

Глава I/44: ЭВОЛЮЦИЯ ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНЫХ МЕРЗЛЫХ ТОЛЩ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТОДЖИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ (РЕСПУБЛИКА ТЫВА, РОССИЯ)

Chapter I/44: The Evolution of Late Quarternary Permafrost in the Western Part of the Todzha Inner-Mountain Depression (Republic of Tyva, Russia)

Сергей В. Алексеев*¹, Людмила П. Алексеева¹, Сергей Г. Аржанников¹, Юрий К. Васильчук²

DOI 10.25680/1578.2018.58.11.044

*Эл. Почта: salex@crust.irk.ru

1. Институт земной коры СО РАН, ул. Лермонтова, 128, Иркутск, 664033, Россия

2. Московский государственный ун-т им. М.В. Ломоносова, географический и геологический факультеты, Ленинские горы, д. 1, ГСП-2, Москва, 119991, Россия

РЕЗЮМЕ. Представлены результаты комплексного изучения обнажения Мерзлый Яр в западной части Тоджинской котловины (Республика Тыва). Фактический материал получен на основе использования сеймотектонического, геокриологического, дендрохронологического, палинологического методов исследования, выполнены радиоуглеродные датировки, гранулометрический, минералогический, споро-пыльцевой, диатомовый анализы, определено содержание стабильных изотопов кислорода и водорода в повторно-жильных льдах. Подробно описаны повторно-жильные льды в 20-метровом уступе р. Енисей. На основе обширного фактического материала реконструирована природная обстановка региона в голоцене. Установлено, что в западной части Тоджинской котловины активные тектонические процессы и многолетнее промерзание грунтов в течение позднего плейстоцена-голоцена определили особые условия седиментации и формирование мощной синкриогенной толщи с многоярусными голоценовыми сингенетическими повторно-жильными льдами (ПЖЛ). Температурные условия формирования жильного комплекса даже в оптимум голоцена были близки к современным, а время формирования различных ярусов ПЖЛ составляло около 1000 лет. В результате проведенного параллельного анализа стабильных изотопов кислорода и водорода реконструированы особенности климатических условий времени формирования ледяных жил в этом разрезе в течение голоцена, включая и период оптимума.

Abstract. The results of complex investigations of the frozen outcrop (Merzliy Yar) in the Western part of the Todzha depression (Tyva Republic) are represented. Data have been got using seismotectonic, geocryologic, dendrochronologic and palynologic research methods. Radiocarbon dating, granulometric, mineralogic, spore-pollen and diatomaceous analyses have been made and the content of oxygen and hydrogen stable isotopes has been determined. The ice-wedges in the Yenisei River terrace of 20 m high are described explicitly. On the basis of wide obtained material the region's natural situation in Holocene has reconstructed. It has been established In the Western part of the Todzha depression, tectonic processes and perennial ground freezing during the Late-Pleistocene and the Holocene have allowed the formation of thick syncryogenic strata with multiple syngenetic ice wedges of Holocene age. The thermal regime of wedge formation was similar to the modern regime, and the time needed for each ice wedge to develop has been about 1000 yr. As a result of parallel stable isotopes (¹⁸O and D) analyses of the ice wedge we reconstructed the climatic environment at the time of ice wedges formation in the Holocene, including a climate optimum.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: мерзлотные явления, повторно-жильные льды, изотопы кислорода и водорода, радиоуглеродное датирование, палинологический и диатомовый анализы, голоцен, Мерзлый Яр.

Keywords: cryological phenomena, ice-wedges, oxygen-18 and deuterium, radiocarbon dating, palynological and diatomaceous analyses, Holocene, Merzlyi Yar.

