

© 2016 г. Р.С. ЧАЛОВ¹, А.С. ЗАВАДСКИЙ¹, С.Н. РУЛЕВА¹, О.М. КИРИК¹,
В.П. ПРОКОПЬЕВ², И.М. АНДРОСОВ³, А.И. САХАРОВ⁴

МОРФОЛОГИЯ, ДЕФОРМАЦИИ, ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ РУСЛА р. ЛЕНЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ХОЗЯЙСТВЕННУЮ ИНФРАСТРУКТУРУ В РАЙОНЕ г. ЯКУТСКА

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
географический факультет, Москва, Россия

²Академия наук Республики Саха (Якутия), Якутск, Россия

³Ленское бассейновое водное управление, Якутск, Россия

⁴Администрация Ленского бассейна внутренних водных путей, Якутск, Россия
e-mail: makkaveev_lab@yandex.ru, vpprokojev@gmail.ru, androsovim@inbox.ru

Переформирования русла реки р. Лены в районе г. Якутска – одного из самых сложных в отношении русловых деформаций участков реки – носят направленный характер, что привело к постепенному “уходу” реки от города. В районе г. Якутска произошло преимущественное развитие системы правых рукавов, тогда как левые, на берегу которых находится город, мелеют, и это приводит к осложнениям в работе городских водозаборов, водных подходов к порту, осложнению судоходных условий и т.д. В настоящее время развитие русла р. Лены определяется: 1) трансформацией сопряженных разветвлений в параллельно-рукавные возле Якутска, прямолинейное неразветвленное выше и чередующиеся односторонние разветвления ниже по течению; 2) разнонаправленным смещением русла в районе Якутска – вправо с развитием правого рукава и на смежном участке выше по течению – влево с развитием пологой излучины; 3) трансгрессивным смещением пойменных островных массивов – их размывами с оголовков и удлинением ухвостьев, что приводит к обмелению левого рукава (Адамовской протоки) у г. Якутска и развитию здесь правого рукава.

Общие закономерности переформирования русла позволили разработать предварительную схему рекомендаций по выправлению сложившейся неблагоприятной ситуации на р. Лене у г. Якутска на основе управления русловыми процессами и создание условий для их развития в нужном направлении, а также обосновать программу детальных изысканий для проведения математического моделирования переформирования русла и проектирования гидротехнических мероприятий.

Ключевые слова: морфология и деформация русла, разветвления, развитие и обмеление рукавов, размывы берегов, управление русловыми процессами.

Вторая половина XX и начало XXI века ознаменовались повышенным интересом к исследованиям русловых процессов на конкретных реках, характеризующихся разными водностью и геоморфологическими условиями формирования русел, их устойчивостью, русловым режимом, антропогенными нарушениями и воздействиями на возможности использования водных и связанных с ними земельных, минеральных и других речных ресурсов. Эти исследования охватили как средние и малые, так и большие и крупнейшие реки (Обь, Северную Двину, Амур, Волгу, Лену, их основные притоки). Но если на начальных этапах они были связаны (в прикладном отношении) с решением водно-транспортных проблем, оценкой изменений русловых процессов вследствие создания гидроузлов, то со временем спектр задач существенно расширился. Возникла необходимость, наряду с традиционными подходами, оценивать и прогнозировать опасные и неблагоприятные последствия русловых деформаций, их влияние на развитие наводнений, ледовых заторов и других гидрологических явлений. Кроме того, были выявлены новые тенденции в развитии русловых процессов, вызванные изменениями природной среды, климата и хозяйственной деятельности, в той или иной мере преобразующими как сток воды и наносов, так и морфологическое строение самих русел, в том числе благодаря строительству дамб и берегозащитных сооружений, дноуглублению, намыву пойменных территорий, разработке русловых карьеров и т. д. Особенно остро проблема учета русловых процессов и управления ими для нейтрализации или предотвращения

их неблагоприятных последствий встала на реках, протекающих по экономически развитым районам и, в первую очередь, по урбанизированным территориям.

К рекам, на которые обращено особенно пристальное внимание, относится и Лена. Русловые процессы на ней получили широкое освещение в монографиях [1, 2] и многочисленных статьях [3–16]. При этом особый интерес был проявлен к участку реки в районе г. Якутска [3, 5, 8, 12, 16]. Он характеризуется сложно разветвленным руслом, подверженным интенсивным переформированиям, из-за чего постоянно изменяется морфология – развиваются одни и мелеют другие рукава, смещаются крупные формы руслового рельефа – побочни, осередки, перекааты, размываются берега, происходят заторы льда в улах разветвлений и т.д. Все это приводит к выходу из строя городского водозабора, созданию аварийных ситуаций на переходах через реку, неустойчивости и изменчивости положения судоходного фарватера, осложнениям в работе порта, паромной переправы и водных подходов к промышленным предприятиям. Разрушаются коммуникации, инженерные и коммунальные объекты на берегах, учащаются наводнения, которым подвержены и сам город, расположенный на высокой пойме и на намывных территориях, и населенные пункты в долине Туймаада (так в Якутии называется участок долины Лены между Табагинским утесом и Кангаласским Камнем).

Неблагоприятное развитие русла Лены для водного пути и всей связанной с городом хозяйственной инфраструктуры было впервые отмечено на основе исследований, проведенных в 1970-е гг. экспедицией МГУ им. М.В. Ломоносова по договору с Ленским бассейновым управлением пути (ЛБУП). Тогда же были разработаны прогнозные оценки русловых переформирований, согласно которым ожидалось обмеление тех рукавов, по которым обеспечиваются водные подходы к городу [3]. Продолжающиеся исследования экспедиции МГУ, регулярные съемки и промеры русла, выполняемые изыскательскими партиями Ленского БУП (ныне администрации “Ленводпути”), а также изыскательские работы различных проектных организаций позволили осуществлять по сути дела мониторинг Якутского водного узла. Были уточнены прогнозные оценки и осуществлены некоторые регуляционные мероприятия (в том числе разработка дноуглубительных прорезей), которые в определенной мере сдерживали естественное развитие неблагоприятных переформирований и, опираясь на временные флуктуации процесса, обеспечивали сохранение основного течения реки возле города. Однако переломить их ход эти мероприятия не могли, и в 2010-е гг. в районе Якутска сложилась критическая для города ситуация [12], а в 2015 г. река уже практически “ушла” от города. Вместе с тем выше и ниже по течению на всем протяжении морфодинамически однородного участка реки от Табагинского утеса до Кангаласского Камня (Якутский узел находится посередине его), где все русловые формы развиваются сопряженно, произошли переформирования, угрожающие функционированию существующих или проектируемых инженерных объектов и коммуникаций. Это потребовало выполнения руслового анализа для всего 80-километрового участка р. Лены, уточнения схем и прогнозных оценок переформирования русла с учетом происшедших изменений в морфологии русла, стабильности в развитии русловых форм, направленных и периодических русловых деформаций, связанных как с колебаниями водности и стока наносов, так и с глобальными их изменениями. Кроме того, в упомянутых публикациях рассматривалась в основном только центральная часть участка длиной 35–40 км – собственно Якутский водный узел вне связи с русловыми деформациями выше и ниже по течению. Прикладным итогом данного исследования должна стать разработка рекомендаций по управлению русловыми процессами и детальной программы изысканий для проектирования таких русловыправительных работ, которые позволили бы обеспечить на отдаленную перспективу устойчивое развитие всего хозяйственного комплекса на обоих берегах реки. Вместе с тем, результаты руслового анализа существенно расширяют представления о закономерностях формирования сложноразветвленных русел на крупнейших реках, а для р. Лены – о русловом режиме этой реки.

