

Е.М. КУЗЬМИНА*, А.С. ЧАЛОВА*, Р.С. ЧАЛОВ*, А.И. САХАРОВ**

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119899, Москва, Ленинские горы, 1, Россия, Kate.Kuzmina.m@gmail.com, aleksandra-1984@mail.ru, rschalov@mail.ru

**Администрация «Ленводпути»,
677000, Якутск, ул. Дзержинского, 2, Россия, sakharov06@mail.ru

РАНЖИРОВАНИЕ УЧАСТКОВ РЕКИ ЛЕНЫ ПО СЛОЖНОСТИ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ И УПРАВЛЕНИЯ ИМИ

Обосновывается применение ранее разработанной методики к ранжированию участков крупнейшей реки (р. Лены) по формам проявления русловых процессов и условиям управления ими при использовании водных ресурсов, эксплуатации реки как воднотранспортной магистрали, освоении приречных территорий, строительстве переходов коммуникаций через реки. Для оценки сложности переформирований русла и выполнения регуляционных мероприятий приняты показатели устойчивости русла, его морфодинамического типа, водности реки, условий прохождения руслообразующих расходов воды, состава руслообразующих наносов, распространенности перекатов и особенности их режима. Показано, что индикатором сложности управления русловыми процессами являются объемы дноуглубительных работ, выполняемых для обеспечения нормальных условий судоходства. На р. Лене (от порта Осетрово до устья) выделено 10 участков, различающихся как по особенностям проявления и степени сложности русловых процессов, так и, соответственно, по условиям управления ими. Выявлены наиболее сложные для регулирования русла участки. Для широкопойменного, неустойчивого, сложноразветвленного русла определены основные водохозяйственные и воднотранспортные проблемы, связанные с русловыми процессами.

Ключевые слова: морфодинамические типы, устойчивость русла, дноуглубление, водные ресурсы, судоходство, критерии оценки.

E.M. KUZMINA*, A.S. CHALOVA*, R.S. CHALOV*, A.I. SAKHAROV**

*Lomonosov Moscow State University, 119899, Moscow, Leninskie gory, 1, Russia, Kate.Kuzmina.m@gmail.com, aleksandra-1984@mail.ru, rschalov@mail.ru

**Administration of Lenvodput',
677000, Yakutsk, ul. Dzerzhinskogo, 2, Russia, sakharov06@mail.ru

RANKING OF THE LENA RIVER SECTIONS BY THE COMPLEXITY OF CHANNEL PROCESSES AND THEIR MANAGEMENT

We substantiate the use of the previously developed methods to classify sections of the largest river (Lena) from the types of channel processes and special aspects of their management, i. e. water resource use, exploitation of the river as the water transport way, development of riverine areas and construction of river crossings for service lines. For assessing the complexity of river channel reconfiguration and implementing regulatory measures we use certain indicators of channel stability, the channel pattern, river runoff, conditions of effective discharge, composition of bed-material load, occurrence of riffles and characteristics of their regime. It is shown that the indicator of complexity of channel processes management is represented by the amount of channel dredging performed to ensure normal navigation conditions. On the Lena river (from the Osetrovo port to the estuary) there are 10 reaches which differ both in the features and the degree of complexity of channel processes and, accordingly, in the conditions for their management. The study identified the most difficult (for channel management) sections; for the broad floodplain, unstable and compound braided channel we determined the main water management and water transport problems associated with channel processes.

Keywords: channel pattern, channel stability, dredging, water resources, navigation, evaluation criteria.

ВВЕДЕНИЕ

Река Лена — важнейшая воднотранспортная артерия Восточной Сибири, связывающая железную дорогу на юге с Северным морским путем, обеспечивающая доставку грузов в Республику Саха (Яку-

тия), отдаленные районы Иркутской области и Северо-Востока страны. Большинство населенных пунктов находятся на берегах Лены и ее притоков, определяя водохозяйственное использование реки, прокладку через нее коммуникаций, защиту от негативных воздействий вод. Трудности использования реки и ее ресурсов обусловлены разветвленностью русла и его сложными переформированиями на одних участках, выходами скальных пород в русле и галечно-валунным составом наносов на других, снижением глубин ниже гарантированных и стеснением русла скалами на третьих.

