УДК 556.53 627.1

«Разбой» Рассолода на р.Лена: русловой режим и управление им с целью улучшения водного пути

ТЕМА: **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ СЛОЖНО РАЗВЕТВЛЕННОГО РЕЧНОГО УЧАСТКА, ОБОСНОВАНИЕ МЕР ПО СТАБИЛИЗАЦИИ МЕСТНОЙ ТРАССЫ СУДОВОГО ХОДА И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ**

АВТОРЫ: **Р.С. ЧАЛОВ, д.г.н., профессор кафедры гидрологии суши (КГС), заведующий Научно-исследовательской лабораторией эрозии почв и русловых процессов (НИЛЭПиРП) им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова; А.С. ЗАВАДСКИЙ, к.г.н., ведущий научный сотрудник НИЛЭПиРП; Д.В. БОТАВИН, к.г.н., старший научный сотрудник НИЛЭПиРП; П.П. ГОЛОВЛЕВ, младший научный сотрудник НИЛЭПиРП; А.И. САХАРОВ, главный инженер ФБУ «Администрация Ленского бассейна»**

Исследования выполнены по планам НИР (ГЗ) КГС и НИЛЭПиРП МГУ имени М.В. Ломоносова, госконтракту МГУ с Росморречфлотом, проектами РНФ № 18-17-00086 («морфодинамика разветвленного русла») и РФФИ № 18-15-000487 («чрезвычайная ситуация»)

Река Лена – важнейшая воднотранспортная магистраль Восточной Сибири, по ней осуществляется «северный завоз» жизненно необходимых грузов. На значительном протяжении (850 км) среднего и нижнего течения характеризуется неустойчивым, сложным разветвленным руслом, постоянные деформации которого создают значительные трудности для судоводителей (при проводке флота в условиях постоянного изменения положения фарватера) и путейцев (при обеспечении гарантированных габаритов).

Уже в самом начале указанного участка, где только что произошла смена устойчивого врезанного галечно-валунного русла неустойчивым, широкопойменным, песчаным, расположен «разбой» (таким термином здесь называют многорукавное русло) Рассолода длиной почти 20 км, представленный параллельно-рукавным разветвлением, образованным многочисленными островами, в пределах которого формируются следующие друг за другом перекаты.

Тут поток делится на две основные ветви – левую, проходящую вдоль левого островного массива, и правую, тяготеющую к правобережной высокой пойме. Они отделены друг от друга цепочкой островов и осередков, по поперечным протокам между которыми реализуется гидравлическая связь обоих ветвей течения. Кроме того, сток реки рассредоточивается по системе второстепенных проток среди левобережных островов. Смещение песчаных отмелей обусловливает сильное искривление судового хода, периодическое его обмеление и постоянное изменение положения (рис. 1). Отсутствие опорных берегов практически на всем протяжении «разбоя», наличие многочисленных проток как посередине акватории, так и расчленяющих особенно левобережную пойму, возникающие при этом нерабочие емкости, а также большая суммарная ширина реки усугубляют сложность данного места, являющегося одним из самых затруднительных для движения флота на средней Лене.

Современный морфологический облик «разбой» Рассолода приобрел сравнительно недавно – в середине XX века. Еще 100-150 лет назад он представлял собой одно из звеньев (второе, считая сверху по течению) сопряженных разветвлений, составляющих единую систему от г.Покровск до Кангаласского камня – Покровско-Якутского водного узла (рис. 2), развивающуюся по правилу «восьмерки» [5]: если у верхнего острова (звена системы) преимущественное развитие получил правый рукав, то у нижележащего – левый (или наоборот) и т.д.

Судя по рельефу пойм и положению пойменных ответвлений, еще в середине XIX столетия левобережная пойменная протока Каландарашвили в «разбое» Рассолода сопрягалась ниже Табагинского утеса, замыкающего «разбой», с правым рукавом, ныне образующим Хаптагайскую пойменную протоку. В 1-й половине XIX века Лена выше г.Якутск представляла собой сопряженные разветвления из 5 звеньев, созданных островами Сюге-Ойосо (Песчаная коса) в Покровском разветвлении, Намтагар в «разбое» Рассолода, Кюэс-Ары ниже Табагинского утеса, Харыйалах-Хатыстах и Пономарев в Якутском «разбое»; основным (большим по водности) в то время в «разбое» Рассолода был левый рукав – протока Каландарашвили.

Переформирования русла с конца XIX и в XX веке привели к той ситуации, когда в «разбое» Рассолода основной рукав Каландарашвили превратился во второстепенную маловодную пойменную протоку; большая часть стока реки сосредоточилась в широком правом рукаве, разделившись в нем небольшими островами и осередками на две ветви и, по существу, сформировав ко 2-й половине XX столетия (хотя окончательно этот процесс не завершился еще и во втором десятилетии XXI века) параллельно-рукавную (двухпотоковую) систему; левобережные рукава, в том числе бывший основным – протока Каланда-

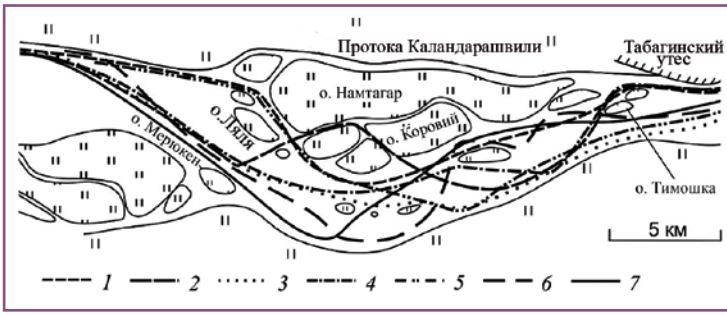

Рис. 1. Изменения положения судового хода в «разбое» Рассолода: 1 – 1934 г., 2 – 1951 г., 3 – 1972 г., 4 – 1982 г., 5 – 2000 г., 6 – 2010 г., 7 – 2017 г.

