

МОРФОЛОГИЯ И ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ РУСЛА НА УСТЬ-АЛДАНСКОМ УЧАСТКЕ Р. ЛЕНЫ¹

Узлы слияния больших рек обычно отличаются сложной морфологией постоянно переформирующихся русел, что отражает особенности взаимодействия потоков сливающихся рек в разные фазы гидрологического режима и в разные по водности годы. Выявление закономерностей морфодинамики русел на таких участках представляет собой важную практическую задачу, поскольку узлы слияния рек являются важными транспортными узлами, в которых соединяются речные пути. Кроме того, ее решение необходимо для понимания особенностей рельефа речных долин при слиянии рек и условий формирования здесь аллювиальных отложений.

Впервые на специфику морфологии, динамики и режима переформирования русел при слиянии рек обратил внимание Н.И. Маккавеев [1]. Наиболее полное обобщение данных по русловым процессам в узлах слияния рек было выполнено Н.А. Никитиной [2], разработавшей морфодинамическую классификацию узлов слияния рек и методику расчета величины и дальности воздействия сливающихся рек друг на друга. Она же проанализировала русловые процессы при слиянии Бии и Катунь, Оби и Томи, некоторых других больших рек со своими основными притоками. Однако конкретные исследования таких узлов весьма немногочисленны из-за отсутствия необходимых данных и по морфологии русел, и по гидрологии сливающихся рек. Это ограничивает возможности гидролого-морфологического анализа и приводит иногда к просчетам при решении практических задач.

Выполненное исследование на Усть-Алданском участке р. Лены не только закрывает “белое пятно” в географии русловых процессов в узлах слияния рек, но и впервые позволяет увидеть реальную картину развития сложноразветвленного русла при впадении однопорядкового притока.

Морфология русла и руслообразующий аллювий

Русло Лены при ее слиянии с Алданом разветвляется на сложную систему рукавов (рис. 1). Отдельные узлы разветвления в такой системе представлены группами островов посередине реки. В каждом звене выделяются два основных рукава, проходящих у противоположных берегов (в Усть-Алданском узле разветвления это протоки Арбынская – правый рукав и Турий Взвоз – левый рукав). Преимущественное развитие в каждом звене периодически получают то один, то другой рукав, и главное течение реки на каждом временном отрезке располагается последовательно то вдоль одного, то вдоль другого берега, образуя своеобразные излуины среди островов [3].

Усть-Алданский участок Лены расположен непосредственно в узле слияния Лены и Алдана. Общая его протяженность составляет около 30 км. Он начинается в районе о-ва Нелекен (1475 км) и протягивается до пос. Батамай, расположенного ниже устья Алдана (1445 км), являясь дельтовым разветвлением Лены с множеством островов и поперечных, относительно маловодных (по сравнению с основными рукавами) протоков, соединяющих оба рукава, но в основном направленных в сторону левого – протоки Турий Взвоз. Взаимодействие потоков обеих рек существенно влияет на состояние рукавов, нарушая принципиальную схему развития протоков Турий Взвоз и Арбынской, обусловленную положением всего участка в системе сопряженных разветвлений.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 03-05-64302) и РФФИ-ГФЕН Китая (проект № 04-05-39017 ГФЕН-а).

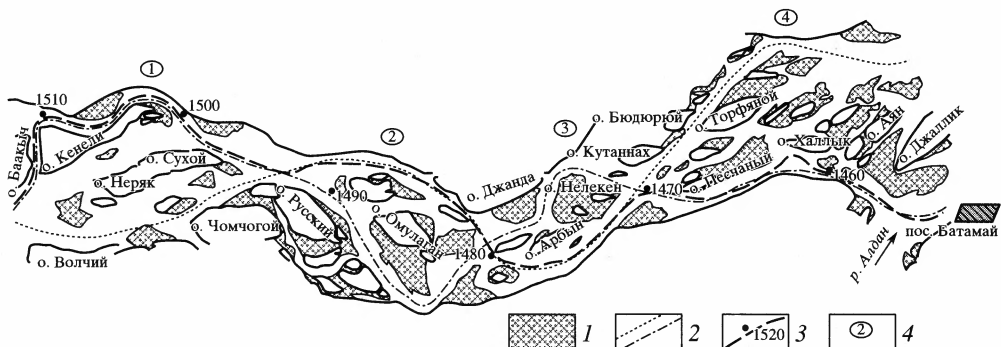


Рис. 1. Схема участка Лены от о-ва Баакыч до устья Алдана, 1997 г.