По длине Лены изменяются параметры русла и условия его формирования. Одни участки с точки зрения русловых процессов безопасны для эксплуатации, другие требуют регулирования для улучшения условий судоходства и водохозяйственной обстановки, выполнения берегозащитных работ и т. д. Перспективное планирование водохозяйственных и воднотранспортных мероприятий, разработка проектов управления русловыми процессами основываются на оценке морфодинамической сложности участков русла, определяющей состав гидротехнических работ, технико-экономическую эффективность проектов и возможные инвестиции в их реализацию. Для успешного планирования этих работ важно ранжирование участков реки по сложности морфологии русла и русловых деформаций.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТ

Для оценки сложности и опасности проявлений русловых процессов, влияющих на водохозяйственное и транспортное использование реки, предложена методика, основывающаяся на анализе соотношения критериев, характеризующих устойчивость русла, состав руслообразующих наносов, морфодинамический тип русла, водность реки, условия прохождения руслоформирующих расходов воды, распространенность и количество перекатов. Каждый из перечисленных критериев имеет свои параметры, а их совокупность позволяет разделять реку на участки по сложности русловых процессов и условиям управления ими при решении водохозяйственных, транспортных и других задач. Такой подход был использован при оценке морфодинамической сложности русла р. Оби применительно ко всему комплексу мероприятий [1].

В настоящей статье рассматривается опыт ранжирования участков р. Лены для оценки условий управления русловыми процессами от порта Осетрово (г. Усть-Кут), где начинается регулярное судоходство, до устья. При длине 3598 км р. Лена увеличивает водность почти в шесть раз (среднегодовой расход 295 м³/с в Усть-Куте и 17 200 м³/с в вершине дельты), протекая в разных геолого-геоморфологических условиях, имея как врезанное, так и широкопойменное, очень устойчивое и неустойчивое русло, песчаные и галечно-валунные наносы, что отличает ее от Оби, русло которой на всем протяжении широкопойменное, песчаное. Это послужило причиной выбора Лены в качестве объекта для апробации разработанного подхода. Также учитывалась важность реки для экономического развития Сибирского и Дальневосточного федеральных округов.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ УЧАСТКОВ РЕКИ ЛЕНЫ ПО СЛОЖНОСТИ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Первый критерий, дающий интегральную характеристику интенсивности и сложности русловых деформаций, — устойчивость русла. Для ее оценки используется число Лохтина $L = \frac{d}{I}$, коэффициент

стабильности русла Н.И. Маккавеева $K_c = \frac{d}{b_p I} \cdot 1000$ и морфометрический показатель Н.И. Маккавеева—С.Г. Шатаевой $A = \frac{\lg \Delta h}{\lg \Delta b_p}$ (d — средний диаметр руслообразующих наносов, мм; I — уклон, ‰;

b_p — ширина русла, м; Δh — приращение глубины потока при изменении его ширины в поперечном сечении Δb_p). Ввиду масштабного искажения коэффициентов L и K_c из-за различий в водности реки, составе наносов и ширине русла приняты две классификации по степени устойчивости. Для верхнего и частично среднего течения Лены с галечно-валунным руслом использовалась классификация Р.С. Чалова [2]. Для этого полученные значения L и K_c были приведены к эквивалентным величинам в соответствии с морфометрическим показателем Н.И. Маккавеева—С.Г. Шатаевой A , не зависящим от состава наносов [2, 3]. Для нижнего и частично среднего течения Лены (песчаное русло) применялась специально разработанная для русла этой крупнейшей реки классификация [4]. Согласно показателям L , K_c , A , участки реки ранжированы по степени устойчивости русла (табл. 1).

Таблица 1

Устойчивость русла р. Лены от г. Усть-Кута до вершины дельты

Номер участка	Участок русла	Показатели устойчивости			Устойчивость
		Л	К _с	А	
1	г. Усть-Кут – устье р. Киренги	16–14	–	3	Устойчивое
2	Устье р. Киренги – устье р. Витим	20–15	–	2,5	»
3	Устье р. Витим – Кыллахский «разбой»	8,4–4,7	–	5–1,5	Относительно устойчивое
4	Кыллахский «разбой» – устье р. Олёкмы	2,8	–	1,4–1,7	Слабоустойчивое
5	Устье р. Олёкмы – пос. Мохсоголлох	5,8	–	От 2–3 до 5	Относительно устойчивое
6	Пос. Мохсоголлох – устье р. Алдан	6,35	2,5–6,5	1,69	Слабоустойчивое, неустойчивое
7	Устье р. Алдан – устье р. Виллой	10,4	3,6	1,4–1,7	Слабоустойчивое
8	Устье р. Виллой – Каргылабытский «разбой»	9,3	2,87	1,56	»
9	Каргылабытский «разбой» – мыс Полярный	11,2	3,03	2,2	»
10	Мыс Полярный – вершина дельты	–	–	–	Устойчивое

Примечание. Показатели устойчивости – см. текст. Прочерк – нет данных.

Второй критерий — руслообразующие наносы. Галечно-валунные наносы, обеспечивая высокую устойчивость русла, требуют при выполнении мероприятий применения тяжелой техники, что делает последние трудоемкими и высокочатными. Такие наносы формируют специфические особенности режима перекатов: образование аллювиальной отмостки, неразмываемость на спаде половодья, возникновение в межень эффекта «водослива», сопровождающегося дополнительной «посадкой» уровней и снижением глубин.