Общая характеристика русла и условий его формирования

На участке от Табагинского утеса до Кангаласского Камня (рис. 1) р. Лена относится к категории крупнейших рек. Ее среднегодовой расход составляет $7070 \text{ м}^3/\text{с}$, минимальный летний – $1930 \text{ м}^3/\text{с}$ (г.п. Табага). Уровни в половодье поднимаются над проектным (низкий меженный) до 9–11 м, вызывая затопление широкой поймы – двусторонней ниже сужения дна долины Табагинским утесом (8–8.5 км по левобережью и 6–7.5 км по правобережью), левобережной в районе г. Якутска (5–6 км) и снова двусторонней (8–10 и 5–7.5 км соответственно по левому и правому берегам) перед Кангаласским сужением дна долины, подвергая опасности наводнений г. Якутск и другие населенные пункты. Благодаря большой мощности льда (160–200 см) отмельные части русла промерзают до дна, что является причиной формирования на мелководьях многолетнемерзлых грунтов, существенно влияющих на темпы и направленность русловых деформаций [17].

Сужающие дно долины Табагинский утес и Кангаласский Камень вдаются в долину Лены в виде мысов, ограничивающих распространение левобережной поймы и низких надпойменных террас. Непосредственно ниже Табаги русло относительно прямолинейное (здесь и ниже принята морфодинамическая классификация МГУ [18]), слабоизогнутое в сторону левого берега; ширина его – 2–3.5 км. Лишь в тыловой части левобережной поймы проходит маловодная Табагинская протока, пересыхающая в межень. Правобережная пойма, напротив, расчленяется системой пойменных протоков на отдельные островные массивы, забирающие в межень не более 1.5% общего расхода воды в реке, но в половодье – до 30% [8]. Реку здесь пересекают трассы газопровода, ЛЭП, кабельные линии связи; существует проект строительства мостового перехода через Лену у Табагинского утеса.

Правый борт долины образует уступ 50-метровой Бестяхской террасы, к которому река подходит в центре участка, напротив г. Якутска. Здесь, начинаясь с отходящей

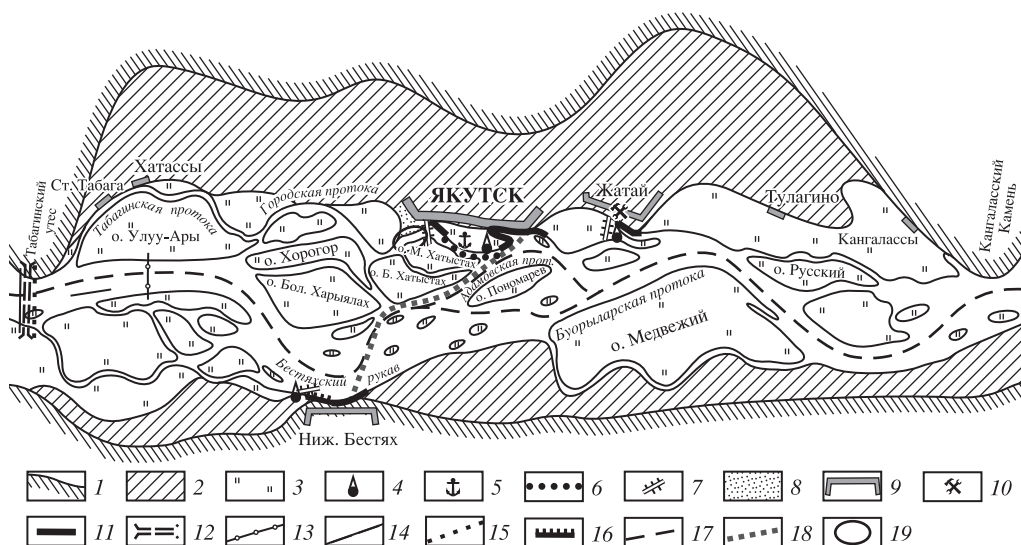


Рис. 1. Схема участка р. Лены и приречных территорий в районе г. Якутска (от Табагинского утеса до Кангаласского Камня – долина Туймаада)

1 – коренные берега и высокие террасы; 2 – высокая пойма и низкая терраса; 3 – пойма. Объекты хозяйственной инфраструктуры: 4 – водозабор; 5 – речной вокзал и порт; 6 – подходный канал к порту; 7 – дамбы; 8 – намывные территории; 9 – населенные пункты; 10 – Жатайский СРЗ; 11 – причалы, пристани и приречные предприятия; 12 – проектируемый мостовой переход; 13 – газопровод; 14 – ЛЭП; 15 – линия кабельной связи; 16 – берегозащитные сооружения; 17 – трасса судовой хода (2015 г.); 18 – трасса паромной переправы (2015 г.); 19 – рекреационная зона г. Якутска

влево Городской протоки, располагается обширное разветвление русла. Суммарная, вместе с островами, ширина русла колеблется в пределах от 10 до 6 км. Размеры островов самые разнообразные – от 8–10 до 0.5 км в длину. Крупные острова (Хорогор, Бол. Харыялах, Бол. и Мал. Хатыстах) составляют единый островной массив между Городской протокой и правым Бестяхским рукавом, расчлененный маловодными протоками суммарной водностью 5–10% в зависимости от фазы режима. Бестяхский рукав, в свою очередь, разделяется цепочкой осередков и островов на две ветви. Русло после слияния с Городской протокой большим о-вом Пономарев делится на два рукава. Левый – Адамовская протока – подходит к нижней части города (в ней располагается водозабор, устье подходного канала к порту, многочисленные речные предприятия) и правый – Буорыларская протока. Вместе с разветвлением Бестяхского рукава осередками и островами эти протоки образуют параллельно-рукавное русло. Весь узел сложных разветвлений русла получил название Якутского разбоя.

На правом Бестяхском берегу, подверженному размыву, к Лене подходят Амуро-Якутская автомобильная магистраль и только что построенная железная дорога, находятся причалы паромной переправы, производственные сооружения связи и пос. Ниж. Бестях, частично спускающийся на пойму в нижней части рукава.

Ниже Якутского разбоя вплоть до Кангаласского Камня системы островов последовательно располагаются у левого, правого и снова левого берегов, оставляя в противоположной стороне реки основной по водности (до 90%) рукав, вследствие чего в плане русло напоминает извилистое, у которого шпоры излучин созданы системами островов. Это – чередующиеся односторонние разветвления; суммарная ширина реки (вместе с островами) здесь 6–8 км.

