

УДК 551.4

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ РУСЛОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ НА СРЕДНЕМ И НИЖНЕМ АМУРЕ И ИХ ОТРАЖЕНИЕ В МОРФОЛОГИИ РУСЛА И ПОЙМЫ

Р.С. Чалов^{1*}, А.Н. Махинов², А.В. Чернов¹, В.В. Иванов¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

²Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия

*rschalov@mail.ru

Поступила в редакцию 12.12.2024

После доработки 20.03.2025

Принята к публикации 10.04.2025

Аннотация. В статье рассматриваются особенности морфологии русла среднего и нижнего Амура, обусловленные вертикальными русловыми деформациями, характеризующимися различной направленностью и интенсивностью. На большей части среднего Амура (кроме участка пересечения хребта Малый Хинган, где русло врезанное, практически беспойменное) и всем нижнем Амуре развита направленная аккумуляция наносов, и лишь ниже слияния с р. Зеей — слабое врезание реки. Повышенный вынос наносов из притока после возведения на нем гидроузла и начавшегося размыва в низовьях песчаной Белой горы (в XX в.) обусловил смену врезания на первых нескольких десятках километров аккумуляцией, которая еще не проявляется в морфологии русла. Разная направленность вертикальных деформаций фиксируется в положениях кривых $Q = f(H)$, соответственных уровней, отражается в изменениях типа русла и рельефе днища долины. При направленной аккумуляции наносов для Амура в нижнем течении характерно превышение меженного уровня воды над поверхностью поймы, широкое распространение пойменной многорукавности, повсеместное формирование сложно разветвленного русла, а на притоках (кроме больших рек — Сунгари и Уссури) — приустьевых озер-разливов. Ниже г. Комсомольска-на-Амуре Амур пересекает отроги Сихотэ-Алиня, русло становится врезанным по геоморфологическому типу, но разветвленным, а на всех малых горных притоках перед впадением в Амур формируются приустьевые озера. В приустьевой части Амура чередование широкопойменных, адаптированных и врезанных участков русла происходит также на фоне направленной аккумуляции наносов, проявляющейся в русловых разветвлениях, пойменной многорукавности и приустьевых озерах на притоках. Таким образом, на протяжении почти всего среднего и нижнего Амура происходит систематическая аккумуляция наносов, связанная с отрицательными тектоническими движениями, прерываемая на среднем Амуре врезанием при пересечении им положительных структур. Длительная (в геологическом масштабе времени) интенсивная аккумуляция наносов определяет морфологию и динамику русла Амура даже на тех участках, где ее темпы снижены или она сменяется слабым врезанием.

Ключевые слова: Амур, русло, пойма, врезание реки, направленная аккумуляция наносов, приустьевые разливы на притоках

DOI: [10.71367/3034-4638-2025-2-2-18-32](https://doi.org/10.71367/3034-4638-2025-2-2-18-32)

ВВЕДЕНИЕ

Русловые деформации принято подразделять на три основные группы — вертикальные, горизонтальные и движение грядовых форм руслового рельефа (Маккавеев, Чалов, 1986). Вертикальные деформации, приводящие к трансформации продольного профиля рек, наиболее масштабны в

отношении региональности проявления. По времени проявления они могут быть направленными и периодическими (знакопеременными). Первые носят, как правило, общий (региональный) характер и охватывают значительные по протяженности участки рек или реки в целом, вторые являются местными или локальными.

Причины возникновения вертикальных деформаций разнообразны — от глобальных (тектонические движения земной коры, изменения климата, колебания базиса эрозии, антропогенные преобразования природной среды) до частных (спрямление излучин, разработка русловых карьеров, проведение дноуглубительных работ). Вертикальные деформации, связанные с глобальными причинами, рассматриваются лишь в том случае, если они наблюдаются выше и ниже водохранилищ или при массовой разработке русловых карьеров, характеризуются большой интенсивностью и требуют прогноза и учета при любых формах хозяйственной деятельности на реках и в речных долинах. При естественном проявлении ими обычно можно пренебрегать, и поэтому их оценка дается часто лишь на обобщенном качественном уровне. Исключение составляют экстремальные случаи развития вертикальных деформаций, определяющих условия жизни людей на берегах рек, т. к. они вызывают поднятие русла выше окружающей территории при аккумуляции (Чалов и др., 2000) или врезание рек относительно поверхностей, освоенных человеком (Сидорчук, Чалов, 1996). Однако и при малой интенсивности с вертикальными деформациями (их направленностью) в конечном счете связано строение речных долин; в определенной мере они влияют на формирование русла того или иного морфодинамического типа, создают общий фон, на котором проявляются все другие процессы руслоформирования, а при многовековом направлении развития — условия освоения и хозяйственной деятельности (Махинов, 2006).

На Амуре вертикальные русловые деформации характеризуются различной направленностью, причем в среднем течении участки врезающегося русла чередуются с участками, где происходит аккумуляция наносов, тогда как для нижнего течения характерна на всем протяжении направленная аккумуляция наносов. При этом имеющиеся данные свидетельствуют о неоднократном чередовании в пределах межгорных впадин процессов углубления долин и последующего их заполнения аллювиальными отложениями. На участках пересечения горных массивов в основном происходит врезание русла в коренные породы, которое сохраняется и сейчас в пределах Малого Хингана. На нижнем Амуре в голоцене направленная аккумуляция охватила даже горные участки реки, приведя к образованию островных горных массивов по периферии низменностей, в первую очередь Среднеамурской. Это — своеобразные остатки гор, погребенных под мощной толщей озерно-аллювиальных отложений.