Третий критерий — морфодинамический тип русла (табл. 2). Излучины широкопойменного русла для Лены не характерны; врезанные излучины верхнего и среднего течения Лены очень устойчивые, но опасность для судоходства на них возникает из-за крутых изгибов фарватера и прижимных течений. Разветвленное русло всегда создает затруднения для судоходства и выполнения дноуглубительных работ, а также для всех других видов использования водных ресурсов, прокладки коммуникаций и т. д. Сложность управления русловыми процессами для разветвленного русла определяется рассредоточением потока по рукавам, морфологическим разнообразием разветвлений, а в широкопойменном русле — постоянными его переформированиями.

От г. Усть-Кута до пос. Мохсоголлох русло реки врезанное (кроме короткого участка выше г. Олёкминска — Кыллахского «разбоя»). Определенные трудности при транспортном использовании реки возникают в районе «Ленских щек» из-за крутых изгибов русла в скальных берегах, прижимов

Таблица 2

Оценка морфодинамических типов русла р. Лены по сложности управления русловыми процессами

Сложность		Тип русла	Участок и его номер (см. табл. 1)
категория	балл		
Очень высокая	5	Широкопойменное, параллельно-рукавное, сопряженные разветвления	Пос. Мохсоголлох – устье р. Алдан, 6
Высокая	4	Широкопойменное, параллельно-рукавные разветвления Пойменно-русловое разветвление	Устье р. Виллой – Каргылабытский «разбой», 8 Белогорский «разбой» между устьями рек Алдан и Виллой, 7
Повышенная	3	Широкопойменное с односторонними разветвлениями Крутые врезанные излучины	Устье р. Алдан – устье р. Виллой (кроме Белогорского «разбоя»), 7; Каргылабытский «разбой» – мыс Полярный, 9 «Ленские щеки», 1; крутые излучины от г. Усть-Кут до устья р. Олёкмы, 1–3
Умеренная	2	Врезанное, пологие излучины, одиночные, параллельно-рукавные, односторонние, сопряженные разветвления	Участки реки от г. Усть-Кут до пос. Мохсоголлох, 1–5
Низкая	1	Врезанное прямолинейное с одиночными разветвлениями	«Ленская труба», 10; участки от г. Усть-Кут до пос. Мохсоголлох, 1–5

потока к ним, и в разветвлениях врезанного русла. Транспортное использование здесь обеспечивается строительством выправительных сооружений и дамб-полузапруд.

Широкопойменное русло (от пос. Мохсоголлох до мыса Полярный) представлено различными типами разветвлений. Наибольшие трудности (очень высокая категория сложности) создают параллельно-рукавные и сложносопряженные разветвления, соответствующие «разбоям» Рассолода, Якутскому, Приалданским, и от устья р. Вилюй до пос. Жиганск [5].

Четвертый критерий — водность реки. Чем она больше, тем больше глубина, ширина реки, радиусы закругления фарватера и, соответственно, благоприятнее навигационные условия. В нижнем течении Лены водность определяет независимость условий судоходства от типа русла и количество лимитирующих перекатов.

При впадении Киренги водоносность Лены увеличивается в два раза, ниже устья Витима она возрастает более чем в два раза, и русло Лены в целом благоприятно для водохозяйственной деятельности и транспортного использования. Исключение составляют Кыллахский «разбой» и Олёкминские перекаты, где поток расплывается по широкой пойме и глубины на перекатах уменьшаются. У пос. Мохсоголлох русло становится широкопойменным, песчаным, сложноразветвленным, глубина на многочисленных перекатах в межень снижается ниже гарантированной, регулярно проводятся дноуглубительные работы, осложняется функционирование водозаборов (особенно в районе г. Якутска). При слиянии с Алданом водность Лены увеличивается на 35 %, с Вилюем — еще на 10 %.

Пятый критерий — руслоформирующие расходы воды $Q_{\text{ф}}$. По условиям их прохождения Лена входит в две зоны [4], граница между которыми проводится по устью Киренги. В северной зоне $Q_{\text{ф}}$ проходят при затопленной пойме и соответствуют уровням среднего и максимального половодья, в южной — в пределах пойменных бровок. На большей части Лены $Q_{\text{ф}}$ наблюдаются как в пределах русла, так и при затопленной пойме. Благодаря $Q_{\text{ф}}$ при затопленной пойме на реке формируются протоки (ответвления), разделяющие пойму на отдельные островные массивы, способствуя большему рассредоточению потока половодья и снижению его транспортирующей способности.

