

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ  
И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

УДК 551.435.13(282.256.63)

О СОВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ  
СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ЛЕНЫ

© 2018 г. Н. И. Тананаев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, Россия

<sup>2</sup> Югорский НИИ информационных технологий, Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: nikita.tananaev@gmail.com

Поступила в редакцию 06.04.2017 г.

Принята в печать 29.05.2018 г.

Рассмотрена история флювиального осадконакопления в долине средней Лены на территории центральной Якутии в позднем плейстоцене и голоцене. Показано, что на протяжении плейстоцена аллювиальный покров Лено-Таттинского междуречья накапливался практически непрерывно, с перерывами в эпохи крупных оледенений — самаровского и зырянского. Этапы врезания и аккумуляции с преобладанием последней чередовались в среднем течении Лены в голоцене. Направленный режим врезания в настоящее время, как и на большинстве этапов неоплейстоцена, для средней Лены нехарактерен. Рассмотрены предполагаемые признаки современного врезания, и показано, что такие признаки в динамике продольного профиля и строении дна долины средней Лены не проявляются. Смещение вниз кривой связи расходов и уровней на гидрологическом посту Табага, в 40 км выше Якутска, объясняется его уточнением Якутским УГМС, а не гидроморфологическими процессами. Некоторые черты строения русла и долины средней Лены, свойственные врезающимся рекам, могут быть связаны с современными криогенными процессами. В процессе сингенетического промерзания пойменных отложений высотные отметки поймы могут повышаться, что способствует ее консолидации. Пойменные ступени могут образовываться вследствие различий в литологии отложений, имеющих различную пучинистость. Береговая термоэрозия, связанная с тепловым влиянием речного потока и разрушающим действием льда, быстрее разрушает оголовки островов, чем вне криолитозоны. В результате острова смещаются вниз по течению, но в их верхней части существуют песчаные отмели, свидетельствующие об аккумуляции наносов. Таким образом, в рельефе территории среднего течения Лены признаки современного врезания отсутствуют. Участки русла с преобладанием местной эрозии и аккумуляции здесь чередуются между собой, что в первую очередь определяется гидравлической структурой потока, а также влиянием неотектонических движений.

*Ключевые слова:* флювиальное осадконакопление, средняя Лена, врезание, аккумуляция, продольный профиль реки

DOI: 10.1134/S258755661805014X

**Введение.** Русловые переформирования на реках неразрывно связаны с общей динамикой их продольного профиля. Участок среднего течения р. Лены от г. Покровск до устья р. Алдан — один из наиболее интенсивно осваиваемых участков ее долины (рис. 1). Достоверные представления о динамике продольного профиля на этом участке необходимы для целей руслового прогноза в интересах всех водопользователей — городского коммунального хозяйства, судоходства, а также для строительства линейных сооружений через русло реки.

Большинством авторов рассматривается только палеоисторический аспект формирования мезозойских и четвертичных отложений центральной Якутии [5, 9–11, 16]. Вопрос о современной направленности изменений продольного профиля

среднего течения Лены остается дискуссионным. Предположение о преобладании современного врезания в долине Лены выдвинуто О.А. Борсуком и Р.С. Чаловым на основании данных о структуре речных террас и тенденции совместных изменений связи расходов и уровней воды. Интенсивность современного врезания ими оценена в 0.5 мм в год [6]. Основные аргументы этой работы будут нами рассмотрены ниже.

С другой стороны, стратиграфия голоцена ранее использовалась В.В. Спектором с соавторами [14] как показатель формирования на данном участке долины Лены перстративного аллювия в условиях пологого профиля равновесия.

Кратко остановимся на истории флювиального осадконакопления в долине средней Лены.