За первой группой островов на левом берегу ниже г. Якутска находятся пос. Жатай и Жатайский судоремонтный завод (СРЗ). На левобережной пойме между Жатаем и Кангалассами, являющейся единым консолидированным массивом, располагаются несколько небольших населенных пунктов, проходит шоссе Якутск–Кангалассы–Намцы. В пос. Кангалассы ведется разработка каменного угля, планируется размещение объектов территории опережающего социально-экономического развития (по программе развития Дальнего Востока). Правобережная пойма от Ниж. Бестяха до сужения дна долины у Кангаласского Камня, как и ниже Табаги, представлена островными массивами, разделенными маловодными пойменными протоками.

Изменения в морфологии русла по длине участка коррелируют с его устойчивостью. Наиболее сложному разветвленному руслу – Якутскому разбою, подверженному к тому же постоянным интенсивным переформированиям, – соответствуют самые низкие показатели устойчивости – коэффициент стабильности русла Н.И. Маккавеева:

$$K_c = \frac{d}{b_p I} \cdot 1000 = 2.8 - 4.5,$$

где d – крупность наносов, мм; b_p – ширина русла, м; I – уклон; а само русло относится к неустойчивому [1]. Выше и ниже по течению русло слабо устойчивое ($K_c = 5-10$) или даже (в районе Табаги) относительно устойчивое ($K_c > 10$).

Ретроспективный анализ и современные переформирования русла

Анализ картографических материалов и планов русла, зафиксировавший последовательное состояние русла Лены на разные временные срезы, начиная с 20-х годов XX в., описания реки с середины XIX в. (в том числе сделанные И.А. Гончаровым в книге «Фрегат “Паллада”»), аэро- и космических снимков, позволивших восстановить по рельефу поймы, растительности на ней и другим признакам прежние положения русла, показал, что за 100–150 лет его морфологический облик претерпел существенные изменения, охватившие также и смежные участки выше по течению – вплоть до г. Покровска. Если в настоящее время между Табагинским утесом и Кангаласским Камнем сменяют друг

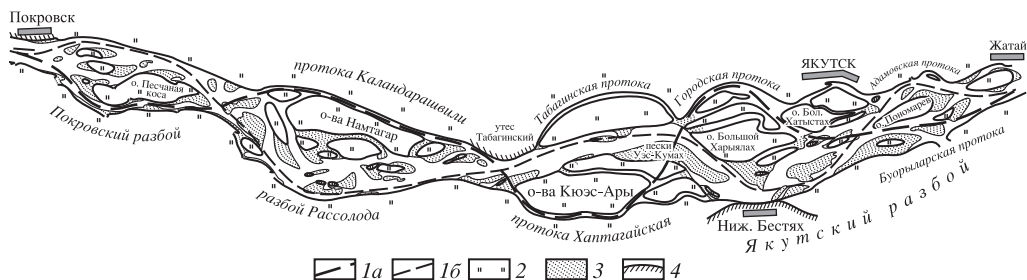


Рис. 2. Схема сопряженных рукавов в XIX–начале XX вв. на р. Лене от г. Покровска до Кангаласского Камня

1 – оси основных рукавов (а, б); 2 – поймы; 3 – прирусловые отмели; 4 – коренные берега

друга относительно прямолинейное неразветвленное русло, параллельно-рукавное и чередующиеся односторонние разветвления, то в XIX в. формирование русла здесь шло по схеме развития сопряженных рукавов возле следующих друг за другом островов или их серий (рис. 2): если у верхнего острова (звена системы) преимущественное развитие получил правый рукав, то у нижележащего – левый (или наоборот) и т.д.

Трансформация русла происходила постепенно, растянувшись на длительный отрезок времени. Судя по рельефу поймы и положению пойменных ответвлений, еще в середине XIX в. произошло отмирание верхнего на участке Табагинского звена сопряженных рукавов: здесь обмелел правый рукав, ныне образующий Хаптагайскую пойменную протоку, расчленяющую правобережную пойму. Эта протока выше по течению сопрягалась с левобережной протокой Каландарашвили в “разбое” Рассолода, а та – с правым рукавом (ныне также пойменной протокой) ниже г. Покровска. Можно полагать, что в первой половине XIX в. Лена выше г. Якутска представляла собой систему сопряженных рукавов, состоящую из пяти звеньев, образованных о-вами Сюге-Ойосо (Песчаная коса) в Покровском “разбое”, Намтагар в “разбое” Рассолода, Кюэс-Ары ниже Табаги, Харыялах-Хатыстах (первый) и Пономарев (второй) в Якутском. Основными (большими по водности) в то время были рукава правый – левый (протока Каландарашвили) – правый (протока Хаптагайская) – левый (протока Городская) – правый (протока Буорыларская).

Изменения морфодинамического типа главным образом произошли к началу XX в., и уже на картах 1920-х гг. русло от Табагинского утеса до захода в Городскую протоку изображено как относительно прямолинейное, неразветвленное, а ниже о-ва Пономарев и до Кангаласского Камня – как чередующиеся разветвления. В Якутском разбое сопряженные разветвления сохранялись еще в 1920-е гг.: верхнее их звено было образовано левой Городской протокой и правым Бестяхским рукавом, нижнее – Адамовской и Буорыларской протоками, огибающими о-в Пономарев. Городская протока представляла собой по ширине и водности равноценный рукав с правым Бестяхским рукавом. В ней был проложен судовой ход, и г. Якутск располагался своей исторической частью на реке; ниже основным был правый рукав – Буорыларская протока.

В 1930–1940-е гг. происходит перераспределение стока в сторону правого Бестяхского рукава, водность Городской протоки заметно снижается, у о-ва Пономарев развивается левая Адамовская протока. К 1950–1960 гг. Городская протока обмелела и стала второстепенной пойменной, верхнее звено системы сопряженных рукавов по существу перестало существовать. Главное течение реки (около 90% расхода воды) стало полого переваливать от левого пойменного берега выше ее истоков к правому коренному у пос. Ниж. Бестях, формируя здесь Павловский пережат. Верхний побочень этого пережата образуют пески Уэс-Кумах, вытянутые вдоль правого берега в нижней части прямолинейного русла выше по течению, нижний – массивная прирусловая отмель, примыкающая к о-ву Бол. Харыялах – левому берегу Бестяхского рукава в его верхней части.

Бестяхский рукав характеризуется большой шириной (более 3 км, что в 3–4 раза больше, чем прямолинейное русло выше по течению) и неустойчивым руслом, представляя собой сплошной перекаточный участок с постоянно изменяющимся русловым рельефом. На этом фоне происходит деление потока на две ветви, разделенные цепочкой подвижных осередков, кос и небольшим островом Тигерях: левую приостровную и правую – вдоль Бестяхского коренного берега. Вместе с о-вом Пономарев эти осередки и о-в Тигерях составили новую сопряженную систему, в которой в верхнем звене преимущественное развитие получила правая ветвь (ее водность колеблется от 45 до 55% [8]), в нижнем звене – левая Адамовская протока. В обеих ветвях возле берегов регулярно возникают побочни, отклоняющие поток к отмелям посередине русла, способствуя их расчленению, перераспределению стока между ветвями по образующимся поперечным протокам, периодическому их углублению и обмелению, обуславливая постоянную миграцию судового хода, трассы паромной переправы Якутск – Ниж. Бестях и положения фронта размыва правого берега.