ВВЕДЕНИЕ

Тоджинская котловина является одной из крупнейших впадин Алтае-Саянской горной страны. Главной водной артерией котловины является р. Большой Енисей (Бий-Хем) с большим количеством притоков. Известно, что в позднем плейстоцене и голоцене в западной части Тоджинской котловины существовало подпорное озеро, образовавшееся в результате активных

тектонических процессов в хребте Академика Обручева [1-8]. Озеро сформировалось 11-12 тыс. лет назад и существовало не менее 10 тыс. лет, периодически изменяясь в размерах.

Цикличность сейсмотектонических процессов и глобальных изменений климата в позднем плейстоцене-голоцене обусловили аккумуляцию ритмично-слоистых осадков, торфяников, их многолетнее промерзание, формирование ярусов повторно-жильных льдов (ПЖЛ), смену ландшафтов и растительных сообществ, массовую гибель мамонтовой фауны. Созданная уникальная обстановка содержит богатейшую информацию о позднекайнозойском этапе эволюции природной среды Восточной Тувы.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Следы палеоозера сохранились в районе урочища Мерзлый Яр (52°31'48" с.ш., 95°21'46" в.д.), расположенного в 25 км выше входа р. Большой Енисей в хребет Семь Братьев (Рисунок 1). Терраса высотой 20 м сложена ритмично-чередующимися озерными супесчано-песчаными отложениями с погребенными торфянисто-почвенным горизонтами и древесными остатками, нередко находящимися в положении *in situ*. Количество пачек колеблется от 6 до 13. Основание разреза венчает нормально построенная аллювиальная свита, представленная песками и галечниками.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Детальное радиоуглеродное датирование разреза Мерзлого Яра выполнялось трижды [5,6,8]. Результаты независимых определений в целом хорошо согласуются между собой. Все три серии датировок указывают на практически одинаковый возраст отложений – 8-9 тыс. лет на глубине 10-11 м.

Обнажение Мерзлый Яр полностью проморожено. Мощность мерзлых пород здесь превышает 15 м, а температура на подошве слоя годовых теплооборотов составляет -2,3 °С. К началу сентября глубина сезонного протаивания в смешанном кедрово-лиственничном лесу достигает 0,7, а в первом уступе обнажения – 1,2 м. Среднегодовая температура воздуха (по данным близлежащей метеостанции Тоора-Хем – 895 м над уровнем моря) -5,5 °С; среднегодовая температура на поверхности грунта -4,0 °С.



Рисунок 1 – Местоположение и общий вид обнажения Мерзлый Яр.

В разрезе мерзлорязской толщи нами вскрыты реликтовые повторно-жильные льды мощностью до 5,4 м (Рисунок 2). Полученные данные детального изучения разреза свидетельствуют о том, что морфология ПЖЛ и особенности строения вмещающих пород имеют ряд характерных признаков, позволяющих с достаточной уверенностью говорить о сингенетическом развитии жил. К ним относятся: большая вертикальная мощность и сложная форма ПЖЛ, извилистые боковые контакты и неравномерное изменение ширины жил по глубине (ярусность строения), “припаянные” к боковым контактам ПЖЛ шлиры (пояски) сегрегационного льда вмещающих отложений, вытянутые по вертикали в виде цепочек пузырьки газа, большая примесь грунтовых частиц и растительных остатков во льду, крутой изгиб слоев вмещающих отложений около ПЖЛ, наличие линз торфа в разрезе, в целом однообразные фациальные условия накопления отложений.



Рисунок 2 – Повторно-жильный лед (фото и рисунок) в обнажении Мерзлый Яр. 1 – супесь; 2 – песок; 3 – галечник с песчаным заполнителем; 4 – псевдоморфоза; 5 – захороненные почвенно-растительные горизонты; 6 – жильный лед; 7 – ледяные шлиры; 8 – захороненные стволы деревьев.