1 — песчаные отмели, 2 — основные положения главного течения реки в сопряженных разветвлениях русла, 3 — положение судового хода и километраж от устья Лены, 4 — номера звеньев сопряженных разветвлений русла

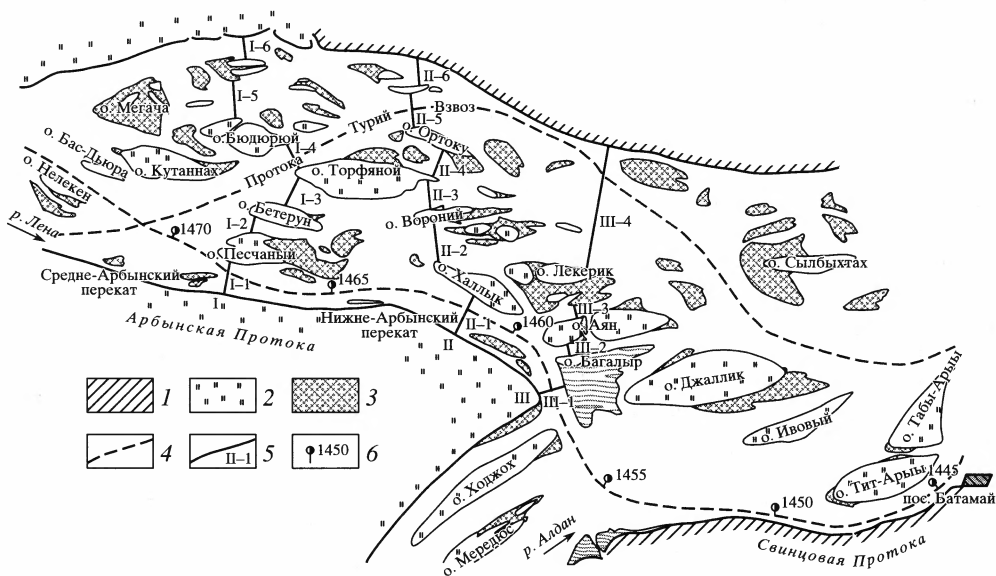


Рис. 2. Усть-Алданский участок Лены

1 — коренные берега и террасы, 2 — пойма, 3 — песчаные отмели, 4 — возможные положения судового хода, 5 — расходные створы, 6 — километраж по современному судовому ходу

Правый берег представлен поймой на лено-алданской стрелке, левый — уступом I надпойменной террасы. Арбынская протока проходит вдоль стрелки, образуя “короткое слияние” с Алданом; Турий Взвоз соединяется с объединенным потоком Алдана и Арбынской протоки уже ниже пос. Батамай, где русло изменяет свой морфодинамический тип на одностороннее разветвление с основным рукавом вдоль правого коренного берега, при этом образуется “длинное слияние” (рис. 2).

Русло на Усть-Алданском участке расширяется почти в два раза: от 5 км в начале участка (в створе о-ва Нелекен) до 10 км ниже слияния с Алданом (в створе о-ва Ивовый). Ширина русла без островов изменяется еще сильнее: от 4.2 до 8.9 км. Такое увеличение ширины русла определяет специфику процессов переноса и отложения нано-

сов, поскольку приводит к снижению удельного расхода воды, уменьшению транспортирующей способности потока и, как следствие, аккумуляции наносов.

Усть-Алданский узел разветвления (1470–1457 км судового хода), является верхней частью нижнего звена системы сопряженных рукавов. Здесь он образован о-вами Песчаный, Бетерун, Торфяной, Ортоку, Вороний, Халлык, Лекерик, Аян и Багалыр, занимающими центральную часть русла, располагаясь таким образом, что оголовки острова, расположенного ниже по течению, заходит за ухвостье вышележащего острова. Протоки между островами узла разветвления невелики (длина около 2 км, ширина не превышает 800 м), субпараллельны друг другу и направлены по диагонали из Арбынской протоки в Турий Взвоз. Руслу проток заполнены обсыхающими в межень побочными и осередками, многие из них в межень не функционируют. По этим протокам водные массы частично перемещаются из Арбынской протоки в Турий Взвоз, обуславливая уменьшение водности по длине первой и увеличение водности второй.

Нижняя часть звена (1457–1440 км судового хода) представляет собой узел слияния Лены и Алдана. Расположенные здесь о-ва Джаллик, Ивовый, Тит-Ары, Табы-Ары делают русло на четыре протоки. Если поток Алдана подпирал Лену, то эти протоки пропускают алданские воды в левую часть русла Лены. В обратной ситуации алданские воды концентрируются в правой части русла Лены, сосредотачиваясь в узкой правобережной Свинцовой протоке. В настоящее время протоки слева и справа от о-ва Джаллик в межень почти полностью пересыхают, что свидетельствует о преимущественном подпоре Алдана со стороны Лены.

Основные рукава – протоки Арбынская и Турий Взвоз конкурируют в своем развитии. Арбынская протока прижимается к правому берегу и в настоящее время судоходна. Ширина протоки в истоках (рис. 2, створ I–1) – 410 м, у о-ва Халлык (створ II–1) – 770 м, перед впадением Алдана (створ III–1) – 900 м. Глубины изменяются от 6–12 м в плесовых лощинах до 2.5 м на гребнях перекатов (считая от проектного уровня). Главное течение в протоке следует сначала вдоль правого берега, на Ниж. Арбынском перекате отклоняется к островам, но затем подрезает стрелку и ухвостья островов на Алдане, расположенных непосредственно выше устьевого створа.