Состояние захода в правый Бестяхский рукав определяется деформациями прямолинейного неразветвленного русла между Табагинским утесом и заходом в Городскую протоку. Они заключаются в направленном смещении русла влево с постепенным развитием изгиба вследствие размыва берега со скоростью 4–5 м/год (только за 1970–2004 гг. он отступил на 150–200 м), а также в накоплении наносов у правого берега, образующих прирусловую отмель – пески Уэс-Кумах. В то же время ниже Табаги систематически формируется перекаат, смещающийся вдоль русла. Его левобережный побочень, надвигаясь на заход в Городскую протоку, способствует ее обмелению. Наоборот, правобережный побочень отклоняет стрежень потока к ее истокам, вызывая некоторое оживление протоки. На остальном протяжении прямолинейное русло носит плёсовый характер.

Чем круче становится изгиб левого размываемого пойменного берега, тем большее направляющее воздействие он оказывает на поток, направляя его в сторону правого берега у пос. Ниж. Бестях. В 1940-е – начале 1950-х гг. динамическая ось потока долго переваливала от левого пойменного берега к правому Бестяхскому. В последующее десятилетие (к 1963 г.) основной поток занял на перевале более крутое положение по отношению к правому берегу. Вследствие удлинения песков Уэс-Кумах и их зарастания (при одновременном размыве оголовка о-ва Бол. Харыялах) место начала перевала потока с каждым годом оказывалось все ниже по течению. Оно смещалось от истока Городской протоки к оголовку островного массива, вследствие чего его подход к правому берегу оказался в 2012 г. на 2,5 км ниже, чем он был в 1972 г. Скорости размыва за 1972–1989 гг. оголовка о-ва Бол. Харыялах составили 9–18 м/год. В результате за 17 лет он отступил на 300 м (табл. 1).

В Бестяхском рукаве эти переформирования сопровождалось регрессивным удлинением цепочки осередков посередине русла и отторжением от правого берега в его верхней части крупного правобережного побочня (рис. 3). Это привело к окончательному оформлению на всем его протяжении двух ветвей потока и развитию вдоль них субпараллельных ложбин. Осередки посередине русла, смещаясь, объединяясь косами, растущими в их ухвостьях, и частично закрепляясь растительностью, и о. Тиг-

Таблица 1

Размывы берегов р. Лены в районе г. Якутска

Участок размыва	Скорость размыва, м/год	Величина отступления, м (период)
Левый пойменный берег выше захода в Городскую протоку	4–5	150–200 (1970–2004 гг.)
Оголовки о-ва Бол. Харыялах	9–18	300 (1972–1989 гг.)
Правый Бестяхский берег	4–8, местами до 20	150 (1970–1990-е гг.)
Оголовки о-ва Пономарев	10–15	1000 (1972–2010 гг.)

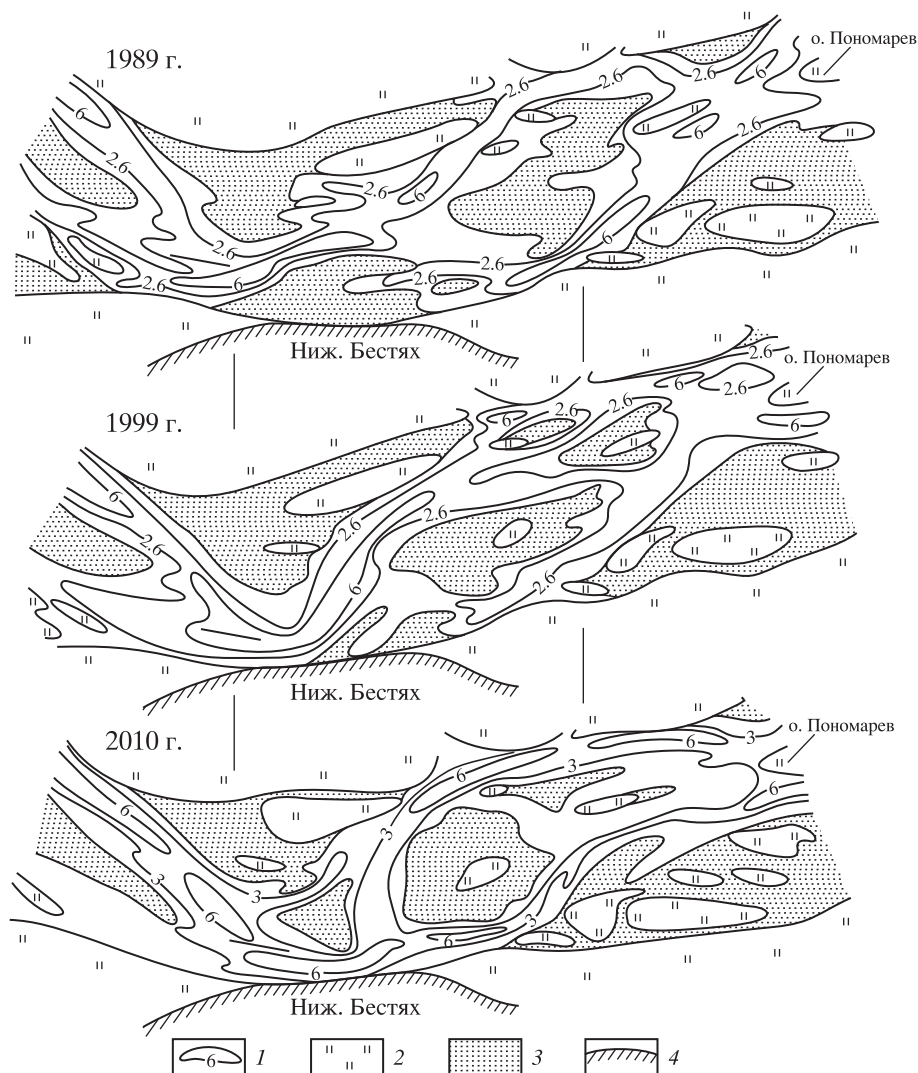


Рис. 3. Переформирования Бестяхского рукава в 1989–2010 гг.

