

ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТУРАНО-УЮКСКОЙ КОТЛОВИНЫ (ТУВИНСКОЕ НАГОРЬЕ) В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ

© 2021 г. Ю. Р. Беляев^{1,*}, А. В. Панин², М. А. Бронникова², А. Д. Кирюхина¹, А. В. Кошурников¹,
А. М. Крамынин¹, М. А. Павлов¹, Е. А. Константинов², Р. Н. Курбанов^{1,2}, А. Л. Захаров²,
Н. В. Сычев²

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

² Институт географии РАН, Москва, Россия

*E-mail: yrbel@mail.ru

Поступила в редакцию 13.01.2021 г.

После доработки 20.04.2021 г.

Принята к публикации 28.06.2021 г.

Для реконструкции позднечетвертичной истории западной части Турано-Уюкской котловины был проведен комплекс работ, включавший в себя геоморфологическое дешифрирование и полевую съемку, буровые и электроразведочные работы, а также датирование отложений радиоуглеродным методом и методом оптико-стимулированной люминесценции. Установлено, что суммарная мощность заполняющих котловину отложений достигает 190 м. В позднечетвертичной истории котловины выделены следующие основные этапы: 1) этап аккумуляции аллювия и активных боковых миграций русла Уюка и одновременного накопления озерных толщ в котловине Белых озер на протяжении большей части позднего плейстоцена (как минимум, начиная с 77–87 тыс. л.н.) и первой половины голоцена (до 6.1–6.2 тыс. л.н.), формируются пойменные массивы 1-й и 2-й генераций; не позднее 25–16 тыс. л.н. начинается формироваться внутренняя дельта Уюка, подпруживающая современные Белые озера, 2) этап повышения паводочной активности и активизации глубинной и боковой эрозии в период между 6.1–6.2 и 2.4–2.6 тыс. л.н.; формируется пойма 3-й генерации, 3) этап снижения паводочной активности, уменьшения размера палеорусел, преобладания боковых миграций русла и аккумуляции аллювия в последние 2.4–2.6 тыс. л.; формирование 4-й генерации поймы. В рамках последнего этапа отмечен более кратковременный период резкой активизации криогенеза. Многолетняя мерзлота начала образовываться не ранее 2.8 тыс. л.н., а наибольшей активности криогенез достиг ориентировочно в период 1.35–1.1 тыс. л.н. Позднеплейстоценовому этапу аккумуляции предшествовало мощное врезание долины Уюка, возможно, обусловленное активизацией тектонических движений. Хронологические рамки этого врезания определены лишь ориентировочно – между 360–380 и 77–87 тыс. л.н. Предполагавшееся ранее рядом исследователей наличие крупного подпрудного озера, которое занимало бы центральную и западную части котловины в позднем плейстоцене, не подтвердилось.

Ключевые слова: поздний плейстоцен, голоцен, флювиальная история, флювиальная геоморфология, Тува, Саяны, подпрудные озера, позднеголоценовый криогенез

DOI: 10.31857/S0435428121040040

ВВЕДЕНИЕ

Горы Южной Сибири представляют собой естественный барьер между аридной Центральной Азией и характеризующимися резко отличными ландшафтно-климатическими условиями регионами юга Западной и Восточной Сибири. Полученные в последние десятилетия палеогеографические реконструкции по высокоразрешающим природным архивам демонстрируют сложную картину соотношения тенденций развития природной среды по разные стороны от этого орографического рубежа [1–4]. На отдельных временных отрезках отмечаются черты сходства,

а на других интервалах – резкие различия. Создание единой картины изменения природной среды во внетропической части внутренней Азии невозможно без получения дополнительных данных по переходной зоне между двумя главными палеогеографическими регионами. Одним из ключевых элементов этой переходной зоны является Тувинское (или Саяно-Тувинское) нагорье – горный узел, к которому приурочен фрагмент одного из главных континентальных водоразделов, отделяющих бассейн Северного Ледовитого океана от бессточных бассейнов Северо-Западного Китая и Монголии.

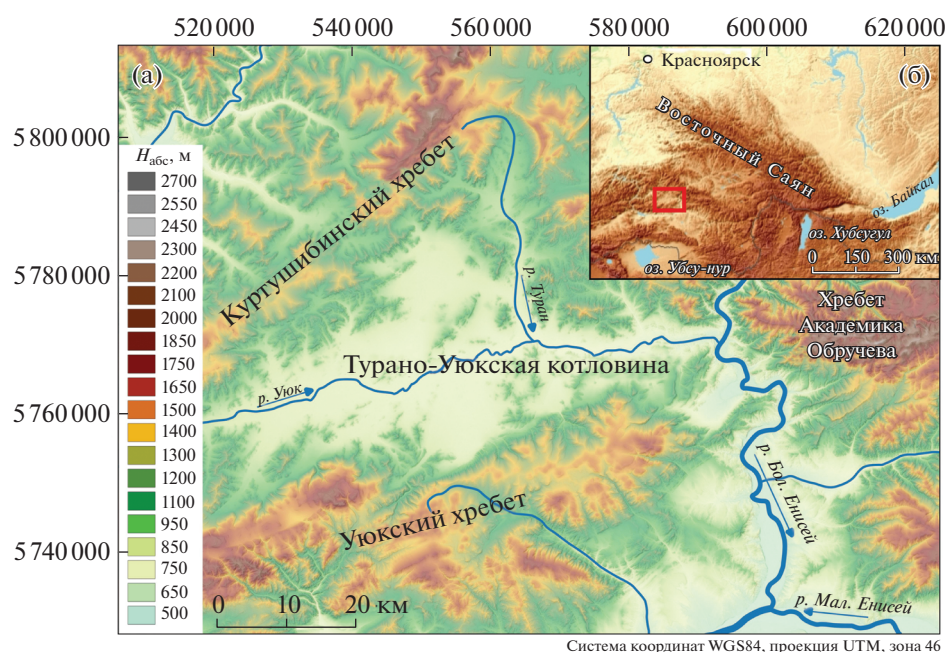


Рис. 1. Гипсометрическая карта района Турано-Уюкской котловины (а) и расположение района исследований (б).

Резко дифференцированные новейшие тектонические движения и сложность морфоструктурного плана территории нагорья определили чрезвычайную мозаичность ее устройства и существование разноразмерных внутригорных и межгорных котловин, развитие рельефа в которых определялось локальными факторами и событиями. Несмотря на то что история исследований геологического строения и рельефа этой территории насчитывает уже более века, в палеогеографическом отношении она исследована все еще недостаточно. Фрагментарны данные о хронологии процессов накопления толщ рыхлых отложений в днищах внутригорных котловин. Мало пока известно об истории флювиальных систем нагорья, функционирование которых играло одну из ведущих ролей в трансформации рельефа большей части этой территории на протяжении всего плиоцен-четвертичного времени.

Существующие реконструкции в большинстве случаев характеризуют лишь локальную палеогеографическую ситуацию и рельефообразующие процессы [5–8], хотя предпринимаются и попытки охарактеризовать особенности более обширных районов [9–11]. Дополнительно усложняют палеогеографические корреляции вероятные проявления катастрофических геоморфологических событий, сыгравшие важную роль как минимум в позднечетвертичной истории флювиальных систем района [12, 13].

Все это диктует необходимость проведения дополнительных палеогеографических реконструкций и, в особенности, реконструкций истории развития флювиальных и флювиально-озерных

систем по районам нагорья, не обеспеченным в достаточной мере палеогеографическими данными. Одним из таких районов является Турано-Уюкская котловина (рис. 1).

В структурном отношении котловина представляет собой рампообразную неотектоническую впадину, ограниченную с юга Каа-Хемским а с северо-запада Саяно-Тувинским региональными разломами [14]. Некоторые исследователи считают котловину весьма молодой и соотносят время ее обособления со средним плейстоценом [14], однако более обоснованными выглядят представления о ее существовании уже в неогене [15]. Новейшая впадина наследует положение существенно более древней позднепалеозойской впадины, выполненной терригенными породами и вулканитами девона, несогласно перекрывающими каледонские складчатые структуры, сложенные в этом районе терригенными породами ордовика и силура.

По территории котловины проводились палеогеографические реконструкции с использованием высокоразрешающих природных архивов. Так, на основе анализа колонки озерных отложений мощностью чуть более метра в работе В.Г. Дирксен и К.В. Чугунова [8] была предпринята попытка охарактеризовать палеоэкологические условия за значительную часть голоцена. Флювиальная история в рамках этого исследования практически не рассматривалась. Однако авторы высказали предположение о существовании в пределах котловины крупного подпрудного водоема на протяжении большей части позднего плейстоцена и голоцена.