По химическому составу лед хлоридно-гидрокарбонатный магниевый-кальциевый. Минерализация расплавов льда изменяется в пределах 57,6-96,4 мг/дм³. Содержание других компонентов составляет (мг/дм³): Cl⁻ – 1-4, SO₄²⁻ – 2,0, F⁻ – 0.1, H₄SiO₄ – 2,0-3,0. Аммоний, бром и бор не обнаружены. Аложение сингенетических ПЖЛ Мерзлого Яра началось на начальной стадии формирования литофаций прибрежной отмели (супеси, прослой растительного детрита, аллохтонного и автохтонного торфа) озерного водоема. Об этом свидетельствуют результаты изучения альгофлоры. Установлено, что в целом флора палеоводоема имеет ярко выраженный бентический характер, указывающий на незначительные прибрежные глубины палеобассейна. Типично планктонные формы отсутствуют, так как незначительная глубина водоема исключает возможность парящего, планктонного образа жизни. Диатомеи бентоса подразделяются на донные (70%) и обрастания (30%). Донные диатомовые водоросли представлены видами родов: *Stauroneis Ehr.*, *Navicula Bory*, *Pinnularia Ehr.*, *Caloneis Cl.*, *Hantzschia Grun.*, *Nitzschia Hass.*, а диатомовые водоросли обрастания: *Meridion Ag.*, *Fragilaria Lyngb.*, *Synedra Ehr.*, *Actinella Lewis*, *Eunotia Ehr.*, *Achnanthes Bory*, *Cymbella Ag.*, *Gomphonema Ag.*, *Epithemia Breb.*, *Rhopalodia O. Mull.*

Большинство обнаруженных видов относятся к индифферентным (62 %), переносящим некоторое увеличение солености воды и не утрачивающим в этих условиях способности нормально развиваться. Обычно они живут в водоемах с минерализацией воды, составляющей 0,2–0,3 ‰.

В составе диатомовой флоры преобладают бореальные виды (52%). Это обитатели водоемов умеренных широт. Значительную долю (30%) составляет группа северо-альпийских стенотермных, холодолюбивых диатомей, типичных для северных и горных водоемов. Космополиты, распространенные в водах земного шара, составляют всего 18%. Таким образом, опираясь на результаты диатомового анализа можно утверждать, что развитие диатомовой флоры происходило в озерном бассейне олиготрофного типа, уровень которого неоднократно изменялся [9].

Радиоуглеродное датирование образцов древесины в основании вскрытой ледяной жилы показало, что они имеют возраст 10820±110 и 11810±60 лет. Следовательно, начало формирования ПЖЛ соответствует временному интервалу 10000-11000 лет. Развитие ПЖЛ в районе происходило в условиях резко континентального климата, малоснежной зимы и неглубокого залегания мерзлого субстрата. Морозобойные трещины возникали как в

тонкодисперсных влагонасыщенных осадках, промерзавших сингенетически в неуплотненном состоянии после их образования и выхода из-под уровня воды, так и в торфяных прослоях. Льдистость (влажность) отложений достигала 80-100 и даже 160%.

Рост вверх и расширение ледяных жил осуществлялось за счет формирующихся в морозобойных трещинах элементарных молодых жилок. В системе «льдистый грунт-ПЖЛ» возникали напряжения сжатия, которые приводили к необратимым ориентированным вверх деформациям вмещающих пород, т.е. в сторону наименьшего сопротивления напряжениям.

Возраст образца грунта из горизонта, расположенного над головой одной из ледяных жил, датирован в 8820 ± 70 лет. Таким образом, время формирования вскрытой жилы составляло 2700-2800 лет при средней скорости ее роста – 1,9 мм/год. Скорость роста современных ледяных жил изменяется от 0,4 до 1,6 мм/год [10,11].

Обнаруженные стволы ели в горизонте развития ПЖЛ и результаты споро-пыльцевого анализа свидетельствуют о холодном и влажном климате. Выше по разрезу (интервал 0,4-7,85 м) основную долю спектра занимают *Pinus sibirica*, *Pinus sylvestris* и *Abies sibirica*. Среди травянистых преобладает *Polypodiaceae*. Резкая смена лесных эдификаторов характеризует достаточно устойчивое потепление и понижение влажности климата.