Протока Турий Взвоз находится в левобережной части русла. Ширина ее – 970 м в истоках (рис. 2, створ I–4), в средней части уменьшается до 400 м (створ II–5), но к устью увеличивается до 1600 м (створ III–4). Глубины изменяются от 4–6 м в плесовых лощинах до 2–1.5 м на перекатах.

В начале участка, в створе о-ва Песчаный (рис. 2, створ I–1) в Арбынскую протоку по данным измерения расходов воды в 2002 г. в межень поступает 60% от общего расхода воды. Непосредственно в протоку Турий Взвоз поступает 28% (рис. 2, створ I–4). На протоки между о-вами Песчаный и Бетерун, Бетерун и Торфяной (створы I–2, I–3) приходится около 12% общего расхода воды, левобережные протоки (створы I–5, I–6) оказываются закупоренными песчаными отложениями. Все это способствует уменьшению водности протоки Турий Взвоз и ее обмелению ниже по течению. Преобладание аккумулятивных процессов среди островов (рис. 2, створы II–2, II–3, II–4, III–2, III–3), разделяющих протоки Арбынскую и Турий Взвоз, приводит к сокращению перетока воды в сторону левого берега и сосредоточению стока в нижней части Арбынской протоки, особенно при переходе от половодья (паводков) к межени.

Руслообразующие наносы на Усть-Алданском участке Лены представлены среднезернистыми песками, которые выстилают более 40% площади русла. Наименее распространены (не более 1%) пылеватые и тонкозернистые пески, накапливающиеся в межень в подвальных крупных грядах. Гравелистые пески и гравий локализируются в стрежневой зоне основных рукавов. Средняя крупность руслообразующих наносов на участке составляет 0.5 мм. В зависимости от влияния Алдана весь Усть-Алданский участок Лены можно разделить по распределению руслообразующих наносов на два отрезка: 1) от о-ва Нелекен до Лено-Алданской стрелки (1475–1456 км); 2) ниже Лено-Алданской стрелки (1456–1440 км). В пределах первого отрезка в русле Лены среднезернистые пески занимают 47% площади русла, выстилая надводные в межень осеред-

ки, побочни в протоках между крупными островами (Кутаннах – Бюдюруй – безымян- ные; Песчаный – Бетерун – Торфяной). Значительные площади более крупных нано- сов вытянуты почти непрерывными полосами вдоль основных рукавов (проток Арбынской и Турьего Взвоза) и некоторых второстепенных (диагонально ориентиро- ванных) проток в направлении максимальных скоростей в период половодья. На вто- ром отрезке при общем увеличении крупности аллювия по сравнению с вышележа- щим от 0.45 до 0.55, мм заметно различаются как по составу, так и по особенностям распределения наносов право- и левобережная части русла. В правобережной части вследствие распластывания потока при слиянии Арбынской протоки и Алдана накап- ливается более мелкий материал (Усть-Алданский перекаат почти полностью сложен среднезернистыми песками). Еще одна особенность – распространение здесь галечни- ков (14.2% площади русла), которые узкой полосой тянутся вдоль правого берега Ле- ны ниже устья Алдана. Появление их связано с выносами Алдана. В Свинцовой про- токе галечники занимают 50% площади русла; кроме того, на 27% площади русла га- лечники прикрываются в межень маломощным слоем песка. Левобережная часть русла ниже слияния с Алданом выстилается средне-крупнозернистыми (29%), крупно- зернистыми (24%) и среднезернистыми (27%) песками.

Многолетние переформирования рукавов

Основная особенность переформирования русла Лены заключается в периодичес- кой смене фаз преобладающего развития двух основных рукавов: правого – Арбын- ской протоки и левого – протоки Турий Взвоз, а также поперечных протоков между ни- ми. В соответствии с этим судовой ход проходит либо по системе левобережных про- токов и в Турьем Взвозе, либо вдоль правого берега. Перемещение главного течения реки из одного рукава в другой осуществляется периодически через каждые 15–25 лет (табл. 1).

До 1925 г. судовой ход располагался в Арбынской протоке; с 1926 до начала 1950-х гг. развивалась протока Турий Взвоз, в которую он был переведен. С начала 1950-х гг. вновь произошло развитие Арбынской протоки, тогда как заход в Турий Взвоз пере- крыли большие скопления песка [3]. В начале 1970-х гг. опять наметилась тенденция к развитию протоки Турий Взвоз, относительная водность в ее истоках достигала 25% и возрастала к низовьям до 49%, тогда как водность Арбынской протоки была не выше 40% (табл. 2). В 1971 г. глубины практически на всем ее протяжении превышали 2.5 м (гарантированные для судоходства), за исключением средней ее части, где в центре русла располагается перекаат (рис. 3). В таких условиях судовой ход был переведен в Турий Взвоз, где просуществовал до начала 1980-х гг. В 1990-е гг. еще раз произошло перераспределение стока в пользу правого рукава.