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СТРОЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ДОЛИНЫ АМУРА

В течение всего кайнозоя в долине нижнего и части среднего Амура преобладало накопление аллювиальных отложений (Ахметьева, 1977), компенсирующее прогибание земной коры. Неодинаковая направленность и интенсивность тектонических движений в пределах отдельных геологических структур предопределили особенности строения долины, историю формирования и направленность современных русловых процессов на различных ее участках. В современном рельефе долины Амура наиболее отчетливо сохранились следы долинного морфолитогенеза за последние 20–25 тысяч лет, что позволяет наметить основные этапы геоморфологического развития территории в конце четвертичного периода (Махинов, 1990; 2006).

Во время последнего оледенения и послеледниковья (27–12 тысяч лет назад) долина реки на большей части своей длины в среднем и нижнем течении заполнялась аллювиальными наносами. Темпы аккумуляции были наивысшими за всю историю долины Амура. В устьевых частях крупных притоков (Ануй, Гур, Уссури, Тунгуска и других) возникали обширные конусы выноса, пологонаклонные к долине Амура (Чернов, 2008). Формирование аккумулятивных толщ происходило не только в пределах равнин, но и захватило горные части долины Амура в Хинганском, Комсомольско-Киселевском и Чаятынском сужениях. Уровень максимальной аккумуляции соответствует высоте поверхности, на которой расположен г. Комсомольск-на-Амуре. Конусы выноса, приуроченные к этому уровню в виде небольших по площади наклонных равнин, известны в приустьевых частях многих притоков Амура в пределах горной части его долины. Небольшие фрагменты конусов выноса сохранились в долинах Сихотэ-Алиня, куда проникала регрессивная аккумуляция (Короткий, 1985).

Таким образом, к концу верхнечетвертичного времени сформировалась обширная аккумулятивная равнина, которая протягивается от Малого Хингана до устья, прерываясь местами на участках горных пережимов и расширяясь в пределах межгорных впадин. Значительные ее площади были заняты обширными мелководными озерами. Узкими прерывистыми полосами она протягивается вверх по долинам притоков.

В начале голоцена происходит врезание Амура в пределах всего нижнего течения на 15–20 м на всем его протяжении. В результате по обе стороны от современной поймы образовался четко выраженный уступ, расчлененный местами оврагами и долинами небольших рек (Махинов, 2006). Глубинная эро-

зия распространилась регрессивно по всем рекам бассейна Амура. Этим обусловлено своеобразное положение конусов выноса притоков, имеющих резкие уступы и явно реликтовый облик. Обширные припойменные озера подтопления, образовавшиеся в предшествующий этап направленной аккумуляции, были спущены, и их освободившиеся от воды днища стали заболачиваться.

Примерно 5–7 тыс. лет назад в долине нижнего течения Амура возобновляется накопление избыточного количества наносов в русле реки (направленная аккумуляция), а также на поверхности поймы при ее затоплении, в результате чего они стали подниматься относительно окружающей территории. К настоящему времени раннеголоценовый врез наполовину заполнен аллювиальными отложениями. Вновь стали формироваться припойменные озера подтопления как следствие аккумуляции на главной реке (Амуре), более активной, чем на притоках (в результате подпора от главной реки). Наиболее крупные озера подтопления имеют площадь более 100 кв. км (Болонь, Хумми, Кизи и другие). На отдельных участках Среднеамурской и Удиль-Кизинской низменностей при высоких летне-осенних паводках затапливаются даже прилегающие к пойме пониженные поверхности озерно-аллювиальной равнины, на которых формируется наложенная пойма.

На Земле современная направленная аккумуляция наносов в долинах рек распространена довольно ограниченно и в основном приурочена к нижним течениям крупнейших рек планеты — Амазонки, Янцзы, Оби, Енисея, Хуанхэ и некоторых других. В долине нижнего и частично среднего Амура и в низовьях ряда его притоков современная аккумуляция проявилась достаточно широко (Короткий, 1985; Махинов, 1990; 2006). Она отмечается на всем протяжении Амура ниже слияния с р. Сунгари и в низовьях рек Амгуни, Уссури, Анюя и других. При этом накопление аллювия происходит также в пределах горных участков долины нижнего Амура. К югу от Амура современная аккумуляция проявляется на реках, пересекающих обширную Великую Китайскую равнину, в том числе на Хуанхэ и Янцзы, где ее скорости достигают 9 см в год. Это дает основание говорить о Тихоокеанском поясе низменностей Евразии, в пределах которого все большие реки испытывают направленную аккумуляцию наносов (Чалов и др., 2006).

Исследование мощности и состава аллювиальных отложений позволяет сделать вывод о направленности вертикальных деформаций русла за длительный отрезок времени, исчисляющийся десятками тысяч лет (Карташов, 1972). На совре-

менном этапе определить направленность вертикальных деформаций русел равнинных рек и установить их интенсивность можно, применяя точные гидрологические методы, дополняя их комплексом морфологических признаков, выявляемых при изучении морфологии и динамики русла и строения поймы (Маккавеев, Чалов, 1963). Однако для среднего Амура, где аккумуляция местами сменяется врезанием реки, возможно использование только анализа кривых соответственных уровней. Другие методы (кривые связей расходов и уровней, баланса наносов) здесь неприменимы из-за отсутствия данных многолетних наблюдений.

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ НА СРЕДНЕМ АМУРЕ

Анализ кривых соответственных уровней и морфологических признаков показал, что в среднем течении Амура в его разных частях вертикальные деформации русла характеризуются не только различной направленностью, но и интенсивностью. Это находит отражение как в морфологии и динамике русла, так и в рельефе днища долины. Здесь выделяется пять участков, отличающихся по направленности и интенсивности вертикальных русловых деформаций.