рях в Бестяхском рукаве к началу 2000-х гг. создали сплошную цепочку отмелей и островов и вместе с нижерасположенным о. Пономарев образовали в Якутском разбье параллельно-рукавное разветвление. При этом с 1970-х годов и до настоящего времени происходит постепенное направленное развитие правой ветви течения и правого рукава у о-ва Пономарев, по существу отражая тенденцию общего смещения русла в сторону правого берега. На этом фоне периодически активизируется левая ветвь в приостровной части Бестяхского рукава. Например, в 2010–2011 гг. здесь проходило 56% расхода воды, тогда как водность правой составляла 37%. Однако по протокам между осередками происходил частичный переток воды в правую ветвь, и в низовьях Бестяхского рукава она оказывается самой многоводной. Но в любом случае при сосредоточении большей части расхода воды вдоль правого берега отмели посередине русла препятствуют перемещению потока в левую Адамовскую протоку, направляя его в правую Буорыларскую у о-ва Пономарев, вызывая его развития, углубление и размыв в нем перекатов. Подобная ситуация сложилась уже к середине 1980-х гг.,

Изменение водности (в %) рукавов р. Лены у г. Якутска в межень

Рукав, протока	Годы				
	1972	середина 1980-х	2010	2013	2015
Адамовская	70	40 (половодье) 30	35	30	40
Буорыларская	30	60 (половодье) 70	65	70	60

когда доля расхода воды в Адамовской протоке составила в половодье немногим более 40%, а в низкую межень – 30% (табл. 2).

Эти переформирования сопровождаются интенсивным размывом оголовка о-ва Пономарев, который за 40 лет (1972–2012 гг.) отступил почти на 1 км (табл. 1). В то же время рост побочня на заходе в Адамовскую протоку (в ухвостье о-ва Мал. Хатыстах между Бестяхским рукавом и Городской протокой) составил более 2 км (рис. 4), что привело к потере рейда Якутского порта и обмелению городского водозабора, оказавшегося в затонской части переката. Вместе с тем фронт размыва левого берега в Адамовской протоке сместился вниз по течению, что привело к смыву находящегося в ее нижней части о-ва Софон и создало определенные трудности для функционирования расположенной здесь приречной хозяйственной инфраструктуры. В то же время Буорыларская протока из относительно маловодной, изобилующей перекатами, в пределах которых меженное русло делало несколько крутых извилин, приобрела плёсовый характер (рис. 5). Только перед ее слиянием с Адамовской протокой имеется вторичное разветвление о-вом Сахалин – следствие местного расширения русла, растекания потока и снижения его транспортирующей способности в узле слияния рукавов. В конце навигации 2015 г. встал вопрос о переводе в нее судоходного фарватера. Но это связано уже с удлинением подходов к Якутскому порту и трассы паромной переправы Якутск–Ниж. Бестях и выполнением внетранзитных дноуглубительных работ.

Таким образом, в настоящее время развитие русла р. Лены определяется: 1) трансформацией сопряженных разветвлений в параллельно-рукавное русло в Якутском разбое, прямолинейного неразветвленного выше и развитием чередующихся односторонних разветвлений ниже по течению; 2) разнонаправленным смещением русла: в сторону правого берега и преимущественным развитием в связи с этим ветви течения вдоль правого берега у пос. Ниж. Бестях и Буорыларской

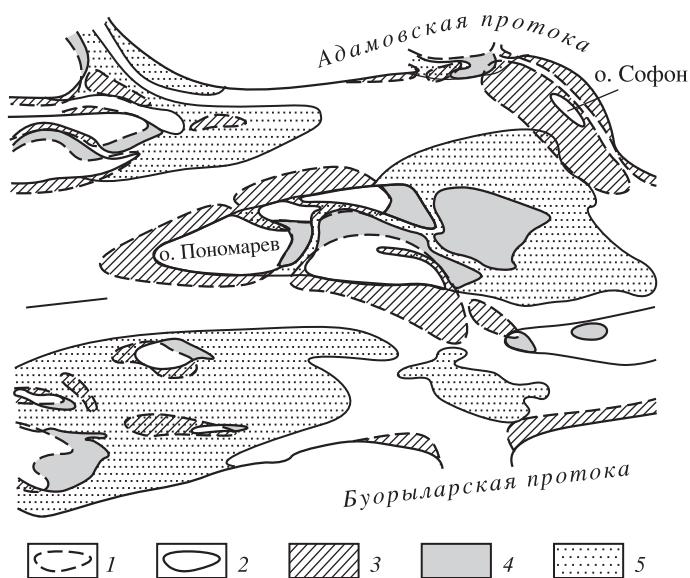


Рис. 4. Размывы берегов, формирование прирусловых отмелей и поймы в разветвлении русла о-вом Пономарев

Контуры русла: 1 – в 1972 г., 2 – в 2009 г.; 3 – размываемые участки; 4 – вновь образованная пойма; 5 – прирусловые отмели

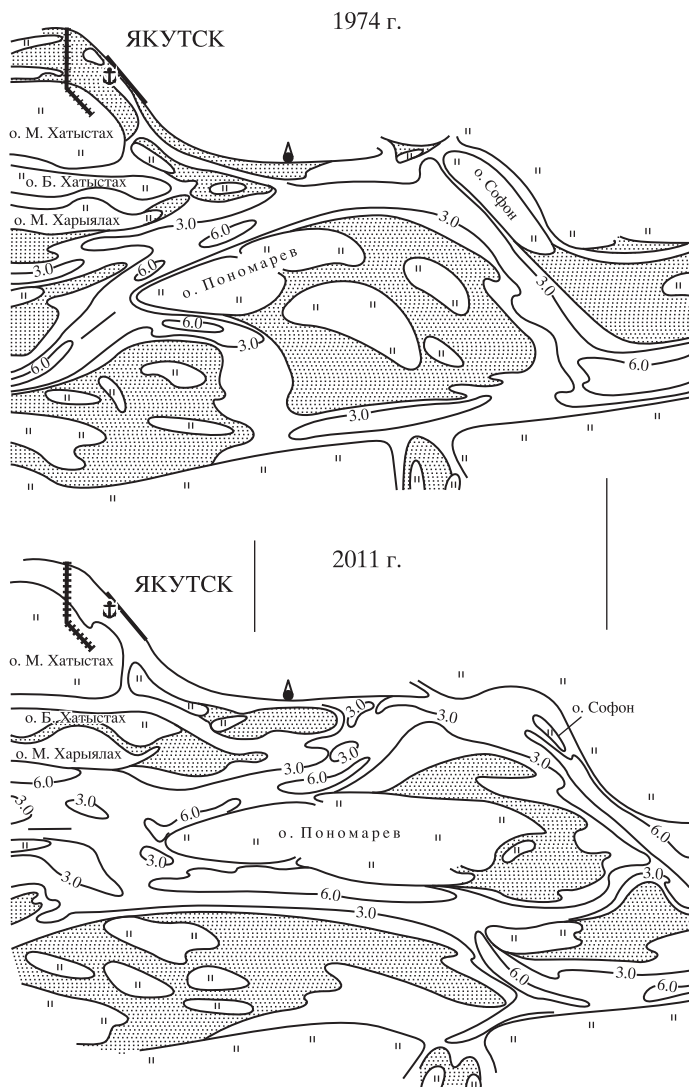


Рис. 5. Переформирования Адамовской и Буорыларской проток в разветвлении русла о-вом Пономарев в 1974–2011 гг.