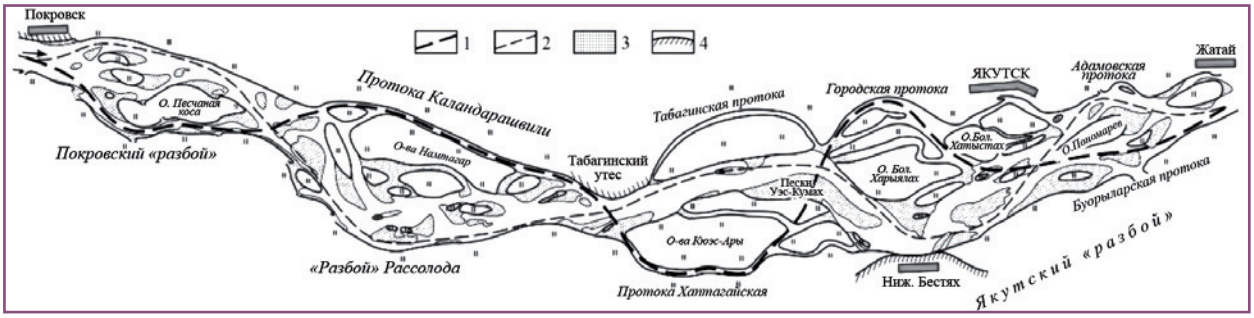

Рис. 2. Схема сопряжения рукавов в XIX – начале XX веков на р. Лена от г.Покровск до г.Якутск: 1, 2 – оси основных рукавов; 3 – прирусловые отмели; 4 – коренные берега

рашвили, окончательно превратились во второстепенные маловодные пойменные протоки (рис. 3).

Незавершенность формирования параллельно-рукавной системы в правом рукаве «разбоя» Рассолода проявляется в относительно стабильном расположении на 1695-1689 км судового хода возле правого берега обширной прирусловой отмели, объединяющей несколько небольших островов, отделенной от берега мелководным побочневым протоком и выдвигающейся в русло почти на половину его ширины. Эта отмель разделяет «разбой» и соответствующий ему перекатный участок на две части, развитие которых происходит в известной мере автономно, определяясь сужением русла данной отмелью. Согласно материалам экспедиции МГУ, основу указанной отмели составляют многолетнемерзлые грунты, определяющие ее относительно стабильное положение. Отмеченная многими исследователями деградация мерзлоты в русле Лены, связанная с повышением теплового стока реки, повышением температуры мерзлых грунтов и общим глобальным потеплением в конце XX века [2, 4], очевидно, со временем приведет к отторжению отмели от правого берега и развитию правобережного побочневого протока (подобное произошло ниже по течению в Бестяхском рукаве Якутского «разбоя») [7]. В результате параллельно-рукавная система на участке Рассолода сформируется окончательно и будет определять как общие деформации русла, так и режим отдельных перекатов. На это будет накладываться периодическое развитие поперечных проток, расчленяющих вытянутую посередине реки цепочку островов и осередков (верхний в ней в настоящее время – о.Ляля, нижний – о.Тимошка), и отмелей, объединяющих небольшие элементарные острова: Маленький, Артема, Сухой, Федора, безымянный.

К другим факторам, определяющим режим рукавов и развитие перекатов в «разбое» Рассолода, относятся три следующих.

Первый – интенсивный размыв непосредственно перед «разбоем» левого пойменного берега, возле которого сосредоточивается большая часть расхода воды Лены (между «разбоями» Покровским и Рассолода), оставляя справа пойменные острова, среди которых самый крупный – о.Песчаная коса, бывший в конце XIX столетия верхним звеном сопряженных разветвлений, а протока за ним – основным судоходным рукавом. Левый пойменный берег, сложенный песчаными отложениями, размывается со скоростью до 10 м/год, при фронте размыва в 17 км, ежегодно поставляя в русло почти 1 млн. м^3 наносов, определяющих сезонные и многолетние переформирования верхней части «разбоя» и находящихся в ней перекатов.

Второй – резкое расширение русла (до 3 км), перевал потока к правому пойменному берегу и существование пойменных островов и проток, расчленяющих левобережную пойму. На этом фоне развивается русловая многорукавность параллельно-рукавного типа. Данное обстоятельство, а также чередование местных очагов поступления наносов из-за размыва островов и поймы и их аккумуляция препятствуют консолидации потока, способствуя его разделению на несколько динамических осей.

Третьим фактором, определяющим многолетнюю динамику русла в «разбое» Рассолода, является резкое сужение дна долины Табагинским утесом и выклинивание левобережной поймы. Возникающий подпор потока половодья и связанная с ним аккумуляция наносов в нижней части участка, а также заторы в период ледохода, «игра» уклонов (по образному определению Н.И. Маккавеева) на спаде уровней от половодья к межени в совокупности с другими факторами серьезно усложняет процесс обеспечения навигационных условий.