Для *первого участка от устья р. Зеи до устья р. Буреи* морфологические признаки свидетельствуют о слабом врезании реки. На это указывают особенности днища долины и русла Амура: двусторонняя пойма, справа очень узкая, в некоторых местах выклинивающаяся, имеет ступенчатый поперечный профиль, на котором более древние ступени располагаются гипсометрически выше более молодых. Кровля русловой фации аллювия в разрезах поймы занимает высокое положение (отношение видимой мощности русловой фации аллювия к пойменной составляет 2/3), причем она лежит выше отметок прирусловых отмелей, побочных и осередков, высота которых над меженным уровнем реки превышает 2 м. Глубинной эрозией можно объяснить, по-видимому, преобладание относительно прямолинейного русла, лишь непосредственно ниже слияния Амура и Зеи осложненного односторонними разветвлениями.

Между г. Благовещенском (990 км по судовому ходу от г. Хабаровска) и с. Гродеково (970 км) за 30-летний период времени (1955–1985 гг.) кривая соответственных уровней поднялась на 70–80 см, отражая повышение отметок дна вследствие аккумуляции наносов (рис. 1, А). Это не соответствует морфологическим признакам на данном отрезке реки и направленности процесса (врезания) ниже

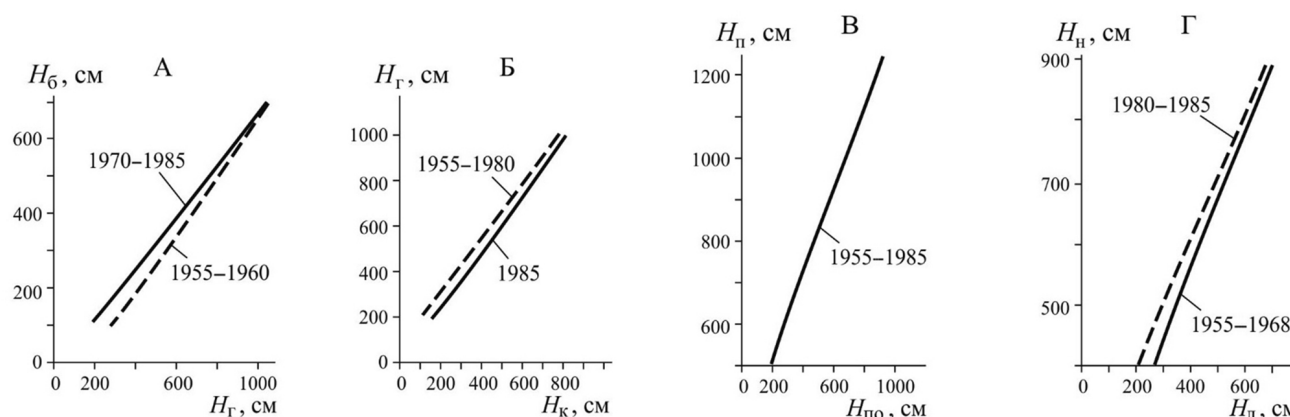


Рис. 1. Графики связей соответственных уровней для смежных гидрологических постов среднего Амура за разные периоды времени: А – г. Благовещенск (H_6) и с. Гродеково ($H_Г$); Б – с. Гродеково ($H_Г$) и с. Константиновка ($H_К$); В – с. Пашково ($H_п$) и с. Помпеевка ($H_{по}$); Г – п. Ленинское ($H_л$) и с. Нагибово ($H_н$) (Иванов, Махинов и др., 2000)

Fig. 1. Graphs of the relations of the corresponding levels for adjacent hydrological posts of the Middle Amur for different periods of time: А – Blagoveshchensk (H_6) and the village of Grodekovo ($H_Г$); Б – the village of Grodekovo ($H_Г$) and the village of Konstantinovka ($H_К$); В – the village of Pashkovo ($H_п$) and the village of Pompeevka ($H_{по}$); Г – the village Leninskoe ($H_л$) and the village Nagibovo ($H_н$) (Ivanov, Makhinov et al., 2000)

по течению (Гродеково–Константиновка, рис. 1,Б). Очевидно, здесь сказывается влияние выносов наносов из р. Зеи, на которой в этот период был сооружен Зейский гидроузел. Глубинная эрозия в нижнем бьефе ГЭС привела к увеличению стока донных (влекомых) наносов, создавших волну аккумуляции на Амуре непосредственно ниже его слияния с Зеей. Еще одним фактом, подтверждающим временный характер аккумуляции наносов на данном коротком отрезке (17 км), является то, что именно в этот период времени здесь сформировались односторонние разветвления. До сооружения на р. Зее гидроузла русло было прямолинейным, неразветвленным, как и на смежных участках выше и ниже по течению.

На данном участке (от устья р. Зеи до с. Константиновки) о слабом врезании реки свидетельствует направленное понижение уровней воды на г.п. Константиновка (890 км), составившее за 30-летний период 60 см. Однако, с учетом повышения уровней в верхней части участка (г.п. Гродеково), фактическое понижение уровней составило всего 10–20 см.

От с. Константиновки до с. Пашково (второй участок) в русле Амура происходит направленная аккумуляция наносов, которая отчетливо проявляется в морфологии долины и русла Амура. Высота поймы снижается до 3–4 м над меженным уровнем; меняется рельеф ее поверхности – она является однорукавной, прирусловая часть поймы заметно выше тыловой. В устьях притоков формируются озера

подтопления – приустьевые разливы (реки Урил, Улагахэ, Ганукан и др.). Значительно усложняется морфология русла: оно становится разветвленным с преобладанием сложных форм многорукавности. В первую очередь это относится к участку между с. Константиновкой и с. Куприяново. Ниже, вплоть до с. Пашково, разветвленность русла меньше. Здесь же отмечено увеличение интенсивности горизонтальных русловых деформаций, русло становится менее устойчивым: максимальных величин достигают длина размываемых берегов, протяженность фронта их размыва и берегозащитных сооружений (в основном по правому китайскому берегу), а также перераспределение стока между рукавами, направляющегося в те из них, в которых происходит размыв берегов, или в те, что находятся под направляющим воздействием берегозащитных сооружений (рис. 2).