к разрывам левобережных островов, поймы и ликвидации затона у пос. Жатай, в котором находится крупнейший на р. Лене судостроительно-судоремонтный завод. Однако определение той или иной тенденции требует специальных изысканий.

Далее ниже по течению русло относительно стабильное и его переформирования заключаются в медленном смещении островных массивов, образующих чередующиеся разветвления вплоть до Кангаласского Камня. В конце XIX в. – на рубеже 20-х гг. XX в. здесь также произошло развитие одних и отмирание других рукавов и, по-видимому, трансформация сопряженных разветвлений в чередующиеся односторонние, после чего здесь имели место только лишь местные изменения, связанные с режимом перекатов. Наиболее активные переформирования характерны для переката непосредственно перед Кангаласским Камнем в узле слияния рукавов и проток вышерасположенного разветвления русла, находящегося под влиянием подпора от сужения дна долины.

протоки и в сторону левого берега с постепенным развитием пологой излучины между Табагинским утесом и заходом в Городскую протоку; 3) трансгрессивным смещением пойменных островных массивов, размывами их оголовков и формированием обширных прирусловых отмелей в ухвостьях. Очевидно, что в ближайшей перспективе можно ожидать (без проведения гидротехнических мероприятий) окончательного обмеления Адамовской протоки и превращения ее в аналог современной Городской протоки. В то же время сосредоточение всего расхода воды в Буорыларской протоке может привести к формированию в ней параллельно-рукавного разветвления. Его основу составит о-в Сахалин в низовьях протоки и острова на заходе в нее, ныне объединенные обширной отмелью.

Ниже о-ва Пономарев переформирования русла могут идти в двух направлениях: 1) правое, которое обеспечит выход из Буорыларской протоки в плёсовую ложину, при слиянии рукавов; 2) левое, которое приведет

Наибольшая глубина устанавливается здесь при смещении корыта переката в крайнее нижнее положение; в верхнем положении оно попадает под влияние кос в ухвостье верхнего побочня и мелеет, требуя разработки прорезей для обеспечения глубин по трассе судового хода [1].

Причины трансформации, факторы деформаций и прогнозные оценки перестроений русла

Происшедшие во второй половине XIX – начале XX в. изменения положения основных, развивающихся рукавов на всем рассматриваемом участке представляют собой закономерное для сопряженных разветвлений явление [19]. Задержка во времени углубления одного и обмеление другого рукавов в разных звеньях системы, очевидно, связана с промерзанием мелководных участков и необходимостью оттаивания донных грунтов.

На эволюцию русла накладывает отпечаток общее врезание реки со скоростью в среднем течении Лены около 0.5 мм/год, установленное по анализу кривых связей расходов воды и уровней [20]: глубинная эрозия, в первую очередь, из-за различий в транспортирующей способности потоков проявляется в основных рукавах, тогда как маловодные мелеют и превращаются во второстепенные протоки. В начале рассматриваемого участка (Табагинский утес – заход в Городскую протоку) сказывается местное увеличение уклонов во время половодья из-за растекания потока по широкой пойме ниже сужения дна долины в створе Табагинского утеса: разница в подъеме уровней на г.п. Табага и г.п. Якутск составляет около 2 м; соответственно добавочное падение достигает 5 см/км. Следствием этого является формирование глубокого (плёсового) прямолинейного неразветвленного русла, продукты размыва которого (в том числе размыва левого берега) и транзитные наносы выносятся вниз по течению в пределы Якутского разбоя. По расчетам Н.И. Алексеевского [8], здесь аккумулируется 2 млн т влекомых наносов, что проявляется в неустойчивости русла, формировании обширных смещающихся осередков, побочней, кос и сложном режиме русловых деформаций. Но если до 1970-х гг. эти отмели и молодые острова создавали вместе с о. Пономарев сопряженные разветвления, то с конца XX в. последние трансформировались в параллельно-рукавные. Этому, очевидно, способствовало установленное Д.В. Магрицким [21] увеличение в 1980–2013 гг. стока воды на нижней Лене во все сезоны и в целом за год на 39 км³ (из них 43% приходится на увеличение водности по г.п. Табага, остальное – на притоки) и стока взвешивания наносов – на 5.85 млн т. Одновременно отмечены рост теплового стока и температуры воды, что способствует оттаиванию донных грунтов в русле. По-видимому, поэтому произошло отторжение в начале Бестяхского рукава от правого берега большого побочня, имевшего ядро из многолетнемерзлых грунтов и в течение десятилетий не менявшего своего положения.

Очевидно, что между Табагинским утесом и заходом в Городскую протоку в перспективе будет продолжаться размыв левого пойменного берега и формирование пологой излучины. Вместе с размывом оголовка о-ва Бол. Харыялах это будет обеспечивать мощное поступление наносов в Якутский разбой. В его пределах, в том числе благодаря усилению направленности воздействия на поток левого берега по мере развития излучины, сохранится и даже усилится многолетняя тенденция углубления русла вдоль правой ветви течения в Бестяхском рукаве, а далее, в параллельно-рукавном разветвлении – правой Буорыларской протоки. Уже в настоящее время по сравнению с 2000 г. плесовая ложина в ней удлинилась более чем на 2.5 км. В нижней части протоки о-в Сахалин разделяет ее русло на две ветви, причем заход в правую осуществляется под углом 90°, тогда как левая служит прямым продолжением плесовой ложины. При смещении правобережных побочней здесь можно ожидать развития левой протоки у о-ва Сахалин (между ним и ухвостьем о-ва Пономарев), хотя возможен и иной сценарий развития Буорыларской протоки по мере увеличения ее водности, о чем говорилось выше.

Аккумуляция наносов в Якутском разбое обеспечивает их дефицит и повышенную устойчивость русла ниже о-ва Пономарев. Даже условия подпора, возникающие перед сужением дна долины у Кангаласского Камня (здесь подъем уровня воды в половодье почти на 2.5 м выше, чем по г.п. Якутск [1]) не проявляется в морфологии русла, сказываясь только в режиме расположенного здесь переката.

Влияние русловых процессов на хозяйственную инфраструктуру

Почти на всем протяжении рассматриваемого участка переформирования русла негативно сказываются на функционировании речных водохозяйственных и воднотранспортных объектов, а также приводят к опасности разрушений береговых коммуникаций, инженерных и коммунальных сооружений. Между Табагинским утесом и заходом в Городскую протоку размыв левого пойменного берега угрожает провисанием магистрального газопровода, место заглубления которого под русло уже сейчас находится всего в 40–60 м от него (при скорости отступания 4–5 м/год это произойдет уже через 10–12 лет). Кроме того, при сооружении подводного перехода не были учтены, во-первых, естественное углубление русла у вогнутого берега развивающейся излучины и, во-вторых, наличие мерзлого грунта в русле, образующего своеобразную платформу, выступающую в реку со стороны размываемого берега [22]. В результате трубопровод оказался проложенным по дну без должного заглубления его под толщу донного аллювия.