В верхней части «разбоя» Рассолода главное течение реки от левого ведущего пойменного берега направляется в правый рукав. Рост и смещение правобережного побочня (верхнего для переката Ляля, находящегося на заходе в «разбой») непосредственно выше по течению со скоростью до 700-800 м/год приводило в 1970-1980-е годы к соответствующему смещению судового хода, который в начале «разбоя» периодически прижимался к о.Ляля, входившему в то время в систему левобережных островов (Ляля, Сваадык, Намтагор, Мастыр, Коровий и др.) и являвшегося верхним среди них. Одновременно в правой стороне русла формировалась длинная затонина. Благодаря большому поперечному уклону между руслом вдоль левого берега и затониной происходило периодическое отторжение нижней части побочня, которая причленялась к оголовку о.Ляля. После этого начинался новый этап удлине-

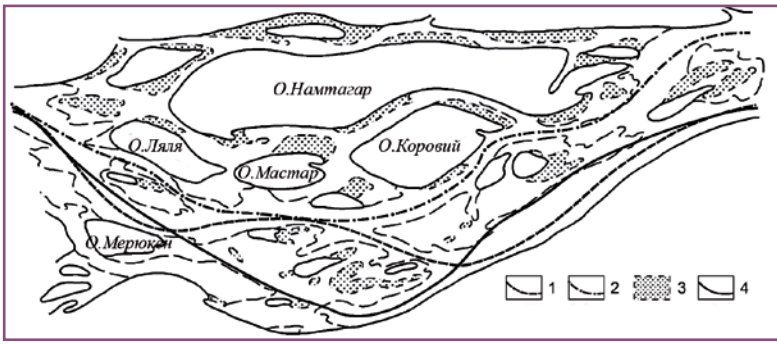

Рис. 3. Параллельно-рукавное разветвление в «разбое» Рассолода в 1970-е г.: 1 – судовой ход; 2, 4 – динамические оси левой и правой ветвей течения потока; 3 – прирусловые отмели [1].

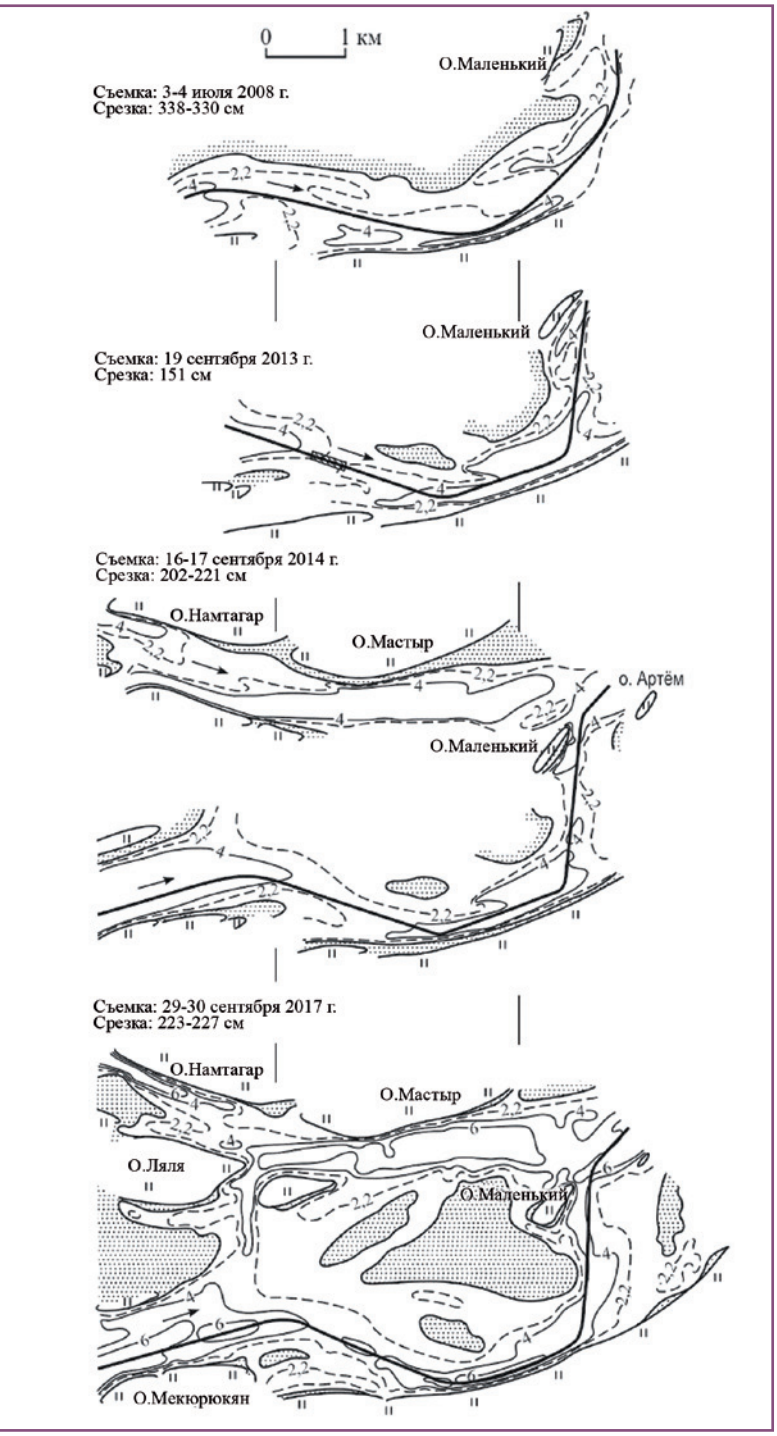

Рис. 4. Сопоставленные планы переката Верхняя Рассолода за 2008-2017 годы

ния ухвостья правобережного побочня и постепенного смещения фарватера к о.Ляля, вызывая размыв его оголовка и общее трансгрессивное смещение верхней части левобережного островного массива.