Отмеченные циклы имеют разную продолжительность (от 10 до 25 лет), но в целом короче в 2–3 раза обусловленных развитием системы сопряженных разветвлений на Лене [3]. Как видно из таблицы 2 они согласуются с чередованием преимущественно многоводных и маловодных лет и подпорными и бесподпорными условиями на Лене

Таблица 1

Периодическое развитие (+) и обмеление (–) левого и правого рукавов на Усть-Алданском участке Лены

Рукав	Годы				
	до 1925	1926–52	1953–71	1972–82	с 1982
Правый – Арбынская протока	+	–	+	–	+
Левый – протока Турий Взвоз	–	+	–	+	–
Характер половодий	Высокие	Низкие	Высокие	Низкие	Высокие
Влияние Алдана	БП	П	БП	П	БП

БП – бесподпорное, П – подпорное.

Изменения относительной водности рукавов Усть-Алданского участка – проток Арбынской и Турьей Взмоз, в % от общей

Годы	Протока Турьей Взмоз				Арбынская протока			
	верховья		низовья		верховья		низовья	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1963	192	15.2	196	19.6	192	47.2	182	63.5
1969	174	23.8	149	36.8	174	45.8	220	42.4
1971	358	25.2	276	49.2	358	38.6	372	36.2
1991	201	25	190	30.9	201	40.4	191	31.5
1995	255	18	230	38	255	41	50	36
1997	220	18	–	–	220	44	220	38
2002	65	27.8	–	–	65	59.7	–	–

1 – уровень над проектным, см; 2 – расход воды, Q (%).

при взаимодействии ее потока с Алданом. Вместе с тем на этом фоне развития правой и левобережных рукавов наблюдаются более краткосрочные периоды, через каждые 4–5 лет определяющие развитие русла в истоках Турьего Взмоза или Арбынской протоки. Главное течение на перевале от левого берега в вышележащем звене сопряженной системы рукавов к правому на Усть-Алданском участке периодически располагается то слева, то справа от о-ва Нелекен (рис. 1). Развитие правой протоки у этого острова способствует тому, что поток, выходя из нее, опирается на плечо правого берега выше захода в Арбынскую протоку и при благоприятных условиях направляет им в истоки Турьего Взмоза, что способствует его развитию. Выход из левой протоки у о-ва Нелекен ориентирован на заход в Арбынскую протоку, что способствует развитию последней. Иными словами, чем больше относительный расход воды, сосредотачивающийся в протоке справа от острова Нелекен, тем больше будет доля стока воды вдоль левого берега на входе в Арбынскую протоку (табл. 3), и наоборот. В данном случае причиной попеременного развития обеих проток является смещение побочней с вышележащего участка. Их ухвостье сначала перекрывает заход в правую протоку у о-ва Нелекен и направляет поток в левую. Затем побочень отторгается, и поток вновь переходит в правую протоку.

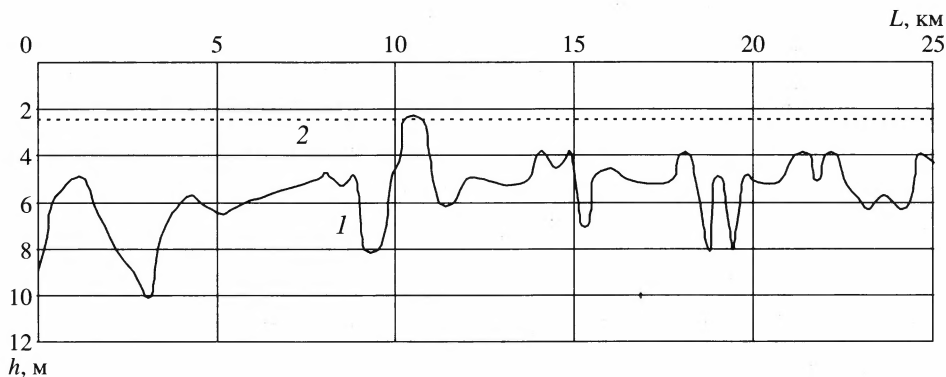


Рис. 3. Продольный профиль протоки Турьей Взмоз, 1971 г.
1 – дно протоки, 2 – изобата 2.5 м

**Распределение расходов воды по рукавам (в % от общего) в створе о-ва Нелекен
и на входе в Арбынскую протоку**

Годы	Правее о-ва Нелекен		Правее о-ва Песчаный	
	1	2	1	2
1963	192–206	52.5	192	47.2
1969	174	41	174	45.8
1971	340	39.1	358	38.6
1991	184	55.2	201	47.5

1 – уровень над проектным, см; 2 – расход воды, Q (%).

Взаимодействие потоков Лены и Алдана как фактор развития рукавов

Русловые процессы в узлах слияния рек характеризуются рядом особенностей, связанных с непрерывным взаимодействием потоков сливающихся рек, имеющих различные гидравлические характеристики, неодинаковый гидрологический режим и отличающихся по величинам стока воды и наносов. Наибольшее влияние на русловой режим узлов слияния оказывает соотношение амплитуд уровней и сроков прохождения пиков половодья и паводков, а также изменения водности сливающихся рек [4]. В отдельные годы водность Лены и Алдана не совпадает, что приводит к преобладающему влиянию в узле слияния либо притока, либо главной реки. Так, с 1970 по 1977 гг. на Лене наблюдалась маловодная фаза водного режима, на Алдане – многоводная (рис. 4). Поэтому как во время половодья, так и в летне-осеннюю неустойчивую межень водность Алдана в целом превышала водность Лены. В эти годы Усть-Алданский участок находился в условиях динамического подпора со стороны притока.