По западной части котловины имеются и более детальные реконструкции для позднего голоцена [6, 7]. Актуальность позднего голоценовых реконструкций обусловлена, в том числе, уникальностью геоархеологической ситуации в котловине. В ее пределах расположено одно из крупнейших курганных полей скифского периода — тувинская “Долина Царей”. Большая часть известных здесь курганов (общее число их измеряется десятками) организована в несколько обособленных курганных групп и расположена на относительно высоко приподнятых над современными днищами долин водотоков поверхностях, находящихся вне зоны затопления. Однако еще в 1971 г. М.П. Грязновым на пойме реки Уюк был обнаружен курган Туннуг-1, который в последние годы активно исследуется экспедицией Института истории материальной культуры РАН [16, 17]. Аномальная позиция кургана в пределах зоны современного затопления позволяет предполагать резкие изменения гидрологического режима и хода эрозионно-аккумулятивных процессов по сравнению со временем возведения кургана. Этот вопрос также требует дополнительного изучения и уточнения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Турано-Уюкская котловина вытянута субширотно и имеет длину около 80 км при ширине до 30 км. Она дренируется рекой Уюк — правым притоком Большого Енисея. С севера ее обрамляет Куртушибинский хребет, а с юга — Уюкский. Превышение гребней хребтов над фоновым уровнем днища котловины достигает 1000–1200 м. На рассматриваемом участке днище котловины разделено цепочкой сопок и низкогорных массивов на два субпараллельных понижения. В пределах северного понижения расположены замкнутые и полужамкнутые озерные впадины, в которых находятся две обособленные группы озер: Белые и Кислые озера. Южное понижение занято долиной р. Уюк. Река Уюк в пределах западной части котловины имеет полугорный характер, ширину в среднем до 10–12 м, глубину до 1–1.5 м и уклоны русла 1.3–1.5 м/км, при продольном уклоне фоновой поверхности днища долины 2 и более м/км.

На основе материалов, собранных в ходе реконсцировочного полевого обследования и дешифрирования данных дистанционного зондирования, на территорию западной части котловины была составлена геоморфологическая карта масштаба 1:60000 (рис. 2). Для дешифрирования использовались синтезированные спутниковые изображения высокого и сверхвысокого разрешения в естественных цветах, полученные из открытых источников с помощью программного комплекса SASPlanet. Также привлекались данные цифровых моделей местности SRTM с простран-

ственным разрешением 30 м и AW3D World 3D с разрешением 2.5 м.

Для уточнения возрастных соотношений различных поверхностей и восстановления истории развития рельефа котловины был проведен комплекс геологических и геофизических работ. По двум поперечным профилям проведено механизированное бурение с использованием буровой установки УГБ-001 на базе КАМАЗ, а в местах, недоступных для автотранспорта, — с использованием мотобура. Всего пробурено 13 скважин глубиной до 22 м. Планово-высотная привязка скважин осуществлялась комплексом DGPS геодезической точности. Электроразведочные работы по тем же линиям профилей включали в себя зондирование становлением поля в ближней зоне. Для зондирования использовался приборный комплекс ТЕМ-FAST 48 НРС и петли 25 × 25 м и 100 × 100 м.

Один из профилей был заложен в расширении днища долины р. Уюк в створе кургана Туннуг-1. Второй буровой профиль располагался в южной части котловины Белых озер — на выходе из нее в долину р. Уюк (рис. 2).

Кроме того, была получена серия абсолютных определений возраста отложений (табл. 1 и 2). Радиоуглеродное датирование производилось в ЦКП “Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии” Института географии РАН, а также в лаборатории Санкт-Петербургского государственного университета. Калибровка выполнена в программе OxCal 4.4 [18] с использованием калибровочной кривой IntCal20 [19]. В тексте все радиоуглеродные даты приведены в калиброванном виде. Датирование люминесцентными методами проводилось в Скандинавской лаборатории люминесцентного датирования Орхусского университета (Дания). Две даты получены методом оптически-стимулированной люминесценции (далее — ОСЛ) по кварцу (табл. 2). В двух других образцах не только кварц, но и полевой шпат оказались в состоянии насыщения, поэтому получена лишь минимальная оценка возраста методом инфракрасно-стимулированной люминесценции (ИКСЛ) по полевому шпату (табл. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В пределах днища котловины развиты два главных геоморфологических уровня. Первый из них представлен пологонаклонными (первые градусы) поверхностями подгорных равнин шириной до 3 км, которые сплошной полосой обрамляют подножия ограничивающих котловину хребтов, а также островных низкогорных и мелкосопочных массивов внутри котловины. В тыловой части этих равнин местами отмечаются выходы коренных пород, однако, большая их часть пе-

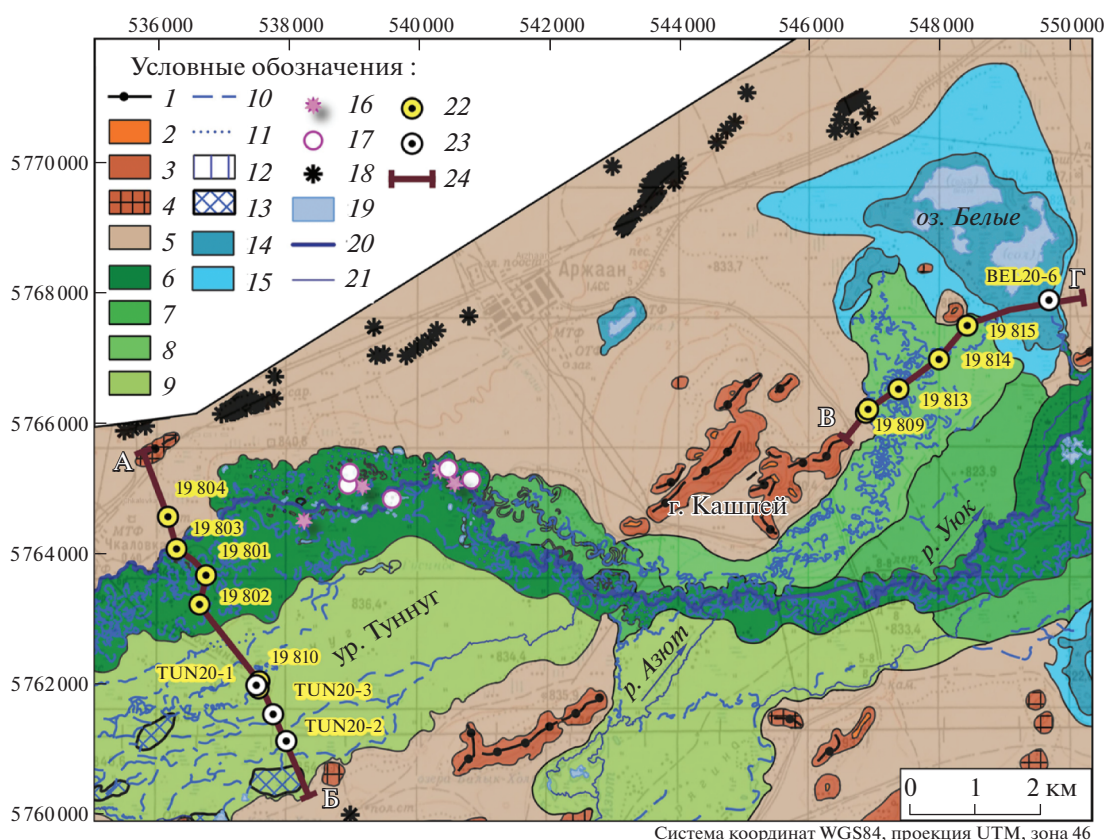


Рис. 2. Геоморфологическая карта западной части Турано-Уюкской котловины.

1–2 – вершинные поверхности комплексной денудации (1 – гребневидные, 2 – пологовыпуклые); 3 – тектоно-денудационные склоны; 4 – денудационные останцы; 5 – пологонаклонные поверхности полигенетических подгорных равнин; 6 – 4-я генерация поймы р. Уюк; 7 – 3-я генерация поймы р. Уюк; 8 – 2-я генерация поймы р. Уюк и аллювиально-дельтовый комплекс при впадении Уюка в юго-западную часть котловины Белых озер; 9 – 1-я генерация поймы реки Уюк; 10–11 – тальвеги староречий (10 – плохо выраженных в масштабе карты, 11 – с хорошо выраженной четковидностью русла); 12 – крупные староречья; 13 – крупные озеровидные расширения пойменных ложбин; 14 – низкий уровень озерных пойм; 15 – пологонаклонные поверхности высокого уровня озерных пойм и прилегающие заболоченные нижние части делювиально-пролювиальных шлейфов нерасчлененные; 16 – реликты криогенных бугров пучения; 17 – термокарстовые западины; 18 – курганы; 19 – озера; 20 – р. Уюк; 21 – притоки и рукава р. Уюк; 22–23 – буровые скважины; 24 – линии разрезов. Фоном показана топографическая основа масштаба 1:100 000. Сплошные горизонталы проведены через 50 м.