Такие изменения форм проявления горизонтальных деформаций русла Амура по направлению к Малому Хингану, по-видимому, отражают снижение темпов аккумуляции наносов в этом направлении. Прямая связь между направленностью вертикальных и формой проявления горизонтальных русловых деформаций отсутствует (Маккавеев, 1955; Маккавеев и др., 1961), но во временном аспекте она проявляется, особенно в разветвленном русле. Поскольку между водностью потока и его транспортирующей способностью существует квадратичная зависимость, на врезающейся реке

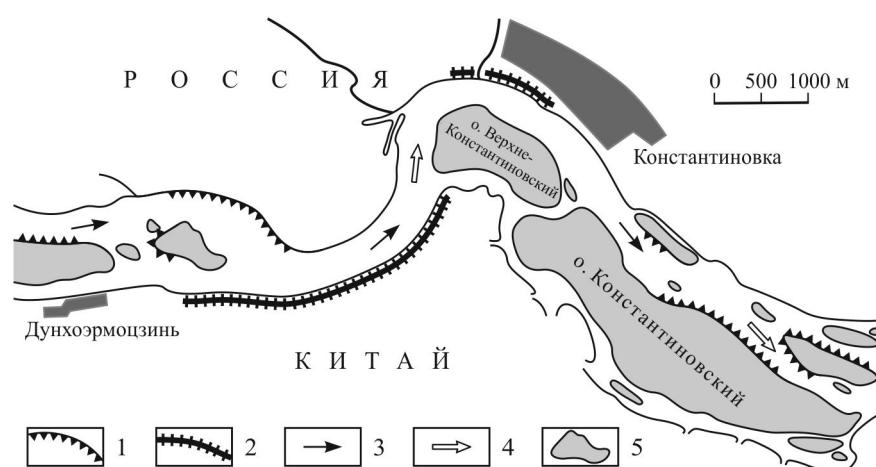


Рис. 2. Интенсивные горизонтальные деформации в русле р. Амур в районе с. Константиновка. 1 — интенсивный размыв берегов; 2 — берегоукрепительные сооружения; 3 — направление течения; 4 — перераспределение стока; 5 — молодые пойменные острова

Fig. 2. Intense horizontal deformations in the Amur riverbed near the village of Konstantinovka. 1 — intensive coastal erosion, 2 — coastal protection structures, 3 — current direction, 4 — redistribution of runoff, 5 — young floodplain islands

происходит в первую очередь углубление многоводных рукавов, пропускная способность которых увеличивается, тогда как маловодные мелеют и со временем отмирают.

Тенденция отмирания рукавов разветвленного русла является признаком врезания реки; наоборот, аккумуляция наносов всегда сопровождается увеличением разветвленности русла. В последнем случае различия темпов аккумуляции сказываются

на степени разветвленности русла, тогда как интенсивность процесса — независимая характеристика.

Изменения направленности и интенсивности вертикальных деформаций русла среднего Амура отражаются в уклонах водной поверхности: на участках врезания реки уклоны выше, чем на участках аккумуляции наносов (табл. 1), что свидетельствует о невыработанности на данном временном этапе продольного профиля реки.

Таблица 1. Уклоны и среднегодовые расходы воды на участках среднего Амура с разной направленностью вертикальных деформаций

Table 1. Slopes and average annual water consumption in areas of the Middle Amur River with different directions of vertical deformations

№ п/п	Участок	Протяженность, км	Уклон, ‰	Среднегодовой расход воды, м³/с
1	Устье Зеи — устье Буреи	269	0.095	3520
2	Устье Буреи — вход в Хинган (с. Пашково)	136	0.085	4750
2а	Предхинганский участок (с. Иннокентьевка — с. Пашково)	108	0.092	4750
3	Вход в Хинган — выход из Хингана	164	0.142	4750
3а	Малый Хинган (с. Пашково — с. Помпеевка)	81	0.099	4750
3б	Помпеевский хр. (с. Помпеевка — с. Екатерино-Никольское)	83	0.185	4750
4	Выход из Хингана — устье р. Сунгари	146	0.071	4750
5	Устье р. Сунгари — г. Хабаровск	270	0.062	7450

Разнонаправленность вертикальных русловых деформаций и их различная интенсивность в пределах Зейско-Буреинской равнины обусловлены рядом факторов, ведущий из которых — современные тектонические движения. Долина Амура заложена здесь по границе двух тектонических структур — Зейско-Буреинской палеомезозойской плиты, охватывающей левую часть бассейна, и Малого Хингана — палеозойского орогена, лежащего юго-восточнее (Сорокин и др., 2010).

Согласно «Карте новейшей тектоники...» (1985), обе структуры за неотектонический период испытывали устойчивое воздымание, однако оно резко дифференцировано: при суммарном поднятии орогена на 200–600 м прилегающая к нему часть плиты поднялась всего на 50–150 м, т. е. испытала относительное погружение. В неоген-четвертичное время здесь сформировался Предхинганский краевой прогиб, который пересекается долиной Амура.

Снижение темпов поднятия Предхинганского краевого прогиба по длине объясняет смену вниз по течению врезания реки аккумуляцией наносов (до влияния на эти процессы Зейского гидроузла). На этом участке, по сравнению с прилегающими, отмечается относительное уменьшение уклонов и, следовательно, транспортирующей способности потока, что в конечном итоге приводит к аккумуляции поступающих сверху наносов и повышению отметок дна русла и профиля водной поверхности.