В такой ситуации воды Лены направляются в сторону левого берега, в “обход” зоны подпора, который, в первую очередь, проявляется в рукавах, непосредственно при-

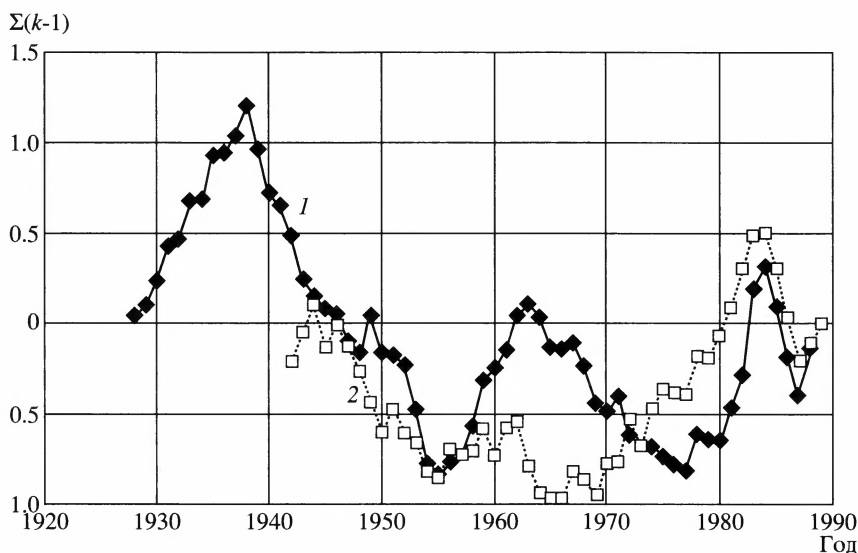


Рис. 4. Разностные интегральные кривые расходов воды Лены и Алдана

Участки: 1 – Лена – Табага, 2 – Алдан – Верхоянский Перевоз.

K – модульный коэффициент расхода воды ($K = Q_j/Q_o$, где Q_j – расход в год наблюдения, Q_o – средний много-
летний расход)

Условия подпора на Усть-Алданском участке р. Лены в период половодья

Годы	Соотношение условий подпора	H, м	t, сут	Водность	
				р. Лены	р. Алдана
1976	Значительный подпор малой продолжительности	8	7	Низкая	Средняя
1984		7.2	8	Высокая	Высокая
1967	Относительно слабый подпор большой продолжительности	5.5	40	Средняя	Высокая
1969		3.5	49	Низкая	Низкая
1970		4.6	52		Высокая
1974	Относительно длительный, но не очень сильный подпор	5.3	24	Низкая	Высокая
1977		3.9	18		Средняя
1978		4.3	22	Высокая	Высокая

H – величина подпора, t – продолжительность существования подпора.

легающих к стрелке в узле слияния. Это приводит к активизации левобережного рукава – протоки Турий Ввоз, образующего “длинное” слияние двух рек (с 1972 по 1982 гг. судовой ход проходил по Турьему Ввозу). Напротив, с 1978 г. водность обеих рек увеличивается, причем на Лене резче, в т. ч. из-за большей величины ее стока. В таких условиях в период прохождения руслоформирующих расходов воды Лена как более многоводная река находится в бесподпорном состоянии, развивается “короткое” слияние по правому рукаву – Арбынской протоке, тогда как левый – протока Турий Ввоз мелеет. Это во многом связано с увеличением к стрелке в узле слияния продольного уклона, т.е. со спадом уровня вдоль правого рукава.

Наряду с соотношением водности сливающихся рек, одним из важнейших факторов руслового режима является взаимодействие меняющихся во времени гидравлических параметров, обусловленных разностью прохождения волн половодья и паводков на этих реках. Лена и Алдан характеризуются как периодами синхронного прохождения половодья и паводков, так и существенным смещением их пиков во времени, что влияет на процессы динамического подпора в узле слияния. В период половодья можно выделить три основных вида подпора Лены алданским потоком по соотношению величины и продолжительности существования подпора (табл. 4). Первый отличается большими значениями подпора, наблюдающимися в течение короткого промежутка времени – менее 10 суток. Такая ситуация характерна для тех лет, когда волна половодья на Алдане сильно опережает волну ленского половодья.

Второму типу подпора присущи большие значения продолжительности его существования, что совпадает, как правило, с периодом повышенной водности на Алдане; тогда наблюдаются растянутое по времени (до месяца и более) алданское половодье и несколько пиков максимальных расходов воды.

