнейшей реки Европы, на протяжении многих лет находится в центре внимания исследователей как один из наиболее важных объектов палеогеографического изучения Восточно-Европейской равнины (ВЕР). Течение Волги принято подразделять на три разновозрастные части: верхнюю, среднюю и нижнюю. Из этих частей наиболее молодой является верхняя Волга – участок долины от истока до устья р. Унжи. В пределах верхней Волги особый интерес для палеогеографических реконструкций представляет отрезок между г. Рыбинском и г. Кинешмой (рис. 1). Долина Волги здесь имеет уникальный морфологический облик, отличающийся высокой контрастностью различных частей бассейна. Она включает в себя так называемые долины прорыва у гг. Тутаева и Плёса – суженные участки с высокими коренными берегами, глубоко врезынным руслом и отсутствием террас. Несмотря на длительную историю изучения, до сих пор существует большое количество нерешенных вопросов, касающихся возраста и эволюции этой части долины Волги.

К настоящему времени в литературе сформировалось несколько распространенных гипотез, описывающих историю развития долины Волги в Ярославско-Костромском регионе. Одна из них, сформулированная в работах Г.И. Горецкого (1964) и Г.В. Обедиентовой (1964, 1977), расценивает развитие верхней Волги в течение длительного времени как унаследованное. Предполагается, что в течение позднечетвертичного времени под воздействием оледенений долина верхней Волги претерпевала некоторые изменения в плане, но общее направление ее стока не менялось.

Другие авторы (Щукина, 1933; Мирчинк, 1935; Квасов, 1975) считают долину верхней Волги молодым, позднечетвертичным образованием. Наибольшее распространение получила гипотеза Д.Д. Квасова (1975), согласно которой до поздневалдайского времени долина верхней Волги не существовала. Во время максимальной стадии последнего оледенения (ПЛМ) на ее месте образовалась система обширных приледниковых озер. Формирование долины произошло в бёллинге (14-15 тыс. л.н.) после спуска озер после того, как приток р. Унжи прорезал местный водораздел и спровоцировал образование долины прорыва у г. Плёса.

Все существующие гипотезы, описывающие историю развития участка Волги от Рыбинска до Кинешмы, были сформулированы на основании изучения преимущественно морфологии долины и ограниченных геологических данных при полном отсутствии данных геохронометрии. В настоящее время появилась возможность привлечь новые методы исследования и существенно дополнить данные о геолого-геоморфологическом строении долины Волги и возрасте слагающих ее отложений. В литературе известны лишь единичные термолюминесцентные и инфракрасные радиофлюоресцентные даты, сделанные в ходе изучения отложений междуречий. В связи с этим применение современных геохронометрических методов дает возможность получить качественно новые данные о возрасте отложений на изучаемой территории.

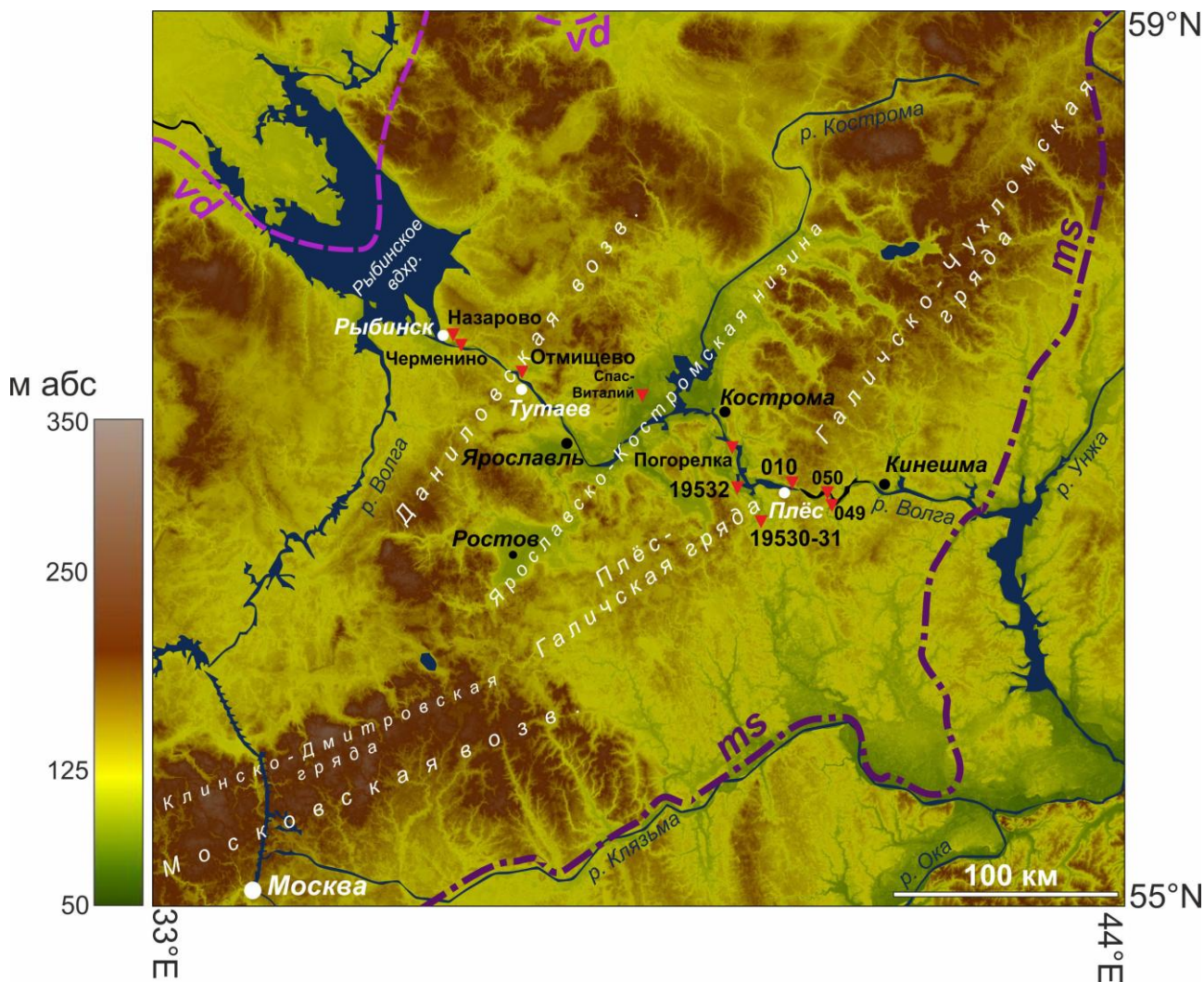


Рис. 1. Ключевой отрезок верхней Волги с указанием основных топонимов и районов исследований. Пунктирными линиями показаны границы максимального распространения покровных оледенений: vd – валдайского, ms – московского.

Актуальность данного исследования обусловлена сохраняющейся неопределенностью в вопросах о времени формирования и эволюции долины верхней Волги. Отсутствуют убедительные данные о возрасте террас долины Волги, характер воздействия последнего и предпоследнего оледенений на речную долину достоверно не установлен, вопреки широко распространенной концепции о существовании в долине Волги поздневалдайских приледниковых озер, приводятся данные о существовании уже в микулинское время глубокого долинного вреза (Panin et al., 2020; Vorisova et al., 2022). Необходимость разрешения накопленных противоречий диктуется также тем, что с историей долины, а вместе с ней и бассейна верхней Волги увязывается целый ряд палеогеографических построений регионального масштаба, в частности схемы изменения уровня Каспийского моря, реконструкция заселения верхневолжского региона доисторическим человеком.

Цель работы: установить возраст и реконструировать историю формирования долины Волги на участке от г. Рыбинска до г. Кинешмы.

Задачи: 1) получение натуральных данных о геолого-геоморфологическом строении долины на ключевых участках; 2) выполнение массовых количественных определений возраста отложений, слагающих долину, и установление на их основе

возраста речных и озерных террас и других показательных форм рельефа; 3) оценка влияния гляциоизостатических движений земной коры на развитие долины; 4) реконструкция истории развития долины.

Фактический материал. Личный вклад автора. Работа основана на большом объеме фактического материала, полученном лично автором в полевых и камеральных работах в рамках производственных практик кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (2018–2019 гг.), экспедиций отдела палеогеографии четвертичного периода Института географии РАН (2019-2020 гг.), проектов РНФ №17-17-01289 «Перестройка систем стока и миграция главного водораздела Русской равнины в последнюю ледниковую эпоху» и № 22-17-00259 «Трансконтинентальная система стока Северной Евразии в среднем и позднем неоплейстоцене». На последнем этапе исследование проводилось в рамках проекта Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-15-2024-554 от 24.04.2024). Автором проведены детальное полевое литологическое описание отложений, гранулометрический и геохронологический анализы образцов, выполнена статистическая и графическая обработка полученных данных и их последующая интерпретация. Диссертантом лично получены 49 люминесцентных дат, а также проанализированы результаты датирования еще 38 люминесцентных образцов. Автором лично проведены эксперименты для подбора протоколов датирования, а также выбраны необходимые статистические анализы, направленные на определение достоверности полученных возрастов. Автором адаптирована для условий региона исследований методика моделирования гляциоизостатических деформаций с использованием модели ICE-6G (Argus et al., 2014) и программного обеспечения SELEN 4 (Spada & Melini, 2019). Автору принадлежит практическая реализация данной методики для реконструкции влияния позднеплейстоценовых гляциоизостатических деформаций на изменения поля высот приледниковых областей, в том числе – бассейнов рек ВЕР. Автором проведено обобщение имеющихся литературных данных, выполнены палеогеографические реконструкции и корреляции, сформулированы основные научные положения работы и выводы.

Научная новизна. В рамках данной диссертации впервые выполнено люминесцентное датирование отложений бассейна Волги на участке от г. Рыбинска до г. Кинешмы; определен и обоснован возраст изучаемого отрезка долины Волги; применен анализ люминесцентных свойств отложений для уточнения механизма осадконакопления в долине Волги; определен генезис внутридолинных террасовидных форм рельефа, обоснован их возраст; определен возраст аллювиальных террас на изучаемом отрезке долины Волги; разработана методика уточнения пространственно-временных изменений поздневалдайского ледникового щита для моделирования гляциоизостатических деформаций; выявлена связь между эрозионно-аккумулятивными процессами в долине Волги и гляциоизостатическими деформациями земной коры.

Защищаемые положения:

1. Основные черты рельефа долины Волги на участке от Рыбинска до Кинешмы, включая долины прорыва у Тутаева и Плеса, сформировались не позднее рубежа среднего и позднего неоплейстоцена.

2. В строении долины Волги участвуют лишь поздневалдайская и

раннеголоценовая террасы относительной высотой не более 8–10 м. Более высокие террасовидные формы в долине Волги образованы водно-ледниковыми процессами времени деградации московского оледенения (конец среднего неоплейстоцена). Аллювиальные террасы микулинско-ранневалдайского возраста локально присутствуют только в приустьевых частях долин малых притоков Волги.

3. В поздневалдайское время приледниковые гляциоизостатические деформации земной коры вызывали изменения уклона р. Волги, послужившие одной из причин аккумуляции и последующего врезания реки в позднем валдае–раннем голоцене и формирования соответствующих низких речных террас.

4. На изученном участке долины Волги в течение всего валдайского времени не формировалось крупных приледниковых озер и сохранялись флювиальные обстановки рельефообразования.

Степень достоверности полученных результатов обеспечивается большим объёмом фактического материала, комплексным характером исследований, а также сочетанием классических (литологического) и современных (люминесцентного) методов анализа. Надёжность выводов подтверждена соблюдением методических стандартов, сопоставлением данных с результатами палинологических и радиоуглеродных исследований, а также с опубликованными материалами других авторов. Проверка достоверности осуществлялась в ходе обсуждений на конференциях, конгрессах и семинарах, а также через публикацию результатов в рецензируемых специализированных изданиях.

Теоретическая и практическая значимость. Полученные представления об истории развития долины Волги имеют значение для уточнения региональных схем строения рельефа и четвертичных отложений, а также для понимания рельефообразующей деятельности московского оледенения в целом. Доказанное представление о древности верхней Волги должно приниматься во внимание в региональных палеогеографических и геoarхеологических построениях.