рекрыта сплошным чехлом рыхлых отложений. Нижний геоморфологический уровень составляют днища долины р. Уюк и его притоков, а также днища обособленных озерных котловин (рис. 2). Ширина поверхностей нижнего уровня значительна и местами достигает 4–6 км.

Пойма занимает все днище долины Уюка и характеризуется незначительными колебаниями высот – в пределах 1–2 м. Тем не менее в ее пределах достаточно четко выделяется четыре различных генерации пойменного рельефа, различающиеся по выраженности, количеству, форме и размерам палеорусел.

Первая генерация поймы лучше всего представлена в западной части котловины (рис. 2). Поверхность ее пологоволнистая, пологовыпуклая, имеет максимальную ширину до 3 км. Типично наличие палеорусел, выраженных в виде ложбин, шириной 15–20 м. В западной части рас-

сматриваемой территории их сеть густая. Они меандрируют и дробятся на рукава. Вся поверхность здесь заболочена. Ниже по течению сеть палеорусел редее. Встречаются приподнятые более сухие участки, к одному из которых и приурочен курган Туннуг-1. Перед сужением долины у массива Кашпей палеорусла практически исчезают, а пойма становится плоской.

Вторая генерация поймы находится на левобережье Уюка. Ширина этого пойменного массива не превышает 1 км. Он формирует своего рода внутреннюю дельту – выступ, выдвинутый за пределы основного контура долины Уюка в юго-западную часть котловины Белых озер. Отличительная черта этой генерации поймы – многочисленные сильно меандрирующие русла шириной до 20 м.

Наиболее хорошо выраженный фрагмент поймы 3-й генерации отмечен на левом берегу реки в сужении долины Уюка у горы Кашпей. Он вытя-

Таблица 1. Абсолютные датировки отложений западной части Турано-Уюкской котловины, полученные радиоуглеродным методом

Лабораторный номер	Скважина	Глубина, м	^{14}C дата*, л.н.	Калиброванный возраст, л.н.
IGAN _{AMS} -7404	19801a	1.1	2390 ± 20	2410 ± 50
IGAN _{AMS} -8195	19801	3.5	2410 ± 30	2460 ± 90
IGAN _{AMS} -8196	19801	6.9	34205 ± 160	39400 ± 170
IGAN _{AMS} -8199	19810	1.78–1.85	5365 ± 20	6160 ± 80
IGAN _{AMS} -8200	19810	2.55–2.6	8180 ± 25	9120 ± 70
IGAN _{AMS} -7406	19810	8.04–8.10	37290 ± 160	41780 ± 150
ЛУ-9589	19814	3.3–3.5	21 100 ± 1340	25530 ± 1510
IGAN _{AMS} -7407	19815	1.61	14430 ± 135	17590 ± 180
ЛУ-9590	19815	4.5–4.7	13560 ± 220	16380 ± 330

* Все даты получены по общему углероду (ТОС). Даты IGAN получены методом ускорительной масс-спектрометрии (УМС), даты ЛУ – радиометрическим (жидко-сцинтилляционным) методом.

Таблица 2. Абсолютные датировки отложений западной части Турано-Уюкской котловины, полученные люминесцентными методами

Лабораторный номер	Скважина	Глубина, м	Материал	Дата, л.н.	Метод*
RISØ 208491	19801	19.2	Песок к/з	59800 ± 5800	ОСЛ
RISØ 208493	19801	21.8	Песок к/з	82 100 ± 4500	ОСЛ
RISØ 208471	19804	10.3	Гравий с песком	>380000	ИКСЛ
RISØ 208472	19804	13.5	Суглинок опесчаненный	>360000	ИКСЛ

*Методы: ОСЛ – оптически-стимулированной люминесценции (по кварцу), ИКСЛ – инфракрасно-стимулированной люминесценции (по Na-K полевоому шпату).

нут примерно на 3 км при ширине до 1 км. Наблюдается отчетливый “эрозионный” контакт со 2-й генерацией поймы – расположенное на пойме 3-й генерации палеоруло “подрезает” более древний пойменный массив. Типично контрастное сочетание выровненной фоновой поверхности и крупных сильно меандрирующих палеорусел. Эти палеорула имеют максимальную ширину среди всех наблюдающихся на пойме Уюка – до 40 м. Сходные по морфологии пойменные массивы отмечены и ниже по течению Уюка, уже в створе котловины Белых озер.

Самая молодая генерация поймы представлена по всей длине изученного участка долины. Ширина ее меняется от 200–250 м до 2.5 км. В створе кургана Туннуг-1 и выше по течению она имеет сегментно-гивистый характер. Типичны палеорула шириной до 25–30 м, сохранившиеся в виде отдельных оторванных друг от друга излучин – сегментных или омегаидных. Палеорула срезают друг друга и формируют ячеистый рисунок. На них наложены более узкие палеорула, сохранившиеся в виде цельных меандрирующих участков длиной до нескольких километров. Ме-

стами они вложены в дно более древних и крупных староречий, а местами – секут их вкост простирания, создавая ощущение одномоментных “перескоков” русла реки. Возможной причиной таких одномоментных перестроек русла реки могло быть формирование крупных наледей на данном участке днища долины.

Ниже по течению, в пределах расширения днища долины, морфология поймы 4-й генерации изменяется. Доминируют относительно узкие палеорула с четковидными расширениями, предположительно термокарстовой природы [20, 21]. По размерам и форме излучин они идентичны “наложенным” руслам, описанным выше.

Наличие внутри днища Турано-Уюкской котловины разноразмерных островных массивов, сложенных коренными породами и возвышающихся над фоновыми аккумулятивными поверхностями на десятки, а в отдельных случаях и на сотни (г. Кашпей) метров, свидетельствует о сложности рельефа кровли коренных пород, значительной роли блоковой тектоники и разрывных нарушений в формировании рельефа котловины. Подтверждаются эти представления и дан-

ными электроразведочных работ. Так, в створе кургана Туннуг-1 (рис. 2, профиль А-Б) было установлено, что непосредственно под днищем долины Уюка мощности рыхлого чехла варьируют в пределах 130–190 м (рис. 3, г). Обнаружено две предполагаемых зоны дизъюнктивных нарушений, которым соответствуют локальные понижения отметок кровли коренных пород и субвертикальные зоны значимо более низкоомных пород под ними. В пределах подгорных равнин мощность рыхлого чехла также измеряется десятками метров, но направленно сокращается по мере приближения к бортам котловины (рис. 3, б, в).

Еще более сложная картина рельефа кровли коренных пород была выявлена в районе Белых озер. Здесь по данным электроразведки установлено наличие полностью погребенного под рыхлой аккумулятивной толщей выступа коренных пород с перепадом высот 120 м, который с запада и востока граничит с заполненными рыхлыми отложениями глубокими депрессиями (рис. 4, б, в). Наиболее приподнятая часть этого выступа в котловине Белых озер и сейчас возвышается над ее днищем в виде двух скальных массивов, один из которых имеет высоту над современной поверхностью до 60 м. Мощность рыхлого чехла в пределах днища котловины Белых озер и прилегающей части долины Уюка варьирует от 100–120 м до 0 (в пределах выступов коренного фундамента).