Третий тип подпора характерен для тех лет, когда половодье на Алдане продолжалось в среднем около 20 дней, а на Лене либо сильно запаздывало (низкая водность, 1974 г.), либо имело несколько пиков, но они были незначительны, внутрисезонное и внутригодовое распределение стока более или менее равномерно (высокая водность, 1978 г.).

Дальность распространения подпора находится в прямой зависимости от его величины. В результате, если половодье на Алдане проходит при очень низких ленских уровнях (тип 1), то подпор распространяется в среднем на 100 км и более выше стрелки, а зона выклинивания подпора и наиболее интенсивной аккумуляции наносов оказываются намного выше по течению; на Усть-Алданском участке влияние подпора сказывается в перераспределении расходов воды между рукавами.

При совпадении по времени половодий на обеих реках и незначительной разнице их уровней, дальность проникновения подпора меньше – 50–60 км. В таких условиях об-

Условия подпора на Усть-Алданском участке Лены в период паводков

Годы	Характер паводков	H, м	t, сут	Водность	
				р. Лены	р. Алдана
1972	Паводочные переборы	4	104	Низкая	Высокая
1974		3.6	62		
1975		3.6	60		
1977	Отдельные паводки	4.7	13	Низкая	Средняя
		4	16		

Таблица 6

Условия спада уровней на Усть-Алданском участке Лены в половодье

Годы	Тип	Время формирования кривой спада	H, м	t, сут
1968	1	На подъеме половодья	1.7	6
1971			1.9	10
1972			2.3	5
1978			2	15
1981			2.4	14
1974	2	На спаде половодья	1.5	38
1975			1.1	13
1979			1.3	40

ласть выклинивания подпора находится в верхних звеньях системы сопряженных рукавов – Хайтыалахском (1515–1495 км) и Омулаган-Арбынском (1495–1475 км) узлах разветвления (рис. 1), где и происходит отложение наносов.

Во время спада половодья на Алдане и подъема уровней на Лене, когда величина подпора невелика, а ленский поток несет большое количество наносов, зона выклинивания подпора и отложения наносов захватывает непосредственно Усть-Алданский участок Лены, обуславливая здесь значительные переформирования русла.

Основной вклад паводки вносят в формирование кривой подпора на Усть-Алданском участке Лены в годы повышенной водности на Алдане и пониженной на Лене (табл. 5), поскольку именно в таком случае значительная часть стока Алдана приходится на летне-осеннюю межень, тогда как на Лене уровни воды понижаются. В летне-осенний период на Алдане могут происходить как отдельные непродолжительные паводки, так и достаточно длинные паводочные периоды, когда практически в течение всей летне-осенней межени уровни воды на Алдане превышают ленские, и приустьевой участок Лены находится в подпоре очень длительное время (более 60% периода открытого русла) (табл. 5). В этом случае образуется короткая зона подпора – 30–40 км и ленские наносы откладываются непосредственно в Усть-Алданском узле [5].

Кривая спада на Усть-Алданском участке Лены образуется во время половодья с уровнями на Лене, превышающими уровни на Алдане. Можно выделить два основных типа прохождения весеннего половодья на Лене: 1) высокий и резкий подъем уровней, в большинстве случаев опережающий половодье на Алдане, и достаточно быстрый спад; 2) более плавный и относительно небольшой подъем уровней и очень медленный спад половодья, который, как правило, наступает после прохождения максимальных уровней на Алдане. Каждый из этих случаев характеризуется определенными значениями условий спада уровней (табл. 6): 1) значительная величина (в среднем 2 м)

Условия спада уровней на Усть-Алданском участке Лены в летне-осенний период

Годы	Характер паводков	H, м	t, сут	Водность	
				р. Лены	р. Алдана
1976	Паводочные периоды	2.2	29	Низкая	Низкая
1977		1.7	54		
1983		2.8	77	Высокая	Высокая
		0.9	53		
1984		1.4	55		
		1.2	46		
1977	Отдельные паводки	0.9	19	Низкая	Низкая
1981		1.9	17	Высокая	Высокая
		2	12		
		1.4	13		
		1.3	37		
1982		1.5	28		

Таблица 8

Максимальные значения величин подпора и спада на Усть-Алданском участке Лены

Годы	Наличие подпора/спада	H, м	Водность	
			р. Лены	р. Алдана
1974	Подпор	9.1	Низкая	Высокая
1976		11.6		Средняя
1979		9.4	Средняя	
1984		10.5	Высокая	Высокая
1971	Спад	8.4	Высокая	Высокая
1978		6		
1981		6.8		

при малой продолжительности его существования (в среднем 10 суток); 2) относительно малая величина (от 1 до 1.5 м) при большой продолжительности (до 40 суток).

Дальность распространения кривой спада уровней зависит как от величины спада, так и от расхода воды на пике половодья. Максимальные значения длины зоны спада наблюдаются в годы с очень высокими половодьями на Лене и одновременно низкими уровнями на Алдане (табл. 6, тип 1), составляя приблизительно 90–100 км. Средние значения длины зоны спада (60–65 км) соответствуют годам, когда максимальные уровни на Лене наступают при достаточно высоких уровнях на Алдане.