Апробация. Результаты исследований были доложены на III Международной конференции «Палеолимнология Северной Евразии» (Казань, 2018), в рамках Glacial Isostatic Adjustment (GIA) Training School (Явле, 2019); на 16-й Международной конференций Luminescence and Electron Spin Resonance Dating (LED2021) (2021), II Всероссийской научной конференции с международным участием «Пути эволюционной географии» (Москва, 2021), на Всероссийской научной конференции (с международным участием) «Геохронология четвертичного периода: инструментальные методы датирования новейших отложений» (Москва, 2022); на XIV Всероссийской молодежной научной школе-конференции «Меридиан»: географическое исследование в интересах устойчивого развития (Москва, 2022); на 17-й Международной конференции Luminescence and Electron Spin Resonance Dating (Копенгаген, 2023); на XXI Международном конгрессе INQUA (Рим, 2023); на Всероссийской конференции «Каспий в плейстоцене и голоцене: эволюция природной среды и человек» (Волгоград, 2023); на XXI Конференции молодых географов Сибири и Дальнего Востока (Иркутск, 2024).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 работ: 7 статей — в рецензируемых журналах из перечня ВАК, 10 работ — в сборниках материалов конференций.

Структура и объем работы. Текст диссертации состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы (242 наименования, в т.ч. 142 на иностранном языке) и приложений и содержит 239 страниц текста, 86 рисунков, 2 таблицы и 5 приложений.

Благодарности. Автор искренне благодарит своего научного руководителя, д.г.н. А. В. Панина, за многолетнюю плодотворную работу, постоянную помощь и ценные научные и жизненные советы, без которых как выполнение данной работы, так и профессиональное становление автора были бы невозможны. Особую благодарность автор выражает всем участникам полевых работ: к.г.н. Д.В. Баранову, д.г.н. О.К. Борисовой, А.Ю. Качалову, И.А. Васильженко, В.М. Пискаревой. Автор выражает благодарность к.г.н. Р.Н. Курбанову за знакомство с методом оптического стимулированного люминесцентного (ОСЛ) датирования и организацию стажировок. Особую благодарность автор выражает Э. Мюррею, Я.-П. Булаерту, Ч.Х. Чхве, а также коллективам Северной Люминесцентной лаборатории Датского технического университета и Лаборатории люминесцентного датирования Корейского института фундаментальных наук за предоставление условий для проведения люминесцентного датирования. Также автор благодарит совместную Люминесцентную лабораторию Географического факультета МГУ и Института географии РАН за возможность проведения пробоподготовки ОСЛ образцов. Автор выражает благодарность сотрудникам Лаборатории эволюционной географии и Лаборатории палеоархивов природной среды Института географии РАН за содействие в проведении исследований и подготовке данной диссертации. Автор благодарит сотрудников кафедры геоморфологии и палеогеографии Географического факультета МГУ и М.В. Ломоносова и лично д.г.н., проф. С. И. Болысова, к.г.н., доцента Ю.Н. Фузеину, д.г.н., проф. Т.А. Янину за разностороннее образование и привитую любовь к геоморфологии и палеогеографии.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Представления о строении и развитии бассейна верхней Волги

В научной литературе сформировались несколько основных гипотез, объясняющих происхождение и развитие долины верхней Волги. Так, Г. Ф. Мирчинк (1935) реконструировал сложную палеогидрографическую систему с участием Пра-Нерли, Пра-Шексны и других палеорек, существовавших до днепровско-московского оледенения. Под влиянием московского покровного оледенения в ходе формирования системы спуска талых ледниковых вод произошла значительная перестройка гидрографической сети, в результате которой и сформировалась долина верхней Волги в современном виде. Как молодую речную систему трактует долину Волги и Е. Н. Щукина (1933). Согласно ее гипотезе, долина сформировалась в позднем плейстоцене под влиянием покровных оледенений и связанных с ними перестроек стока.

Еще одна гипотеза, сформулированная в работах Г. И. Горецкого (1964) и Г. В. Обедиентовой (1964, 1977) гипотеза, напротив, исходит из унаследованности речной сети верхней Волги от более древних флювиальных систем, бассейн Волги трактуется как система, развивавшаяся с позднего мезозоя и сохраняющая общее направление стока в течение кайнозоя. По мнению этой группы исследователей, верхняя Волга подвергалась лишь локальной перестройке под воздействием

плейстоценовых оледенений.

Широко известна гипотеза Д. Д. Квасова (1975) о существовании в долине верхней Волги крупной системы приледниковых озёр во время максимальной стадии валдайского оледенения. Эта система, по его реконструкции, сформировалась в результате подпруживания стока к северу и имела южный сброс через долину р. Тезы. Спуск озёр, по представлениям этого исследователя, произошёл около 14–15 тыс. лет назад в результате перехвата вод притоком Унжи в районе Плёса.

Важным фактором, влияющим на развитие долины верхней Волги в позднем плейстоцене, должны были стать гляциоизостатические деформации. Они представляют собой медленные разнонаправленные движения земной коры, вызванные нагрузкой крупных ледниковых масс. Современные численные модели (Peltier, 2004; Argus et al., 2014; Whitehouse, 2018) показывают, что восстановление земной коры после нагрузки ледников привело к поднятию прибрежных зон и перераспределению стока, что могло повлиять на перестройку речной сети в приледниковых зонах. Согласно реконструкциям Е.Н. Былинского (1990) и моделям гляциоизостатических деформаций W.R. Peltier (2004), ось приледникового компенсационного вала во время последнего оледенения пересекала долину верхней Волги, а значит, должна была оказать непосредственное влияние на эволюцию долины в позднем плейстоцене.

Таким образом, наибольшие разногласия, существующие на данный момент в литературе, касаются возраста долины, механизма ее формирования и перестройки речной сети, а также роли и уровня предполагаемых приледниковых озёрных водоёмов. Решение этих вопросов требует применения геолого-геоморфологических, геохронологических методов, а также методов численного моделирования.

Глава 2. Используемые методы

Настоящее исследование включало полевые работы, лабораторные анализы и численное моделирование, что позволило получить всесторонние данные о геоморфологическом строении территории, возрасте отложений и условиях развития рельефа региона.

Полевые исследования проводились на участке от г. Рыбинска до г. Кинешмы (рис. 1) в течение нескольких полевых сезонов. В ходе работ было выполнено описание 87 точек, пробурено 20 скважин и исследовано 19 естественных и техногенных обнажений. Для комплексного изучения строения и характеристик горных пород, формирующих различные элементы рельефа, применялся комплекс геологических и литологических методов. Результаты геоморфологической съёмки и геологических работ обобщены в виде литологических колонок и геолого-геоморфологических профилей. На базе Лаборатории палеоархивов природной среды Института географии РАН автором был выполнен гранулометрический анализ.

Как основным геохронологический метод использовалось датирование методом оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ), проведенное лично автором в Северной лаборатории люминесцентного датирования Датского технического университета при участии коллектива лаборатории. Выбор люминесцентного датирования как основного метода был обусловлен его способностью непосредственно фиксировать момент формирования осадков и широким

распространением датированных минералов. Проведение контрольных тестов обеспечило достоверность получаемых результатов.

Автором проведено компьютерное моделирование с использованием модели ICE-6G_C (Argus et al., 2015), которое дало возможность учесть влияние гляциоизостатических процессов на формирование рельефа. Для уточнения результатов в модель были внесены коррективы, учитывающие последние данные о границах оледенения, по методике, разработанной лично автором работы. Дальнейшая обработка проводилась с помощью программы SELEN 4 (Spada & Mellini, 2019), которая обеспечила расчет деформаций земной коры для последних 22 тыс. лет.

Глава 3. Геолого-геоморфологическое строение долины верхней Волги

3.1. Долина Волги на участке Рыбинск–Тутаев

Долина пересекает моренные гряды Даниловской возвышенности, сформированные московским оледенением. Они образуют выраженный морфоструктурный барьер, который река пересекает почти перпендикулярно. Территория междуречий сложена моренами и флювиогляциальными отложениями, подвергшимися эрозионной переработке. На выходе из Рыбинского водохранилища долина приобретает узкую, симметричную форму. Высотные отметки кровли морены достигают 120–125 м абс.

На правом берегу Волги в районе дер. Черменино были подробно изучены несколько разрезов в обнажениях склона долины (рис. 2). Разрез 19548 вскрывает строение террасы, прислоненной к коренному склону долины. Поверхность террасы шириной около 30 м, местами до 50 м, пологонаклонная (перепад высот около 2 м). Высота уступа над современным урезом 17,8 м. Тело террасы сложено песчаным материалом с классическим для аллювиальных отложений понижением размерности частиц вверх по разрезу. Эта песчаная толща подстилается моренным горизонтом, доходящим до уреза реки; верхняя ее часть переработана эоловыми процессами. Для отложений данной террасы по pIRIR₂₉₀-сигналу полевого шпата получены люминесцентные возрасты, превышающие 400-500 тыс. лет.

Выше по течению от разреза 19548 изучено обнажение 20736, где выделяются два горизонта морены (рис. 3). Они разделены песчаной толщей, люминесцентное датирование которой позволило оценить лишь минимальный возраст этих отложений – 300-500 тыс. лет. Верхний горизонт морены перекрыт суглинистой серией отложений делювиального генезиса, возраст которой составляет от 86 до 15 тыс. лет.

Левый берег долины, изученный в районе дер. Назарово, занят низкой аккумулятивной поверхностью, высота которой составляет от 95 до 100 м абс при высоте естественного уровня реки 82 м (84 м после создания водохранилища) (рис. 2, 3). Рельеф поверхности холмистый, с высокими холмами, сложенными песчано-галечно-валунным материалом с большим количеством глыб. Разрез 061, заложенный в одном из отдельно стоящих останцов, вскрыл галечно-валунную толщу, перекрытую песчано-супесчаной серией. Разрез 063 и скважина 19547, заложенные к югу от Назаровского карьера, охватывают последовательность отложений, вскрытых в стенке карьера и продолжающихся ниже разработанной толщи. Скважина 19547 в дне разреза 063 пройдена до глубины 7,2 м. Нижняя часть представлена крупнообломочным материалом с песчаным заполнителем. Выше залегает 1,5 м крупнозернистого коричнево-жёлтого песка с включениями гравия.

Над ним — горизонтально-слоистая пачка мелкозернистого песка и алеврита с прослоями растительного детрита, мощностью ок. 1 м. Далее следуют суглинки различной плотности и окраски с линзами тонкого песка и постепенным переходом в алеврит на глубине 2,4 м. С 1,5 м залегает слой гальки, а верхние 0,9 м представлен мелкозернистым жёлтым песком.