Шестой критерий — распространенность и количество перекатов (табл. 3). Представляя собой мелководные участки русла, они ограничивают судоходство. Затруднительные перекатные участки значительного протяжения возникают в сложноразветвленном русле (перекаты в «разбоях» Рассолода и Якутский, нижнее течение Лены от устья Вилюя до пос. Жиганск), в зонах подпора от сужения долины и выше слияния рек (Усть-Алданские перекаты), в крупных расширениях долины. Чем больше разветвленность русла, тем больше перекатов и сложнее методика их выправления [4]. Смещаясь и испытывая постоянные переформирования, перекаты приводят к обмелению водозаборов, подходов к портам, пристаням и причалам.

Все перекаты можно разделить на три категории. Высокая категория сложности характерна для перекатов со сложными переформированиями (перекаты Кыллахского «разбоя» и Олёкминские, Нохтуйско-Мачинского разветвления, от пос. Мохсоголлох до пос. Жиганск). Перекаты, относящиеся к средней и низкой категориям, отличаются относительной стабильностью, их глубина мало изменяется. На них лишь эпизодически выполняется дноуглубление (перекаты от г. Усть-Кута до пос. Мохсоголлох).

Таблица 3

Распространенность перекатов различной сложности на р. Лене

Номер участка (см. табл. 1)	Количество перекатов, ед.	Гарантированная глубина, см	Длина участка, км	Длина перекатов		Кол-во перекатов на 1 км длины русла, ед.
				км	%	
1	49	180	305	102,7	33,7	0,16
2	50	180	445	112,4	25,3	0,11
3	33	260	575	192,1	33,4	0,06
4	5	260	49	38,4	78,4	0,10
5	16	260	511	99,3	19,4	0,03
6	16	260	300	96,9	32,3	0,05
7	4	290	197	35,5	18,0	0,02
8	11	290	253	95,7	37,8	0,04
9	14	300	645	115,7	17,9	0,02
10	Нет	300	340	Нет перекатов		

КЛАССИФИКАЦИЯ УЧАСТКОВ Р. ЛЕНЫ ПО КАТЕГОРИЯМ СЛОЖНОСТИ

Обобщив параметры (устойчивость русла, руслообразующие наносы, распространение морфодинамических типов русла и перекаатов, водность реки), р. Лену можно разделить на участки по категориям сложности обеспечения гарантированных глубин и выполнения дноуглубительных работ для их поддержания (рис. 1, табл. 4). Их можно рассматривать как индикаторы сложности водохозяйственного освоения реки в целом. Самое интенсивное дноуглубление проводилось от г. Усть-Кута до устья р. Киренги (участок 1) и от г. Якутска до устья р. Вилюй (участки 6 и 7).

На участке 1 (г. Усть-Кут—устье р. Киренги) абсолютно преобладает транспортное использование реки (кроме городов Усть-Кута и Киренска, где есть водозаборы и другие объекты хозяйственной инфраструктуры), здесь расположен единственный на р. Лене мостовой переход на западном участке БАМа. Русло врезанное, прямолинейное, с одиночными разветвлениями и врезанными излучинами. Некоторые излучины характеризуются большой кривизной русла и коленообразными изгибами. На данном участке находится 49 перекаатов, лимитирующих судоходство. Поддержание гарантированных глубин (180 см) на перекатах осуществляется проведением значительных по объемам дноуглубительных и выправительных работ (табл. 5). Препятствия для судоходства определяются следующими факторами: узостью судоходной трассы, которая в низкую межень сокращается до 50 м; крутыми изгибами фарватера; мелководностью галечно-валунного русла и наличием большого количества камней-одинцов. Все это характеризует очень высокую сложность участка для управления русловыми процессами (см. табл. 4), и еще в 1960-х гг. разрабатывались проекты строительства регулирующих урвенный режим гидроузлов [6].

На участке 2 (устье р. Киренги (г. Киренск)—устье р. Витим) русло врезанное, прямолинейное, с отдельными врезанными излучинами, одиночными скульптурными и односторонними разветвлениями. Объекты водного хозяйства имеются в поселках Пеледуй и Витим. Гарантированная глубина 180 см поддерживается на отдельных перекатах землечерпанием и выправлением. Сложности для судоходства те же, что на участке 1, но здесь они менее выражены и реже встречаются. Наибольшее затруднение представляет район «Ленских щек», где река образует серию крутых врезанных излучин на протяжении 11 км. Радиус закругления фарватера — 300 м, длина крыльев излучин — 1,5–2,5 км. Русло сжа-

то высокими обрывистыми скалами, возле которых возникают мощные водовороты. Ширина русла местами не превышает 200–250 м, с подъемом уровня практически не возрастает, скорости течения увеличиваются, возникают прижимы потока к скальным берегам. Долгое время (до 1970-х гг.) водный путь здесь был засемафорен.