Аккумуляция наносов в русле непосредственно перед Хинганом, по сравнению с вышележащим участком, менее интенсивна. Она связана с подпорными условиями, обусловленными переходом от свободных к ограниченным условиям развития русловых деформаций. Широкопойменное русло сменяется врезанным (пойма выклинивается) и сужается более чем в 1.5 раза. Подпорные условия проявляются во время прохождения руслоформирующих расходов воды, когда затоплена пойма (Белый, Чалов, 1997). В межень, наоборот, перед «входом» в Хинганское ущелье отмечается увеличение уклонов (табл. 1, участок 2а). В теоретическом плане подобная «игра уклонов» при переходе от широкопойменной долины к ее сужению как своеобразное гидравлическое явление была детально описана Н.И. Маккавеевым (Маккавеев, 1955).

Для предхинганского отрезка русла кривая соответственных уровней неизменна за многолетний период. По-видимому, это объясняется тем, что, пересекая горный массив, река врезается, и понижение здесь уровней компенсируется их повышением выше по течению вследствие аккумуляции.

В пределах Малого Хингана русло Амура в целом врезанное, однако неоднородность горной

системы и довольно сложное ее строение обуславливают более сложное распространение по длине реки направленных вертикальных деформаций. Малый Хинган образован двумя низкорными хребтами — собственно Малым Хинганским (в геоморфологической литературе его иногда называют Главным) и Помпеевским, между которыми располагаются Стариковское плато и Сутарская впадина (Геоморфология Амуро-Зейской равнины..., 1973). Эти морфоструктуры отличаются неодинаковой скоростью их неотектонического воздымания и литологией слагающих их горных пород, что отражается в ступенчатой форме продольного профиля Амура. Собственно Малый Хинганский хребет сложен в основном эффузивами мелового возраста, в пределах Стариковского плато преобладают метаморфические породы, представленные гнейсами, сланцами, кристаллическими кварцитами, отличающимися более высокой противозрозийной устойчивостью.

Помпеевский хребет сложен интрузивными породами (гранитоидами), для которых характерна наибольшая противозрозийная устойчивость. В результате на участке «Хинганских ворот» (третий участок среднего течения Амура) в продольном профиле прослеживается перегиб, приуроченный к пересечению рекой Помпеевского интрузивного массива (см. табл. 1). При среднем значении уклона для всего Хинганского участка 0.142‰ в верхней части участка (пересечение рекой хребта Малый Хинган) он составляет 0.099‰, тогда как на участке Помпеевского хребта он увеличивается почти вдвое (0.187‰).

На всем протяжении Хинганского сужения Амур имеет врезанное русло. Однако ряд косвенных признаков указывают на то, что в верхней и центральной частях участка (до устья р. Зимовейной), где река пересекает Сутарскую впадину, в настоящее время происходит местная аккумуляция наносов. На это указывают наличие односторонней поймы по краю шпор врезанных излучин и вдоль прямолинейных отрезков русла, образование приустьевых озер на притоках Амура (в устьях р. Улагахэ и др.). При этом большая часть объема отложений формируется в результате действия гравитационных процессов. В аккумуляции наносов в русле главная роль принадлежит крупногалечному материалу, основным поставщиком которого являются коренные склоны долины с осыпями, спускающимися непосредственно к руслу реки.

В нижней части Хинганского участка при максимальных значениях уклонов русло реки врезанное, слабоизвилистое, беспойменное. Рост скоростей течения вследствие двукратного увеличения укло-

нов обуславливает практически полный вынос за пределы участка поступающих сюда наносов и литогенного материала со склонов. Вследствие этого русло здесь либо скальное, либо выстилается крупногалечной отмосткой, размеры частиц которой превышают критические для сдвига их потоком. Это подтверждается данными эхолотирования русла, выявившего отсутствие грядового рельефа дна и преобладание по оси русла скального ложа.

Подобные условия должны обеспечивать интенсивное врезание реки. Однако кривые соответственных уровней для постов на этом участке имеют постоянные координаты за весь период наблюдений (рис. 1, В). Последнее может быть обусловлено как большими уклонами и высокой транспортирующей способностью потока, препятствующего аккумуляции наносов, так и высокой прочностью слагающих ложе коренных интрузивных пород, ограничивающих глубинную эрозию. Постоянное положение кривых объясняется еще и тем, что темпы поднятия горного массива и темпы врезания реки в данном случае не совпадают. В результате Помпеевский участок с многочисленными выходами коренных пород на дне по всей его длине, включая Союзненский «перекат», создает своеобразную структурную макроформу в продольном профиле Амура в виде своеобразного «водослива с широким порогом».

Ниже Хинганского сужения на *четвертом участке* (табл. 1) сначала на протяжении 40–50 км преобладает глубинная эрозия, характеризующаяся небольшими темпами, сменяющаяся вниз по течению направленной аккумуляцией. Врезанию реки способствуют формирование в многоводную фазу режима кривой спада уровней при выходе реки из ущелья в долину с широкой поймой и смена врезанного русла широкопойменным. О преобладании врезания реки свидетельствует ступенчатая пойма. В морфологическом отношении следствием глубинной эрозии являются относительно прямолинейное русло и очень малое количество разветвлений.

На *нижнем (пятом) 360-километровом участке (до г. Хабаровска)*, находящемся уже в пределах Среднеамурской низменности, происходит направленная аккумуляция наносов на реке. Переход от врезания потока к аккумуляции наносов зафиксирован в «ножницах» пойменных ступеней и надпойменной поверхности, представленной озерно-аллювиальной равниной: происходит слияние ступеней в единую одноярусную полигенетическую пойму; снижение отметок равнины приводит к тому, что она оказывается ниже уровня воды 1%-ной обеспеченности. Косвенными признаками аккумуляции наносов на Амуре являются: широкое

распространение пойменной многорукавности; развитие спрямляющих рукавов у сегментных излучин; смещение устьев крупных притоков (Биджана, Усури) вниз по течению по отношению к их выходу в пределы поймы Амура.