Такой процесс подробно рассмотрен в депонированной монографии [6]. Весь цикл переформирований и изменений положения судового хода на перекате Ляля составлял 7-8 лет. Примечательно, что в крайнем верхнем положении корыто переката располагается на протяжении 5 лет, в нижнем (ближе или возле оголовка о.Ляля) – не более 2-3 лет.

На этом фоне происходил общий рост с низовой стороны правобережных отмелей при их постепенном зарастании растительностью и превращении в пойму; соответственно, осуществлялось смещение вниз перевала фарватера от левого берега к правому. Следствием этого явилось развитие бывшей пойменной протоки слева от о.Ляля, которая превратилась во второй основной (альтернативный) рукав в верхней части «разбоя» Рассолода, и в нем был проложен фарватер. Таким образом, произошло формирование современного узла разветвления русла о.Ляля, начального в параллельно-рукавном разветвлении.

В начале 2000-х годов корыто переката Ляля переместилось в верхнее положение, а отторгшиеся от верхнего побочня отмели (осередки) причленились к оголовку одноименного острова. Следовательно, произошло изменение положения судового хода, который снова стал пролегать в правом рукаве у о.Ляля, но при этом рукав слева от него остался как второй основной (альтернативный).

К 2016 г. (за несколько лет) приверх побочня, примыкающего к оголовку о. Ляля, сместился вниз на 530 м (по проектной изобате), тогда как ухвостье верхнего правобережного побочня – на 440 м. На всей седловине переката глубина была больше 4,0 м. В 2017 г. приверх побочня у о.Ляля сместился еще на 170 м, ухвостье правобережного побочня – на 120 м, на гребне переката образовалась перемычка глубиной 3-4 м (от проектного уровня). Таким образом, заход в правый рукав параллельно-рукавного разветвления «разбоя» Рассолода сохранился широким, достаточно пологим, глубоким, не вызывающим затруднений для движения флота.

Левый рукав у о.Ляля в многолетнем плане был судоходным в конце 1990-х – начале 2000-х годов. В остальное время большая часть расхода воды сосредоточивалась в правом рукаве. Тем не менее, левый рукав у о.Ляля сохраняет свое значение как альтернативный для размещения фарватера. Препятствием для переноса в него основной части потока служит расположение захода за плечом левого берега, вследствие чего в начале рукава формируется побочень, а сам рукав оказывается извилистым, в нем наблюдается увеличение размеров левобережного побочня на заходе в него: с 2014 по 2017 г. он вырос вверх на 700 м, его ухвостье удлинилось на 170 м, произошло расширение побочня на 20-30 м. Одновременно развивалась побочневая протока и снижалась глубина на гребне в среднем на 0,5-1 м (при этом глубина оставалась больше гарантированной).

Правобережный побочень в левом рукаве за о.Ляля в 2014-2017 г. сместился почти на 900 м (300 м/год). И если в 2014 г. глубины на перекате были меньше гарантированной величины, то в 2017 г. уже являлись больше 3 м при той же срезке.

В правом рукаве у о.Ляля (рис. 4) фарватер перевалива-ет к правому берегу Лены, огибая о.Мекюрюкан. В его ухвостье формируется перекат с побочнем, отклоняющим поток к отмелям, вытягивающимся от о.Ляля. Между этими отмелями, включающими о.Маленький и образующими верхний побочень переката Верх. Рассолода, и стабильной правобережной отмелью ниже по течению судовой ход круто изгибается, смещается в левую приостровную часть русла, где соединяется ниже о.Маленький с левым рукавом у о.Ляля. Отмели посередине русла расчленены несколькими поперечными протоками, пересекающими их по диагонали и соединяющими правую и левую ветви параллельно-рукавного разветвления ниже о.Ляля.

О. Мекюрюкан и формирующийся возле него побочень отклоняют поток правой ветви разветвления к отмели

посередине русла, способствуя развитию в ней поперечных проток, отвлекающих с фарватера часть стока воды. Соответственно, ниже по течению в ухвостье о.Мекюрюкан на изгибе потока образуются коса и перекат с глубинами 2,5-3 м, смещающиеся вниз по течению со скоростью до 250 м/год, обусловливая обмеление корыта переката и вызывая необходимость разработки прорезей. Одновременно естественным путем происходит отторжение кос от ухвостья острова и перемещение фарватера ближе к нему, после чего возобновляются рост косы в ухвостье о.Мекюрюкан и смещение переката; в отдельные годы глубины на перекате падают ниже проектных.

В обратной связи развитие переката у о. Мекюрюкан способствует активизации поперечной протоки в ухвостье о. Ляля – ее естественному расширению и углублению: глубины в ней в 2018 г. почти на всем ее протяжении были > 4 м, в нижней части – 5-6 м.

Основные затруднения для движения флота на перекате Верх. Рассолода связаны с крутыми изгибами судового хода и его неустойчивым положением на перевале от правого берега к островному левому, где он под углом близким к прямому поворачивает поперек реки вдоль приверха стабильного правобережного нижнего побочня переката, сохраняющего мерзлое ядро. Под влиянием смещающихся кос в ухвостье отмелей ниже о.Ляля поперечная протока и судовой ход в ней приобретает все более крутой изгиб. Мерзлота в теле побочня препятствует и смещению приверха побочня, и отторжению самого побочня несмотря на то обстоятельство, что изгиб потока давно превысил критические размеры, в том числе установленный гарантированный радиус закругления судового хода. При этом в тыловой части побочня вдоль правого берега существует мелководный, зимой, по-видимому, перемерзающий побочневый проток, вдоль которого в период половодья следует динамическая ось правой ветви течения параллельно-рукавного разветвления.