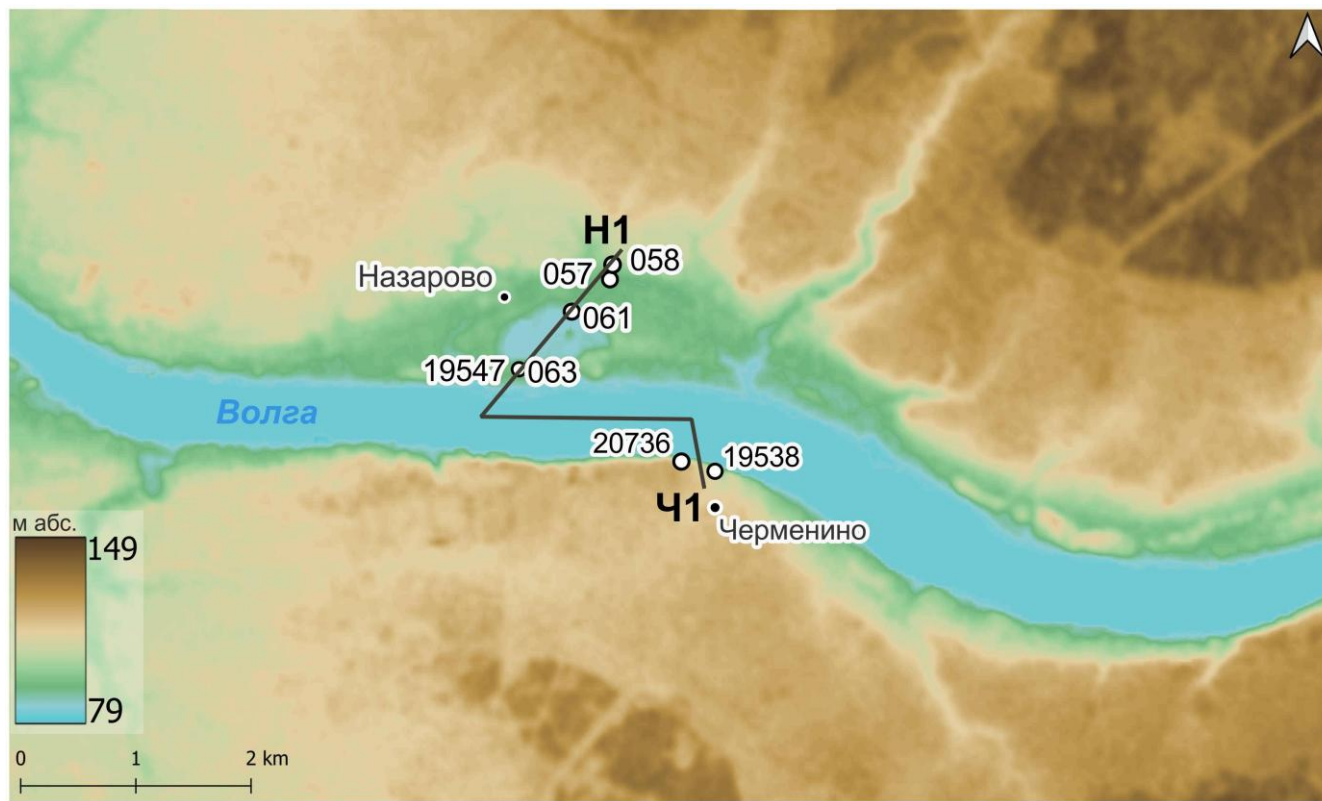


Рис. 2. Положение разрезов, скважин и профиля Ч1-Н1 (рис. 3) в районе г. Рыбинска.

Разрез 063 заложен в южной стенке карьера, на 4,3 м выше устья скважины, с видимой мощностью 3,9 м. Нижняя часть представлена валунником с песчаным заполнителем, переходящим в гравийник. Отмечены прослой суглинка и супеси. Выше — серия пачек мелкозернистого песка с рябью течения, слоистостью и эрозионными контактами, сменяющаяся толщиной гравийно-песчаных отложений с наклонённой слоистостью. Верхняя часть разреза включает слабосортированный песок с галькой и завершается плотным слоем несортированной песчано-щебнистой смеси, местами в плотном суглинистом матриксе, мощностью до 20 см (на других участках — до 1 м). Поблизости от разреза поверхность покрыта слоем из глыб и валунов разного петрографического состава размером до 1 м и более — мореной, с учетом географического расположения разреза принадлежащей предпоследнему (московскому) оледенению.

Результаты ОСЛ датирования показали, что, за одним исключением, весь кварц находится в сатурации, а люминесцентные возраста, полученные с использованием сигнала $pIRIR_{290}$, для разреза 063 составляют 270–480 тыс. лет, а для скважины 19547 — 230–340 тыс. лет. Спорово-пыльцевой анализ отложений скважины 19547 выявил растительность северо- и среднетаёжных лесов, аналогичных современным формациям Западной Сибири и указывающих на потепление интерстадиального ранга (Борисова и др., 2022; Panin et al., 2024).

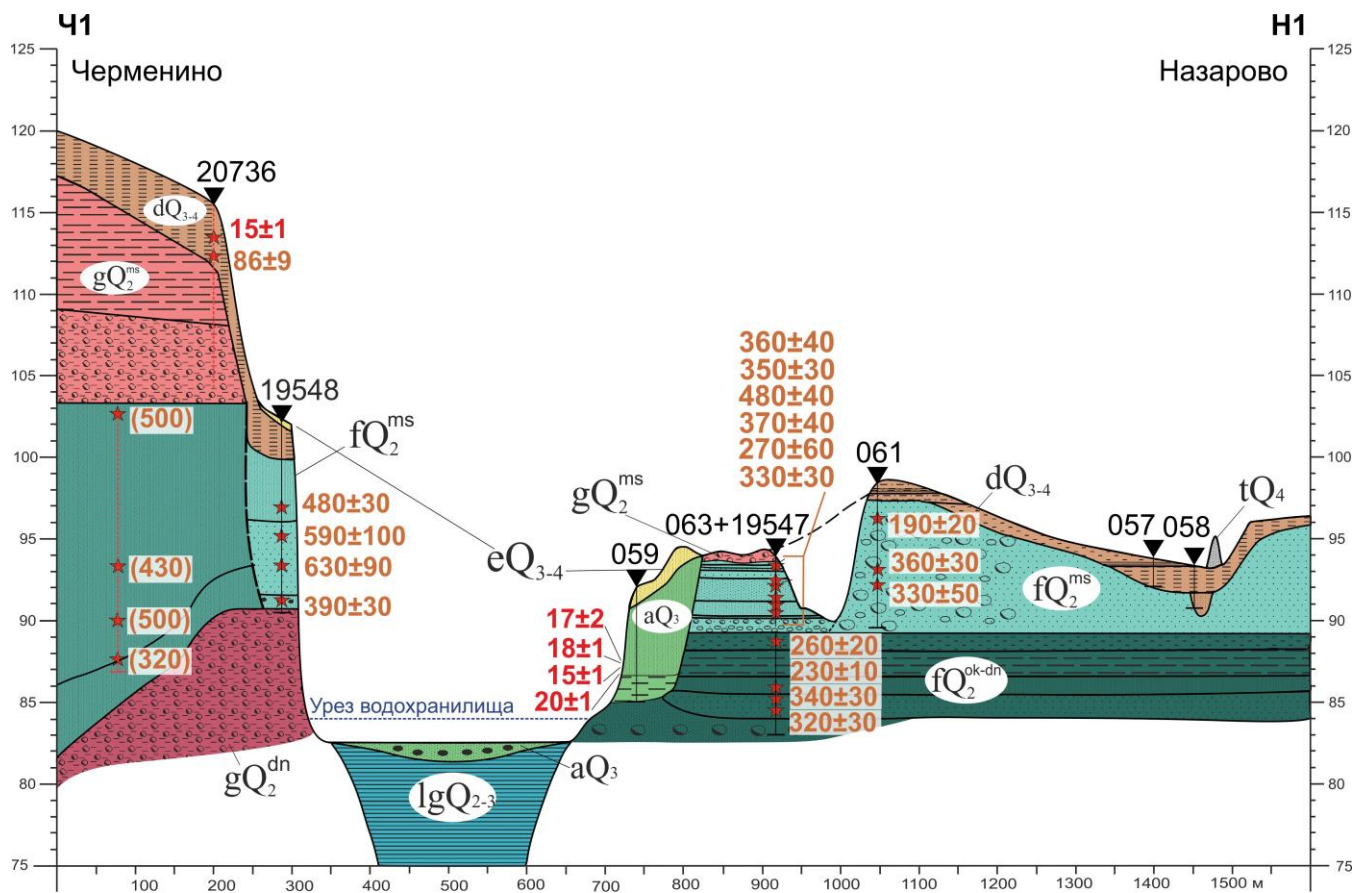


Рис. 3. Комбинированный профиль через долину Волги ниже г. Рыбинска, проходящий через участки Черменино и Назарово (рис.2). Условные обозначения см. на рис. 4.

Начинающийся от южной бровки карьера полого спускающийся к Волге склон заканчивается резким уступом, который от уреза воды в реке отделяет небольшая отмель. В уступе вскрывается песчаная толща отложений, описанная в точке 059 (рис. 2, 3), расположенной в 270 м к юго-западу от разреза 063. Общая высота бровки уступа над современным урезом Волги – 8 м (92 м абс). В основании уступа на краю современной отмели вскрывается крупнообломочный материал размером до валунов ок. 1 м в диаметре (перлювий по московским флювиогляциальным отложениям). Выше в толще выделяются несколько сменяющих друг друга литологических горизонтов: пески, алевриты с микрослоистостью и прослоями дресвы, завершающиеся горизонтально-слоистым светло-коричневым алевритом. Разрез 059 вскрыл отложения аллювиальной террасы Волги, верхняя часть которой была подвергнута эоловой переработке. Люминесцентный возраст аллювия террасы составляет от 20 до 15 тыс. лет.

Долина Волги в районе Тутаева узкая, прямолинейная, шириной 1,5–2 км. Русло врезано до кровли дочетвертичных пород. На северной окраине г. Тутаева, в районе долины ручья Рыкуша, исследованы высокие террасовидные поверхности (рис. 5). На террасовидной поверхности правого борта долины (расчистка 053, 117 м абс.) вскрыта суглинистая толща мощностью 4,6 м, основание которой представлено мореной. Выше следуют слои суглинков с линзами алеврита и признаками ожелезнения. В верхней части отмечены следы склоновой переработки и техногенный горизонт. По результатам микроскопического анализа выявлены угли и костные фрагменты, подтверждающие склоновый генезис. Датирование методом ОСЛ указывает на поздневалдайский возраст толщи: 19–15 тыс. л.

Условные обозначения к литологическим колонкам и профилям



Рис. 4. Условные обозначения к литологическим колонкам и профилям.

В скважине 20737, заложенной на левом борту, вскрыт комплекс из двух мореноподобных горизонтов, перекрытых гравийно-песчаными отложениями, интерпретируемыми как террасовый аллювий, сформированный в конце МИС 5 – начале МИС 4 (72–88 тыс. л.н.). Верхнюю часть толщи составляет делювиальный суглинок поздневалдайского возраста.

Наиболее изученной частью Тутаевской долины прорыва является участок левого склона долины Волги неподалеку от деревни Отмищево (рис. 5, 6). Здесь на различных высотных уровнях (115–105 м абс.) были заложены скважины 19541–19546 и 19543. Нижние горизонты представлены мощной моренной толщей (кирпично-красные тяжёлые суглинки с обломками метаморфических пород), перекрытой разными по составу и мощности слоями суглинков, песков и алевроитов. В скважине 19543, пробуренной на среднем уровне склона (рис. 6), морена фиксируется на глубине 7,7 м; выше неё вскрыт сложный комплекс отложений. Спорово-пыльцевой анализ суглинков с оторфованными прослоями, залегающими над мореной, выявил доминирование древесной пыльцы (60–70%), высокое содержание спор сфагновых и печёночных мхов, а также пыльцы осоковых и злаков. Обнаруженные ценобии водорослей минимальны, что исключает озёрный генезис. Накопление отложений могло происходить в низине вблизи мёртвого льда (Борисова и др., 2022). Люминесцентные образцы из нижней части толщи, как и приведенные выше даты из Назаровского карьера, показывают возраст, превышающий 300 тыс. л.н.

В верхней части всех изученных скважин залегают суглинистые прослои делювиального происхождения. Люминесцентное датирование показало, что их формирование происходило со среднего по поздний валдай (64–18 тыс. л.н.).