В результате аккумуляции наносов днище долины постоянно повышается, а область разливов реки частично захватывает озерно-аллювиальную равнину. Центральные и тыловые части поймы лежат гипсометрически ниже минимального уровня воды в реке, отделяясь от нее возвышенной прирусловой поймой. Особенно интенсивна аккумуляция ниже устья р. Сунгари. Хотя после слияния с Сунгари водоносность Амура возрастает, но в то же время на этом участке наблюдается резкое увеличение стока наносов (мутность потока, по данным наблюдений, возрастает в 20 раз, увеличиваясь в высокую межень от 20 мг/л выше устья Сунгари до более чем 400 мг/л ниже его). Наносы аккумулируются здесь из-за того, что транспортирующая способность потока оказывается недостаточной для перемещения всего поступающего материала. Об аккумуляции наносов свидетельствует наличие многочисленных приустьевых озер на притоках (реки Бира, Вертопрашиха, Нунцзян и др.).

Выше слияния с р. Сунгари аккумуляция на Амуре усиливается подпором со стороны притока, а ниже — выносами из него большого количества наносов. В результате здесь резко увеличивается количество песчаных осередков, отмелей и кос, небольших по площади островов, образующих в основных рукавах вторичные разбросанные разветвления.

В то же время анализ данных по гидрологическим постам, расположенным между выходом реки из горного ущелья Малого Хингана и г. Хабаровском, показывает более сложную картину. На участке от с. Екатерино-Никольского до с. Нагибово изменение соответственных уровней указывает на повышение уровня за период с 1955 по 1985 г. на 20 см как следствие аккумуляции наносов на г.п. Нагибово. Ниже, на участке с. Нагибово — п. Ленинское, изменение положения уровней во времени имеет иной характер (рис. 1, Г): с 1955 по 1980 г. наблюдалось стабильное положение кривой соответственных уровней; к 1985 г. уровни понизились на 40 см.

На участке п. Ленинское — г. Хабаровск отмечается постоянная тенденция к снижению уровня с 1955 по 1985 г., которое составило за это время около 60 см. Анализ связи уровней и расходов воды по г.п. Хабаровск за период с 1945 по 1985 г. также показал снижение уровней воды почти на 80 см (Ким, Махинов, 1997).

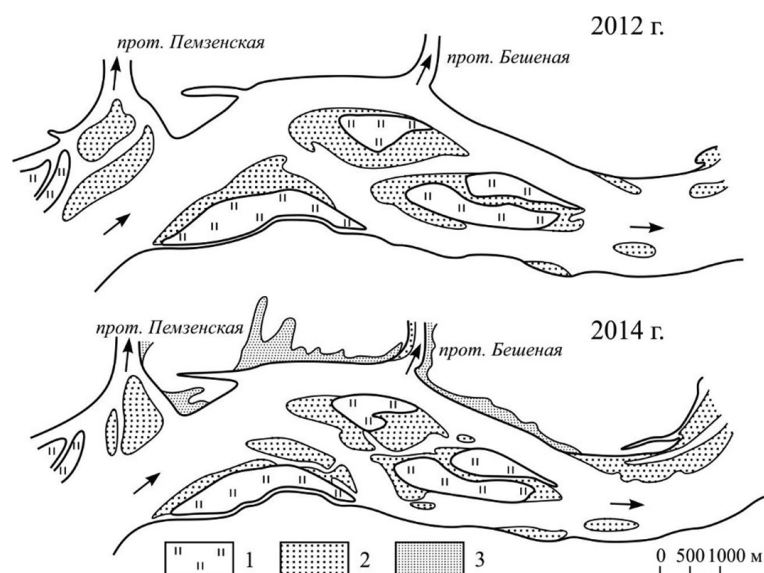


Рис. 3. Изменение русла р. Амур после наводнения 2013 г. на участке выше г. Хабаровска. 1 — пойменные острова; 2 — песчаные косы и осередки; 3 — шлейфы песчаных отложений, образовавшиеся при выходе воды на пойму

Fig. 3. Changes in the Amur riverbed after the 2013 flood in the area above Khabarovsk. 1 — floodplain islands, 2 — sand spits and sediments, 3 — plumes of sand deposits formed when water enters the floodplain

Возможно также, что на направленность вертикальных деформаций повлияла смена циклов водности, сопровождающаяся преобладанием бесподпорных условий при слиянии Амура с Сунгари и с Уссури. Последние носят циклический характер и проявляются в смене направленности процесса в маловодные и многоводные периоды. Во время крупных наводнений на Амуре в последний период высокой водности (2013, 2019–2021 гг.) в русле перемещаются огромные массы наносов, активизируя перераспределение стока воды между рукавами и соответственно горизонтальные деформации русла (Махинов и др., 2016). Скорость размыва берегов достигала 15 м, а толща отложений на песчаных шлейфах поймы местами превышает 1.0 м (рис. 3).

Разнонаправленные изменения в положениях кривых соответствующих уровней во многом связаны с активной техногенной нагрузкой на реку в пределах всей нижней части среднего Амура. Именно здесь до начала 1990-х гг. выполнялся наибольший объем дноуглубительных работ по трассе судового хода и, главное, разрабатывались крупные русловые карьеры стройматериалов (особенно в районе г. Хабаровска), обеспечивающие безвозвратную выемку грунта, часто превышающую сток руслообразующих наносов. Здесь же произошло развитие спрямляющих излучины рукавов (Махинов и др., 2011), что сопровождается местным врезанием и соответствующим снижением уровней воды, т. е. проявлением местных вертикальных русловых деформаций.

Антропогенный фактор и природные явления, накладываясь друг на друга, создают сложную картину изменений отметок уровней воды в реке на различных ее участках и во времени.