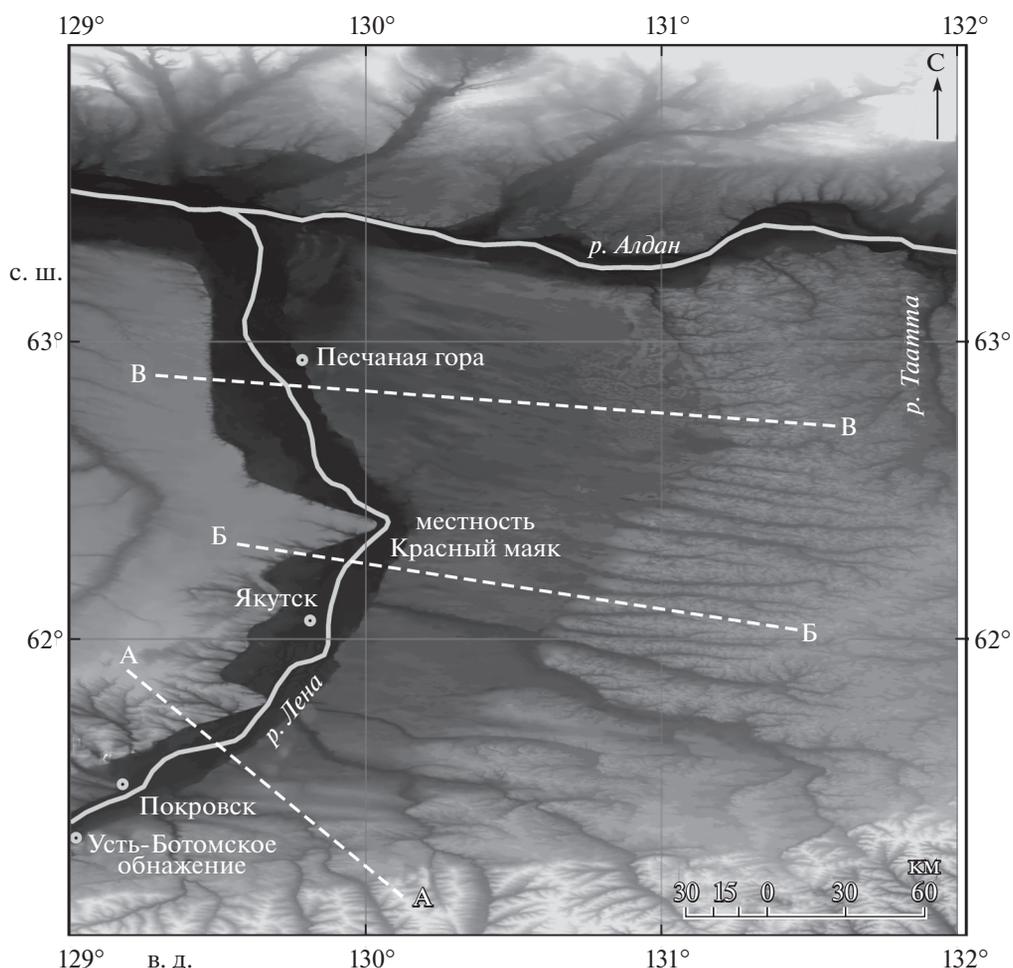


Рис. 1. Схема территории Лено-Таттинского междуречья; показано положение поперечных профилей (см. рис. 5).

**Плейстоцен-голоценовый этап флювиальной аккумуляции.** Мощность неогеновых осадков Нижнеалданской впадины, достигающая местами 700 м, указывает на интенсивную дочетвертичную аккумуляцию в области слияния рр. Лены и Алдана [2]. Основной четвертичный этап аккумуляции в пределах Лено-Таттинского междуречья относится к нижнему и началу среднего неоплейстоцена. На протяжении всего этого периода р. Лена вытекала из оз. Байкал [17] и впадала в Северный Ледовитый океан по долинам рр. Анабар и Оленек [12, 16]. Существуют и другие реконструкции течения р. Лены в неоплейстоцене. Разделение отложений этого периода по горизонтам слабо обеспечено датировками их абсолютного возраста и производится преимущественно на основании палинологических данных.

Раннечетвертичный аллювий, представленный отложениями бестяхской свиты, локально вскрывается в обнажениях по правобережью р. Лены выше и ниже г. Якутска. Аллювий пред-

ставлен темно-бурыми и серыми песками с остатками плавника.

Период накопления бестяхской свиты относят к тобольскому времени среднего плейстоцена (МИС 11 – МИС 9, 427–301 тыс. л.н.) [1, 8]. Пески бестяхской свиты и перекрывающие их галечники облекают дочетвертичную поверхность практически на всем пространстве Лено-Таттинского междуречья [7].

Основная часть аллювиальных отложений в обнажениях по правому борту долины р. Лены выделяется в мавринскую свиту. Время ее накопления – от ширтинской до казанцевской эпохи (МИС 7 – МИС 5, 243–71 тыс. л.н.) [8]. Желто-серые пески мавринской свиты составляют основной объем ее отложений на Лено-Таттинском междуречье [15]. Широкое распространение подобных песков в западной части междуречья устанавливалось и ранее [7].

На севере Лено-Таттинского междуречья, в верхах обнажения Песчаная гора (см. рис. 1) выделяется дьолкуминская свита позднего неоплей-

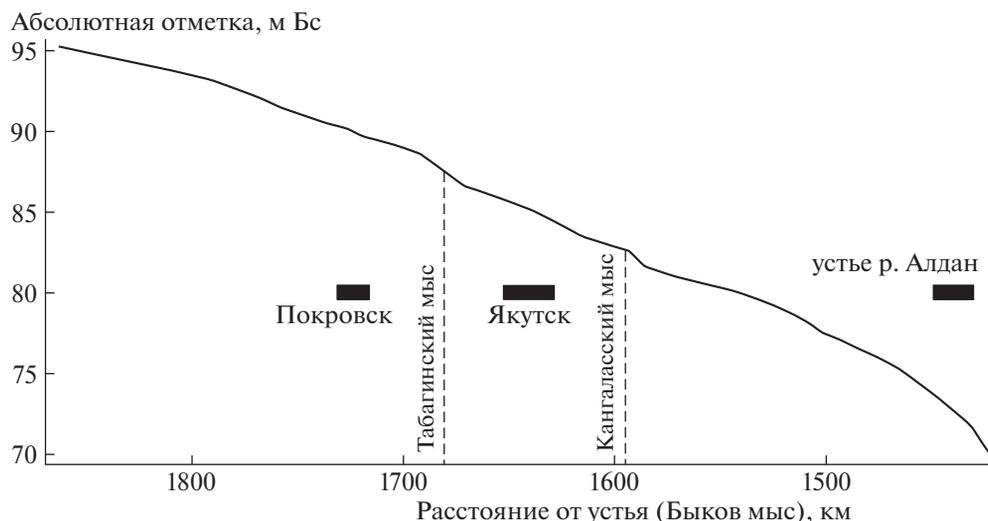


Рис. 2. Продольный профиль водной поверхности р. Лены в ее среднем течении.

стоцена. Отложения этой свиты одними авторами относятся к эоловым образованиям [8], другими – к аллювию [15].