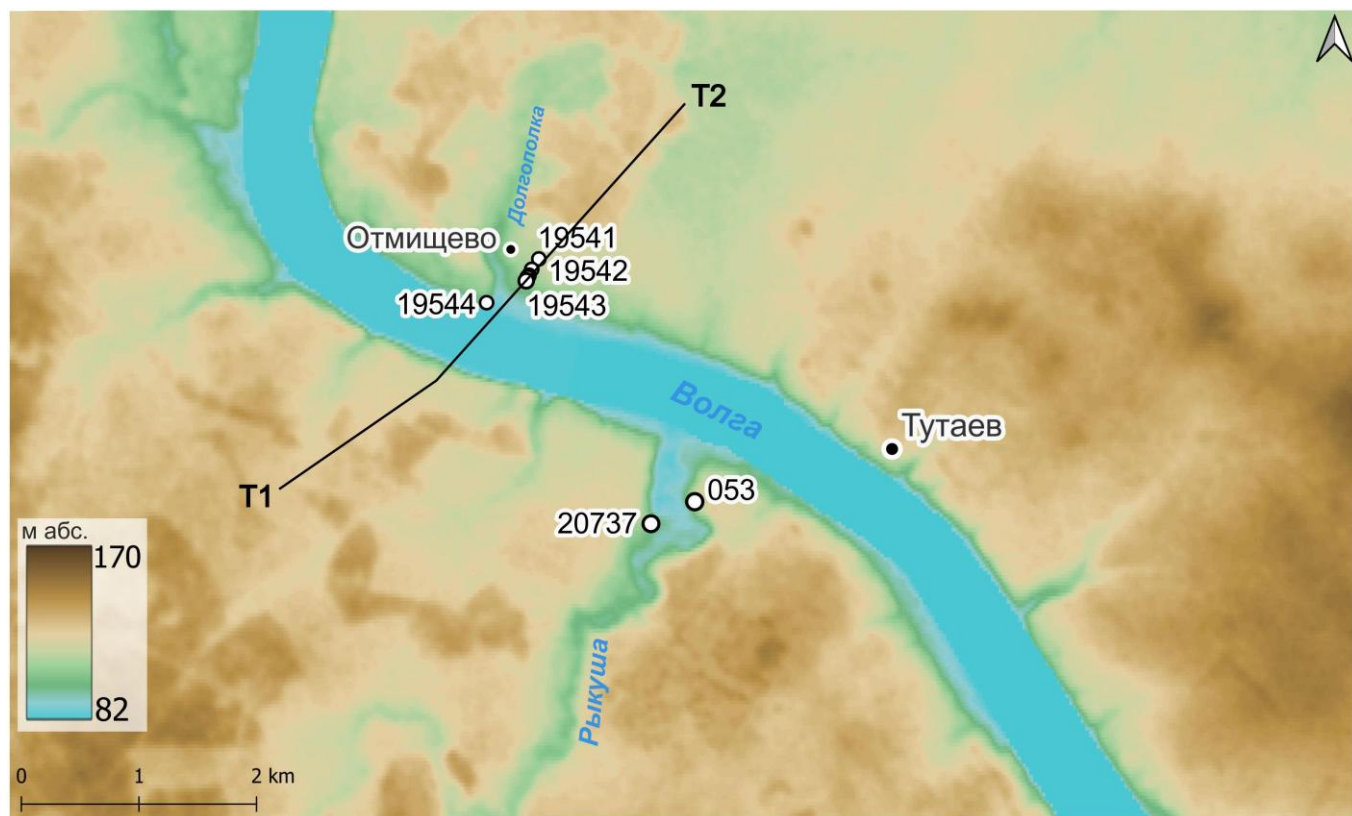


Рис. 5. Положение упоминаемых в тексте разрезов, скважин и профиля T1-T2 (рис. 6) в районе г. Тутаева.

В нижней части склона долины Волги на высоте 91 м абс. (8 м над урезом) была заложена расчистка 19544, вскрывшая супесь с включениями песка и щебня, сменяющуюся выше слоистой серией тонкозернистых песков и супесей. Люминесцентное датирование показало голоценовый возраст отложений: около 10 тыс. л. в основании и ~1 тыс. л. в верхней части. Уступ представляет собой речную террасу голоценового возраста. Скважины выше по склону не выявили озёрных или аллювиальных отложений микулинского времени.

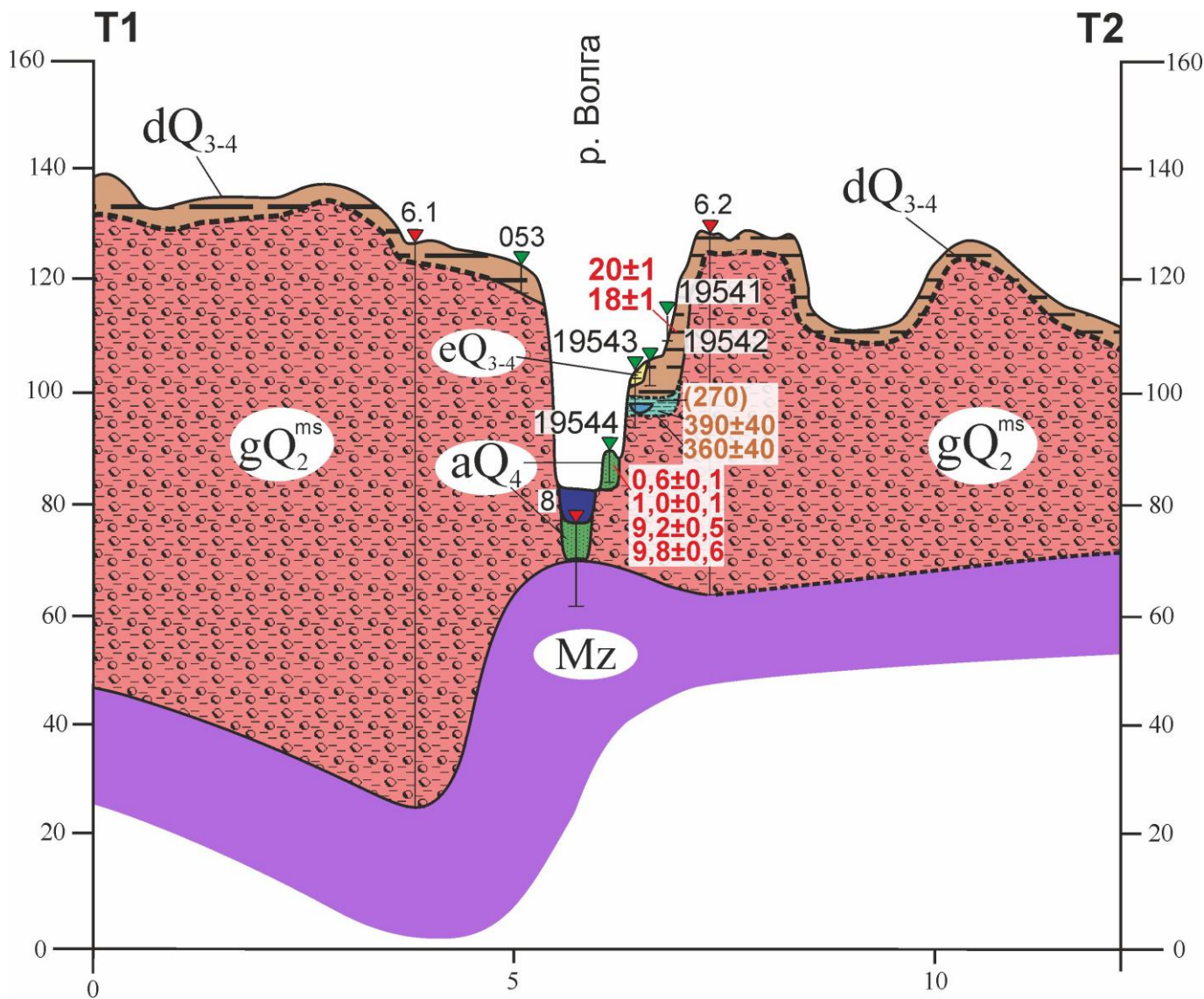


Рис. 6. Профиль через долину прорыва у г. Тутаева. Условные обозначения см. на рис. 4.

3.2. Долина Волги на участке Кострома-Плёт

Ниже по течению от Тутаева Волга пересекает Ярославско-Костромскую низменность с характерным террасообразным уступом около 110 м абс. Предполагалось, что этот уступ мог быть сформирован береговой зоной крупного поздневалдайского приледникового озера (Квасов, 1975).

Для изучения генезиса уступа были пробурены три скважины (19538–19540) в районе д. Спас-Виталий (рис. 1). Под органогенными суглинками залегает морена, перекрытая песками и супесями. Радиоуглеродный возраст органогенных отложений составил ~33 тыс. лет, а люминесцентный возраст песков — 45–52 тыс. лет, что указывает на формирование толщи в пределах мега-интерстадиала MIS 3. Спорово-пыльцевой анализ показал отсутствие пыльцы водных растений и наличие

переотложенных спор, что свидетельствует о накоплении отложений в условиях временного водоёма. Таким образом, полученные данные не подтверждают существование обширного поздневалдайского озера в пределах низменности, а терраса на 110 м абс. вероятно связана с локальными аккумулятивными процессами времени МИС 3 во влажном, но не озёрном режиме (Borisova et al., 2022).

Ниже Костромы долина Волги вновь сужается, входя в пределы Галичско-Чухломской возвышенности — слабо расчленённой моренной гряды, формирующей крутой правобережный склон у Плёса. Прилегающие равнины отличаются слабой эрозионной расчленённостью и сохраняют черты молодого ландшафта.

В районе д. Погорелка, на выходе из Костромской низины, был заложен буровой профиль через серию уступов на высотах 90–114 м абс., ранее интерпретируемых как надпойменные террасы (рис. 7, 8). Скважина 19534 (102 м абс) вскрыла последовательность поздневалдайских эоловых отложений, представленных суглинками, алевролитами и песками. Бурение выше по склону (скв. 19535, 20738–20740) показало, что эоловые отложения плащевидно покрывают склон изолированного холма с вершиной на высоте 114 м абс (скв. 19535), сложенного стратифицированными песками и суглинками, залегающими на морене. Гранулометрический анализ этих отложений показывает смену условий от активного водного потока к более спокойной среде осадконакопления. Палинологический анализ надморенных органосодержащих отложений скв. 19535 выявил схожесть пыльцевых спектров с обнаруженными в скв. 19543 (Борисова и др., 2022). Люминесцентный возраст перекрывающих органогенный прослой отложений составляет 440–660 тыс. лет, что вместе с палинологическими результатами не позволяет отнести эту форму к аллювиальным террасам Волги.

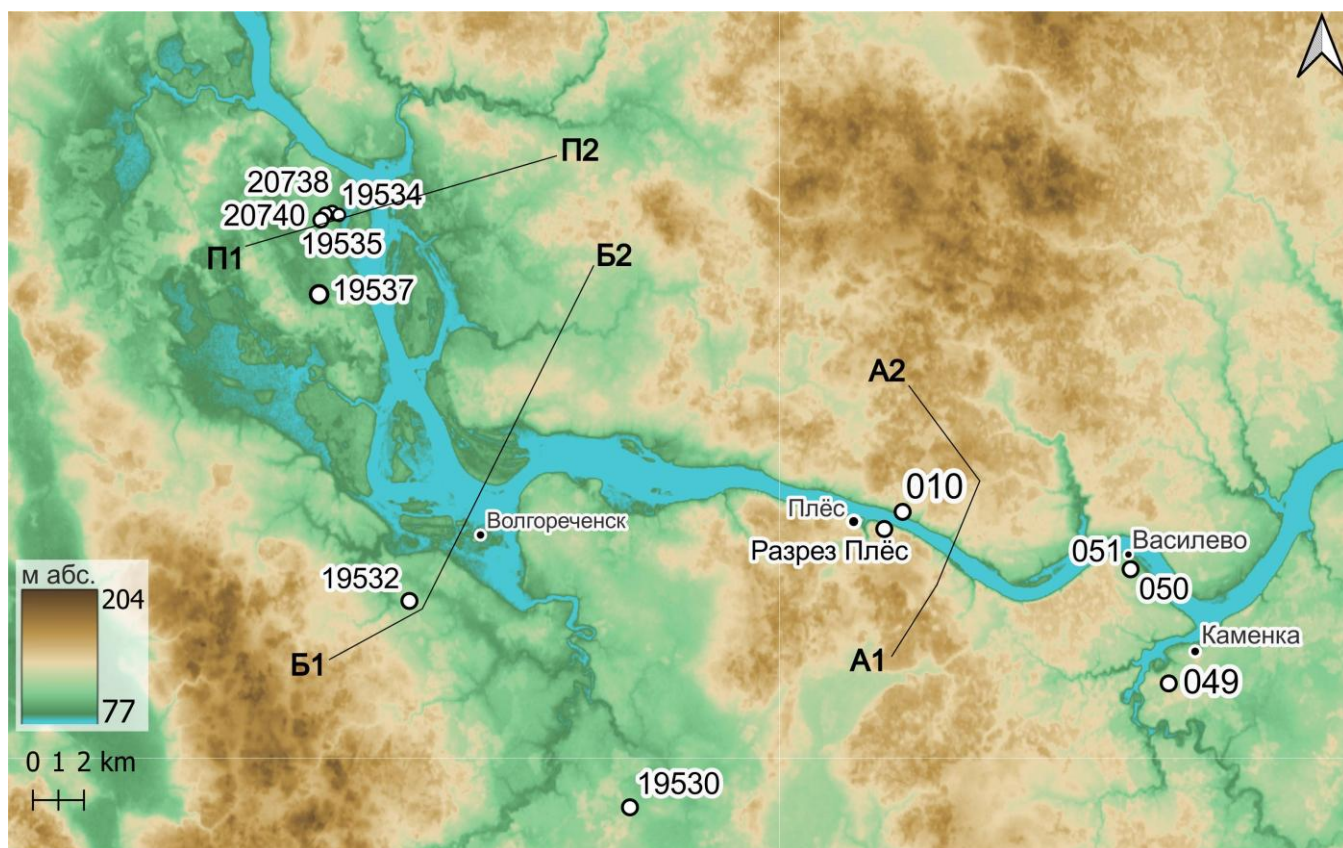


Рис. 7. Положение разрезов, скважин и профилей в районе г. Плёса.