В пределах поперечной протоки между отмелями судовой ход ежегодно меняет свое положение по причине развития и отторжения кос в ухвостье верхнего побочня и о.Маленький, входящего в его состав, мигрируя в полосе размером около 400 м. В конце 1-го – начале 2-го десятилетия XXI века он еще полого переваливал в левую приостровную сторону русла. На рубеже 2010-х годов произошло отторжение ухвостья верхнего побочня и причленение возникших осередков к правобережному нижнему побочню. При стабильном положении его приверха и одновременном смещении ухвостья верхнего побочня фарватер получил нынешние следующие друг за другом повороты на 90° на перевале от правого к левому берегу, осложняющиеся развитием кос в ухвостье верхнего побочня и от о.Маленький, создавая неблагоприятные навигационные условия, аварийную остановку. Возникавший при этом подпор потока способствовал сначала активизации левого рукава у о.Ляля, а затем развитию поперечных проток, расчленяющих отмель ниже его ухвостья между обоими ветвями течения. Такому развитию ситуации способствовали поперечные уклоны между рукавами, в том числе вызванные подпором потока правого рукава стабильной правобережной отмелью. Тогда сформировались две протоки с общим заходом (истоком) из правого рукава: верхняя, ориентированная поперек (под углом 90°) русла по направлению наибольшего уклона; нижняя, расположенная по диагонали, соответствующая кривизне извилин стрежневой зоны потока. Возможно, что определяющую роль в этом могли играть заторы во время

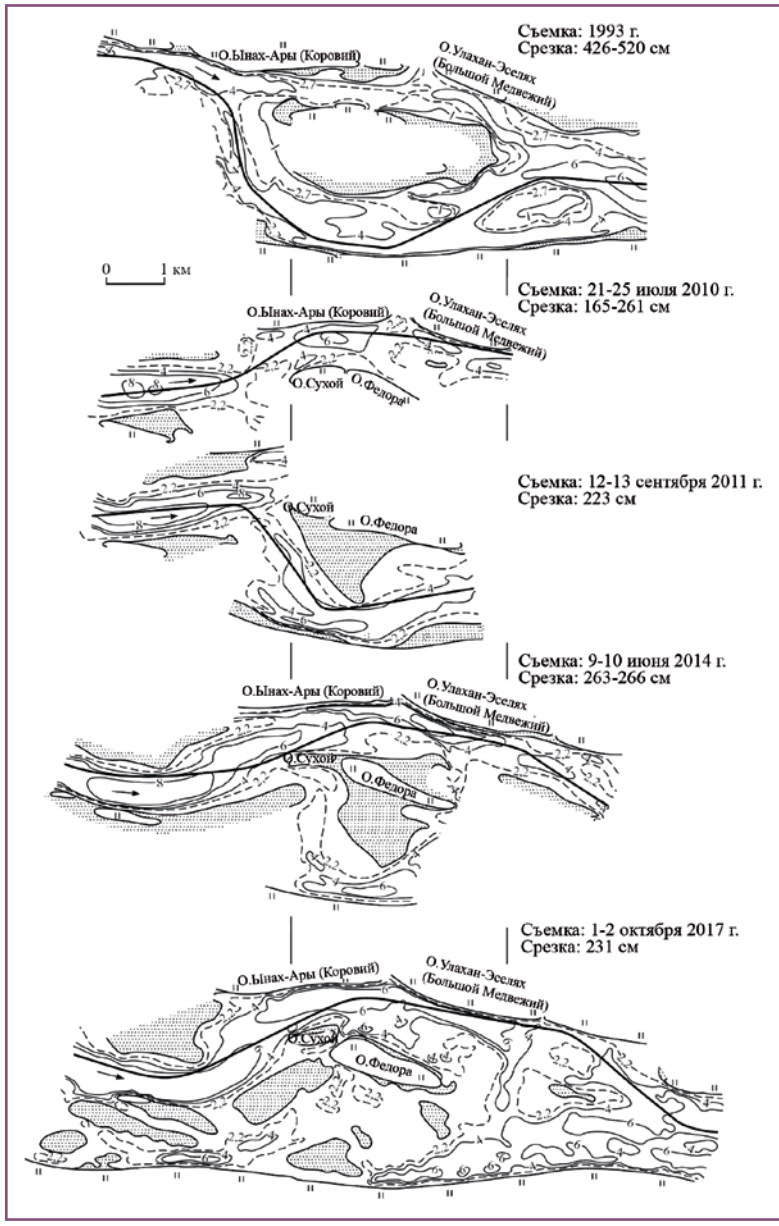

Рис. 5. Сопоставленные планы перекатов Средняя и Нижняя Рассолода за 1993-2017 годы

ледохода, которые неизбежно появляются у приверха стабильной правобережной отмели. Отвлечение части стока воды в поперечные протоки стало причиной уменьшения глубин на перекате Верх. Рассолода (хотя пока они остаются выше гарантированных) и искривления линии наибольших глубин и фарватера.