Скважинами, заложенными в пределах подгорных равнин (19804, 19809), было вскрыто неритмичное переслаивание коричневых, серо-коричневых и красновато-коричневых суглинков и красновато-коричневых песков с многочисленными включениями дресвяно-щебнистого материала. Характер отложений и морфология поверхности позволяют предполагать, что это отложение делювиально-пролювиальных шлейфов. Краевые части шлейфов размыты в результате латеральных миграций русла Уюка и находятся в сложном пространственном соотношении с аллювием. Так, в створе кургана Туннуг-1 русло Уюка смещено к левому борту долины и непосредственно подмывает фронтальный уступ молодой генерации шлейфа. В скважине 19804, заложенной в придолинной части этого же шлейфа, делювиально-пролювиальные отложения разделены на две отдельные пачки слоем хорошо отмытого песчано-гравийного и гравийно-галечного руслового аллювия мощностью около 3 м. Под современным днищем долины мощность этой же аллювиальной толщи существенно больше — скважинами до глубины 22 м подошва ее не вскрыта (рис. 3, а). По данным электроразведки она заполняет глубокий врез в поверхности делювиально-пролювиального шлейфа (до глубины 60–70 м) и прослеживается южнее под всем днищем долины Уюка вплоть до ее противоположного борта (рис. 3, в). Литологически аллювиальная

толща представляет собой чередование линз или прослоев песчано-гравийно-галечного руслового аллювия и существенно суглинистых пойменно-старичных отложений. По данным электроразведки внутри этой толщи в районе кургана Туннуг-1 было обнаружено три обособленных массива многолетнемерзлых пород мощностью до 20 м на глубинах 5 и более метров в пределах пойменного массива 1-й генерации (рис. 3, б, в). Серия полученных разными методами дат этой аллювиальной толщи (ОСЛ: RISØ-208493 82100 ± 4500 лет назад (далее — л.н.), RISØ-208491 59800 ± 5800 л.н.; 14C: IGAN_{AMS}-8196 39400 ± 170 кал. л.н., IGAN_{AMS}-7406 41780 ± 150 кал. л.н.) позволяет соотнести время накопления по крайней мере ее верхней части с серединой — второй половиной позднего плейстоцена.

Даты ИКСЛ, полученные из подстилающих этот аллювий делювиально-пролювиальных отложений в скв. 19804, оказались “запредельными” (RISØ-208471 >380000 л.н., RISØ-208472 >360000 л.н.). Это позволяет предполагать, что где-то в промежутке времени между 360–380 тыс. л.н. и 77–87 тыс. л.н. произошла активизация глубинной и боковой эрозии в долине Уюка. Активизация эрозионных процессов привела к существенному углублению долины и частичному размыву накопившихся ранее отложений древних ранне-среднеплейстоценовых делювиально-пролювиальных шлейфов и синхронных им аллювиальных толщ. Причина активизации глубинной эрозии не ясна. Наиболее вероятно, что она могла быть связана с активизацией дифференцированных вертикальных тектонических движений в среднем плейстоцене, которая, по данным Л.К. Зятьковой [15], была характерна в это время в целом для Западного Саяна. Для уточнения особенностей и причин данного врезания необходимы проведение дополнительных исследований в низовьях Уюка и корреляция событий с террасовыми рядами Большого Енисея.

Заполняющий этот врез и вскрытый скважинами позднеплейстоценовый аллювий соответствует продолжительному этапу преобладания аккумуляции на днище долины Уюка, сопровождавшейся активными боковыми миграциями русла реки. Этот аккумулятивный этап начался не позднее 77–87 тыс. л.н., хотя предполагаемые по данным электроразведки мощности аллювия свидетельствуют о том, что реально аккумуляция началась существенно раньше. Абсолютные даты, полученные из верхней части этой толщи (IGAN_{AMS}-8199 6160 ± 80 кал. л.н., IGAN_{AMS}-8200 9120 ± 70 кал. л.н.), позволяют предполагать, что заполнение долины наносами продолжалось без отчетливых перерывов практически вплоть до середины голоцена. Ширина зоны, в пределах которой мигрировало русло Уюка, составляла до 4.5–5 км. Накопление этой аллювиальной пачки

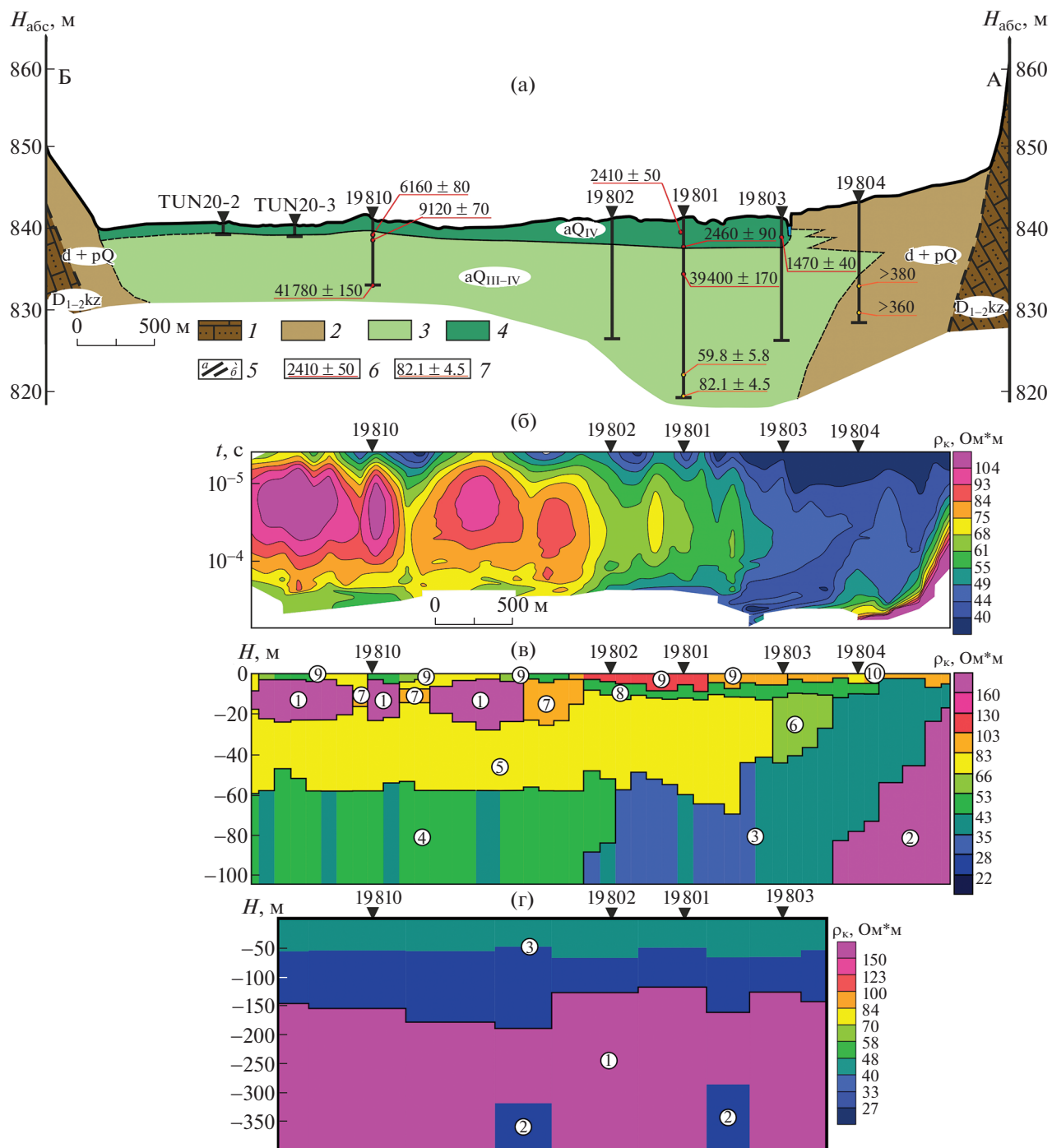


Рис. 3. Геологический разрез (а) через западную часть дна Турано-Уюкской котловины по линии А–Б, разрез кажущихся сопротивлений (б), его интерпретация (в) и результаты глубинной электроразведки (г) для того же створа. Расположение разреза см. на рис. 2.

(а) – 1 – кварцевые порфиры и песчаники кызылбулакской серии раннего и среднего девона; 2 – делювиально-пролювиальные суглинки, пески и щебенники четвертичные нерасчлененные; 3 – аллювиальные суглинки, супеси, пески и гравийники позднего плейстоцена – голоцена; 4 – аллювиальные суглинки, супеси, пески и гравийники позднего голоцена; 5 – геологические границы (а – достоверные, б – предполагаемые); б – радиоуглеродные датировки (кал. л.н.); 7 – ОСЛ-датировки (тыс. л.н.).

(в) – 1 – многолетнемерзлые породы; 2 – коренные (скальные) породы; 3 – существенно суглинистый материал древних делювиально-пролювиальных шлейфов; 4–8 – аллювиальные пачки древнего заполнения долины р. Уюк различной литологии; 9 – голоценовые аллювиальные отложения различной литологии; 10 – супесчано-суглинистые отложения молодой (средне-позднеплейстоценовой) генерации делювиально-пролювиальных шлейфов.

(г) – 1 – коренные породы; 2 – предполагаемые зоны разломов; 3 – рыхлые отложения дна долины р. Уюк.