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ РУСЛА НИЖНЕГО АМУРА

Наиболее сложное строение и динамика русла и поймы в нижнем течении Амура характерны для Среднеамурской низменности, центральная часть которой сложена разновозрастными аллювиальными отложениями; в период максимальной аккумуляции здесь располагались обширные озера, выраженные в настоящее время в рельефе обширными заболоченными понижениями. Их аналогами в настоящее время являются формирующиеся при впадении притоков приустьевые озера — разливы, занимающие значительные части тыловой поймы и прилегающие пониженные участки низменности.

Интенсивная аккумуляция в современном русле нижнего Амура как проявление его направленных вертикальных деформаций подтверждается анализом изменений по длине реки стока наносов и кривых связей расходов воды и уровней. Сток наносов на Амуре сравнительно невелик. В Амурский лиман река ежегодно вносит 14.9 млн т твердого вещества. Эта величина меньше годового стока наносов в районе г. Хабаровска, где он составляет 26.1 млн т. Вниз по течению, к г. Комсомольску-на-Амуре, он убывает на 20%, составляя здесь 19.0 млн т и отражая интенсивную аккумуляцию наносов в пределах Среднеамурской низменности. Пересекая во врезанном русле отроги Сихотэ-Алиня и принимая многочисленные горные притоки, Амур увеличивает сток наносов (до 19.5 млн т у г.п. Богородское), но затем он снова уменьшается как вследствие компенсационного накопления наносов в пределах погружающейся Удиль-Кизинской низменности, так и благодаря подпорным явлениям из-за влияния приливов (табл. 2).

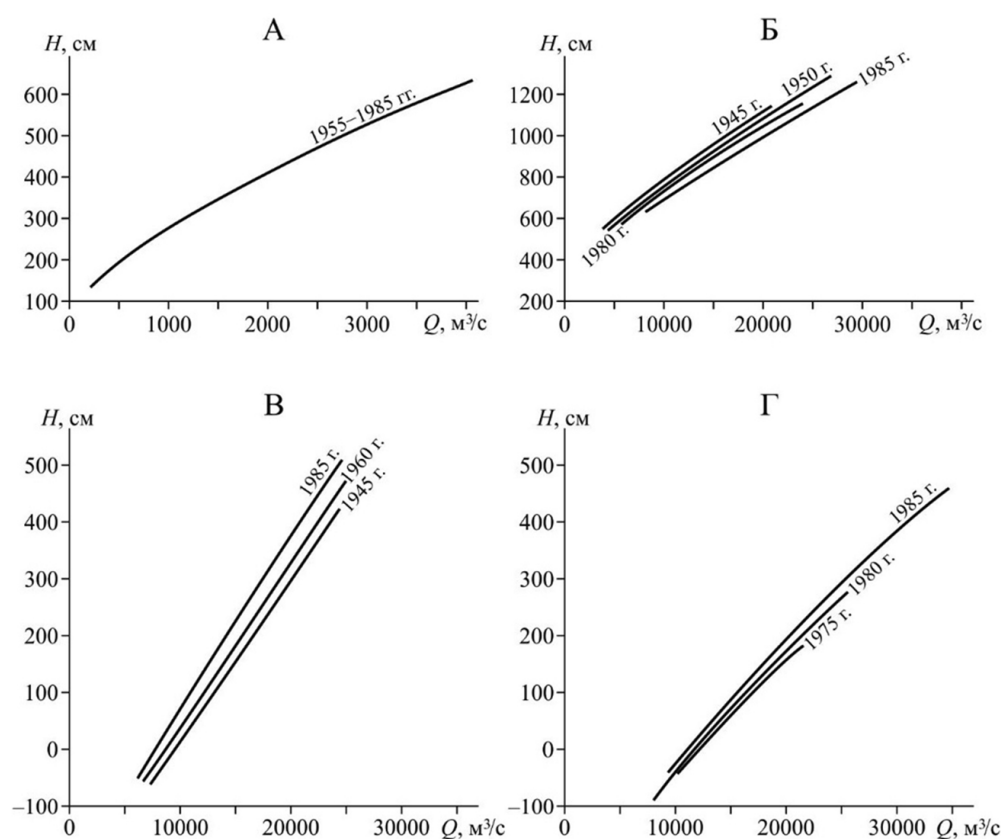
Таблица 2. Сток наносов р. Амур по данным наблюдений на постах Гидрометеослужбы**Table 2.** Sediment runoff of the Amur River according to observations at the posts of the Hydrometeorological Service

№ п/п	Река — пункт	Площадь бассейна, тыс. км ²	Период наблюдений, лет	Сток наносов, тыс. т
1	Амур — Хабаровск	1630	31	24 000
2	Амур — Комсомольск-на-Амуре	1730	23	19 000
3	Амур — Богородское	1790	16	19 500
4	Амур — устье	1855	оценка	14 900

Кривые расходов воды $Q = f(H)$ показывают, что за период наблюдений на гидрологических постах (в среднем около 50 лет) на вышележащем участке реки и его притоках имеет место устойчивая связь расходов воды Q и уровней H (рис. 4,А); и наоборот, в створе г. Комсомольска-на-Амуре прослеживается отчетливая тенденция повышения уровней при равнообеспеченных расходах воды (рис. 4,В), на фоне которой проявляются временные отклонения, связанные, очевидно, с перемещением крупных

песчаных гряд. Тенденция повышения уровней характерна и для самого нижнего г.п. Богородское (рис. 4,Г), расположенного в начале сужения долины в нижнем конце Удиль-Кизинской низменности.