Перекат Ср. Рассолода (рис. 5) размещается в разветвлении русла островами Сухой и Федора. В зависимости от переформирований русла на смежном вышележащем перекатном участке Ляля – Верх. Рассолода и развитии рукавов у о.Ляля судовой ход располагается периодически в левом или правом рукавах. В правый рукав он переводится при надвижении на заход в левый рукав массивного левобережного побочня, искривляющего, сужающего и вызывающего обмеление корыта переката. С 2013 г. фарватер проложен в левом рукаве, но наблюдается рост побочня на заходе в левый рукав у островов Сухой и Федора: за 3 года он

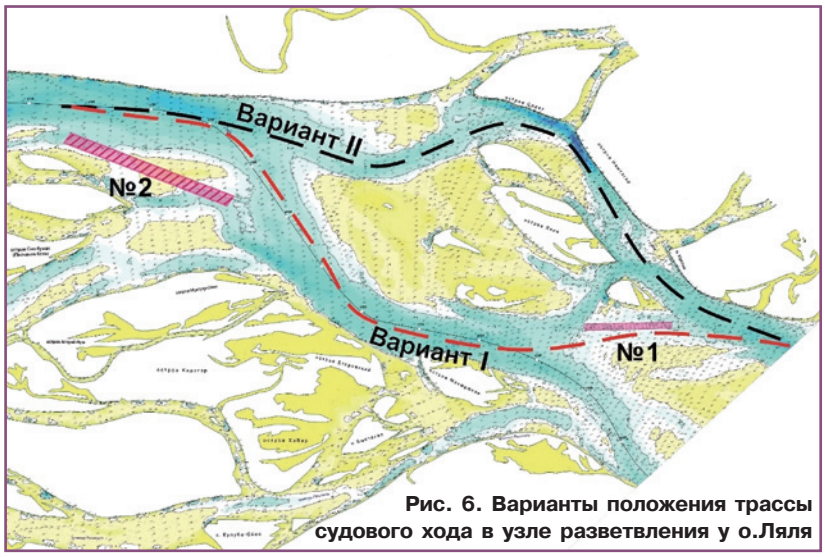

Рис. 6. Варианты положения трассы судового хода в узле разветвления у о.Ляля

сместился по ухвостью на 650 м и расширился на 200 м. Этому способствовало развитие поперечных проток в отмелях посередине русла ниже о.Ляля, изменивших гидродинамические условия ниже по течению. В результате произошло искривление захода в левый рукав у оголовка о.Сухой и одновременное развитие правобережного рукава, соответствующего данной ветви течения в параллельно-рукавном разветвлении. Очевидно, что в ближайшие годы ситуация повлечет перенос фарватера к правому берегу, напротив островов Сухой и Федора при одновременном обмелении переката на заходе в левый рукав возле них.

В нижней части «разбоя» Рассолода (см. рис. 5) при слиянии рукавов в разветвлении русла у островов Сухой и Федора и перед разветвлением русла у о.Тимошка формируется перекат Ниж. Рассолода. В настоящее время его верхним побочнем служат отмели, вытягивающиеся в виде расчлененной на осередки косы в ухвостье о.Федора. Нижний побочнь сейчас полностью перекрывает левый рукав у о.Тимошка. На перекате судовой ход переваливает от левого берега в правый рукав у о.Тимошка, где в межень сосредотачивается практически весь сток Лены и завершается двухпотоковая система течений.

Располагаясь в левом рукаве у островов Сухой и Федора на перекате Ниж. Рассолода, фарватер постепенно смещается от ухвостья о.Федора к оголовку о.Тимошка на расстояние почти в 1000 м вниз (250 м/год) из-за удлинения косы в ухвостье о. Федора, составляющей верхний побочень переката. При этом последний расчленился поперечными протоками на систему осередков. Нынешнее положение (2019 г.) фарватера – ниже плеча правого ведущего берега, который направляет поток в протоку между осередками посередине русла (она образовалась в 2017 г. благодаря расчленению нижнего осередка), тогда как в судоходном левом формируется перемычка с глубинами меньше гарантированных. Очевидно, что эта протока между осередками в ближайшей перспективе будет развиваться, и в нее возможен перенос судового хода.

При размещении фарватера в правом рукаве перекат раньше (еще в конце XX столетия) был перед его слиянием с левым, и по нему переваливал в левый рукав у о.Тимошка. Но уже к середине 2010-х годов он целиком заполнился наносами, обмелел, и в межень практически не функционирует. Такие процессы привели к образованию глубокой плесовой лощины на всем протяжении правого рукава у о.Тимошка почти до Табагинского утеса.

Таким образом, в «разбое» Рассолода формирование перекатов и изменения положения фарватера определяются возникновением и активным смещением побочней, осередков, кос, размывами пойменных берегов, расширением русла, неровностями в конфигурации пойменных яров и островов, перераспределением расходов воды между рукавами, подпором потока в половодье при ее сужении Табагинским утесом и ледовыми заторами. Особенно сложные условия, как результат постоянных интенсивных переформирований русла, создаются на перекатах Ляля, Верх., Ср., и Ниж. Рассолода, где в 1970-е годы выполнялось регулярное дноуглубление: его объемы варьировались в пределах 256,0-814,1 тыс. м^3 в год. После их резкого сокращения в начале 1990-х годов разработка прорезей, обеспечивающих поддержание гарантированных габаритов пути, производилась лишь эпизодически. Однако еще в 1980-е годы (то есть до снижения объемов или прекращения дноуглубления) была возможность обеспечивать нормальные навигационные условия (по нормативам) только за счет расстановки плавучей и береговой обстановки с учетом рекомендаций, подготовленных по итогам исследований 1972 г. специалистов МГУ в рамках договора с Ленским БКП [1, 6].