В нижней части располагается затруднительный перекаатный участок — Рысьинский—Серкинский [4]. Его режим определяется взаимодействием Витима и Лены: во время половодья из-за подпора от Витима происходит аккумуляция наносов. Большая ширина русла и крупногалечные наносы обуславливают формирование на перекатах отмотки и в межень проявление эффекта водослива с дополнительной «посадкой»

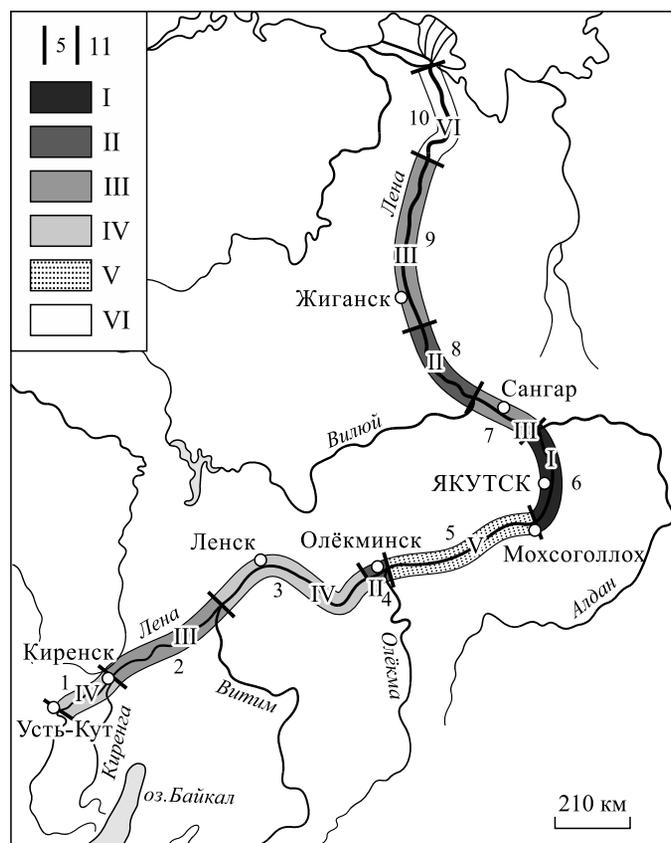


Рис. 1. Участки р. Лены, выделенные по категориям сложности водохозяйственного и воднотранспортного использования.

1–10 — участки русла р. Лены (см. табл. 1). 11 — границы участков. Категории сложности: I — очень высокая, II — высокая, III — повышенная, IV — умеренная, V — низкая, VI — отсутствует.

Таблица 4

Обобщенная классификация участков р. Лены по категории сложности водохозяйственного и воднотранспортного использования рек

Категория сложности		Гарантированная глубина, см (1986 г.)	Номер участка (наименование см. табл. 1)
индекс	характеристика		
I	Очень высокая	290	6
		180	1
II	Высокая	260	4
		290	8
III	Повышенная	230	2
		290	9
IV	Умеренная	260	3
V	Низкая	260	5
		290	7
VI	Отсутствует	300	10

Таблица 5

Максимальные объемы дноуглубительных работ по участкам р. Лены

Наименование участка	Номер участка (см. табл. 1)	Объемы дноуглубления, тыс. м ³ (макс.) на 1 км пути в год	
		до 2000 г.	2000-е гг.
г. Усть-Кут – устье р. Киренги	1	9,93	3,01
Устье р. Киренги – устье р. Витим	2	4,67	0,47
Устье р. Витим – устье р. Олёкмы	3, 4	2,75	1,06
Устье р. Олёкмы – пос. Мохсоголлох	5, частично 6	3,60	1,12
Пос. Мохсоголлох – устье р. Вилюй	Частично 6, 7	10,7	2,97
Устье р. Вилюй – о. Столб	8, 9, 10	1,3	Нет

уровней и снижением глубин ниже гарантированных. Крутые излучины, которые по радиусам кривизны лимитируют судоходство, и сложные перекаты позволяют отнести участок к категории повышенной сложности (см. табл. 4).

На участке 3 (устье р. Витим–Кыллахский «разбой») русло неразветвленное, чередующееся с одиночными разветвлениями. Крупные галечно-валунные наносы, поступающие из правобережных притоков, сравнительно небольшие уклоны и скорости течения при Q_{ϕ} придают руслу устойчивость, обеспечивая стабильное положение фарватера. Вместе с тем выступы скал создают сложности для судоходства, в том числе из-за «посадки» на них уровней в межень. Наиболее сложные перекаты — это Нохтуйско-Мачинские и Пеледуйский. Объекты водного хозяйства имеются в г. Ленске, где проводятся противопаводковые мероприятия для защиты от затоплений. Участок относится к категории умеренной сложности для использования (см. табл. 4).