Кривая спада на Лене в узле ее слияния с Алданом в период летне-осенней межени в большинстве случаев формируется в годы повышенной водности на Лене, с относительно равномерным распределением стока внутри года, когда достаточно большая его часть приходится на летне-осенний период. Так же как и на Алдане, на Лене в период летне-осенней межени могут наблюдаться отдельные паводки и целые паводочные периоды, с уровнями воды на Лене, превышающими уровни на Алдане (табл. 7). Нередко паводочные периоды возникают на спаде половодья, и тогда условия спада наблюдаются в течение очень длительного промежутка времени.

Максимальные значения времени подпора/спада на Усть-Алданском участке Лены с 1967 по 1984 гг.

Годы	Водность		t , сут	$H_{\text{ср}}$, м	$L_{\text{ср}}$, км
	р. Лены	р. Алдана			
Условия подпора					
1972	Низкая	Высокая	141	4.1	68
1974			110	3.9	65
1969		Низкая	103	3.1	51
1970		Высокая	101	3.9	65
Условия спада					
1983	Высокая	Высокая	130	2.7	91
1984			125	1.7	47
1981			121	1.5	67
1978			103	1.6	48

t – продолжительность существования подпора/спада, H_{cp} – среднее значение величины подпора/спада, L_{cp} – среднее значение длины зоны подпора/спада.

Абсолютные максимальные значения величин подпора и спада соответствуют годам с максимальной, не зависящей от водности года разницей между сроками прохождения пиков половодья на Лене и Алдане (табл. 8). В целом условия подпора преобладают в период пониженной водности Лены и повышенной – Алдана (табл. 9). В этом случае увеличивается отток ленских вод в протоку Турий Взвоз, которая начинает активно развиваться, а правый рукав – Арбынская протока, напротив, мелеет и теряет свое судоходное значение. Такие условия наблюдались с 1970 по 1977 гг. (рис. 4).

Формирование кривой спада уровней на Усть-Алданском участке Лены соответствует годам повышенной водности последней (табл. 9). В многоводный период спад уровней в период половодья на Лене происходит плавно, сток в меженный период оказывается повышенным по сравнению с маловодными годами. Поэтому условия спада преобладают на Лене большую часть периода открытого русла. В этом случае преимущественное развитие получает Арбынская протока – в ней происходит сосредоточение основного стока Лены, активизируются процессы размыва русла и вынос материала вниз по течению [5].

Особенности развития Усть-Алданского участка в настоящее время

В настоящее время условия спада несколько продолжительнее условий подпора (табл. 10). Река Лена находится в фазе повышенной водности, внутригодовое распределение стока достаточно равномерно, что благоприятствует образованию кривой спада на Усть-Алданском участке, в особенности, в летне-осенний период. Если же

Таблица 10

Продолжительность существования условий подпора и спада на Усть-Алданском участке Лены в современный период времени

Годы	$t_{\text{подпора}}$		$t_{\text{спада}}$	
	сут.	%	сут.	%
2002	32	23.9	102	76.1
2003	71	44.7	88	55.3
2004	46	37.7	76	62.3

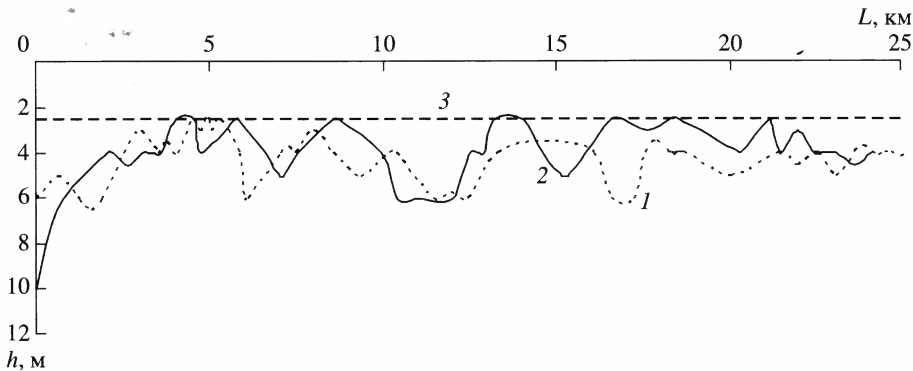


Рис. 5. Продольный профиль протоки Турий Взвоз в 1998 и 2004 гг.
Дно протоки: 1 – в 1998 г., 2 – в 2004 г.; 3 – изобата 2.5 м

при этом водность Алдана оказывается ниже водности Лены, то и во время половодья преобладают условия спада уровней.

В то же время в начале исследуемого участка, где ленский поток разделяется на два основных рукава, значительно уменьшается ширина русла на заходе в Арбынскую протоку: в самом узком месте ширина русла сократилась с 880 м (1998 г.) до 330 м (2004 г.). Это способствует увеличению оттока воды в левую часть русла – доля расхода воды в створе между о-вами Торфяный и Бюдюрый (рис. 2, створ I–4) в 1997 г. составляла всего 18%, а к 2002 г. увеличилась до 27.8% от общего расхода воды. Это в свою очередь приводит к активизации захода в протоку Турий Взвоз, где глубины увеличиваются в среднем на 0.14 м/год.