Только в 1989-1991 годах на перекатах Рассолода после 10-летнего перерыва возникла острая необходимость в проведении дноуглубления. Это было связано с развитием левого рукава у о.Ляля, который из второстепенной пойменной протоки превратился в альтернативный второй рукав основного параллельно-рукавного разветвления русла, и в него после перекрытия отмелями правого, бывшего судоходного рукава, был перенаправлен фарватер. Однако последовавшие переформирования вынудили вернуть его в правый рукав, хотя альтернативное состояние левого у о.Ляля сохранялось. Данное обстоятельство, а также изменения на пере-

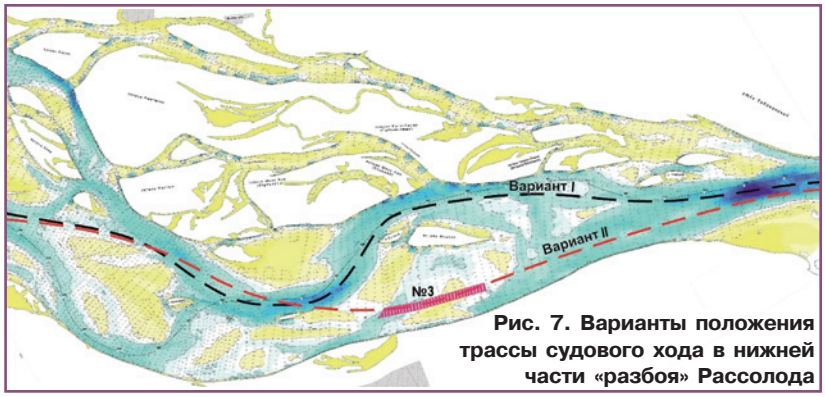

Рис. 7. Варианты положения трассы судового хода в нижней части «разбоя» Рассолода

кате Верх. Рассолода, способствовавшие созданию крутых коленообразных поворотов фарватера и развитию поперечных проток среди отмелей посередине русла, вновь обусловили выполнение дноуглубления (хотя и в сравнительно малом количестве). Впрочем, навигационные условия на перекатах Ляля – Верх. Рассолода определялись не столько снижением глубин, сколько возникновением крутых поворотов фарватера.

В сезон 2018 г. по рекомендации специалистов МГУ на перекатах Ляля – Верх. Рассолода была спроектирована и разработана прорезь в объеме 140 тыс. м^3 по диагональной протоке ниже ухвостья о.Ляля. Контрольная и повторная съемки, произведенные русловой изыскательской партией ФБУ «Администрация Ленского бассейна», показали отсутствие заносимости прорези и ее развитие, проявившееся в увеличении ширины между проектными изобатами, благодаря привлечению в протоку большего расхода воды. Эффективность реализованных мер была подтверждена по результатам прогнозирования методики гидродинамического моделирования [3], осуществленного по исходным материалам и по данным съемок русла после разработки прорези. Однако в экстремально маловодную навигацию 2019 г. развилась более крутая поперечная протока в ухвостье о.Ляля (поскольку параметры извилин динамической оси потока, в рассматриваемом случае – радиус кривизны r, зависят от его водности Q, то есть: r ~ Q). Аналогичное случилось у оголовка о.Ляля, возле которого возросла водность и углубился более извилистый левый рукав, тогда как на заходе в правый аккумуляция наносов привела к его частичному обмелению. В итоге фарватер был перенесен в левый рукав у о.Ляля.

На основе руслового анализа, прогнозных оценок переформирований и гидродинамического моделирования были подготовлены рекомендации по созданию устойчивой трассы судового хода в «разбое» Рассолода. При этом предусматривается в перспективе два альтернативных генеральных направления: 1) вдоль левого островного берега с использованием левого рукава у о.Ляля в начале «разбоя»; 2) вдоль правого ведущего пойменного берега и, следовательно, с размещением на перевале к нему правого рукава у о.Ляля. Между тем, второй вариант в ближайшей перспективе не представляется полностью реализуемым, ведь на перекате Верх. Рассолода имеется стабильный правобережный побочень с мерзлым ядром. Переход на него может произойти, если мерзлота в побочне оттает, и он естественным образом получит импульс к отторжению от правого берега.

Поэтому на данном этапе предложено две раздельных схемы выправления русла: 1) для узла разветвления о.Ляля и переката Верх. Рассолода; 2) на перекатах Ср.-Ниж. Рассолода (соответственно, выше и ниже стабильного побочня, но в контакте развития параллельно-рукавной системы разветвлений) [3]. В узле разветвления русла о. Ляля – входной узел «разбоя» Рассолода предложено два варианта (рис. 6), которые предусматривают то или иное изменение трассы судового хода на перекате Верх. Рассолода в обход наиболее затруднительного участка, лимитирующего движение флота по ширине и радиусу закругления. По первому варианту требуется разработка прорези № 1 вдоль развивающейся диагональной протоки в ухвостье безымянного острова ниже о.Ляля. Эта капитальная прорезь объемом 140 тыс. м^3 была своевременно разработана (30.06-10.07.2018 г.), что дало положительный эффект уже в сезон-2018, и теперь необходимо ее восстановление после произошедших переформирований в экстремально маловодную межень 2019 г. Такой принцип позволяет не допустить дальнейшее развитие поперечной протоки между островами Ляля и безымянным и создать предпосылки для оптимизации положения фарватера на всем протяжении акватории в нижней части «разбоя» вплоть до Табагинского мыса.