Участок 4 (Кыллахский «разбой»–устье р. Олёкмы) небольшой по протяженности, но сложный в отношении условий судоходства. Русло песчаное, широкопойменное, слабоустойчивое, разделяется на несколько рукавов, образуя многорукавное разветвление — Кыллахский «разбой» [7]. Ниже располагается группа Олёкминских перекатов. Верхние из них приурочены к скальной плите, пересекающей русло, на которой при подпоре во время половодья на Олёкме аккумулируются наносы. Значительные скопления мелкого галечного материала и подвижных песчаных гряд делают режим перекатов чрезвычайно сложным, усугубляющимся расширением русла (до 2,5 км) из-за блуждания потока по скальной плите, которая, в свою очередь, ограничивает возможности углубления русла. Разработанная прорезь в скальном грунте посередине русла заносится наносами, поэтому здесь регулярно проводятся землечерпательные работы. Затопления льда в сужении долины обуславливают наводнения в г. Олёкминске и требуют выполнения противопаводковых мероприятий. В городе возникают проблемы, связанные с функционированием городского водозабора. Участок относится к категории высокой сложности для транспортного и хозяйственного использования (см. табл. 4).

На участке 5 (устье р. Олёкмы–пос. Мохсоголлох) русло прижимается к правобережным обрывистым горным склонам (левобережье — песчаные террасы). До устья р. Мархи оно прямолинейное, неразветвленное, с отдельными перекатами. Устойчивое русло в правобережной части реки способствует сосредоточению здесь основного течения по всей длине участка. В менее устойчивой левобережной части русла формируются односторонние разветвления. Ниже устья Мархи преобладают односторонние или параллельно-рукавные (в районе «Ленских столбов», 70 км) разветвления; основной сток сохраняется в рукаве, проходящем вдоль правого коренного берега, но с большим количеством галечных или связанных с выступами скал перекатов (Плитка, Хатынг-Тумул). Левые рукава песчаные, мелководные. Участок отличается относительно стабильным положением фарватера. Большая водность реки и врезанный характер русла обуславливают большие глубины на перекатах. Исключение составляет перекат Хатынг-Тумул, на котором в межень возникает эффект водослива и для обеспечения

глубин проводятся скалоуборочные работы. В целом участок благоприятен для освоения, относится к категории низкой сложности (см. табл. 4).

На участке 6 (пос. Мохсоглох—устье р. Алдан) река течет по Центрально-Якутской низменности, русло широкопойменное, песчаное, неустойчивое или слабоустойчивое, повсеместно разветвленное на рукава. Его ширина в несколько раз больше, чем на вышележащем участке врезанного русла, и составляет вместе с островами от 2 до 10 км. Слабая устойчивость и постоянно происходящие переформирования русла позволяют отнести его к очень высокой категории сложности использования реки (см. табл. 4 и 5). Это проявляется в максимальных показателях дноуглубления (см. табл. 5), в том числе для обеспечения работы водозабора в г. Якутске, подходов к порту и Жатайскому судоремонтно-судостроительному заводу.

Между пос. Мохсоглох и Табагинским утесом русло представлено трехрукавным одиночным разветвлением — Покровским «разбоем» и параллельно-рукавным разветвлением — «разбоем» Рассолода, в пределах которых судовой ход неустойчивый и требует регулярного землечерпания. От Табагинского утеса до Кангаласского камня расположен Якутский «разбой», соответствующий наиболее экономически освоенной части долины Лены. Здесь находятся г. Якутск, пос. Жатай с судоремонтно-судостроительным заводом, другие населенные пункты, паромная переправа, соединяющая город с федеральной автомагистралью, водозаборы, переходы трубопровода и ЛЭП, речной порт; подготовлен проект строительства моста. Русловые деформации ($K_c = 1,4$ — самый низкий на всей Лене [4]), создающие аварийную ситуацию на всех объектах, требуют выполнения защитных мероприятий или регулярного дноуглубления.

Повышение водности и теплового стока Лены [8] в конце XX—начале XXI в., вызвавшие трансформацию ранее развитых здесь сопряженных разветвлений (рис. 2, а) в параллельно-рукавные (см. рис. 2, б), оттаивание и последующее отторжение промерзших побочней, предохранявших берега от