К западу от долины Волги выше Плёса в междуречьях выявлены слепые ложбины, одна из которых (скважина 19537, рис. 7, 8) вскрыла толщу предположительно озёрных осадков раннего валдая. Седиментологические особенности и возраст (~66 тыс. л.н.) указывают на формирование небольшого озера в понижении рельефа. Связи этого водоёма с Волгой не установлено.

Следующий ключевой участок расположен в 20 км ниже по течению верхней Волги. На основании архивных материалов (Большакова, 1963) был построен поперечный профиль по линии Б1–Б2 (рис. 7, 9), в пределах которого заложена скважина 19532 на озерной террасе валдайского возраста. Вскрыта толща мощностью 18,5 м, представленная чередующимися слоями тяжелого суглинка, алевролитов и песков с выраженной горизонтальной слоистостью.

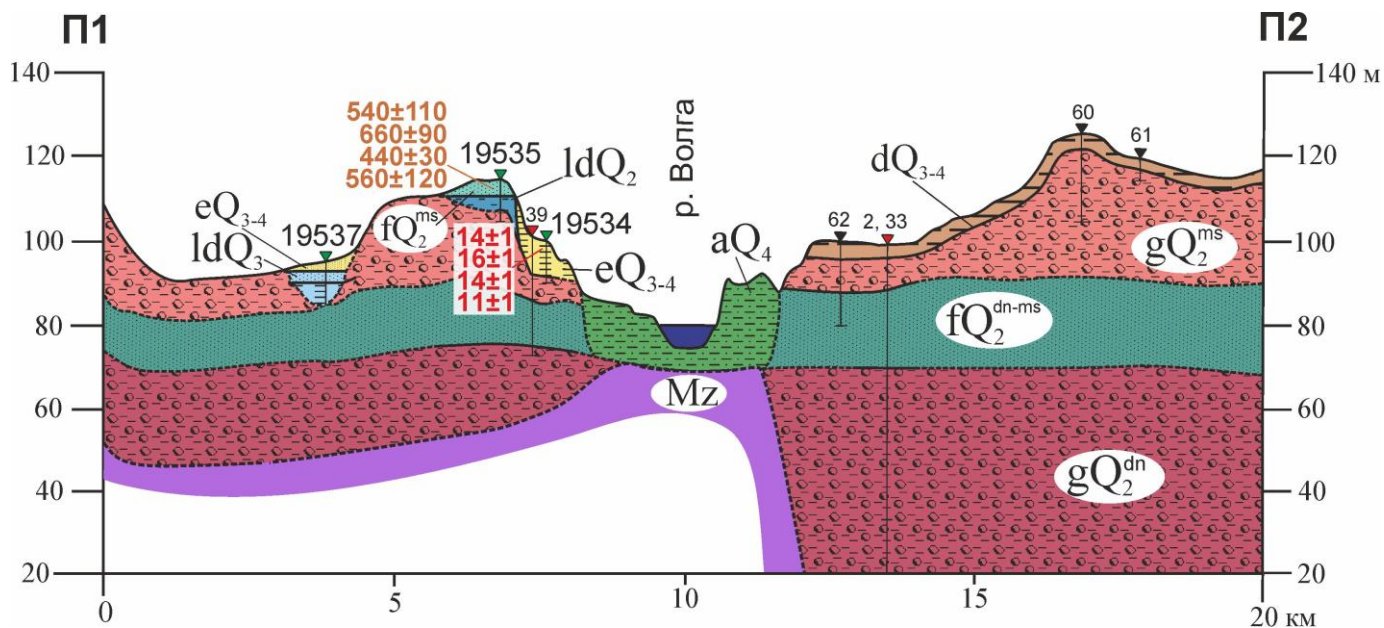


Рис. 8. Поперечный профиль долины р. Волги и междуречий в створе дер. Погорелка. Условные обозначения см. на рис. 4.

Результаты гранулометрического анализа и ОСЛ-датирования позволили выделить три основных стратиграфических части. Верхняя часть (до 4,5 м) представлена делювиальными отложениями с преобладанием крупного алевролита. Средняя часть (5,0–6,5 м) содержит больше мелкого песка и датируется ранневалдайским временем (~81,6 тыс. лет назад). Нижняя часть характеризуется чередованием алевролитов и песков, а начиная с глубины 16,0 м вновь доминирует шоколадный суглинок. Пыльцевой анализ показал схожие пыльцевые спектры с описанными в скважинах 19543 и 19535 (Борисова и др., 2022). ОСЛ-датирование образцов из глубин ниже 7 м не дало конечных возрастов из-за сатурации полевого шпата, однако минимальный возраст оценивается более чем в 300 тыс. лет.

Таким образом, наличие на изучаемом участке отложений приледникового озера не подтверждается: согласно описанным выше характеристикам отложений, а также данным спорово-пыльцевого анализа и ОСЛ-датирования, можно заключить, что изученные разрезы свидетельствуют лишь о наличии локального стока в конце МИС 5 и позже.

На участке южной окраины Галичско-Чухломской возвышенности долина Волги приобретает характер долины прорыва с резко выраженным врезом. На левом борту долины прорыва у г. Плёса изучен разрез мощных аллювиальных отложений,

вскрытых промоиной в устье малой балки (разрез 010, рис. 7, 10). Разрезом зафиксирована мощная толща песков с чередованием косой и горизонтальной слоистости и включениями гравийного материала, интерпретируемая как аккумулятивная терраса малого притока Волги высотой 20 м над урезом (99 м абс.). Люминесцентный возраст этих отложений (120–150 тыс. лет) позволяет заключить, что эта толща формировалась с конца МИС 6 до микулинского времени (МИС 5е).

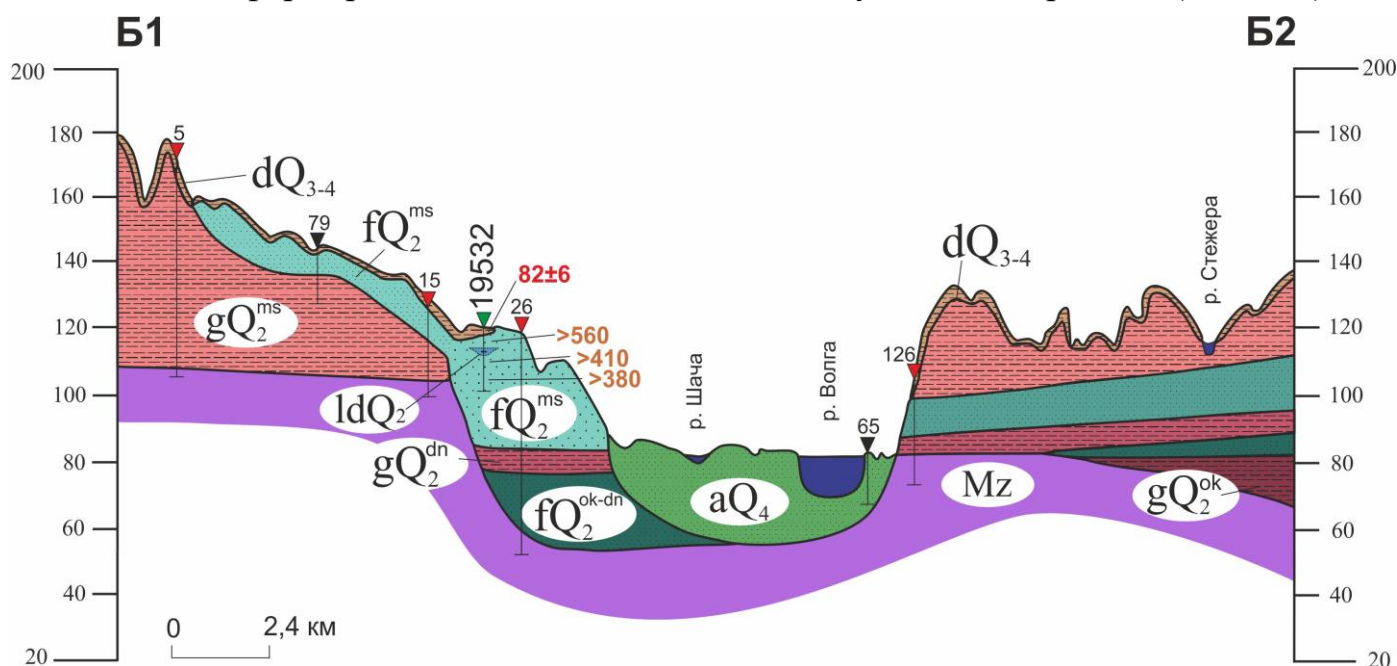


Рис. 9. Профиль выше долины прорыва у г. Плёса по Большаковой (1963) с дополнениями. Условные обозначения см. на рис. 4.

Ниже по течению от долины прорыва у г. Плёса долина Волги на протяжении 10 км остается довольно узкой, расширяясь лишь на 100-200 м. Холмисто-моренный рельеф Галичско-Чухломской возвышенности сохраняется только на левом берегу, а на правом примерно в 20 км ниже Плёса в Волгу впадает приток – р. Сунжа. Первый из разрезов, изученных нами в этом районе, был описан в ходе исследования Каменского карьера и заложен на его северо-западной стенке (точка 049, рис. 7). Разрез вскрывает толщу преимущественно песчаных отложений флювиальной природы, люминесцентный возраст которой составляет от 87 до 145 тыс. лет. Судя по результатам датирования, эта терраса правого притока Волги сформировалась в то же время, что и описанная в точке 010.

Второй разрез в этой части долины относится к зоне распространения московского флювиогляциала (Большакова, 1963). В Василевском карьере, расположенном на правом берегу Волги ниже г. Плёса, изучены совмещённые разрезы 050 и 051, суммарной мощностью 14,5 м (рис. 7). Нижняя часть разреза представлена толщей галечно-гравийно-песчано-валунного материала с горизонтальной и косой слоистостью; прослои различаются по крупности и составу, встречаются включения дресвы и гальки. В средней части преобладают крупнозернистые и хорошо отмытые пески с прослоями гравия и гальки. Верхняя часть разреза (разрез 050) включает тонко- и мелкозернистые пески, супесь и суглинки с горизонтальной и местами неровной слоистостью, а также ожелезнённые прослои.