Приведенные данные свидетельствуют о непрерывности аллювиальной аккумуляции в долине средней Лены до начала позднего неоплейстоцена, с признаками интенсивной эоловой переработки поверхности [24].

Основной этап врезания и сосредоточения потока р. Лены в западной части долины относится к зырянскому времени позднего неоплейстоцена. В современном днище долины Лены на “Якутском разбье” доголоценовый материал не устанавливается. На юрских известняках здесь лежат слои гравия и крупнозернистых песков позднего дриаса [14].

Голоценовый аллювий подробно изучен в скважинах и обнажениях на участке долины р. Лены от г. Покровска до устья Алдана [14]. Накопление материала происходило в относительно теплые периоды, а врезание до современного уровня и начало формирования поймы относятся к рубежу атлантического и суббореального периодов, около 4.5 тыс. л.н.

Представленные материалы не позволяют утверждать о постоянстве режима врезания в процессе развития профиля р. Лены, начиная со среднечетвертичного времени, как это сделано в работе [6]. По литературным данным, аллювиальный покров Лено-Таттинского междуречья накапливался практически непрерывно до позднего неоплейстоцена. Лишь на неоплейстоцен-голоценовом рубеже относительно быстро сформировался современный врез (рис. 2). Этот врез и в настоящее время продолжает заполняться наносами.

#### Современное развитие продольного профиля.

Продольный профиль Лены на рассматриваемом участке – полого-выпуклая кривая (см. рис. 2). Уклон водной поверхности реки увеличивается от 0.0278‰ в верхней части участка (1850–1800 км) до 0.0556‰ в районе Якутска (1675–1625 км) и до 0.072‰ вблизи устья Алдана (1500–1450 км). “Ступени” профиля, резкое локальное увеличение уклона соответствуют выступам коренных пород – Табагинскому и Кангаласскому мысам (см. рис. 2).

Продольный профиль водной поверхности построен с помощью Quantum GIS версии 2.18.9, по оцифрованным топографическим картам масштаба 1:200 000 и данным спутниковой альтиметрии – миссии Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

Направленность современного развития продольного профиля можно оценивать с помощью прямых и косвенных признаков, подробно рассмотренных в [18]. По таким признакам был обоснован тезис о современном врезании долины р. Лены вследствие общей тенденции, предопределенной тектоническими факторами [6].

Основной аргумент этого обоснования – смещение вниз кривой связи расходов и уровней воды. Уровень воды при прохождении по руслу одного и того же расхода может заметно снижаться даже за короткий период гидрологических наблюдений. Чаще всего подобное снижение связано с выемкой материала из русловых карьеров для целей строительства [4], то есть с отрицательным балансом наносов на участке реки. В этом и проявляется ее врезание.

В упрощенном виде кривые связи уровней и расходов воды на р. Лене, г.п. Табага за 1946–1966 гг. приведены в работе [6]. Повторный анализ той же

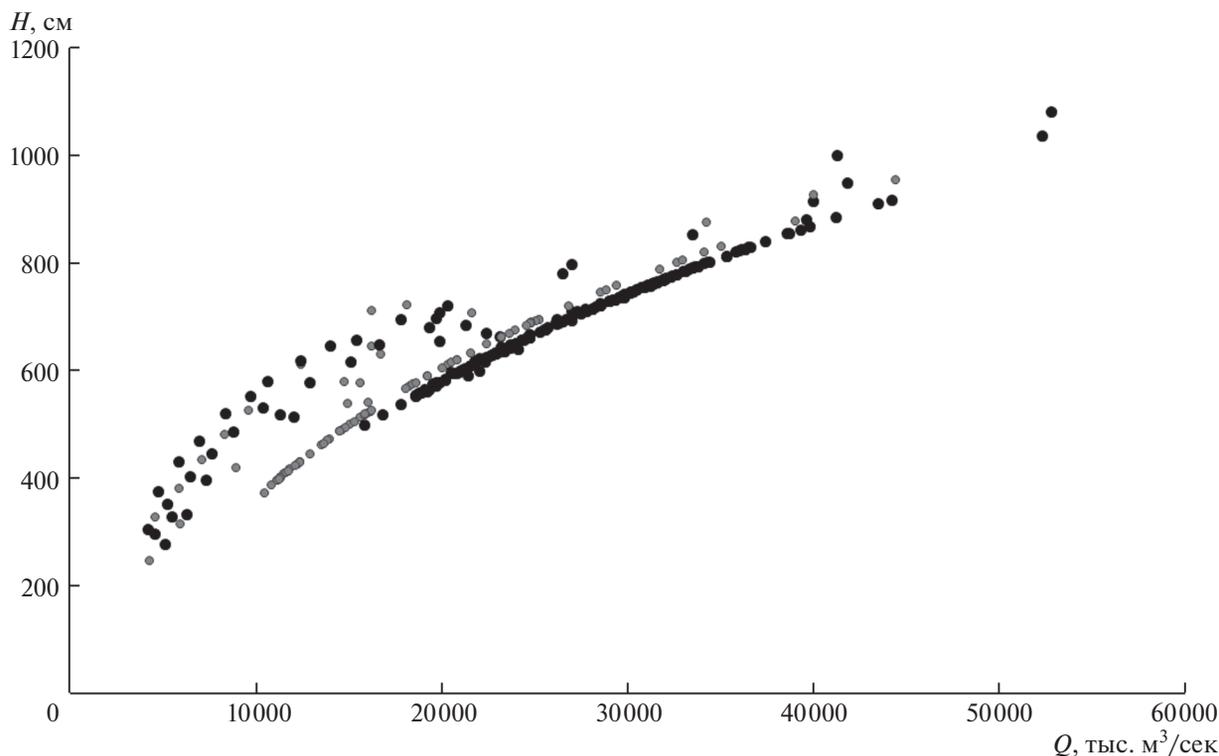


Рис. 3. Кривые связи уровней ( $H$ ) и расходов ( $Q$ ) воды на р. Лене, г.п. Табага, за 1947–2005 гг. Серым цветом даны точки 1947–1954 гг., черным — 1955–2005 гг.