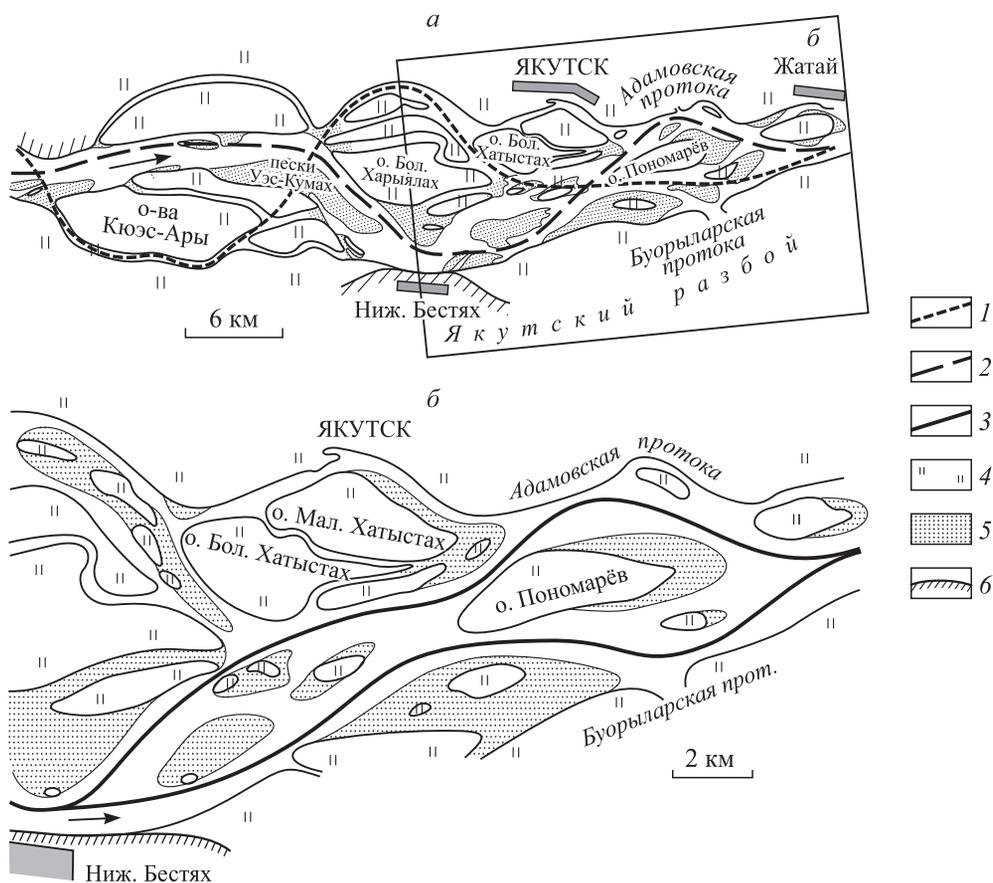


Рис. 2. Переформирования Якутского «разбоя» в XX в.—начале 2000-х гг.

Оси: 1, 2 — основных рукавов, сопряженных в XX в., 3 — параллельно-рукавных разветвлений в 2000-е гг.; 4 — пойма; 5 — прирусловые отмели; 6 — коренные берега [9].

размыва, перераспределение стока воды, привели к ухудшению условий судоходства, осложнению работы водозаборов, удлинению подходного канала к порту, создав чрезвычайную водохозяйственную и воднотранспортную обстановку [9].

Между Кангаласским камнем и устьем Алдана сложные условия для судоходства из-за русловых деформаций практически постоянно возникают в Намском «разбое» и на протяжении 110 км водного пути от Песчаной горы до устья р. Алдан (Приалданские «разбои»). Русло реки сложноразветвленное, слабоустойчивое со сложным режимом перестроений, усугубляющимся особенностями взаимодействия потоков сливающихся рек [10].

На участке 7 (устье р. Алдан—устье р. Виллюй) русло также разветвленное, но преобладают односторонние разветвления; основные судоходные рукава проходят вдоль правого горного берега и имеют плесовый характер. Благодаря выносу из Алдана более крупных наносов устойчивость русла повышается. Исключение составляют Белогорские перекаты, замыкающие одноименный «разбой» — пойменно-русловое разветвление, где судоходным является левый рукав в пойменных берегах. Русло здесь расширяется почти в пять раз, заполняясь многочисленными осередками, среди которых блуждает фарватер. Водохозяйственное использование реки осуществляется в пос. Сангар и не испытывает затруднений. Участок реки относится к низкой категории сложности.

На участке 8 (устье р. Виллюй—Картылабытское разветвление) ширина русла достигает 28 км (вместе с островами). На всем протяжении русло разветвленное, представляющее собой практически сплошной перекаточный участок. Ниже устья Виллюя находятся Монастырский и Черпальский «разбои» протяженностью более 120 км. Во время половодья главное течение реки сосредотачивается в левых рукавах, на спаде половодья и в межень — в правых. В следующем «разбое» Сахам—Медвежий—Берёзовый (75 км) главное течение разделяется на два рукава, судовой ход периодически располагается то в одном, то в другом из них, причем в каждом рукаве его положение изменчиво из-за обмеления перекатов или проток вторичных разветвлений [7]. Фарватер неустойчив и в последнем на этом участке «разбое» Отон-Ары. Участок реки относится к высокой категории сложности (см. табл. 4).