Ближе к Табаге деформации русла привели к смыву небольшого острова, на котором была установлена опора ЛЭП. В настоящее время она находится в русле в непосредственной близости к трассе фарватера, создавая аварийную ситуацию как для самой себя, так и для проходящих судов.

В Бестяхском рукаве русловые переформирования обуславливают неустойчивость судового хода, который постоянно меняет свое положение (рис. 6). Также регулярно изменяется трасса паромной переправы Якутск–Ниж. Бестях и местоположение ее причалов на правом берегу из-за периодического обмеления подходов к ним или размыва берега. Фронт размыва правого берега со скоростью отступания 6–8 м/год распространится на всю протяженность жилого поселка, охватывая как пойменные участки, так и уступ высокого коренного берега, разрушая или создавая угрозу разрушения жилым домам, производственным зданиям и коммуникациям.

В нижней части г. Якутска, выходящей к левому берегу Адамовской протоки, основным негативным следствием происходящих переформирований являются обме-



Рис. 6. Изменения положения судового хода в Якутском разбое за 1929–2015 гг.

1 – 1929 г.; 2 – 1947 г.; 3 – 1958 г.; 4 – 1963 г.; 5 – 1972 г.; 6 – 1982 г.; 7 – 1989 г.; 8 – 1999 г.; 9 – 2010 г.; 10 – 2015 г.

ление городского водозабора, оказавшегося в затонине переката, к тому же являющейся продолжением подходного канала к порту, утрата рейда Якутского порта и постоянное удлинение подходов к нему. Если трасса фарватера перейдет в Буорыларскую протоку, внеплановый судовой ход будет проходить по Адамовской протоке, и его общая длина составит более 12 км; соответственно существенно удлинится трасса паромной переправы. Для поддержания глубин и борьбы с заносимостью подходов к речному порту потребуется регулярное землечерпание, которое будет способствовать сохранению водности этой протоки, ухудшая в итоге условия судоходства в Буорыларской из-за искусственного снижения ее водности.

Ниже о-ва Пономарев переформирования русла при слиянии Адамовской и Буорыларской протоки могут привести к активизации левого рукава у о-ва Жатайского, в нижней части которого находится затон Жатайского СРЗ.

Кроме отмеченных неблагоприятных последствий переформирования русла р. Лены, размывы берегов, создающие опасность разрушения населенных пунктов и коммуникаций (автомобильная дорога Якутск–Табага–Покровск и Якутск–Кангалассы–Намцы), наблюдаются по пойменным протокам Табагинской, Тулагинской и др., а также в Городской протоке, в которой фронт размыва со скоростью 1–1.5 м/год длиной около 1.5 км протягивается вдоль микрорайона Пригородный г. Якутска.

С разветвленным руслом, изгибами рукавов между островами и сужением дна долины Кангаласским мысом связано образование ледовых заторов и наводнения в г. Якутск, пос. Жатай и других населенных пунктах. Наиболее крупные заторы с подъемом уровней до 11 м наблюдаются в односторонних чередующихся разветвлениях на перевале основного русла от левого к правому берегу и непосредственно перед Кангаласским Камнем. Помимо затопления, они способствуют активизации в половодье пойменных протоков и, соответственно, размывам берегов в них возле подверженных наводнениям поселений [23].

Заключение

Складывающиеся неблагоприятные условия для всего Якутского водотранспортного и водохозяйственного участка (от Табагинского утеса до Кангаласского Камня) требуют кардинальных мер по регулированию русла. В противном случае река (главное ее течение) окончательно уйдет от города и речной порт, водозабор, портовые сооружения и причалы окажутся в относительно маловодной и мелкой Адамовской протоке. Подобная ситуация наметилась еще в начале 1980-х гг., и в то время можно было предотвратить столь нежелательное развитие русла с меньшими техническими усилиями и экономическими затратами. Тогда же была дана прогнозная оценка изменения русла и предложена схема дноуглубительных и выправительных работ [3], которая не была реализована, но, с учетом происходящих переформирований, корректировалась и уточнялась [1, 8, 9, 12]. В известной мере это связано с тем, что при общей направленной тенденции “ухода реки от города” периодически происходила некоторая кратковременная активизация Адамовской протоки, создававшая иллюзию возможного улучшения всей ситуации. С другой стороны, экономическая ситуация 1990-х – начала 2000 гг. не позволяла провести необходимые для проектирования изыскания и разработать соответствующий проект. В результате было упущено время, и сейчас требуются кардинальные техногенные вмешательства, которые могут переломить ход естественных деформаций. Главной задачей этих работ должно быть возвращение главного течения реки в Адамовскую протоку, гидроморфологические характеристики которой должны быть примерно такими же, какие они были до середины 70-х гг. XX в.

Для решения задачи предлагается в первом приближении: 1) разработать капитальные прорезы вдоль правого берега в Бестяхском рукаве с использованием отвалов грунта для повышения отметок правобережных отмелей и частичного перекрытия захода в Буорыларскую протоку; при промерзании они будут выполнять роль дамбы. Это, однако, не исключает вероятности строительства капитальной продольной направляющей дамбы, обеспечивающий вместе с изгибом правого Бестяхского берега движение потока к истокам Адамовской протоки, а также создания капитальных берегозащитных сооружений, предотвращающих

его размыв; 2) разработать капитальную прорезь перед заходом в Адамовскую протоку; отвалы грунта при этом надо укладывать на заход в Буорыларскую протоку в виде шпоры у оголовка острова Пономарев; 3) осуществить подрезку левобережного побочня на заходе в Адамовскую протоку, что, в конечном счете, должно привести к его ликвидации и увеличению пропускной способности протоки. Эти мероприятия должны выполняться в комплексе с работами по регулированию русла в створе перехода через Лену газопровода, стабилизации русла и предотвращению неблагоприятных переформирований у Жатайского СРЗ, разработкой мер по защите от размыва и наводнений населенных пунктов, расположенных по берегам второстепенных проток, и окраинных микрорайонов г. Якутска.

Выполнение подобных мероприятий в столь большом объеме беспрецедентно для такой большой реки, как Лена. Поэтому, прежде чем принимать окончательное решение, необходимо выполнение дополнительных натурных исследований (чтобы четко представлять себе современное состояние всего узла) математического и, возможно, физического моделирования. При этом модельный участок должен охватить весь фрагмент долины реки от Табагинского утеса до Кангаласского Камня, т. к. выборочное моделирование отдельных узлов не решит поставленную задачу. Только после этого можно приступить к разработке проекта управления русловыми процессами.