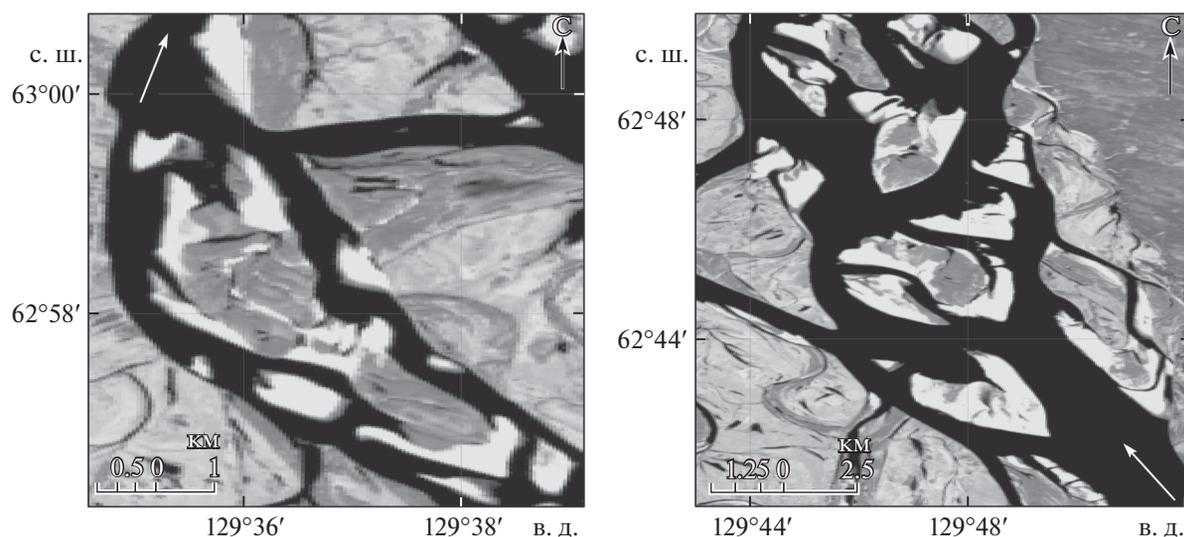
гидрологической информации позволил построить другие кривые (рис. 3). Они показывают, что до 1955 г. на г.п. Табага использовался один график пересчета уровней в расходы воды, после 1955 г. — другой, применяющийся и в настоящее время. Обновление графика связи уровней и расходов воды, состоявшееся в 1955 г., автору подтвердил в 2015 г. К.И. Кусатов, начальник отдела гидропрогнозов Якутского УГМС (личное сообщение). Статистический анализ временного ряда данных на г.п. Табага показывает, что около 1955 г. имеется нарушение однородности ряда разрывного типа [23]. Следовательно, современное врезание, подтвержденное гидрологическими данными, устанавливать не приходится.

Ступенчатость поперечного профиля дна долины Лены отражает историю ее развития и особенности изменения водного режима реки в голоцене. Большое количество ступеней современной поймы, в некоторых створах до шести [13], связано в основном с разнообразием гидрологических условий формирования максимальных расходов на основной реке, на двух крупнейших притоках, Витиме и Олёкме. Затонные наводнения, регулярно наблюдающиеся на средней Лене, способствуют усложнению рельефа современной поймы.

Соотношение ширины русла и поймы меняется по длине участка реки в крайне широких пределах. В зависимости от локальных условий это соотношение намного отличается от значений 1:1–1:2, свидетельствующих о глубинной эрозии реки. В районе г. Жатай рассматриваемое соотношение равно 1:7–1:8, ниже по течению преимущественно составляет от 1:4 до 1:5, что характерно для свободных условий развития русла. Вследствие большой разницы между меженными и половодными расходами существует такая же заметная разница между шириной русла в половодье и межень. Крайняя распластанность потока свидетельствует против его современного врезания.

Развитие односторонней консолидированной поймы в основном приурочено к участкам средней Лены, где поток опирается на ее высокие террасы. К таким участкам относятся правый берег реки у пос. Нижний Бестях, напротив г. Якутска, и в створе обнажения Песчаная гора.

На участке параллельно-рукавного русла Лены выше г. Покровска прибрежная пойма практически отсутствует. Пойменные острова в центральной части русла здесь разбиты извилистыми пойменными протоками на отдельные разновозрастные массивы.



**Рис. 4.** Аккумулятивные образования при оголовках островов во второстепенной протоке в районе пос. Тумул (слева), в основном русле в районе пос. Графский берег (справа).

Ниже по течению, до устья р. Алдан, пойма — в основном односторонняя поверхность. Однако наличие многочисленных пойменных проток (система Хаптагайских проток, Петровская курья, протоки Эселях, Медвежья, Булус и другие, активные только в период половодья) не позволяет назвать ее консолидированной поймой.