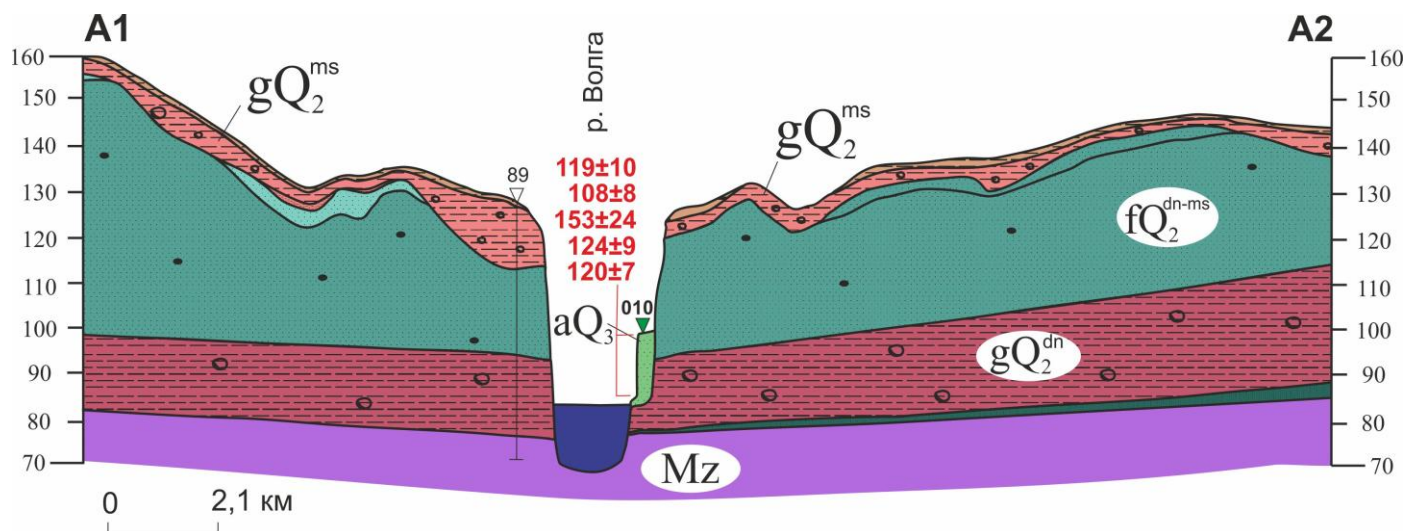


Рис. 10. Профиль А1-А2 через долину прорыва у г. Плёса (по Любимовой, 1973, с дополнениями). Условные обозначения см. на рис. 4.

ОСЛ даты по полевому шпату показывают возраст порядка 400-500 тыс. лет. Только два образца из верхней части разреза, которая представляет собой переработанные эоловыми процессами отложения, дали даты поздневалдайского времени (23-24 тыс. л.н.).

Глава 4. Гляциоизостатические деформации в бассейне Волги в последнюю ледниковую эпоху

Для всесторонней реконструкции истории формирования долины верхней Волги необходимо оценить влияние гляциоизостатических деформаций на рельефообразующие процессы в условиях поздневалдайского оледенения. Современные гляциоизостатические модели — ICE-5G, ICE-6G, SELEN 4 — позволяют провести моделирование палеотопографии времени последнего покровного оледенения, а также анализ изменений продольного профиля долины, вызванных асинхронной релаксацией земной коры после деградации Скандинавского ледникового щита (рис. 11).

В первой части главы представлены результаты реконструкции топографии бассейна верхней Волги по данным моделей ICE-5G и ICE-6G (Peltier, 2004; Argus et al., 2014), содержащих информацию о распределении высот с учётом ледниковой нагрузки. Согласно этим моделям, в период максимума последнего оледенения (ок. 21 тыс. л.н.) ось приледникового компенсационного вала (ПКВ) проходила между Костромой и Плёмсом, при этом русло Волги от Рыбинска до Плёса попадало в зону положительных вертикальных движений (до +10 м), а верховья — в зону прогиба (до -50 м) (Уткина, 2020а,б). Реконструированные профили демонстрируют общий тренд: поднятие высотных отметок в нижнем течении верхней Волги и опускание в верхнем. Моделирование палеотопографии с использованием программы SELEN 4 (Spada & Mellini, 2019) показывает сходную с моделями семейства ICE картину гляциоизостатических деформаций, однако выявляет более высокую амплитуду изменений: до +17 м подъёма и -85 м прогиба (Уткина, 2020б).

В работе представлены результаты моделирования, выполненного с учётом актуальных границ Скандинавского ледникового щита (по Astakhov et al., 2016 и Hughes et al., 2015), включённых во входные файлы SELEN 4. Это позволило

устранить неточности прежних моделей, в которых ледниковый покров заходил значительно южнее, чем следует из геологических данных. Новая реконструкция демонстрирует устойчивое положение приледникового компенсационного вала от Ржева до Костромы в течение 20–15 тыс. л.н., с постепенным смещением к северо-западу в позднем валдае и голоцене (рис. 11). Установлено, что гляциоизостатические деформации играли ключевую роль в формировании уклонов русла и могли способствовать как формированию подпрудных озёр в верховьях, так и локальной аккумуляции в средней части долины. Наиболее достоверные результаты, по мнению автора, получены при использовании модели SELEN 4 с геологически обоснованной границей ледника.

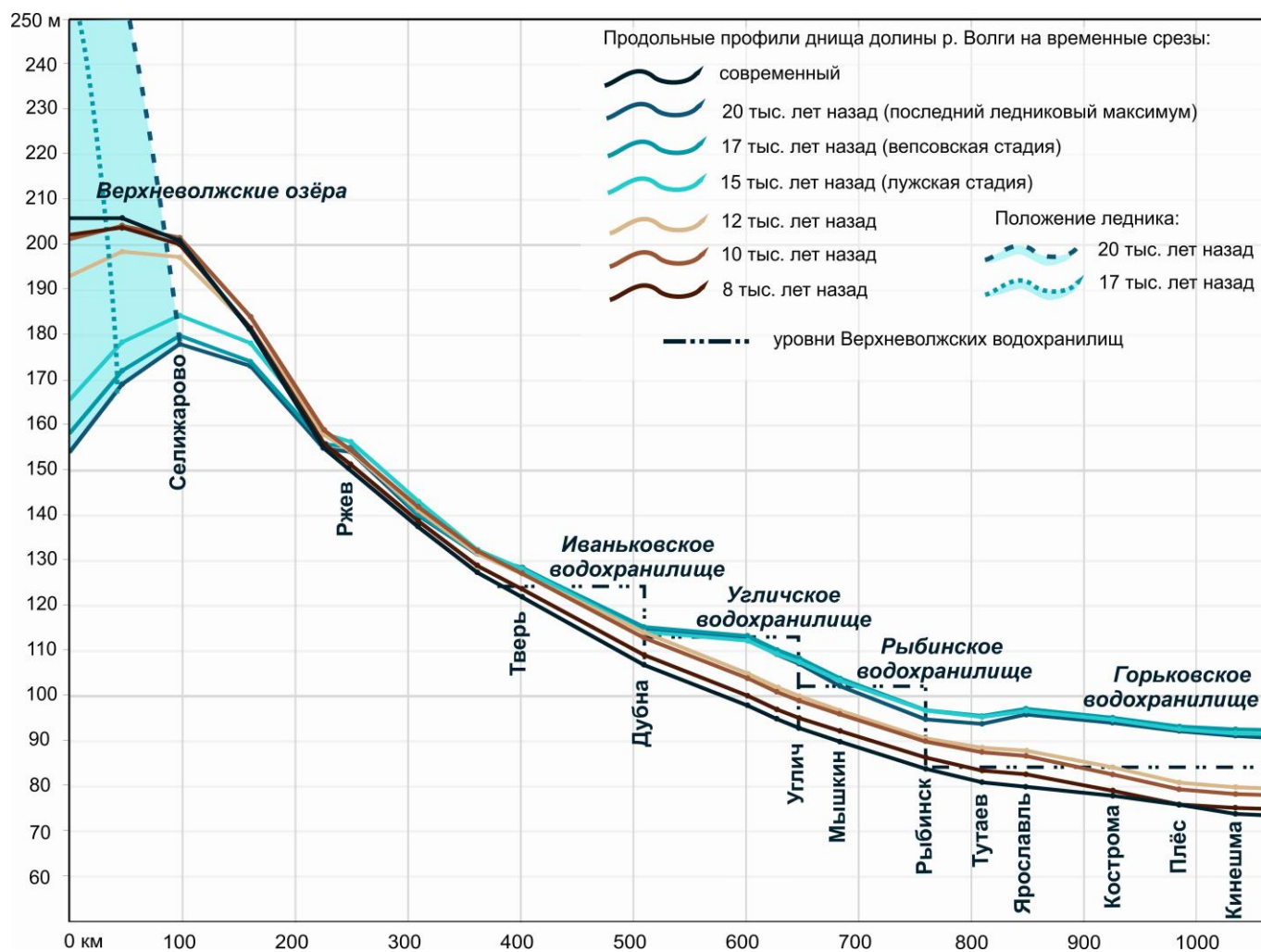


Рис. 11. Продольные профили верхней Волги (топография по данным SELEN 4) 20, 17, 15, 12, 10 тыс. л.н. и в настоящее время. Современный профиль отражает положение русла до создания водохранилищ и построен с использованием материалов Баранова Д.В.

Глава 5. Строение и история развития долины Волги в Ярославско-Костромском регионе

5.1. Возраст долины Волги

Среди изученных внутридолинных форм рельефа можно выделить те, которые помогают на новой основе решить вопрос о возрасте долины. Ключевым объектом исследования является долина прорыва у г. Плёса, морфология которой действительно напоминает ущелье с крутыми склонами и узким дном, что ранее

интерпретировалось как признак молодого возраста. Однако результаты проведённых исследований позволяют по-новому взглянуть на её происхождение. В устьевой части одного из крупных балок, расчлняющих высокий левый борт долины Волги, была обнаружена террасовидная форма, сложенная слоистыми песками. Согласно результатам люминесцентного датирования, возраст этих отложений составляет около 120–150 тыс. лет, что соответствует позднемосковскому времени (МИС 6) и микулинскому межледниковью (MIS 5e). Балочный аллювий мощностью не менее 20 м накопился в ходе размыва сложенного межморенными флювиогляциальными песками склона долины при регрессивном росте балки, сопровождавшемся выносом большого количества материала, который переоткладывался в устьевой части балки. Возраст и высотное положение этих отложений говорят о том, что к концу московского времени долина верхней Волги уже существовала и была не менее глубокой, чем в настоящее время.

Новые данные позволили оценить и возраст долины прорыва у г. Тутаева. В долине р. Рыкуши — небольшого правого притока Волги, протекающего по окраине Тутаева, — аллювий одной из надпойменных террас высотой 17 м был продатирован в интервале от 72 до 88 тыс. лет, что соответствует рубежу МИС 5 и МИС 4. Поскольку базис эрозии для р. Рыкуши задаётся Волгой, её долина уже должна была существовать к указанному времени. При этом никаких признаков существования озёрных условий в строении террасы или склонов долины, которые могли бы быть связаны с блокировкой стока ледником в дальнейшем (в позднем валдае), выявлено не было.

Таким образом, совокупность новых данных — наличие аллювиальных отложений микулинского и ранневалдайского возраста внутри долины Волги и её притоков, а также отсутствие признаков широкомасштабной озёрной аккумуляции — позволяет утверждать, что формирование долины верхней Волги, включая участки долин прорыва, произошло не позднее рубежа среднего и позднего плейстоцена.

5.2. Генезис и возраст разновысотных террас в долине Волги

В ходе работы было также исследовано строение долины верхней Волги вне участков долин прорыва. На левом берегу Волги в районе Назарово низкая терраса с чередованием плоского и холмисто-грядового рельефа (сложена песчано-гравийно-валунными отложениями с люминесцентным возрастом от 190 до 480 тыс. лет (рис. 3). Эти отложения, в ряде случаев перекрытые мореной, в других — залегающие над ней, по комплексу признаков отнесены к флювиогляциальным времени деградации московского оледенения, и слагаемая ими поверхность к аллювиальным террасам отнесена быть не может несмотря на небольшую (11-16 м) высоту над рекой. Аллювиальная терраса Волги высотой 8 м примыкает к этому моренно-флювиогляциальному комплексу. Она формировалась во второй половине последней ледниковой эпохи (15–20 тыс. л.н.). На правом борту долины, в районе Черменино, изученная террасовидная поверхность высотой около 20 м сложена песчаными отложениями с люминесцентным возрастом от 390 до 630 тыс. лет (рис. 3, разрез 19548). Минимальный люминесцентный возраст подморенных отложений на соседнем участке долинного склона составляет порядка 300–500 тыс. лет (рис. 3).

В районе дер. Отмищево (выше г. Тутаева) прибровочная террасовидная площадка сложена склоновыми отложениями возрастом 30–65 тыс. лет и надморенными суглинистыми отложениями возрастом 270–390 тыс. лет.

Голоценовые аллювиальные отложения слагают речную террасу высотой около 10 м.

На выходе из Ярославско-Костромской низины (район дер. Погорелка) золотая толща, перекрывающая моренный склон на высотах 15–23 м над рекой формировалась 10–16 тыс. лет назад (рис. 8, скв. 19534). Террасовидная поверхность на вершине изолированного холма оказалась сложенной песчано-гравийными отложениями с люминесцентным возрастом 440–660 тыс. лет, сформировавшимися в активном водном потоке, но явно не реки Волги (рис. 8, скв. 19535). Также на междуречье (скв. 19537) обнаружены отложения небольшого локального озера, залегающие в замкнутом понижении, не сообщавшемся с долиной Волги, и датированные 66 и 105 тыс. лет назад.