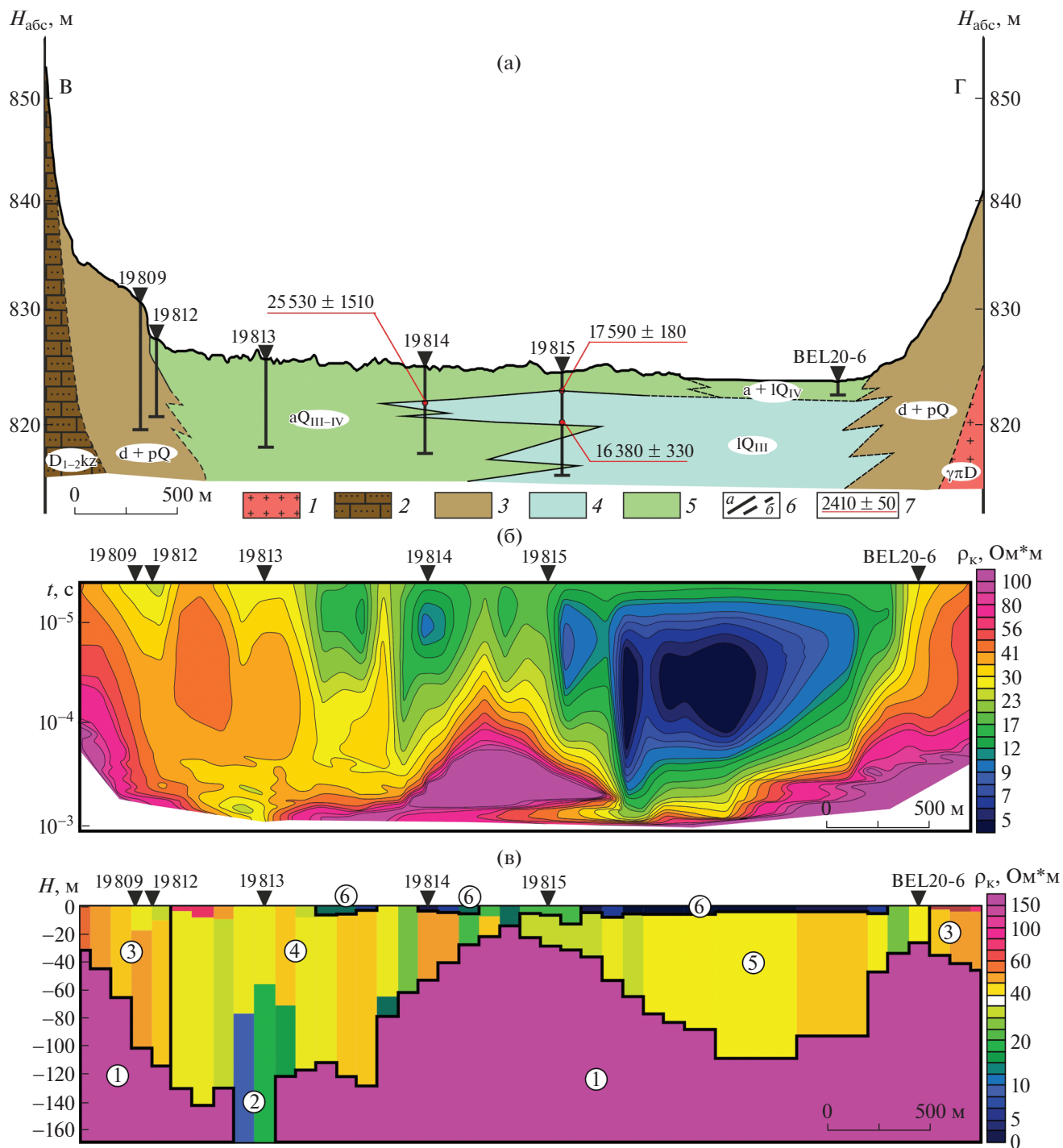


Рис. 4. Геологический разрез (а) через южную часть котловины Белых озер по линии В–Г, разрез кажущихся сопротивлений (б) и его интерпретация (в) для того же створа.

Расположение линии разреза см. на рис. 2.

(а) – 1 – гранит-порфиры девона; 2 – кварцевые порфиры и песчаники кызылбулакской серии раннего и среднего девона; 3 – делювиально-пролювиальные суглинки, пески и щебенники четвертичные нерасчлененные; 4 – озерные алевриты и тяжелые суглинки позднего плейстоцена; 5 – озерно-аллювиальные и аллювиальные суглинки, супеси, пески и гравийники позднего плейстоцена – голоцена; б – геологические границы (а – достоверные, б – предполагаемые); 7 – радиоуглеродные датировки (кал. л.н.).

(в) – 1 – коренные породы (скальные); 2 – предполагаемая зона разлома и связанные с ней отложения; 3 – песчано-суглинистые отложения делювиально-пролювиальных шлейфов; 4 – супесчано-суглинистое аллювиальное и озерно-аллювиальное заполнение периферии долины р. Уюк; 5 – существенно суглинистое древнеозерное (?) заполнение котловины Белых озер; б – существенно глинистые озерные и озерно-аллювиальные отложения завершающей фазы заполнения котловины Белых озер.

во многом предопределило облик поверхности 1-й генерации поймы Уюка, хотя в позднем голоцене она и была перекрыта маломощным слоем более молодого аллювия.

Существенную роль позднеплейстоцен-голоценовый этап аккумуляции сыграл и в формировании пойменных массивов второй генерации. В южной части котловины Белых озер (рис. 4, а) скважинами, заложенными в пределах этого массива (скв. 19813, 19814), с глубины 1.5–2 м вскрыты рыжевато-коричневые русловые пески, перекрытые сизовато-серыми пойменно-старичными суглинками. Возле коренного борта долины они с разрывом ложатся на делювиально-пролювиальные отложения подгорных равнин. По мере удаления от коренного борта мощность аллювиальной толщи возрастает, но песчаный русловой аллювий начинает переслаиваться с тонкослоистыми зеленоватыми алевритистыми тяжелыми озерными суглинками древней части котловины Белых озер. В расположенной ближе всего к озерам скважине 19815 тонкослоистые озерные суглинки видимой суммарной мощностью около 8 м слагают уже большую часть вскрытого разреза. Радиоуглеродные даты позволяют соотносить время накопления верхней части этой толщи с концом позднего плейстоцена: 25530 ± 1510 кал. л.н. (ЛУ-9589) в скв. 19814, 16380 ± 330 кал. л.н. (ЛУ-9590) и 17590 ± 180 кал. л.н. (IGAN_{AMS}-7407) в скв. 19815. Реальная мощность озерных отложений существенно больше. Об этом говорит, в частности, мощная линза “низкоомных” существенно глинистых отложений, отчетливо читающаяся на геоэлектрическом разрезе в пределах южного продолжения котловины Белых озер (рис. 4, б).

Судя по всему, продолжавшаяся на протяжении всей второй половины позднего плейстоцена прогрессивная аккумуляция происходила не только в долине Уюка, но и в отдаленной от нее древней котловине Белых озер. Не позднее 25–16 тыс. л.н. эта аккумуляция привела к частичному погребению обрамляющего котловину барьера. После этого в высокие фазы водного режима началось поступление воды и наносов из долины Уюка в котловину Белых озер и образование внутренней дельты, которая, постепенно разрастаясь, стала подпруживать акваторию озер и постепенно смещать их к северо-востоку. Имеющиеся даты позволяют предполагать, что этот процесс был синхронен формированию пойменных массивов 1-й генерации в основной части долины Уюка. Таким образом, не подтверждается представление о том, что Белые озера — остатки огромного подпружного водоема, занимавшего значительную часть днища Турано-Уюкской котловины. Образование современной ванны Белых озер — результат неравномерной аллювиально-дельтовой аккумуляции в позднем плейстоце-

не и голоцене в юго-западной и южной части их древней котловины.

Аномально большие размеры палеоизлучин свидетельствуют о повышении паводочных расходов во время формирования пойменных массивов 3-й генерации. Возможно, обстановка активной аккумуляции материала, характерная для большей части позднего плейстоцена и начала голоцена, сменилась в середине голоцена преобладанием боковой или даже глубинной эрозией. Она привела к расчленению поверхности пойменных массивов 1-й генерации и формированию зафиксированного на буровом профиле в створе кургана Туннуг-1 (рис. 3, а) пологого вреза в кровле позднеплейстоцен-голоценового аллювия, выполненного позже аллювием позднего голоцена. Этот этап активизации эрозии начался не ранее 6100–6200 л.н. Время его завершения фиксируется возрастом наиболее молодой аллювиальной толщи, заполняющей этот врез и отвечающей времени формирования пойменных массивов последней — 4-й генерации. Абсолютные даты отложений позволяют соотносить время начала формирования этой аллювиальной пачки с серединой позднего голоцена — 2410 ± 50 кал. л.н. (IGAN_{AMS}-7404), 2460 ± 90 кал. л.н. (IGAN_{AMS}-8195). Их формирование продолжается и в настоящее время.