Благодарность. Работа выполнена по госконтракту с АН РС (Я) при частичной поддержке РФФИ (проект № 15-05-03752) и РНФ (проект № 14-17-00155).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водные пути бассейна Лены. М.: МИКИС, 1995. 600 с.
2. Чалов Р.С., Лю Шугуан, Алексеевский Н.И. Сток наносов и русловые процессы на больших реках России и Китая (Северная Двина, Обь, Лена, Хуанхэ, Янцзы). М.: Изд-во МГУ, 2000. 216 с.
3. Чалов Р.С. Эффективность прогноза переформирований сложноразветвленного русла и его практическое значение // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1981. № 4. С. 36–40.
4. Беркович К.М., Борсук О.А., Гаррисон Л.М., Кирик О.М., Лодина Р.В., Рулева С.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. Русловой режим и регулирование русла средней и нижней Лены // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 8. М.: Изд-во МГУ, 1981. С. 125–156.
5. Зайцев А.А., Чалов Р.С. Русловые процессы и регулирование русла р. Лены в районе г. Якутска // Водные ресурсы. 1989. № 5. С. 75–81.
6. Чалов Р.С., Бельй Б.В., Беркович К.М., Борсук О.А., Зайцев А.А., Кирик О.М., Лодина Р.В., Матвеев Б.В., Чернов А.В. Исследование руслового режима рек Ленского бассейна и разработка мероприятий по улучшению условий судоходства // Геоморфология. 1989. № 3. С. 37–45.
7. Зайцев А.А., Кирик О.М., Лодина Р.В., Сидорчук А.Ю., Чалов Р.С. Русловые процессы на р. Лене в условиях перехода от врезанного русла к широкопойменному // Водные ресурсы. 1991. № 6. С. 22–30.
8. Алексеевский Н.И., Зайцев А.А., Чалов Р.С. Баланс наносов, деформации и возможности регулирования разветвленного русла крупнейшей реки (на примере р. Лены в районе г. Якутска) // Тр. Акад. водохоз. наук. Вып. 3. М., 1996. С. 90–107.
9. Зайцев А.А., Кирик О.М., Чалов Р.С. Регулирование русла р. Лены // Тр. Акад. водохоз. наук. Вып. 5. М., 1998. С. 279–291.
10. Зайцев А.А., Борсук О.А., Кирик О.М., Лодина Р.В., Чалов Р.С. Русловые процессы на средней Лене (от Витима до Покровска) // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 13. М.: Изд-во МГУ, 2001. С. 203–228.
11. Ермакова А.С., Кирик О.М. Морфология и переформирования русла на Усть-Алданском участке р. Лены // Геоморфология. 2006. № 2. С. 62–73.
12. Чалов Р.С., Кирик О.М., Ильясов А.К., Ботавин Д.В. Якутский водный узел на реке Лене – проблемы русловых процессов: история, современность, перспектива, возможности управления // Водное хозяйство России. 2012. № 3. С. 44–56.
13. Чалов Р.С., Кирик О.М., Ильясов А.К., Ботавин Д.В., Броницкий В.И. Кыллахский разбой и Олекминские перекаты на р. Лене: русловые процессы и путевые работы // Речной транспорт (XXI век). 2012. № 3. С. 82–87.
14. Чалов Р.С., Кирик О.М., Ильясов А.К., Ботавин Д.В. Временная трансформация сложноразветвленного русла крупнейшей реки (на примере Приалданского участка р. Лены) // Геоморфология. 2014. № 1. С. 92–102.

15. Чалов Р.С., Кирик О.М., Ильясов А.К., Ботавин Д.В. Многолетние направленные и периодические деформации Белогорских перекатов на Лене и временная трансформация подходов к их выправлению // Речной транспорт (XXI век). 2014. № 2. С. 70–74.
16. Чалов Р.С., Кирик О.М. Ленские “разбои”: ретроспективный анализ, переформирования, прогнозные оценки и регулирование русла // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 19. М.: Изд-во МГУ, 2015. С. 294–338.
17. Тананаев Н.И. Сезонное и многолетнее промерзание русел рек криолитозоны и его влияние на русловые деформации // Эрозионное, русловые процессы и проблемы гидроэкологии. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2004. С. 195–201.
18. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
19. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД, 2011. 960 с.
20. Борсук О.А., Чалов Р.С. О врезании русла р. Лены // Изв. ВГО. 1973. Т. 105. Вып. 5. С. 452–456.
21. Магрицкий Д.В. Факторы и закономерности многолетних изменений стока воды, взвешенных наносов и теплоты нижней Лены и Вилуя // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 2015. № 6.
22. Беркович К.М. Влияние мерзлых грунтов на русловые деформации реки Лены // Первая Всесоюз. межвуз. конф. по проблеме “Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях”. М.: Изд-во МГУ, 1972. С. 76–77.
23. Завадский А.С., Хабидов А.Ш., Шлычков В.А. Создание информационной базы данных для разработки научных основ снижения негативного воздействия гидрологических и русловых процессов реки Лены на населенные пункты // Сб. докл. общерос. науч.-практ. конф. “Защита населения и объектов экономики от водной стихии северных рек”. Якутск: Дано-Алмас, 2013. С. 41–44.

Поступила в редакцию 02.02.2016

MORPHOLOGY, DEFORMATIONS AND TEMPORARY MODIFICATIONS OF THE LENA RIVER CHANNEL AND ITS INFLUENCE ON THE YAKUTSK ECONOMIC INFRASTRUCTURE

R.S. CHALOV¹, A.S. ZAVADSKY¹, S.N. RULEVA¹, O.M. KIRIK¹, V.P. PROKOP'YEV²,

I.M. ANDROSOV³, A.I. SAKHAROV⁴

¹*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*

²*Academy of Sciences Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia*

³*Lena Basin Water Directorate, Yakutsk, Russia*

⁴*Administration of the Lena Basin Inland Water-Ways, Yakutsk, Russia*

e-mail: makkaveev_lab@yandex.ru, vpprokopev@gmail.ru, androsovim@inbox.ru

Summary

Reconfigurations of the Lena river bed near Yakutsk city (one of the most complex part of the river concerning channel deformations) have directional character, and it caused gradual river drift away from the city. Development of the right-hand tributaries system mostly occurred near Yakutsk, meanwhile the left-handed ones (where the city is situated) grow shallow, and it leads to troubles in operation of municipal water intakes, water accesses to the city, complication of navigability etc. Nowadays the Lena river development is defined by: 1) transforming of the adjacent tributaries into parallel-channeled ones near Yakutsk, upfront not-forks in upper reaches and alternate one-sided forks in the lower reaches; 2) multidirectional river channel shift near Yakutsk – towards right with the right branch development, and towards left with development of shallow bend – on the adjacent section in upper reaches; 3) transgressive shift of the flood-plain island massives – its washaway from the heads and extension of the downstream ends, which lead to the shallowing of left branch (Adamovsky channel) near Yakutsk and development of the right-hand channel here.

General regularities of the river bed reconfigurations allowed to elaborate the trial scheme of recommendations to castigation of the present negative situation on the Lena river near Yakutsk city based on the river processes management and formation of conditions for its development in right direction, as well as to validate the program of detailed researches for the mathematic modelling of the river bed reconfigurations and engineering of hydrotechnical measures.

Keywords: river bed morphology and deformation, branching, branches development and shallowing, banks washaway, river bed processes management.

doi:10.15356/0435-4281-2016-3-22-35