Трансгрессивное (вниз по течению) перемещение островов характерно только для локальных участков среднего течения р. Лены [19]. По имеющимся данным, механическое воздействие речного льда на берега и их термоэрозионное разрушение — основная причина крайне быстрого, до 40–50 м в год, отступления оголовков ленских островов [21]. В то же время, при оголовках большинства островов существуют песчаные отмели, указывающие на направленную аккумуляцию наносов [20]. Основные причины их появления — высокий сток влекомых наносов и гидравлическое сопротивление, оказываемое потоку островами (рис. 4).

Террасы р. Лены не относятся к врезанным ступеням с коренным цоколем [7]. Поэтому ширина ленских террас не может служить показателем интенсивного врезания реки. Более того, неясно даже, какие из поверхностей Лено-Таттинского междуречья действительно можно считать речными террасами, и как они соотносятся друг с другом (рис. 5).

Анализируя материалы М.С. Иванова [7], можно признать смену высотных уровней за последовательность прислоненных террас. В этом случае речь идет лишь о постепенном смещении русла Лены в западном направлении без выраженной тенденции к врезанию.

Пески мавринской свиты среднего неоплейстоцена на Лено-Таттинском междуречье перекрываются отложениями со следами субаэральной аккумуляции и лишь самая молодая дьолкуминская поверхность представляет собой аккумулятивно-денудационную террасу с рыхлым цоколем [15]. Имеющиеся данные позволяют предполагать относительную устойчивость продольного профиля р. Лены в неоплейстоцене и голоцене. По-видимому, эта устойчивость неоднократно или периодически нарушалась эпизодами интенсивного врезания реки.

Некоторые специфические черты морфологии долины р. Лены, создающие видимость активного врезания, могут быть связаны с криогенными процессами. Сингенетическое промерзание, характерное для пойменных отложений, приводит к появлению полигонально-жильных структур.

Вслед за увеличением объема отложений вследствие их промерзания повышаются высотные отметки поймы [3]. Ступенчатость поймы в таком случае определяется не только гидрологическими факторами, но и различиями в мощности, крупности и пучинистости пойменного аллювия. Хорошо сортированные тонкие аллювиальные пески увеличиваются в объеме на 1–3%, пучинистые супеси и суглинки — на 7–10% (без учета ледяных включений — шлиров, жил). Поверхность двадцатиметровой песчаной толщи вследствие промерзания поднимается на 0.5–0.7 м, а аналогичной толщи, полностью сложенной суглинками — на 1.4–2 м.

Консолидация промерзающей поймы связана с ростом отметок поверхности и ее частичным выходом из области затопления при постоянстве