Аллювиальные отложения, синхронные пойменным массивам 4-й генерации, имеют мощность до 3.5–4 м и большей частью состоят из русловых гравийников, иногда со значительным содержанием песчано-суглинистого заполнителя. Пойменная фация развита в меньшей степени и не превышает по мощности 0.5–1.5 м. Она перекрывает и более древние генерации поймы. Морфология пойменных массивов 4-й генерации и характер аллювиальной толщи позволяют утверждать, что на протяжении последних 2.4–2.6 тыс. л. в долине Уюка вновь преобладала тенденция к аккумуляции материала на фоне горизонтальных миграций русла, хотя и менее масштабных, чем в позднем плейстоцене.

Наличие возможных следов образования наледей в долине, вкупе с четковидными палеоруслами, позволяет предполагать, что внутри этапа формирования пойменных массивов 4-й генерации имел место эпизод активизации криогенеза. В пользу этого свидетельствует также и обнаруженная в ходе дешифрирования спутниковых изображений на поверхности поймы серия образований, напоминающих просевшие после деградации мерзлоты бугры пучения, а также несколько округлых котловин — предположительно, термокарстовых. В настоящее время в пределах днища котловины многолетнемерзлые породы сохранились лишь в виде отдельных небольших по площади и мощности массивов, некоторые из которых были зафиксированы в пределах контура

поймы 1-й генерации (рис. 3, в), хотя еще в 1958 г. многолетняя мерзлота была повсеместно развита в пределах днища долины, а ее кровля располагалась на глубинах 1.5–4 м [22].

Можно предполагать, что эти линзы мерзлых грунтов — остатки многолетней мерзлоты, сформировавшейся в ходе эпигенетического промерзания аллювиальных толщ во время одного из похолоданий второй половины голоцена. Палеопедологические исследования, проведенные на участке поймы 1-й генерации в районе кургана Туннуг-1, показали, что наиболее ярко криотурбации выражены в почвах, погребенных под курганными насыпями возрастом около 1000 л.н., а почвы под насыпями возрастом около 2000 л.н. относительно менее криотурбированы [23]. В то же время современные дневные почвы, а также почвы, залегающие под курганными насыпями возрастом около 2800 л.н. и более древние почвы, погребенные пойменным аллювием до сооружения кургана, практически не криотурбированы и развивались в условиях отсутствия мерзлоты или значительной глубины залегания ее кровли [23]. Таким образом, вполне возможно, что образование мерзлоты протекало в промежутке между 2800 и 2000 л.н., а в период между 2000–1000 л.н. произошла существенная активизация криогенеза, и начал формироваться палеокриогенный рельеф пойменных массивов 4-й генерации. Такие предположения, частично, подтверждаются результатами детальных палеогеографических реконструкций по расположенной юго-восточнее котловине озера Тере-Холь, где относительно холодные и засушливые условия выделены для интервалов 2.8–2.6, 2.05–1.7 тыс. л.н., а в период 1.35–1.1 тыс. л.н. реконструируются холодные и относительно влажные условия [24, 25]. Вероятно, именно интервал 1.35–1.1 тыс. л.н. можно рассматривать как время наиболее значительной активизации криогенеза в Турано-Уюкской котловине в позднем голоцене.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных работ были достоверно установлены следующие основные этапы позднечетвертичной истории развития западной части Турано-Уюкской котловины:

- Этап аккумуляции аллювия и активных боковых миграций русла Уюка, продолжавшийся большую часть позднего плейстоцена (как минимум с 77–87 тыс. л.н.) и первую половину голоцена (до 6.1–6.2 тыс. л.н.). Этому этапу соответствует формирование первых двух генераций поймы р. Уюк. В это же время происходила аккумуляция озерных отложений в древней котловине Белых озер. Не позднее 25–16 тыс. л.н. перемычка между котловиной Белых озер и долиной Уюка была частично погребена под аккумулятивной

толщей, и стала формироваться внутренняя дельта Уюка, подпруживающая современную ванну Белых озер.

- Этап повышения паводочной активности и активизации глубинной и боковой эрозии, начавшийся не ранее 6.1–6.2 тыс. л.н. и закончившийся не позднее 2.6–2.4 тыс. л.н. Формирование поймы 3-й генерации.

- Этап снижения паводочной активности, уменьшения размера палеорусел, преобладания горизонтальных деформаций русла и аккумуляции аллювия, начавшийся не позднее 2.4–2.6 тыс. л.н. и продолжающийся до настоящего времени. Формирование поймы 4-й генерации.

В пределах наиболее молодой генерации поймы р. Уюк отмечены палеокриогенные формы — термокарстовые котловины, реликты деградировавших бугров пучения, четковидные русла, а также возможные следы существования крупных наледей, фиксирующие позднеголоценовый этап активизации криогенеза. Установлено наличие линз многолетнемерзлых пород в толще аллювия пойменных массивов 1-й генерации. Формирование этих массивов мерзлых грунтов произошло не ранее 2.8 тыс. л.н., а наиболее значительная активизация криогенеза имела место в период с 1.35 до 1.1 тыс. л.н.

Позднеплейстоценовому этапу аккумуляции предшествовало мощное врезание долины Уюка, возможно, обусловленное активизацией тектонических движений. Хронологические рамки этого врезания определены лишь ориентировочно — между 360–380 и 77–87 тыс. л.н.

Предполагавшееся ранее рядом исследователей наличие крупного подпружного озера, которое занимало бы центральную и западную части котловины в позднем плейстоцене, не подтвердилось.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-05-00863. При обработке полевых материалов использовалась инфраструктура Института географии РАН в рамках темы госзадания № 0148-2019-0005 и кафедры геоморфологии и палеогеографии МГУ в рамках темы госзадания № AAAA-A16-116032810089-5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bezrukova E.V., Belov A.V., Letunova P.P., and Kulagina N.V. The Response of the environment of the Angara-Lena Plateau to global climate change in the Holocene // Russian Geology and Geophysics. 2014. Vol. 55. No. 4. P. 463–471.
2. Безрукова Е.В., Летунова П.П., Кулагина Н.В., Шарова О.Г. Реконструкция природной среды и ландшафтов Приольхонья в голоцене на основе дати-