На участке 9 (Картылабытское разветвление—мыс Полярный) устойчивость русла повышается, здесь преобладают односторонние разветвления широкопойменного русла. Затруднения для судоходства возникают из-за перестроений в Картылабытском и Жиганском «разбоях» (общая длина 90 км) [5]. Сложность транспортного использования реки связана с разветвленностью русла и нестабильностью судовой ходы. Поэтому участок относится к повышенной категории сложности (см. табл. 4).

На участке 10 (мыс Полярный—вершина дельты, о. Столб) русло врезанное, неразветвленное, устойчивое и глубокое. Это так называемая «Ленская труба». Опасности для судоходства возникают во время частых штормов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Река Лена очень разнообразна по степени сложности русловых процессов для водохозяйственного и воднотранспортного освоения. Разработанная методика ранжирования речных участков по условиям управления русловыми процессами позволила выделить 10 участков, относящихся к шести (I—VI) категориям, чередующимся по длине реки. Наиболее высокая категория сложности присвоена участку от пос. Мохсоглох до устья р. Алдан, где русло широкопойменное, песчаное, неустойчивое и сложно разветвленное. Здесь требуется наибольший объем работ по регулированию русла как по трассе судовой ходы, так и для обеспечения работы водохозяйственных объектов, прокладки коммуникаций и т. д. Это наиболее заселенный участок, поэтому учет русловых деформаций необходим при планировании дноуглубительных и защитных мероприятий, которые должны выполняться комплексно. К очень высокой категории сложности относится также участок верхнего течения Лены от г. Усть-Кут до устья р. Киренги. Его освоение осложняется маловодностью реки, галечно-валунными перекатами, врезанным руслом, прижимами потока к скальным берегам.

Следующие по сложности обеспечения судоходства — это участки от Кыллахского разветвления до Олёкминских перекатов и от устья Виллюя до Картылабытского разветвления (высокая категория сложности).

Остальные достаточно протяженные участки реки, особенно в среднем и нижнем течении, где водность реки велика, русло врезанное и относительно устойчивое, вполне благоприятны для проведения воднотранспортных, водохозяйственных и гидротехнических мероприятий.

Выполненное ранжирование реки по условиям управления русловыми процессами позволит обоснованно подходить к оценке перспектив использования водных ресурсов, развития водного транспорта, освоения приречных территорий, прокладки коммуникаций.

Работа выполнена по планам НИР кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова при частичной финансовой поддержке Российского научного фонда (14-17-00155, 18-17-00086) и Российского фонда фундаментальных исследований (18-05-00487).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Чалов Р.С., Рулева С.Н., Михайлова Н.М.** Оценка морфодинамической сложности русла большой реки при планировании водохозяйственных мероприятий (на примере Оби) // География и природ. ресурсы. — 2016. — № 1. — С. 29–37.
2. **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.
3. **Шатаева С.Г.** Определение объемов дноуглубительных работ с помощью показателя устойчивости русла // Труды Центр. науч.-исслед. ин-та экономики и эксплуатации водного транспорта. — 1969. — Вып. 68. — С. 84–121.
4. **Водные** пути бассейна Лены / Под ред. Р.С. Чалова, С.Я. Зернова, В.М. Панченко. — М.: МИКИС, 1995. — 595 с.
5. **Чалов Р.С., Кирик О.М.** Ленские «разбои»: ретроспективный анализ переформирований, прогнозные оценки и регулирование русла // Эрозия почв и русловые процессы. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2015. — Вып. 19. — С. 294–338.
6. **Маккавеев Н., Федоров Б., Тревогина Р., Кондрахова Е.** О коренном улучшении судоходных условий Верхней Лены // Речной транспорт. — 1971. — № 11. — С. 42–43.
7. **Чалов Р.С., Кирик О.М., Ильясов А.К., Ботавин Д.В., Броницкий В.И.** Кыллахский «разбой» и Олёмминские перекаты на р. Лене: русловые процессы и путевые работы // Речной транспорт (XXI век). — 2012. — № 3. — С. 82–87.
8. **Магрицкий Д.В.** Факторы и закономерности многолетних изменений стока воды, взвешенных наносов и теплоты нижней Лены и Вилюя // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. — 2015. — № 3. — С. 17–30.
9. **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.
10. **Ермакова А.С., Кирик О.М.** Морфология и переформирования русла на Усть-Алданском участке р. Лены // Геоморфология. — 2006. — № 2. — С. 62–63.
11. **Чалов Р.С., Кирик О.М., Ильясов А.К., Ботавин Д.В.** Многолетние направленные и периодические деформации Белогорских перекатов (БП) на Лене и временная трансформация подходов к их выправлению // Речной транспорт (XXI век). — 2014. — № 2. — С. 70–74.

Поступила в редакцию 25.04.2018

После доработки 26.06.2018

Принята к публикации 19.09.2019