Перед долиной прорыва у Плёса террасовидная площадка высотой порядка 40 м сложена чередующимися суглинистыми, алевроитовыми и песчаными отложениями с минимальным люминесцентным возрастом 380–560 тыс. лет (рис. 9, скв. 19532). Спорово-пыльцевой анализ указывает на схожесть условий формирования средней части этих отложений с прослоями в скважинах 19543 и 19535 (Борисова и др, 2022). На междуречье также были вскрыты отложения локальных обводненных понижений, которые сформировались на рубеже МИС 4 и МИС 5. Наконец, в излучине Волги ниже г. Плёса на высоте порядка 45 м песчано-гравийная толща с косою слоистостью датированы 400–500 тыс. лет. Морена в этих разрезах отсутствует.

Таким образом, на протяжении всего изученного отрезка верхней Волги внутри долины регулярно встречаются отложения, сформировавшиеся в обстановке водного потока или слабопроточного водоема, люминесцентный возраст которых превышает 200–300 тыс. лет. Чаще всего подобные отложения слагают террасовидные формы. Люминесцентный возраст этих отложений стратиграфически не согласуется с их надморенным залеганием, как в случае скважин 19548, 19543, 19535, 19532 и разрезов 061, 050, 051. Полученные люминесцентные даты гораздо старше времени московского оледенения, которое последним из оледенений подвергло рельеф Верхневолжья значительной переработке. Подобные аккумулятивные формы не могли сохраниться *in situ* и не быть при этом перекрыты мореной. Получить больше информации о происхождении этих отложений можно при помощи подробного анализа материалов люминесцентного датирования (Utkina et al., 2022).

5.3. Люминесцентный возраст отложений и его соотношение со временем седиментации

Люминесцентное датирование позволяет не только определять возраст осадков, но и получать информацию о характере их переноса и условиях осадконакопления. Это связано с тем, что люминесцентный сигнал накапливается и удаляется в зависимости от воздействия солнечного света: чем дольше и интенсивнее зерна подвергались освещению, тем полнее обнуляется сигнал. Основной проблемой метода является возможность получения завышенных (удревнённых) возрастов, возникающих при недостаточном экспонировании зерен солнечному свету — например, при быстром перемещении или осаждении в мутной водной среде (Murray et al., 2021).

Для оценки степени засветки образцов используют сигналы разных минералов и ловушек: кварц обнуляется быстрее, чем полевошпатовый шпат, а среди сигналов шпата быстрее обнуляется IR₅₀, тогда как pIRIR₂₉₀ сохраняется дольше. Сравнение

возрастов по этим сигналам позволяет судить о качестве засветки: если между ними наблюдается линейная зависимость, материал считается хорошо (или достаточно) засвеченным; при значительных отклонениях — хуже (недостаточно) (Murray et al., 2012).

Полученные древние даты можно разделить на две категории: не перекрытые мореной (надморенные) и залегающие под ней (подморенные). Возраст образцов из второй группы не противоречит их стратиграфическому положению, что делает его более достоверным, чем возраст образцов из первой. Тем не менее, как и в случае с любыми люминесцентными датами, существует вероятность их неполного обнуления. В группу подморенных образцов были добавлены еще несколько с участка верхней Волги выше по течению от Рыбинска, изученного Д. В. Барановым (2023). Сравнение возрастов по двум сигналам полевого шпата показало, что подморенные пески демонстрируют возрасты, согласующиеся со стратиграфией и ложатся на одну линию связи с хорошо засвеченными молодыми образцами (рис. 12А), тогда как надморенные удревнены относительно их стратиграфического положения и сильный разброс значений (рис. 12Б). Это указывает на вероятное неполное обнуление сигналов в надморенных отложениях (Utkina et al., 2022). Их слабая засветка, террасовидная форма залегания, литологическая неоднородность и завышенные даты свидетельствуют о водно-ледниковой природе этих отложений, наиболее вероятно — об их формировании в составе камовых террас в условиях деградации московского ледника.

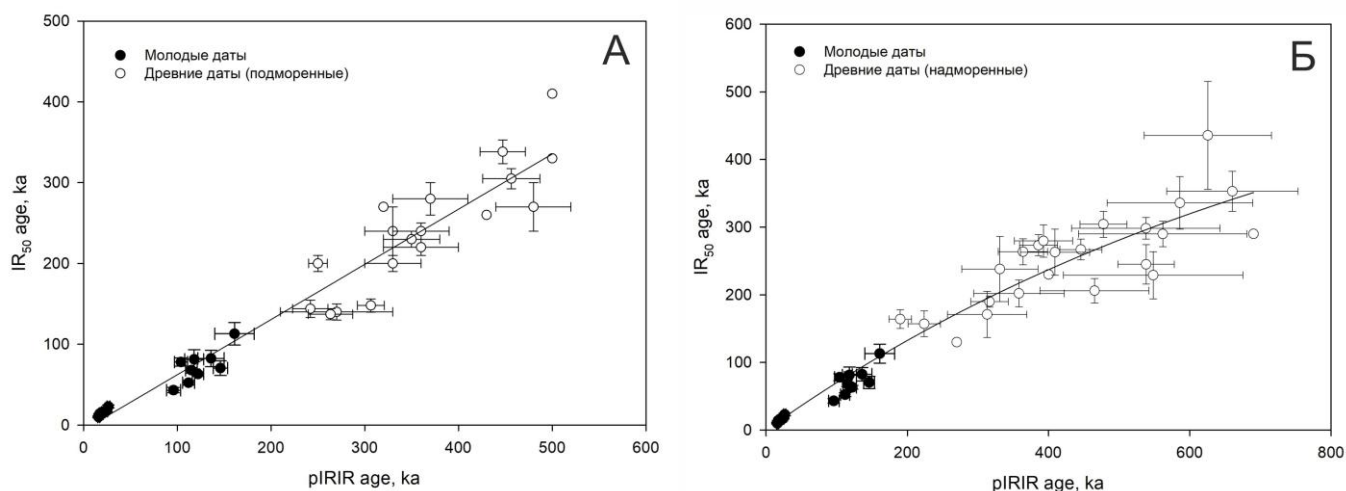


Рис. 12. Сравнение дат, полученных по сигналам IR50 и pIRIR290 для: А – молодых хорошо засвеченных образцов и древних подморенных; Б – молодых хорошо засвеченных образцов и древних надморенных.

Камовые террасы возникают в маргинальных ледниковых водоемах, где отложения быстро накапливаются в замкнутых понижениях рельефа без доступа солнечного света (Flint, 1964). Это объясняет слабую засветку зерен и удревнение люминесцентных дат. Результаты геохронологического, литологического и морфологического анализа позволяют заключить, что террасовидные формы в долине Волги на относительных высотах более 10 м не являются аллювиальными. Они представляют собой камовые террасы позднемосковского возраста (МИС 6), в то время как настоящие речные террасы ограничиваются высотами 8–10 м и формировались в поздневалдайское и раннеголоценовое время.

5.4. Роль гляциоизостатических деформаций в развитии долины Волги

Для реконструкции влияния поздневалдаских гляциоизостатических деформаций на бассейн верхней Волги были использованы актуализированные данные о границах и мощности Скандинавского ледника, более точно отражающие ситуацию в регионе. Это позволило устранить искажения, вызванные некорректной ледовой нагрузкой, и получить более реалистичную картину влияния гляциоизостазии на рельеф. Реконструкция палеотопографии бассейна поздневалдайского и голоценового времени позволила оценить изменения уклонов реки, происходивших по мере роста и деградации приледникового компенсационного вала (рис. 13). Анализ изменений уклона показывает ожидаемый тренд: от слабого уклона во время максимального прогиба – к его постепенному увеличению по мере деградации ледника. Особенно чётко это прослеживается на ключевом участке долины Волги (Рыбинск–Плёт), где в позднем валдае уклон был минимальным, а затем резко возрос на рубеже 15–14 тыс. л.н., что обозначило начало эрозионного этапа. Эта динамика подтверждается наличием надпойменной террасы у г. Рыбинска на высоте 92 м (разрез 059, рис. 3), аллювий которой имеет возраст 15-20 тыс. лет.

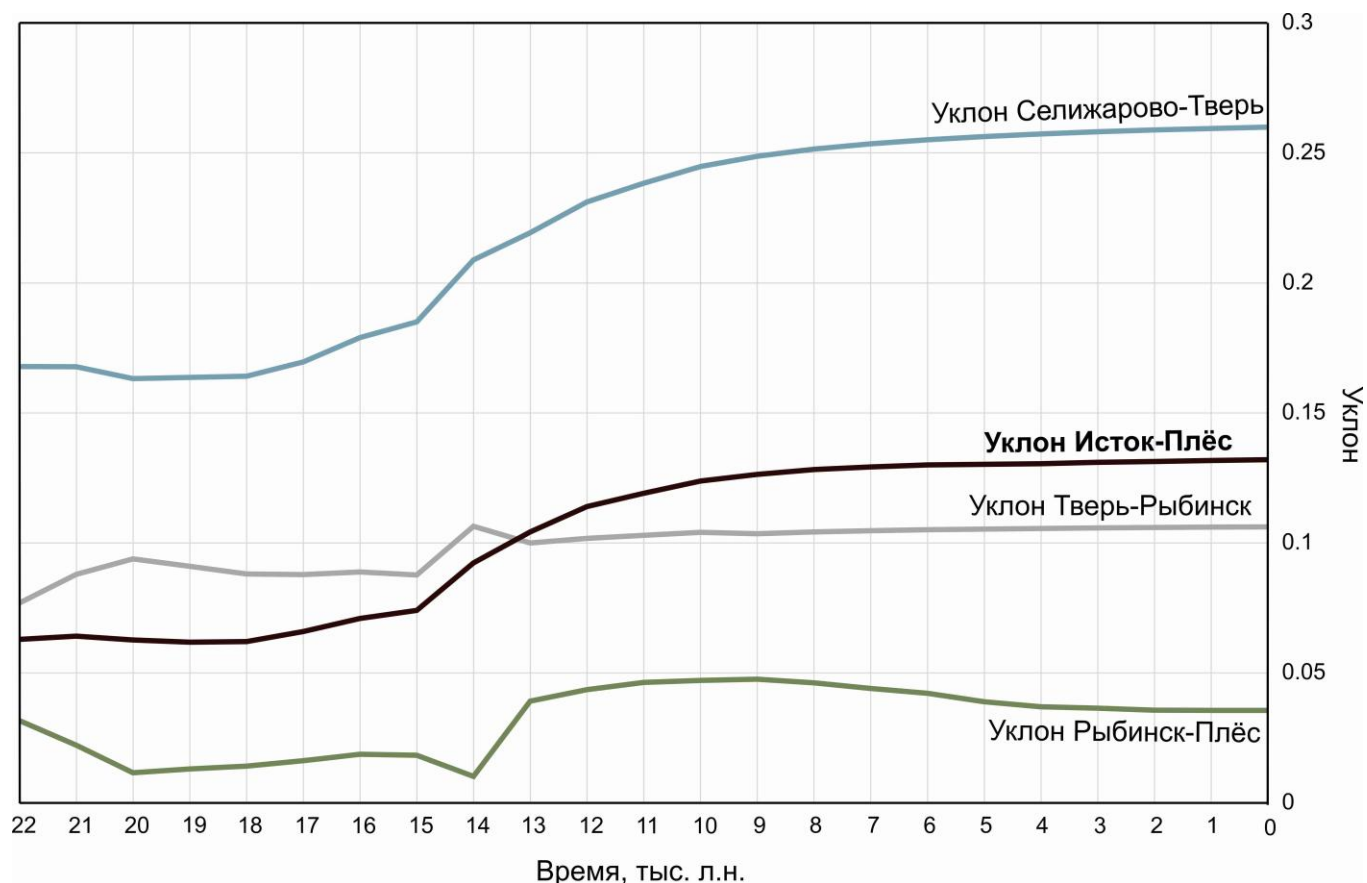


Рис. 13. Изменения уклона верхней Волги с 25 тыс. л.н. до настоящего времени на разных участках русла (см. подписи линий).