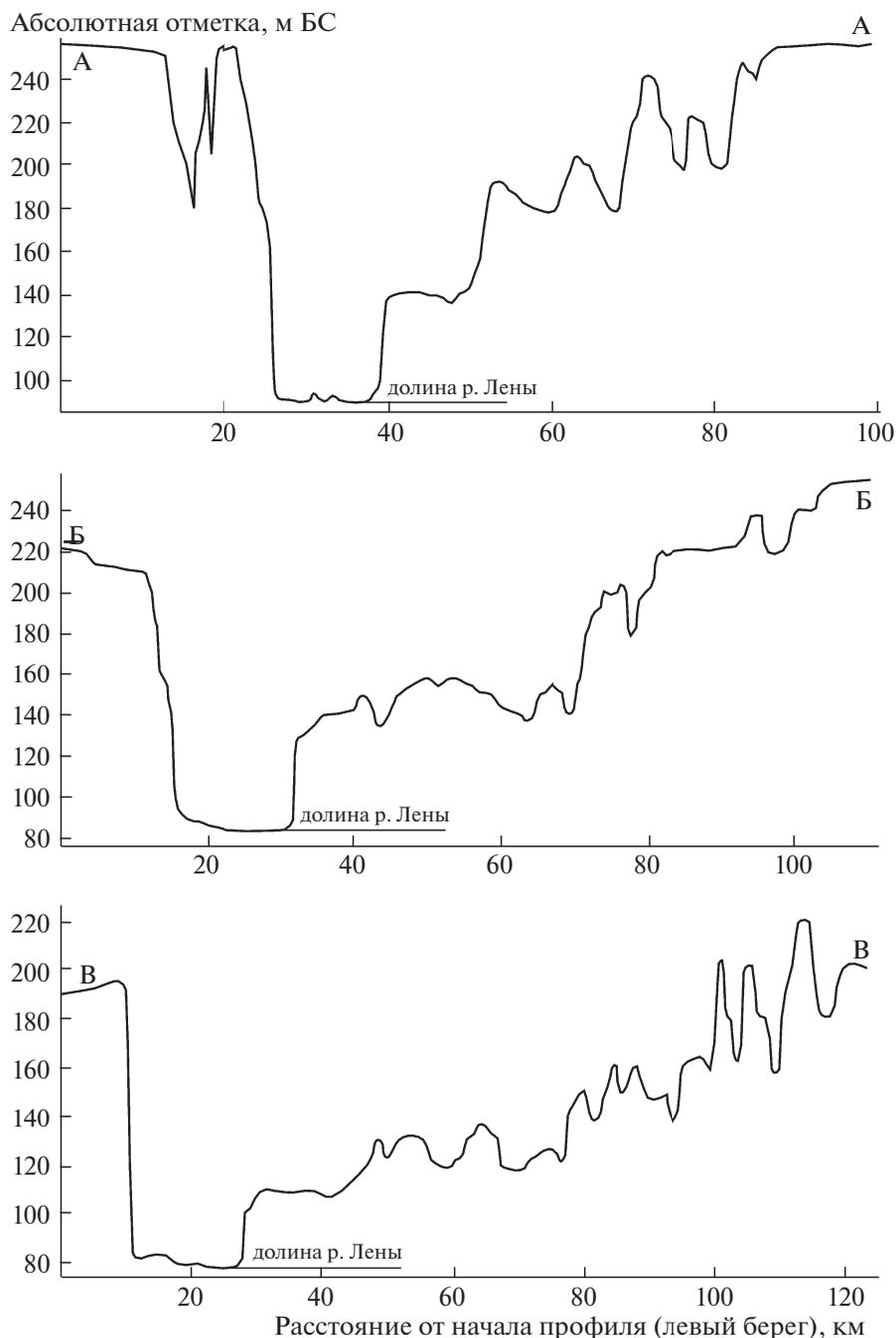


Рис. 5. Поперечные профили через долину средней Лены; положение профилей показано на рис. 1.

половодных расходов воды. Рост отметок дна при промерзании русла пойменных проток ограничивает период их функционирования, приводит к уменьшению средней глубины и скорости потока, средней крупности отлагаемого материала.

Береговая термоэрозия в условиях средней Лены наиболее интенсивна в берегах высокой поймы, к которой относится большинство крупных островов [22]. В результате разрушение оголовков таких островов происходит быстрее, чем вне криолитозоны, создавая видимость направленного

трангрессивного смещения островных массивов.

**Заключение.** В настоящее время, так же, как и на протяжении большинства этапов неоплейстоцена, для среднего течения реки Лены не характерен режим врезания. В раннем и среднем неоплейстоцене выделяются как минимум два продолжительных периода направленной аккумуляции аллювия. Они разделяются эпизодами интенсивного врезания реки.

Этапы врезания и аккумуляции с преобладанием последней чередовались в долине р. Лены и в голоцене.

Современные признаки направленного врезания р. Лены отсутствуют в рельефе территории ее среднего течения. Участки русла с преобладанием местной эрозии и аккумуляции здесь чередуются между собой, что в первую очередь определяется гидравлической структурой потока, а также влиянием неотектонических движений. Их существование на этой территории нельзя отрицать.

Неясно, как соотносятся климатические события с периодами врезания реки и аккумуляции ее отложений в квартере. Наиболее мощные толщи аллювия относятся к умеренно теплым тобольскому и ширтинскому периодам. Однако накопление речных отложений продолжалось здесь и в холодный тазовский период. Врезания и перерывы в осадконакоплении отмечаются только в эпохи крупных оледенений – самаровского и зырянского. Однако пока не существует единого мнения о развитии долины Лены, как и Лено-Таттинского междуречья, в четвертичный период.

**Благодарности.** Автор выражает благодарность д.г.н. Куницкому В.В. (ИМЗ СО РАН), Чербуниной М.Ю. (геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова) за ценные комментарии и обсуждения при подготовке рукописи.