- рованных записей из озерных отложений // Евразия в кайнозое. Стратиграфия, палеоэкология, культуры. 2013. № 2. С. 19–25.
3. *Tarasov P., Dorofeyuk N., and Metel'tseva E.* Holocene vegetation and climate changes in Hoton-Nur basin, northwest Mongolia // *Boreas*. 2000. Vol. 29. No. 2. P. 117–126.
 4. *Кострова С.С., Майер Х., Чаплыгин Б., Безрукова Е.В., Тарасов П.Е., Кузьмин М.И.* Реконструкция климата Забайкалья в голоцене на основе изотопно-кислородного анализа створок ископаемых диатомовых водорослей озера Котокель // *ДАН*. 2013. Т. 451. № 1. С. 76–80.
 5. *Безрукова Е.В., Щетников А.А., Кузьмин М.И., Шарова О.Г., Кулагина Н.В., Летунова П.П., Иванов Е.В., Крайнов М.А., Кербер Е.В., Филинов И.А., Левина О.В.* Первые данные об изменении природной среды и климата Жомбоковского вулканического района (Восточный Саян) в среднем и позднем голоцене // *ДАН*. 2016. Т. 468. № 3. С. 323–327.
 6. *Приходько В.Е., Бляхарчук Т.А., Килуновская М.Е.* Реконструкция климата, почв и растительности начала субатлантического периода голоцена Турано-Уюкской котловины Южной Сибири // *Почвоведение*. 2018. № 8. С. 927–942.
 7. *Blyakharchuk T., Prihodko V., Kilunovskaya M. and Li H.-C.* Vegetation and climate reconstruction based on pollen and microbial records from burial mounds soil in Tuva Republic, Central Asia // *Quaternary International*. 2019. Vol. 507. P. 108–123.
 8. *Дирксен В.Г., Чугунов К.В.* Турано-Уюкская котловина Тувы: изменения природных условий и динамика ее освоения в древности (опыт реконструкции) / Культурно-экологические области: взаимодействие традиций и культурогенез. СПб.: ИИМК РАН, 2007. С. 139–164.
 9. *Панин А.В., Бронникова М.А., Успенская О.Н., Аржанцева И.А., Константинов Е.А., Кошурников А.В., Селезнева Е.В., Фузеина Ю.Н., Шеремецкая Е.Д.* История озера Тере-Холь и голоценовая динамика природной среды на юго-востоке Саяно-Тувинского нагорья // *ДАН*. 2012. Т. 446. № 5. С. 568–574.
 10. *Бляхарчук Т.А.* Реконструкция лесной и высокогорно-степной растительности юго-западной части Тувы с позднеледниковья до современности // *География и природные ресурсы*. 2008. № 1. С. 89–96.
 11. *Plyashuk V.P. and Plyashuk E.A.* Chironomid record of Late Quaternary climatic and environmental changes from two sites in Central Asia (Tuva Republic, Russia) – local, regional or global causes? // *Quaternary Science Reviews*. 2007. Vol. 26. P. 705–731.
 12. *Аржанников С.Г., Алексеев С.В., Глызин А.В., Кулагина Н.В., Игнатова Н.В., Орлова Л.А.* Динамика развития природной среды в конце плейстоцена и голоцене западной части Тоджинской впадины (Восточная Тува) // *Геология и геофизика*. 2010. Т. 51. № 2. С. 206–221.
 13. *Komatsu G., Arzhannikov S.G., Gillespie A.R., Burke R.M., Miyamoto H. and Baker V.R.* Quaternary paleolake formation and cataclysmic flooding along the upper Yenisei river // *Geomorphology*. 2009. Vol. 104. P. 143–164.
 14. *Аржанников С.Г.* Сейсмоструктика Восточно-Тувинского нагорья. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Иркутск: ИЗК СО РАН, 1998. 17 с.
 15. *Зятыкова Л.К.* Новейшая тектоника Западного Саяна. Новосибирск: Наука, 1973. 176 с.
 16. *Садыков Т.Р., Каспари Дж., Блохин Е.К.* Раннескифский курган Туннуг-1: результаты первых работ на южной периферии памятника // *Теория и практика археологических исследований*. 2019. № 1 (25). С. 29–38.
 17. *Ельцов М.В.* Почвенно-археологические исследования кургана Туннуг-1 (республика Тыва) / *Археология поймы: рельеф, палеосреда, история заселения. Тезисы научного семинара (Москва, Институт Археологии РАН, 23 апреля 2019 г.)* / Под ред. А.Л. Александровского, Н.А. Кренке. М.: КДУ, Университетская книга, 2019. С. 31–34.
 18. *Bronk Ramsey C.* Bayesian analysis of radiocarbon dates // *Radiocarbon*. 2009. Vol. 51 (1). P. 337–360.
 19. *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. and Talamo S.* The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP) // *Radiocarbon*. 2020. Vol. 62 (4). P. 725–757.
 20. *Губарьков А.А., Лейбман М.О.* Четкообразные русловые формы в долинах малых рек на Центральном Ямале – результат парагенезиса криогенных и гидрологических процессов // *Криосфера Земли*. 2010. Т. 14. № 1. С. 41–49.
 21. *Тарбеева А.М.* О происхождении четковидной формы русел малых рек криолиозоны // *Геоморфология*. 2018. № 1. С. 88–95.
 22. *Носин В.А.* Почвы Тувы. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 345 с.
 23. *Беляев Ю.Р., Панин А.В., Бронникова М.А., Успенская О.Н.* Флювиальное рельефообразование в Турано-Уюкской котловине (Саяно-Тувинское нагорье) в последние 30–40 тысяч лет // *VIII Шукшинские чтения: рельеф и природопользование* / Матлы Всерос. конф. с междунар. участием. Москва, 28 сентября – 1 октября 2020 г. М.: Географический факультет МГУ, 2020. С. 264–269.
 24. *Borisova O.K. and Panin A.V.* Multicentennial climatic changes in the Tere-Kholbasin, Southern Siberia, during the Late Holocene // *Geography. Environment. Sustainability*. 2019. Vol. 12. No. 2. P. 148–161. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2018-64>
 25. *Борисова О.К., Панин А.В., Успенская О.Н.* Изменения растительности и климата в Терехольской впадине (юго-восточная Тува) во второй половине голоцена // *География: развитие науки и образования*. Т. 1 / Коллективная монография по материалам ежегодной международной научно-практической конференции LXXIII Герценовские чтения, Санкт-Петербург, РГПУ им. А.И. Герцена, 22–25 апреля 2020 года / Отв. ред. С.И. Богданов, Д.А. Субетто, А.Н. Паранина. СПб: Астерион. Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2020. С. 390–394.

Development of the western part of the Turan-Uyuk basin (Tuva highland) in the late quaternary

Yu. R. Belyaev^{a, #}, A. V. Panin^b, M. A. Bronnikova^b, A. D. Kiryuhina^a, A. V. Koshurnikov^a, A. M. Kramynin^a, M. A. Pavlov^a, E. A. Konstantinov^b, R. N. Kurbanov^{a, b}, A. L. Zakharov^b, and N. V. Sychev^b

^a Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

^b Institute of Geography RAS, Moscow, Russia

[#] E-mail: yrbel@mail.ru

Reconstruction of the Turan-Uyuk basin Late Quaternary history was based on the complex of methods. It includes field survey and geomorphic mapping, mechanical coring, radiocarbon and OSL dating of sediments, electrical prospecting. It was revealed, that total thickness of Turan-Uyuk basin infill is up to 190 m. Key stages of the Turan-Uyuk basin Late Quaternary history were established: 1) alluvial filling of the Uyuk valley and intensive lateral fluvial migration and simultaneous lacustrine filling of Belye lakes basin during the most part of Late Pleistocene (at least, starting from 77–87 ka) and first half of the Holocene (until 6.1 ka), formation of 1st and 2nd generations of floodplain; not later than 25–16 ka Uyuk alluvial fan start to advance into Belye lakes basin, 2) Incision due to increase of river runoff associated with climatic changes (started not earlier than 6.1–6.2 ka, finished before 2.4–2.6 ka) and formation of 3rd generation of floodplain; 3) filling of the Uyuk valley and lateral fluvial migration due to drying up of the climate and lowering of river runoff in last 2.4–2.6 ka and formation of the 4th generation of floodplain. Inside this stage an episode of cryogenic processes increase took place. Permafrost formation started not earlier than 2.8 ka, but maximum of cryogenic activity occurred presumably 1.35–1.1 ka. Late Pleistocene valley filling was preceded by deep incision, caused, presumably, by tectonics. Chronology of incision is uncertain. It started not earlier than 360–380 ka and finished long before 77–87 ka. Collected data unequivocally approve an absence of the vast dam lakes, occupying most part of the Turan-Uyuk basin, at least during the Late Quaternary.

Keywords: Late Pleistocene, Holocene, fluvial history, fluvial geomorphology, Tuva, dam lakes, Late Holocene cryogenesis

ACKNOWLEDGMENTS

This study is supported by Russian Fund for Basic Research (project No. 19-05-00863). Field data processing was performed under the facilities of the Institute of Geography RAS, State Research Task No. 0148-2019-0005, and the Department of Geomorphology and Paleogeography of Moscow State University, State Research Task No. AAAA-A16-116032810089-5.

REFERENCES

1. Bezrukova E.V., Belov A.V., Letunova P.P., and Kulagina N.V. The Response of the environment of the Angara-Lena Plateau to global climate change in the Holocene. *Russian Geology and Geophysics*. 2014. Vol. 55. Issue 4. P. 463–471.
2. Bezrukova E.V., Letunova P.P., Kulagina N.V., and Sharova O.G. *Rekonstruktsiya prirodnoi sredy i landshaftov Priol'khon'ya v golotsene na osnove datirovannykh zapisei iz ozernykh otlozhenii* (Environment and landscapes reconstruction of the Priolkhon region based on the data of lacustrine sediments). *Evrasiya v kainozoe. Stratigrafiya, paleoekologiya, kul'tury*. 2013. No. 2. P. 19–25. (in Russ.)
3. Tarasov P., Dorofeyuk N., and Metel'tseva E. Holocene vegetation and climate changes in Hoton-Nur basin, northwest Mongolia. *Boreas*. 2000. Vol. 29. Issue 2. P. 117–126.
4. Kostrova S.S., Maier Kh., Chaplygin B., Bezrukova E.V., Tarasov P.E., and Kuz'min M.I. *Rekonstruktsiya klimata Zabaikal'ya v golotsene na osnove izotopno-kislorodnogo analiza stvorok iskopaemykh diatomovykh vodoroslei ozera Kotokel'* (Reconstruction of the Holocene climate of Transbaikalia: Evidence from the oxygene isotope analysis of fossil diatoms from Kotokel Lake). *Doklady Akademii Nauk*. 2013. Vol. 451. No. 1. P. 76–80. (in Russ.)
5. Bezrukova E.V., Shchetnikov A.A., Kuz'min M.I., Sharova O.G., Kulagina N.V., Letunova P.P., Ivanov E.V., Krainov M.A., Kerber E.V., Filinov I.A., and Levina O.V. *Pervye dannye ob izmenenii prirodnoi sredy i klimata Zhombolokskogo vulkanicheskogo raiona (Vostochnyi Sayan) v srednem i pozdnem golotsene* (First data on the environment and climate change within the Zhombolok volcanic field (Eastern Sayan Mountains) in the Middle-Late Holocene). *Doklady Akademii nauk*. 2016. Vol. 468. No. 3. P. 323–327. (in Russ.)
6. Prikhod'ko V.E., Blyakharchuk T.A., and Kilunovskaya M.E. *Rekonstruktsiya klimata, pochvy i rastitel'nosti nachala subatlanticheskogo perioda golotsena Turano-Uyukskoi kotloviny Yuzhnoi Sibiri* (Reconstruction of climate, soils and vegetation in the Turan-Uyuk basin of South Siberia at the beginning of the Subatlantic period of the Holocene). *Pochvovedenie*. 2018. No. 8. P. 927–942. (in Russ.)
7. Blyakharchuk T., Prihodko V., Kilunovskaya M., and Li H.-C. Vegetation and climate reconstruction based on pollen and microbial records from burial mounds soil in Tuva Republic, Central Asia. *Quaternary International*. 2019. Vol. 507. P. 108–123.