Выполненный анализ стабильных изотопов кислорода и водорода позволил реконструировать особенности климатических условий времени формирования ПЖЛ в течение голоцена, включая и период оптимума [12]. Установлено, что в мощной жиле первого разреза значения $\delta^{18}\text{O}$ изменяются от -22,58 до -25,25‰, а δD от -191 до -203,6‰. Вариации содержания дейтерия в ней не столь существенны (чуть более 12‰) по сравнению с изменениями значений $\delta^{18}\text{O}$, тогда как в равновесных условиях, судя по изменениям $\delta^{18}\text{O}$ (более 2,5‰), они должны были бы составить более 20‰. Это отразилось и на заметных колебаниях значений d_{exc} – от -10,6 до -1,6‰, сильно отличающихся от среднего значения d_{exc} в современных атмосферных осадках которое составляет 10‰. Такое существенное отклонение значений d_{exc} от глобальной линии метеорных вод обычно интерпретируется как очень неравновесный характер испарения над океаном. В нашем же случае это скорее связано с континентальностью территории и сильной удаленностью от основного источника влаги.

Оценивая в целом полученные изотопные данные, можно утверждать, что изменения среднезимних температур в период формирования жил не превышали 2-3, а среднеянварских 3-5 °С. Во время голоценового оптимума зимы были не мягче современных и холоднее на 1-2 °С [13]. При этом значения среднеянварских температур воздуха изменялись от -27 до -31 °С.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполненные комплексные исследования позволили установить, что в западной части Тоджинской котловины активные тектонические процессы и многолетнее промерзание грунтов в течение позднего плейстоцена-голоцена определили особые условия седиментации и формирование мощной синкриогенной толщи с многоярусными голоценовыми сингенетическими ПЖЛ. Температурные условия формирования жильного комплекса даже в оптимум голоцена были близки к современным, а время формирования различных ярусов ПЖЛ составляло около 1000 лет.
2. В современное время формирование псевдоморфоз по ПЖЛ возможно вследствие изменения природных условий и особенностей теплообмена на земной поверхности.
3. Ценность использованных методов анализа эволюции природной среды и ландшафтов в том, что они применялись в комплексе для выявления стадий формирования отложений в озерном палеобассейне, восстановления истории происхождения и развития речных террас, обоснования механизмов и времени формирования жильных льдов и псевдоморфоз, реконструкции климатических обстановок плейстоцена-голоцена в целом.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Чудинов Ю.В. Новейшие тектонические движения в районе бассейна р. Улуг-О и хребта Таскыл в северо-восточной Туве // Бюлл. МОИП. Отделение геологическое. 1959, т. 34, № 5, с. 55-71.
- [2] Гросвальд М.Г. Развитие рельефа Саяно-Тувинского нагорья. М, Наука, 1965, 166 с.
- [3] Ямских А.Ф. О многолетнемерзлых горных породах бассейна Большого Енисея в зоне проектируемых водохранилищ // Исследования берегов водохранилищ. Иркутск, Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1972, с. 44-45.