**Acknowledgments.** The author is grateful to Dr. V.V. Kunitskii (MPI, SB RAS) and M.Yu. Cherbunina (Faculty of Geology, MSU) for their comments and discussion for the paper.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев М.Н.* Антропоген Восточной Азии: Стратиграфия и корреляция. М.: Наука, 1978. 205 с.
2. *Алексеев М.Н., Куприна Н.П., Медянцев А.И., Хорева И.М.* Стратиграфия и корреляция неогеновых и четвертичных отложений северо-восточной части Сибирской платформы и ее восточного складчатого обрамления. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 127 с.
3. *Баранов И.Я., Баулин В.В.* Влияние многолетнего промерзания на формирование геоморфологических уровней // Мерзлотные исследования. Вып. 4. М.: Изд-во МГУ, 1964. С. 285–290.
4. *Беркович К.М.* Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов. М.: ГЕОС, 2001. 164 с.
5. *Бискэ С.Ф.* Об условиях образования четвертичных террас долины Лены между пос. Покровск и с. Жиганск // Тр. Института геологии и геофизики СО АН СССР. 1964. Вып. 8. С. 5–40.
6. *Борсук О.А., Чалов Р.С.* О врезании русла р. Лены // Изв. В.Г.О. № 5. 1973. С. 452–456.
7. *Иванов М.С.* Криогенное строение четвертичных отложений Лено-Алданской впадины. Новосибирск: Наука, 1984. 126 с.
8. *Камалетдинов В.А., Минюк П.С.* Строение и характеристика отложений Бестяхской террасы // Бюл. Комиссии по изучению четвертичного периода. № 60. М.: Наука, 1991. С. 68–78.
9. *Колпаков В.В.* Палеогеография четвертичного периода в нижнем течении р. Лены // Изв. вузов. Сер. геол. и развед. 1966. № 5. С. 41–48.
10. *Коржуев С.С.* Геоморфология долины средней Лены и прилегающих районов. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 150 с.
11. *Лунгерсгаузен Г.Ф.* Стратиграфия кайнозойских отложений Средней и Нижней Лены и ее дельты // Совещание по разработке стратиграфических схем ЯАССР. Тезисы докладов. Л.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1961. С. 178–182.
12. *Пуминов А.П.* К истории речных долин низовьев рек Лены и Оленек // Тр. НИИГА. 1960. Т. 114. Вып. 14. С. 163–172.
13. Русловой режим средней и нижней Лены. М.: ВИНТИ, Деп. 2227–76, 1976. 178 с.
14. *Спектор В.В., Бакулина Н.Т., Спектор В.Б.* Рельеф и возраст аллювиального покрова долины р. Лены на “Якутском разбое” // Геоморфология. 2008. № 1. С. 87–94.
15. *Спектор В.В., Спектор В.Б., Бакулина Н.Т., Парфенов М.И.* Роль ледников в преобразовании рельефа Лено-Амгинской равнины в плейстоцене и голоцене // Наука и образование. 2015. № 1. С. 42–49.
16. *Стрелков С.А.* Север Сибири. М.: Наука, 1965. 336 с.
17. *Уфимцев Г.Ф., Шетников А.А.* Текли реки из Байкала // Природа. 2006. № 6. С. 49–54.
18. *Чалов Р.С.* Русловедение: география, теория, практика. Т. 1. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 606 с.
19. *Чалов Р.С., Завадский А.С., Рулева С.Н., Кирик О.М., Прокопьев В.П., Андросов И.М., Сахаров А.И.* Морфология, деформации, временные изменения русла р. Лены и их влияние на хозяйственную инфраструктуру в районе г. Якутска // Геоморфология. 2016. № 3. С. 22–35.
20. *Чалов Р.С., Кирик О.М.* О трансгрессивном и регрессивном смещении островов и островных массивов в разветвленных широкопойменных руслах // Геоморфология. 2015. № 2. С. 16–27.
21. *Costard F., Gautier E., Fedorov A., Konstantinov P., Dupeyrat L.* An assessment of the erosion potential of the fluvial thermal process during ice breakups of the Lena River (Siberia) // Permafrost and Periglacial Processes. V. 25. № 3. P. 162–171. DOI: 10.0002/ppp.1812
22. *Tananaev N.I.* Hydrological and sedimentary control over fluvial thermal erosion, the Lena River, Central Yakutia // Geomorphology. 2016. V. 253. P. 524–533. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.11.009
23. *Tananaev N., Makarieva O., Lebedeva L.* Trends in annual and extreme flows in the Lena River basin, Northern Eurasia // Geophysical Research Letters. 2016. V. 43. P. 10764–10772. DOI: 10.1002/2016GL070796
24. *Waters M.R., Forman S.L., Pierson J.M.* Late Quaternary geology and geochronology of Diring Yuriakh, an Early Paleolithic site in Central Siberia // Quaternary Research. 1999. № 51. P. 195–211.

# The contemporary dynamics of the longitudinal profile of the middle Lena River

N. I. Tananaev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

<sup>2</sup> Ugra Research Institute of Information Technologies, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: nikita.tananaev@gmail.com

Received April 06, 2017

Accepted May 29, 2018

The history of fluvial sedimentation in the middle Lena River valley in Central Yakutia in the Late Pleistocene and Holocene is revisited. It is shown that the alluvial cover of the Lena-Taatta interfluvium was accumulating almost uninterruptedly throughout the Pleistocene, with incision events corresponding to major glacial epochs – Samarovo and Zyryan glaciations. The stages of incision and aggradation with the predominance of the latter alternated in the middle Lena River during the Holocene. Directed river incision is not typical for the middle Lena River neither in present nor in most periods of the Neopleistocene. The presupposed features of the modern incision are considered, and it is shown that such features are not manifested in the dynamics of the longitudinal profile and the structure of the bottom of the middle Lena River valley. The downward shift of the stage-discharge curve on the hydrological station of Tabaga, 40 km upstream from Yakutsk, is due to its enhancement by the Yakut Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring, but not because of hydro-morphological processes. Certain features of the structure of the riverbed and the valley of the middle Lena River, typical for the incising rivers, may be associated with modern cryogenic processes. In the process of syngenetic freezing of floodplain sediments, the certain floodplain levels can increase their relative elevation, which contributes to the floodplain consolidation. Floodplain levels can be formed due to differences in the lithology of sediments with different heaving potential. Riverside thermo-erosion associated with the thermal influence of river flow and the destructive action of the ice, erodes the frozen island front faster, than outside the permafrost area. As a result, the islands are displaced downstream, but in their upper part, there are sandbanks indicating the aggradation of sediments. Thus, there are no signs of the modern incision trend in the relief of the middle Lena River territory. Riverbed sections with predominance of local erosion and aggradation are alternated, which is primarily due to the hydraulic structure of the flow, as well as the influence of neotectonic movements.

*Keywords:* fluvial sedimentation, middle Lena River, incision, aggradation, longitudinal valley profile.