Несмотря на уменьшение ширины русла Арбынской протоки, преобладание условий спада на Усть-Алданском участке благоприятно сказывается на ее развитии. Доля расхода воды в ее истоках с 1997 по 2002 гг. возросла с 44 до 59%. Интенсивность изменения средней глубины русла в Арбынской протоке в целом невелика, но все же доминирует размыв русла: приращение глубин составляет 0.03 м/год.

Для среднего и нижнего течения протоки Турий Взвоз в настоящее время характерна аккумуляция наносов (рис. 5). Средние глубины русла уменьшаются приблизительно на 0.4 м/год.

Кроме того, на общем фоне взаимодействия потоков Лены и Алдана на Усть-Алданском участке господствует аккумуляция, особенно в центральной части русла, где поперечные протоки, соединяющие правый и левый рукава Лены заносятся и обсыхают в межень. Баланс наносов на этом участке положительный и равен примерно 14.4 млн. м³/год, что составляет почти 50% от годового стока влекомых наносов Лены – 32.7 млн. м³/год (р. Лена – п. Табага) [6]. Несмотря на преобладание условий спада на Приалданском участке Лены, столь высокие значения объемов аккумуляции наносов можно объяснить морфологией самого русла – на протяжении Усть-Алданского участка ширина русла увеличивается в два раза. Это обуславливает распластывание потока в узле слияния, уменьшение его транспортирующей способности, следствием чего и является отложение наносов. В свою очередь, раструбообразное расширение русла Лены перед слиянием с Алданом создано постоянным блужданием потока в условиях взаимодействия (подпоров – спадов) сливающихся рек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 346 с.
2. Никитина Н.А. Русловые процессы в узлах слияния рек: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1989. 25 с.
3. Водные пути бассейна Лены. М.: МИКИС, 1995. 600 с.

4. Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 263 с.
5. Лодина Р.В., Чалов Р.С. О влиянии притоков на состав наносов и деформации русла главной реки // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1971. № 4. С. 65–70.
6. Алексеевский Н.И., Чалов Р.С., Лю Шугуан. Сток наносов и русловые процессы на больших реках России и Китая. М.: Изд-во МГУ, 2000. 212 с.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
20.07.2005

MORPHOLOGY AND RE-FORMATION OF THE LENA CHANNEL AT THE UST'-ALDAN STRETCH

A.S. ERMAKOVA, O.M. KIRIK

Summary

Calculations of the spread of backwaters and falls of the Lena (near the Aldan mouth) were fulfilled. The features of bed morphology resulted from the interaction between the main river and the tributary are described. The major characteristic of the Lena channel dynamics is the change of the most active arm of the river with its main stream every 15–25 years. This change depends on water balance of the Lena and the Aldan, forming the backwater condition or its absence. The ratio of levels and dates of flood peaks is of significant importance in this process.

УДК 551.4.01

© 2006 г. Б.А. КАЗАНСКИЙ

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО РЕЛЬЕФА ПО ЦИФРОВЫМ ДАННЫМ ЕТОРО 2'

Введение

Существующие базы цифровых данных позволяют (помимо решения картографических задач [1–3]) анализировать статистику глобального рельефа более детально и оперативно, чем это было возможно по картам [4, 5] или по разложению рельефа на сферические гармоники [6]. Наиболее подходящей для такого анализа автору представляется база данных ЕТОРО 2', дающая высоты точек поверхности Земли в целых метрах для равномерной сетки меркаторской проекции в пределах от 72° с. ш. до 72° ю. ш., соответствующих площадкам 2' × 2' в районе экватора. Эти данные охватывают 95% поверхности Земли. Есть также данные ЕТОРО 5', охватывающие все 100% поверхности Земли, для равномерной сетки 5' × 5' равнопромежуточной цилиндрической проекции (9 331 200 точек), но в этих данных обнаружены ошибки, поэтому их нельзя рекомендовать для статистического анализа. Данные ЕТОРО 2' включают высоты и координаты около 68 млн. точек, что в пересчете к равноплощадным проекциям соответствует равномерной сетке более 35 млн. точек (площадок по 13.7 км²).

С использованием данных ЕТОРО 2' автором уже были проанализирована гипсометрия континентов и океанов [7, 8], крупных океанических островов, батиметрия морей в рамках, так сказать, традиционного подхода – расчета плотности распределений высот $f(h) = -dS/dh$, отображаемых гистограммами или гипсометрическими кривыми. Но цифровые данные позволяют рассчитывать не только одномерные распределения для отдельных территорий, но и пространственные распределения высот и их статистических характеристик в зависимости от широты и долготы для глобального рельефа, используя программы MS EXCEL, SURFER и др. Для этого данные ЕТОРО 2' были реорганизованы в файлы для трапеций 5° по широте и 10° по долготе – всего 1080 трапеций, для каждой из которых рассчитан ряд статистических характеристик (максимальные, минимальные, средние и медианные высоты, среднеквадратические от-