- [4] Ямских А.Ф. Палеогеографические условия Тоджинской котловины в голоцене // Природные условия и ресурсы юга средней Сибири. Красноярск, Красноярское кн. изд-во, 1983, с. 3-19.
- [5] Ямских А.Ф. Осадконакопление и террасообразование в речных долинах Южной Сибири. Красноярск, Красноярское кн. изд-во, 1993, 225 с.
- [6] Орлова Л.А. Новые данные по радиоуглеродной хронологии /позднечетвертичных/ озерных отложений Тоджинской впадины (Тува) // ДАН, 1980, т. 250, № 6, с. 1427 - 1430.
- [7] Yamskikh A.F., Yamskikh A.A. Dynamics of the Todza dammed lake (Upper Yenisei River, Southern Siberia) during the Late Pleistocene and Holocene // Science Reports of Tohoku University. 7th Series (Geography), 1999, vol. 49, № 2, p. 143-159.
- [8] Аржанников С.Г., Алексеев С.В., Глызин А.В. и др. Природные условия западной части Тоджинской котловины в голоцене (на примере обнажения Мерзлый Яр // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Новосибирск, Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2000, в. 2, с. 18-29.
- [9] Аржанников С.Г., Алексеев С.В., Игнатова Н.В. и др. Некоторые аспекты палеогеографической обстановки западной части Тоджинской впадины (Восточная Тува) // Мат-лы конф. «Интеграция фундаментальной науки и высшей школы в устойчивом развитии Сибири». Иркутск, Изд-во ИГ СО РАН, 2001, с. 104-107.
- [10] Black R.F. Growth of patterned Ground in Victoria Land, Antarctica // *Proceedings*, Second International Conference on Permafrost, Yakutsk, USSR, 1973, p.193-203.
- [11] Mackey J.R. The Growth of Ice Wedges (1966 – 1975), Garry Island, NWT, Canada // *Proceedings*, International Geographical Congress, 23d, Moscow, USSR, 1976, p. 345-350.
- [12] Васильчук Ю.К., Алексеев С.В., Аржанников С.Г. и др. Первые изотопные данные голоценовых сингенетических повторно-жильных льдов Мерзлого Яра в верховьях Енисея // Докл. РАН, 2002, т. 383, № 2, с. 251-255.
- [13] Васильчук Ю.К. Южный предел ареала повторно-жильных льдов в Евразии // Криосфера Земли, 2004, т. 8, № 3, с. 34-51.

Chapter I/45: CENTRAL ASIAN CLIMATE VARIABILITY OF THE LAST 200 YEARS USING TRACE ELEMENTS ON A SPELEOTHEM OF THE SOUTH FERGANA REGION

Глава I/45: Изучение изменчивости климата последних 200 лет в Центральной Азии, используя микроэлементы спелеотема южного Ферганского региона

Christian Wolff^{*1}, Rik Tjallingii², Hai Cheng³, Alexey S. Dudashvili⁴, Jens Fohlmeister^{2,5}, Manfred R. Strecker⁵, Birgit Plessen²

DOI 10.25680/5250.2018.88.25.045

*Email: christian.wolff@mpic.de

1.Climate Geochemistry Department, Max Planck Institute for Chemistry, Mainz, Germany

2.Helmholtz Centre Potsdam, GFZ German Research Centre for Geosciences, Germany

3.Institute of Global Environmental Change, Xi'an Jiaotong University, China

4.Fund of Preservation and Exploration of Caves, Kyrgyz Republic

5.Institute of Earth and Environmental Science, University of Potsdam, Germany

ABSTRACT. Central Asia is located at the confluence of the large-scale atmospheric circulation systems of the dominant Siberian High and the Midlatitude Westerlies, and partly the Indian Monsoon. However, the number of Holocene climate records is still low in most parts of this region and insufficient to allow detailed discussion and comparisons to disentangle the complex climate history and interplays between the different climate systems. Here, we present new trace-element records of S, P, Ti, K and Ca from a stalagmite of south-western Kyrgyzstan (S-Fergana) to identify shifts in inter-annual variations in precipitation and atmospheric circulations. Comparison of instrumental and paleo studies of the last 200 years demonstrates that the Uluu-2 trace elements records environmental changes and respond to shifts in the global atmospheric circulation systems.