## REFERENCES

- Alexeyev M.N. *Antropogen Vostochnoi Azii: Stratigrafiya i korrelyatsiya* [Anthropogene of the Eastern Asia: Stratigraphy and Correlation]. Moscow: Nauka Publ., 1978. 205 p.
- Alexeyev M.N., Kuprina N.P., Medyantsev A.I., Khorova I.M. *Stratigrafiya i korrelyatsiya neogenovykh i chetvertichnykh otlozhenii severo-vostochnoi chasti Sibirskoi platformy i ee vostochnogo skladchatogo obramleniya* [Stratigraphy and Correlation of Neogene and Quaternary Deposits of the North-eastern Part of Siberian Platform and its Eastern Folded Rim]. Moscow: Akad. Nauk. Publ., 1962. 127 p.
- Baranov I.Ya., Baulin V.V. Influence of permanent freezing on the development of geomorphic levels. In *Merzlotnye issledovaniya* [Permafrost Studies]. Moscow: Moscow St. Univ., 1964, vol. 4, pp. 285–290. (In Russ.).
- Berkovich K.M. *Geograficheskii analiz antropogennykh izmenenii ruslovykh protsessov* [Geographical Analysis of Human Impact on Channel Processes]. Moscow: GEOS Publ., 2001. 164 p.
- Biske S.F. On the conditions of development of Quaternary terraces of the Lena River valley between Pokrovsk and Zhigansk. *Tr. Instituta Geologii i Geofiziki SO RAN*, 1964, vol. 8, pp. 5–40. (In Russ.).
- Borsuk O.A., Chalov R.S. On the incision of the Lena River valley. *Izv. Vsesoyuzn. Geogr. Obshchestva*, 1973, no. 5, pp. 452–456. (In Russ.).
- Ivanov M.S. *Kriogennoe stroenie chetvertichnykh otlozhenii Lenno-Aldanskoi vpadiny* [Cryogenic Structure of Quaternary Deposits of the Lena-Aldan Depression]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1984. 126 p.
- Kamaletdinov V.A., Minyuk P.S. Structure and characteristics of deposits of the Bestyakh terrace. *Byulleten' Komissii po Izucheniyu Chetvertichnogo Perioda*, 1991, vol. 60, pp. 68–78. (In Russ.).
- Kolpakov V.V. Quaternary palaeogeography of the lower Lena River. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved., Ser. Geol. Razved.*, 1966, no. 5, pp. 41–48. (In Russ.).
- Korzhuev S.S. *Geomorfologiya doliny srednei Leny i prilegayushchikh raionov* [Geomorphology of the Middle Lena River Valley and Adjacent Regions]. Moscow: Acad. Nauk Publ., 1959. 150 p.
- Lungersgauzen G.F. Stratigraphy of the Cenozoic deposits of the middle and lower Lena River and its delta. In *Soveshchanie po razrabotke stratigraficheskikh skhem Ja.ASSR* [Workshop on the Development of the Stratigraphic Division of the Yakutian ASSR]. Leningrad: VSEGEI Publ., 1961, pp. 178–182. (In Russ.).
- Puminov A.P. On the history of the river valleys of the lower sections of the Lena and Olenek Rivers. *Tr. NIIGA*, 1960, vol. 114(14), pp. 163–172. (In Russ.).

13. *Ruslovoi rezhim srednei i nizhnei Leny* [Fluvial Regime of the Middle and Lower Lena River]. Chalov R.S., Ed. Moscow: VINITI Publ., Dep. 2227–76, 1976. 178 p.
14. Spektor V.V., Bakulina N.T., Spektor V.B. Landforms and age of the Lena River alluvial cover at the ‘Yakut Robbery’. *Geomorphology RAS*, 2008, no. 1, pp. 87–94. (In Russ.).
15. Spektor V.V., Spektor V.B., Bakulina N.T., Parfenov M.I. The role of glaciers in the transformation of landforms of the Lena–Amga plain in Pleistocene and Holocene. *Nauka i Obrazovaniye*, 2015, no. 1, pp. 42–49. (In Russ.).
16. Strelkov S.A. *Sever Sibiri* [The North of Siberia]. Moscow: Nauka Publ., 1965. 336 p.
17. Ufimtsev G.F., Schetnikov A.A. The rivers had flowed from Baikal. *Priroda*, 2006, no. 6, pp. 49–54. (In Russ.).
18. Chalov R.S. *Ruslovedeniye: geografiya, teoriya, praktika* [River Channel Studies: Geography, Theory, Practices]. Moscow: LKI Publ., 2008. 606 p.
19. Chalov R.S., Zavatsky A.S., Ruleva S.N., Kirik O.M., Prokop'yev V.P., Androsov I.M., Sakharov A.I. Morphology, deformations and temporary modifications of the Lena River channel and its influence on the Yakutsk economic infrastructure. *Geomorphology RAS*, 2016, no. 3, pp. 22–35. (In Russ.). DOI: 10.15356/0435-4281-2016-3-22-35.
20. Chalov R.S., Kirik O.M. The transgressive and regressive movements of the islands and island clusters in the braided riverbeds at the wide floodplains. *Geomorphology RAS*, 2015, no. 2, pp. 16–27. (In Russ.). DOI: 10.15356/0435-4281-2015-2-16-27.
21. Costard F., Gautier E., Fedorov A., Konstantinov P., Dupeyrat L. An assessment of the erosion potential of the fluvial thermal process during ice breakups of the Lena River (Siberia). *Permafrost and Periglac. Process.*, 2014, vol. 25, no. 3, pp. 162–171. DOI: 10.0002/ppp.1812.
22. Tananaev N.I. Hydrological and sedimentary control over fluvial thermal erosion, the Lena River, Central Yakutia. *Geomorphology RAS*, 2016, vol. 253, pp. 524–533. (In Russ.). DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.11.009.
23. Tananaev N., Makarieva O., Lebedeva L. Trends in annual and extreme flows in the Lena River basin, Northern Eurasia. *Geophys. Res. Lett.*, 2016, vol. 43, pp. 10764–10772. DOI: 10.1002/2016GL070796.
24. Waters M.R., Forman S.L., Pierson J.M. Late Quaternary geology and geochronology of Diring Yuriakh, an Early Paleolithic site in Central Siberia. *Quaternary Res.*, 1999, no. 51, pp. 195–211.