В верхней части «разбоя» Рассолода на перекате Ляля судовой ход должен пролегать вдоль динамической оси потока на перевале от левого берега к правому, ежегодно корректируясь по мере смещения верхнего побочня и расположения перевала ближе к оголовку о.Ляля. После достижения в процессе этого смещения крайнего нижнего положения (по прогнозным оценкам – через 15-20 лет, а возможно, раньше), которое будет сопровождаться возникновением длинной затонской части переката, рекомендуется разработать спрямляющую прорезь № 2 в верхнем положении по направлению наибольшего поперечного уклона. Это позволит обеспечить пологое сопряжение верхней плесовой лощины с перевалом фарватера от левого берега в правый рукав, а также предотвратить активизацию левобережной ветви течения у о.Ляля.

Второй вариант предполагает возможность переноса судового хода в левобережную систему «разбоя» Рассолода между о.Ляля и прибрежными островами. Данное направление может быть перспективным в маловодные годы или при смещении правобережного побочня к оголовку о.Ляля при перекрытии захода в правый рукав. Однако оно будет способствовать закреплению трассы фарватера в левой ветви параллельно-рукавного разветвления, которая лишена ведущего берега (следует вдоль островов), извилиста и из-за чего может быть неустойчивой в нижней части «разбоя», где, очевидно, сохранится тенденция к периодическому развитию левого и правого рукавов у островов Сухой и Федора.

В нижней части «разбоя» Рассолода на современном этапе также обосновано два варианта (рис. 7), но являющихся не альтернативными, как на участке о. Ляля – перекат Верх. Рассолода, а рассчитанные так: один – на нынешнее состояние русла, второй – на прогнозную оценку переформирований с дальнейшим переходом на генеральное расположение трассы вдоль правого берега. В первом случае сохраняется фарватер в текущем положении – вдоль левого берега до конца «разбоя», то есть до Табагинского утеса. Проект будет оправдан в краткосрочной перспективе, пока не осуществится перестройка русла в соответствии с переформированием на смежном выше по течению участке и не произойдет естественное развитие правого рукава у островов Сухой и Федора вдоль ведущего пойменного берега.

Во втором случае предполагается перевод (через 5-10 лет) судового хода к правому ведущему берегу. Этому способствует направляющее воздействие конфигурации левого берега, которое будет увеличиваться при реализации любого из вариантов выправления на участке о.Ляля – перекат Верх. Рассолода. Для обоснования такого решения было смоделировано влияние разработки капитальной прорези № 3 по направлению возможного развития русла. Это ускорило бы концентрацию стока воды вдоль правого берега. Результаты модельных расчетов подтвердили перспективность идеи. Перенос фарватера к правому берегу создаст необходимую пологую извилистость динамической оси потока и его сопряженность с верхним участком, а в более отдаленной перспективе (после отторжения стабильного правобережного побочня) призван обеспечить расположение трассы в «разбое» по всей пра-

вой ветви параллельно-рукавного разветвления возле ведущего берега. Следуя вдоль него, ось потока будет постепенно смещаться в центральную часть русла в створе Табагинского утеса, что является оптимальным с точки зрения влияния на расположенный ниже по течению Якутский водный узел [6].

Рассмотренные закономерности переформирований и управления процессами в параллельно-рукавных разветвлениях русла средней Лены с целью создания устойчивого водного пути могут быть использованы при решении аналогических проблем для других участков средней и нижней Лены, а также на других реках, где преобладает такой \морфодинамический тип русла: верхней Оби, Северной Двине, Мезени.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Водные пути бассейна Лены. – М.: МИКИС. 1995. – 600 с. **2.** Влияние изменений климата на динамику крупной реки российской арктической зоны / Готье Э., Федоров А., Костер Ф., Брюнштайн Д // Изменение климата: Европа, Северная Азия, Северная Америка. 4-е Европейские диалоги в Эврисане. Eurcasia: Copy-Melia. 2011. – С. 73-82. **3.** Современные подходы к обоснованию генеральных схем коренного улучшения судоходных условий (на примере сложноразветвленного русла реки Лены / Завадский А.С., Фингерт Е.А., Ботавин Д.В., Головлев П.П. // Водные пути и русловые процессы. Гидротехнические сооружения водных путей. Сб. науч. тр. Вып. 4. СПб.: ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. 2019. – 148-161 с. **4.** Факторы и закономерности многолетних изменений стока воды, взвешенных наносов и теплоты Нижней Лены и Вилюя / Магрицкий Д.В. // Вестник МГУ им. М.В. Ломоносова. Серия 5. География. 2015. – № 6. – С. 85-95. **5.** Проектирование судовых ходов на свободных реках // Тр. ЦНИИЭВТ. Вып. 36. М.: Транспорт. 1964. – 262 с. **6.** Чалов Р.С., Беркович К.М., Борсук О.А., Кирик О.М., Лодина Р.В., Паклина Л.М., Рулева С.Н., Чернов А.В. Русловой режим средней и нижней Лены. М.: Деп. ВИНИТИ. № 2224-76. 1976. – 184 с. **7.** Покровско-Якутский водный узел на р. Лене: современные деформации и управление русловыми процессами / Чалов Р.С., Завадский А.С., Ботавин Д.В., Головлев П.П., Морозова Е.А., Сурков В.В. // Изв. РАН Сер. географ. 2019. – № 6. – с. 83-96.