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ФГБНУ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ АГРОХИМИИ ИМЕНИ Д.Н. ПРЯНИШНИКОВА»**

Главные редакторы: Виктор Г. Сычёв и Лотар Мюллер

**НОВЫЕ МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ
ИССЛЕДОВАНИЙ ЛАНДШАФТОВ В ЕВРОПЕ,
ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ И СИБИРИ**

Монография в 5 томах

**Том I Ландшафты в XXI веке: анализ состояния,
основные процессы и концепции исследований**

**В содружестве с Академией почвенного плодородия
Митчерлиха (МИТАК), Паулиненуэ, Германия**

Москва 2018

**RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
FSBSI «ALL-RUSSIAN RESEARCH INSTITUTE OF AGROCHEMISTRY
NAMED AFTER D.N. PRYANISHNIKOV»**

Main editors: Viktor G. Sychev and Lothar Mueller

**NOVEL METHODS AND RESULTS OF
LANDSCAPE RESEARCH IN EUROPE, CENTRAL
ASIA AND SIBERIA**

Monograph in 5 Volumes

**Vol. I Landscapes in the 21th Century: Status
Analyses, Basic Processes and Research Concepts**

**With friendly support of the Mitscherlich Academy for Soil Fertility
(MITAK), Paulinenaue, Germany**

Moscow 2018

ББК 4035
УДК 504.54:631.42
Н 78

Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири (в пяти томах). Том 1. Ландшафты в XXI веке: анализ состояния, основные процессы и концепции исследований /под редакцией академика РАН В.Г.Сычева, Л. Мюллера. – М.: изд-во ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», 2018. – 499 с.

ISBN 978-5-9238-0247-4 (Том 1)

Коллектив авторов и редакторов под руководством Л. Мюллера (Мюнхеберг), В.Г. Сычёва (Москва), Ф. Ойленштайна (Мюнхеберг), В.А. Романенкова (Москва), А.Х. Шеуджена (Краснодар), А. Сапарова (Алматы).

Главные редакторы: Лотар Мюллер (Лейбниц центр агроландшафтных исследований, Мюнхеберг, Германия) и Виктор Г. Сычёв (Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, Москва, Россия)

Монография содержит информацию о самых современных методологиях и результатах в ландшафтных исследованиях. Она может быть использована в качестве руководства для исследователей, преподавателей, студентов и всех, кого интересует тема ландшафтной науки и смежных дисциплин. Монография является особо ценной информационной базой для лиц, принимающих решения на различных уровнях, от местных до международных органов по принятию решений. Приведенная в монографии информация представляет собой современный уровень ландшафтной науки в очень краткой форме.

Содержание глав дано в авторской редакции. Редакторы не несут ответственности в отношении опубликованных материалов.

Novel Methods and Results of Landscape Research in Europe, Central Asia and Siberia (in five volumes). Vol. 1. Landscapes in the 21th Century: Status Analyses, Basic Processes and Research Concepts /main editors Viktor G. Sychev, Lothar Mueller. – М.: Publishing House FSBSI «Pryanishnikov Institute of Agrochemistry», 2018. – 499 p.

Team of authors and editors under the guidance of: Lothar Mueller (Muencheberg), Viktor G. Sychev (Moscow), Frank Eulenstein (Muencheberg), Vladimir A. Romanenkov (Moscow), Askhad Kh. Sheudzhen (Krasnodar), Abdulla Saparov (Almaty)

Main editors: Lothar Mueller (Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research, Muencheberg, Germany) and Viktor G. Sychev (All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, Moscow, Russia)

This monograph shall inform you about up to date methodologies and recent results in landscape research. It is intended as a guide for researchers, teachers, students, decision makers, stakeholders interested in the topic of landscape science and related disciplines. It provides information basis for decision makers at various levels, from local up to international decision bodies, representing the top level of landscape science in a very short form.

Authors are responsible for the content of their chapters. Neither the authors nor the editors can accept any legal responsibility for any errors or omissions that may be made. The editors make no warranty, express or implied, with respect to the material contained herein.

ISBN 978-5-9238-0246-7
ISBN 978-5-9238-0247-4 (Том 1)
DOI 10.25680/7920.2018.82.47.001

© ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» 2018

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК



**НОВЫЕ МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ
ИССЛЕДОВАНИЙ ЛАНДШАФТОВ В ЕВРОПЕ,
ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ И СИБИРИ**

**ТОМ I: Ландшафты в XXI веке: анализ
состояния, основные процессы и концепции
исследований**