Возраст аллювия еще одной надпойменной террасы в районе Тутаева (разрез 19544, рис. 6) несколько более поздний – раннеголоценовый. Тем не менее, мы относим эту террасу к этому же эрозионно-аккумулятивному циклу по двум причинам. Во-первых, точность проведенного гляциоизостатического моделирования исследования позволяет делать приближения в пределах первых тысяч лет. Во-вторых, эрозионно-аккумулятивные циклы в долине и в бассейне реки

связаны не только с изменениями уклона и стока воды, но и с транспортом речных наносов. Поскольку изменения уклона были наиболее значительными в верховьях реки, можно предполагать, что процессы врезания, которые там происходили вплоть до середины голоцена (Баранов и др., 2019; Баранов, 2023), вызвали мобилизацию значительного количества наносов, которые перемещались вниз по течению и могли за счет переотложения вызвать аккумулятивный эффект. Таким образом, этот эрозионно-аккумулятивный ритм имел сложную природу: с одной стороны на него влияли локальные изменения уклона, а с другой стороны он проявлялся как реакция на увеличение транспорта наносов за счет врезания реки выше по течению.

5.5. История формирования долины Волги на участке от г. Рыбинска до г. Кинешмы

Исследования формирования долины верхней Волги показали, что она уже существовала к концу позднемосковского времени. Аллювиальные отложения позднемосковского и ранневалдайского возраста в долинах притоков верхней Волги указывают на уже существовавшее долинное углубление к концу дегляциации. Характер строения долины верхней Волги свидетельствует об отсутствии полноценной лестницы аллювиальных террас – это говорит о том, что долина не могла формироваться, постепенно врезаясь после деградации оледенения, а, по всей видимости, изначально существовала в виде глубокого эрозионного вреза. Исследования, приведенные в настоящей работе, показали, что долина практически не содержит аллювиальных отложений времени позднего плейстоцена. Вместо этого внутри долины находятся многочисленные водно-ледниковые и лимногляциальные формы, относящиеся ко времени таяния московского ледника. По мере дегляциации в уже сформированном долинном углублении оставались массивы мертвого льда, по периферии которых формировались озера. Отложения этих водоемов создали террасовидные поверхности, не связанные с последующей деятельностью реки. Их морфологическое и седиментологическое сходство с речными террасами не позволяло сразу определить их происхождение, и это стало возможно только при помощи люминесцентного датирования. Аллювиальных террас древнее, чем вторая половина МИС 2, в долине Волги не обнаружено, т.е. уже сразу после деградации московского оледенения долина верхней Волги имела глубину не меньше современной.

Исследование озёрных отложений в долине верхней Волги показало, что крупные подпрудные приледниковые озёра, а затем остаточные существовали в этом регионе только во время конца московского оледенения и микулинского межледниковья. На это указывают слоистые глины и гиттии, обнаруженные в районе Рыбинска: под современным руслом залегает мощная толща озерных отложений, спорово-пыльцевой анализ которых указывает на их формирование в микулинское время (Borisova et al., 2022). По всей видимости, верхняя часть исследуемого участка долины верхней Волги в микулинское время существовала как залив Молого-Шекснинского озера. К началу валдайского времени это озерное понижение было заилено, и в поздневалдайское время верхняя Волга полностью функционировала как речная система. Анализ высотного положения отложений оптимальной фазы микулинского межледниковья, встречающихся на участке долины реки Волги от Рыбинска до Гутаева и в устьях ее притоков, показывает, что они залегают вблизи современного летнего уровня воды в Волге или немного выше него (Borisova et al.,

2022). В то же время на междуречьях также происходило накопление озерных отложений: их следы отмечаются как в глубоких впадинах, частично занятых современными озерами Галичское и Неро (Borisova et al., 2022), так и в более мелких впадинках на междуречье, как в случае с озерными отложениями в овраге Гремячка у г. Плёса (Boettger et al., 2007, 2009; Borisova et al., 2007).

История долины в течение большей части позднего плейстоцена не записана в рельефе и отложениях. Найденные аллювиальные формы в долинах ее притоков и озерные отложения на междуречьях позволяют сказать, что в это время происходило постепенное расчленение бортов долины в ходе углубления долин притоков и формирование эрозионной сети. Также можно отметить, что в позднем плейстоцене не происходило никаких событий мощного аллювиального выполнения, поскольку аккумулятивные поверхности времени московской дегляциации с относительной высотой лишь 12 м (Назарово, рис. 2, 3) не имеют сверху позднеплейстоценового аллювия. В поздневалдайское время признаков существования обширных озёрных бассейнов в долине не выявлено. Озёрные отложения, встречающиеся на междуречьях, относятся ко времени деградации московского оледенения и формировались в небольших замкнутых впадинах.

Выраженная динамика в развитии долины отмечается только начиная со второй половины МИС 2. Она напрямую связана с влиянием валдайских гляциоизостатических деформаций: благодаря формированию приледникового вала на изучаемом отрезке долины верхней Волги во время ПЛМ происходило уменьшение уклонов. В результате связанной с этим событием аккумуляции формировались узкие полосы аллювиальных террас высотой до 8 м. Далее, в конце дегляциации и в голоцене рост уклонов, связанный с деградацией приледникового вала, вызвал врезание реки и обособление низких террас.

Заключение

Проведенный анализ геолого-геоморфологических, геохронологических данных, а также гляциоизостатическое моделирование позволили уточнить эволюцию долины верхней Волги начиная с конца среднего неоплейстоцена и до голоцена. Установлено, что в конце позднемосковской дегляциации долина верхней Волги уже существовала и была врезана не менее глубоко чем современная. Обнаруженные небольшие террасовидные формы на склонах долины, вероятно, представляют собой камовые террасы. Об этом говорят полученные аномально древние (удревнённые) ОСЛ даты, что может объясняться недостаточным экспонированием при отложении наносов.

После деградации московского ледника в долине и на прилегающих междуречьях начали формироваться локальные небольшие озёра. Единственное крупное приледниковое озеро существовало в районе г. Рыбинска, и в микулинское время происходило его заполнение озерными осадками. К началу валдайского времени водоем был заилен и стал частью долины Волги. Следов существования озер в валдайское время на изученном участке бассейна Волги не обнаружено. В позднем плейстоцене в долине Волги развивались флювиальные процессы с чередованием этапов аккумуляции и врезания.

С середины МИС 2 прослеживается связь развития рельефа с приледниковыми гляциоизостатическими деформациями. Формирование компенсационного вала в

условиях роста оледенения привело к уменьшению продольных уклонов Волги, что способствовало направленной аккумуляции аллювия. Последующее увеличение уклонов в условиях деградации приледникового вала обусловило врезание русла и формирование речных террас.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Работы, опубликованные в рецензируемых научных журналах, индексированных WoS и Scopus и рекомендованных ВАК

Уткина А. О. Влияние гляциоизостатических деформаций на речной сток в бассейне верхней Волги в последнюю ледниковую эпоху // Вестник Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина. – 2020а. – № 3 (68). – С. 116–129. – DOI: 10.37724/RSU.2020.68.3.013

Уткина А. О. Моделирование эффектов гляциоизостазии в программном комплексе SELEN // Естественные и технические науки. – 2020б. – № 8 (146). – С. 110–115. – DOI: 10.25633/ETN.2020.08.11

Utkina A. O., Panin A. V., Kurbanov R. N., Murray A. S. Unexpectedly old luminescence ages as an indicator of the origin of the Upper Volga River valley sediments // Quaternary Geochronology. – 2022. – Vol. 73. – P. 101381. – DOI: 10.1016/j.quageo.2022.101381

Уткина А. О., Панин А. В. Строение и история формирования долин прорыва верхней Волги // Геоморфология. – 2022. – Т. 53. – № 5. – С. 162–172. – DOI: 10.31857/S0435428122050182

Borisova O., Konstantinov E., Utkina A., Baranov D., Panin A. On the existence of a large proglacial lake in the Rostov-Kostroma lowland, North-Central European Russia // Journal of Quaternary Science. – 2022. – Vol. 37. – No. 8. – P. 1442–1459. – DOI: 10.1002/jqs.3454

Panin A., Konstantinov E., Borisova O., Zyuganova I., Baranov D., Karpukhina N., Utkina A., Naryshkina N., Kurbanov R., 2. Palaeoenvironmental conditions of the Upper-Middle Pleistocene warm intervals in the Upper Volga region, Northwestern Russia, based on palynological, paleocarpological and quantitative geochronological data // Quaternary. – 2024. – Vol. 7. – No. 2. – P. 24. – DOI: 10.3390/quat7020024

Utkina A., Choi J.-H., Murray A., Panin A., Zaretskaya N., Kurbanov R., Buylaert J.-P. Luminescence ages of sediments from the margin of the penultimate glaciation in the north-eastern East European Plain // Quaternary Geochronology. – 2024. – P. 101578. – DOI: 10.1016/j.quageo.2024.101578

Работы, опубликованные в научных журналах и сборниках конференций

Уткина А. О., Панин А. В. Проблема перестройки стока в бассейне верхней Волги под влиянием последнего оледенения // Рациональное использование и охрана водных ресурсов. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Барнаул: Издательство Алтайского гос. ун-та, 2017. – С. 186–191.

Baranov D.V., Utkina A.O. Late Valdai proglacial lakes of the Upper Volga: geological and geomorphological data // «Paleolimnology of Northern Eurasia»: experience,

methodology, current status and young scientists school in microscopy skills in paleolimnology: Proceedings of the 3rd International Conference. Kazan: Publ. House of Kazan University, 2018. – P. 15–18.

Utkina A. O., Panin A. V., Kurbanov R. N., Murray A. S. Unexpectedly old luminescence ages as an indicator of the origin of the Upper Volga River valley sediments // LED2021 Book of Abstracts. Burgos, 2021. – P. 253.

Уткина А. О., Панин А. В. Строение и история формирования долин прорыва верхней Волги // ПУТИ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ГЕОГРАФИИ - 2021 Материалы II Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора А.А. Величко (Москва, 22-25 ноября 2021 г.). М: Ин-т географии РАН, 2021. – С. 415–418.

Baranov D.V., **Utkina A.O.**, Panin A.V. Tver proglacial lake (Tver region, Russia): myth or reality // Limnology and Freshwater Biology. – 2022. – Vol. 5. – No. 4. – P. 1383–1384. – DOI: 10.31951/2658-3518-2022-a-4-1383

Борисова О. К., Нарышкина Н. Н., **Уткина А. О.**, Панин А. В. О разнообразии интерстадиальных обстановок среднего-позднего плейстоцена в Ярославском Поволжье (по палинологическим данным) // Актуальные проблемы современной палинологии: Материалы XV Всероссийской палинологической конференции. / Отв. редактор Н. С. Болиховская. Редактор-составитель Д. А. Мамонтов. М.: ГЕОС, 2022. – С. 91–96. – DOI: 10.54896/9785891188532_2022_17

Уткина А. О., Курбанов Р. Н., Панин А. В. Удревненные люминесцентные датировки как индикатор генезиса отложений долины верхней Волги // Сборник тезисов Вторая всероссийская научная конференция (с международным участием) геохронология четвертичного периода: инструментальные методы датирования новейших отложений. М.: Институт географии РАН, 2022. – С. 83.

Panin A., Baranov D., Moska P., **Utkina A.** The Upper Volga River in MIS 2 – early Holocene: response to climate changes and ice sheet impact // FLAG Biennial Meeting 2021: Evolution of fluvial systems at different time scales. Moscow: Institute of Geography RAS, 2021. – P. 54–56.

Баранов Д. В., Панин А. В., **Уткина А. О.** История долины Верхней Волги // Материалы XXI Конференции молодых географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2024. – С. 8–10.

Уткина А. О., Панин А. В., Курбанов Р. Н., Чхве Ч.-Х. Новые геохронологические данные для бассейнов крупных рек северо-запада Русской равнины // Материалы Всероссийской конференции Каспий в плейстоцене и голоцене: эволюция природной среды и человек / Отв. Редакторы Т.А. Янина, Р.Н. Курбанов, Е.И. Куренкова, Д.А. Солодовников. – М.: Издательство Перо, 2023. – С. 186–187.