8. Dirksen V.G. and Chugunov K.V. *Turano-Uyukskaya kotlovina Tuva: izmeneniya prirodnkh uslovii i dinamika ee osvoiniya v drevnosti (opyt rekonstruktsii)* (Turan-Uyuk basin of Tuva: nature condition evolution and dynamics of human settling during prehistoric (an example of reconstruction)). *Kul'turno-ekologicheskie oblasti: vzaimodeistvie traditsii i kul'turogenez* (Cultural and ecological areas: interaction of traditions and cultural genesis). Saint-Petersburg: IIMK RAN (Publ.), 2007. P. 139–164. (in Russ.)
9. Panin A.V., Bronnikova M.A., Uspenskaya O.N., Arzhantseva I.A., Konstantinov E.A., Koshurnikov A.V., Selezneva E.V., Fuzeina Yu.N., and Sheremetskaya E.D. *Istoriya ozera Tere-Khol' i golotsenovaya dinamika prirodnoi sredy na yugo-vostoke Sayano-Tuvinskogo nagor'ya* (Evolution of Tere-Khol Lake and the Holocene Dynamics of the Environment in the Southeastern Part of the Sayan-Tuva Highland). *Report of the Academy of Sciences*. 2012. Vol. 446. Part 2. P. 1204–1210. (in Russ.)
10. Blyakharchuk T.A. *Rekonstruktsiya lesnoi i vysokogorno-stepnoi rastitel'nosti yugo-zapadnoi chasti Tuvy s pozdnelednikov'ya do sovremennosti* (Reconstruction the vegetation of forest and alpine-steppe landscapes in the southwestern part of Tuva since the Late Glacial period till the present). *Geography and Natural Resources*. 2008. No. 1. P. 89–96. (in Russ.)
11. Ilyashuk B.P. and Ilyashuk E.A. Chironomid record of Late Quaternary climatic and environmental changes from two sites in Central Asia (Tuva Republic, Russia) – local, regional or global causes? *Quaternary Science Reviews*. 2007. Vol. 26. P. 705–731.
12. Arzhannikov S.G., Alekseev S.V., Glyzin A.V., Kulagina N.V., Ignatova N.V., and Orlova L.A. *Dinamika razvitiya prirodnoi sredy v kontse pleistotsena i golotsene zapadnoi chasti Todzhinskoi vpadiny (Vostochnaya Tuva)* (The late Pleistocene-Holocene climate history in the western Todzha basin (Eastern Tuva)). *Geologiya i geofizika*. 2010. Vol. 51. No. 2. P. 206–221. (in Russ.)
13. Komatsu G., Arzhannikov S.G., Gillespie A.R., Burke R.M., Miyamoto H., and Baker V.R. Quaternary paleolake formation and cataclysmic flooding along the upper Yenisei river. *Geomorphology*. 2009. Vol. 104. P. 143–164.
14. Arzhannikov S.G. *Seismotektonika Vostochno-Tuvinskogo nagor'ya* (Seismotectonics of Eastern Tuva highland). PhD thesis. Irkutsk: IEC SB RAS (Publ.), 1998. 17 p. (in Russ.)
15. Zyat'kova L.K. *Noveishaya tektonika Zapadnogo Sayana* (Neotectonics of the Western Sayan). Novosibirsk: Nauka (Publ.), 1973. 176 p. (in Russ.)
16. Sadykov T.R., Kaspari Dzh., and Blokhin E.K. *Ranne-skifskii kurgan Tunnug-1: rezul'taty pervykh rabot na yuzhnoi periferii pamyatnika* (The early Scythian burial mound Tunnug-1: preliminary results of the excavation of the southern periphery). *Teoriya i praktika arkhologicheskikh issledovaniy* (Theory and practice of archeological research). 2019. Vol. 25. No. 1. P. 29–38. (in Russ.)
17. El'tsov M.V. *Pochvenno-arkheologicheskie issledovaniya kurgana Tunnug-1 (respublika Tyva)* (Soil-archeological studies of Tunnug-1 burial mound (Tyva republic)). *Arkheologiya poimy: rel'ef, paleosreda, istoriya zaseleniya* (Alluvial archaeology: relief, paleoenvironment, occupation history). Proceedings of seminar. Moscow, Institute of Archaeology RAS, April, 23, 2019. A.L. Aleksandrovsky and N.A. Krenke (Eds.) M.: KDU, Universitetskaya kniga (Publ.), 2019. P. 31–34. (in Russ.)
18. Bronk Ramsey C. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*. 2009. Vol. 51 (1). P. 337–360.
19. 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., and Talamo S. The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*. 2020. Vol. 62 (4). P. 725–757.
20. Gubar'kov A.A. and Leibman M.O. *Chetkoobraznye ruslovyie formy v dolinakh malykh rek na Tsentral'nom Yamale – rezul'tat paragenezisa kriogennykh i gidrologicheskikh protsessov* (Bead-shaped channel forms as evidence of paragenesis of cryogenic and hydrological processes in the small-river valleys of central Yamal). *Earth's Cryosphere*. 2010. Vol. 14. No. 1. P. 41–49. (in Russ.)
21. Tarbeeva A.M. *O proiskhozhdenii chetkovidnoi formy rusel malykh rek kriolizony* (On the origin of beaded river channel shapes in the permafrost zone). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2018. No. 1. P. 88–95. (in Russ.) <https://doi.org/10.7868/S043542811801008X>
22. Nosin V.A. *Pochvy Tuvy* (Soils of Tuva). Moscow: AN SSSR (Publ.), 1963. 345 p. (in Russ.)
23. Belyaev Yu.R., Panin A.V., Bronnikova M.A., and Uspenskaya O.N. *Flyuvial'noe rel'efoobrazovanie v Turano-Uyukskoi kotlovine (Sayano-Tuvinskoe nagor'e) v poslednie 30–40 tysyach let* (Fluvial processes in Turan-Uyuk depression (Sayan-Tuva highland) during last 30–40 thousand years). *VIII Shchukinskie chteniya: rel'ef i prirodopol'zovanie. Materialy Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. MGU imeni M.V. Lomonosova, geograficheskii fakul'tet, kafedra geomorfologii i paleogeografii*, September, 28 – October, 1 2020. M.: Geograficheskii fakul'tet MGU (Publ.), 2020. P. 264–269. (in Russ.)
24. Borisova O.K. and Panin A.V. Multicentennial climatic changes in the Tere-Khol basin, Southern Siberia, during the Late Holocene. *Geography. Environment. Sustainability*. 2019. Vol. 12. No. 2. P. 148–161. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2018-64>
25. Borisova O.K., Panin A.V., and Uspenskaya O.N. *Izmeneniya rastitel'nosti i klimata v Terekhol'skoi vpadine (yugo-vostochnaya Tuva) vo vtoroi polovine golotsena* (Changes in vegetation and climate in the Terekhol depression (southeastern Tuva) in the second half of the Holocene). *Geografiya: razvitie nauki i obrazovaniya. T.1. Kollektivnaya monografiya po materialam ezhegodnoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii LXXIII Gertsenovskie chteniya. SPb: Asterion. Izdatel'stvo RGPU imeni Gercena* (Publ.), 2020. P. 390–394. (in Russ.)