Промежуточное положение занимает г.п. Хабаровск (рис. 4,Б): здесь благодаря слиянию с р. Усури, имеющей очень малый сток наносов (всего 0.4 млн т), а также карьерным разработкам в русле и дноуглубительным работам (по трассе судового хода) преобладает понижение уровней: при расходе

**Рис. 4.** Кривые $Q = f(H)$ для гидропостов на Шилке — Часовая (А), и на Амуре — Хабаровск (Б), Комсомольск-на-Амуре (В) и Богородское (Г)**Fig. 4.** Curves $Q = f(H)$ for the hydraulic posts on Shilka — Chasovaya (A), and on Amur — Khabarovsk (Б), Komsomolsk-on-Amur (В) and Bogorodskoye (Г)

воды, соответствующем среднегодовому, — почти на 80 см за период с 1945 по 1985 г.

Средний объем ежегодного накопления отложений в днище долины (русло и пойма) нижнего Амура оценивается величиной около 6 млн т, что соответствует средней скорости аккумуляции 0.56–1.2 мм/год, в результате чего их поверхность повышается относительно окружающей территории, оказывая существенное влияние на формирование русла и поймы (Махинов, 2006). Морфологические проявления подобных процессов в условиях направленной аккумуляции наносов впервые были рассмотрены ранее (Маккавеев, Чалов, 1963). Последствиями положительных вертикальных деформаций русла на нижнем Амуре являются: формирование мощной пойменной фации аллювия, подошва которой лежит ниже среднемноголетнего уровня воды в реке; образование приустьевых озер (озер подтопления) практически на всех притоках Амура, начиная от устья р. Сунгари, в том числе на участках врезанного русла, т. е. в устьях горных рек, отделенных от русла главной реки прирусловыми валами (исключение составляют только устья Уссури и Сунгари — больших рек, собственная аккумуляция наносов которых сопоставима с накоплением наносов на Амуре); относительно более низкое положение тыловой части поймы по сравнению с уровнем воды в реке, вследствие чего при выходе притоков в долину Амура их воды ее затопляют, образуя озерные разливы сложной формы в плане. Наиболее крупные озера в низовьях притоков Амура совмещают в себе приустьевые разливы и озера, образовавшиеся вследствие подтопления тыловых частей амурской поймы.

В условиях направленной аккумуляции наносов русловые деформации и формирование поймы приобретают специфические черты. Современная пойма Амура представляет собой чередование широких (до 30 км) и суженных (не более 10 км) участков протяженностью 40–50 км. Наиболее древние массивы поймы, расположенные по ее периферии (в тыловой части), характеризуются плоскими западинами, занятыми озерами округлой формы, и общим слабым наклоном поверхности от русла в сторону тыловой части, причем отметки поймы здесь могут быть ниже отметок русла в межень. В этом же направлении увеличивается заозеренность поймы. Пойменная фация аллювия имеет мощность до 8 м.

Более молодые пойменные массивы характеризуются широким распространением в их пределах высоких песчаных валов (рёлок), имеющих эоловое происхождение (Махинов, 1990). Между рёлками располагаются выположенные широкие гряды, плоские поверхности и изогнутые в плане пониже-

ния, большинство из которых частично заполнены водой. Обычно к центру пойменного массива количество озер увеличивается. Мощность отложений пойменной фации составляет 4–5 м.

Самые молодые пойменные образования на Среднеамурской низменности представлены островами или фрагментами по краям более древних пойменных массивов. Наиболее высокими в их пределах являются прирусловые валы, активно формирующиеся во время затопления поймы. Высота валов над поверхностью основной поймы — до 2–3 м. Пойменные отложения представлены суглинком мощностью до 1.5 м. Толщина слоя наилка за один средний по размерам паводок в прирусловой части поймы колеблется от 1 до 3 см, уменьшаясь к центру пойменного массива до 0.05–0.1 см. Исключительно большую роль в интенсивном пойменном осадконакоплении играет густая и высокая травянистая растительность.

Одним из наиболее ярких проявлений направленной аккумуляции наносов на нижнем Амуре является формирование приустьевых (подпрудных) озер-разливов (рис. 5, А), образующихся на притоках вследствие усиленной аккумуляции наносов на главной реке — Амуре, вызвавшей повышение отметок русла и соответственно подпор воды в нижнем течении притоков (Махинов и др., 2011). Однако наиболее крупные озера в низовьях притоков Амура имеют разное происхождение. Одни возникли в результате затопления тектонически обусловленных пониженных участков земной поверхности, расположенных близко к долине Амура (Болонь, Кизи, Удыль), другие образовались вследствие затопления тыловых частей амурской поймы при более интенсивной аккумуляции в прирусловой ее части (Хумми, Джалунское и др.).

Приустьевые озера образовались в устьях притоков вследствие усиленной аккумуляции наносов в долине Амура, вызвавшей повышение поверхности русла и соответственно подпор воды в нижнем течении притоков (Махинов, 1992). Впадающие в озера пойменные протоки Амура (иногда 4–5) образуют дельты, которые соединяются друг с другом, оставляя между собой на месте акватории водоема небольшие озера причудливой формы. Со временем на месте приустьевых озер образуется своеобразный озерно-дельтовый пойменный массив, характеризующийся плоской поверхностью.

По мере роста площади озерно-дельтовой поймы и продолжающейся аккумуляции наносов в долине Амура приустьевые озера постепенно вытесняются вверх по долинам притоков или прижимаются к низкорным выступам бортов долины в ее пределы, преобразуясь иногда в озеровидные

расширения. Отдельные озера (Хумми, Гасси и др.) за время своего существования сместились на 7–10 км. Наибольшие размеры имеет оз. Болонь в устье одноименного притока, отделенное от Амура поймой шириной около 9 км.

Минуя Среднеамурскую низменность, Амур на протяжении 150 км пересекает низкогорные сооружения, образованные отрогами Сихотэ-Алиня (с правого берега) и Мяо-Чана (с левого берега). Долина реки сужается до 5–8 км, местами (у с. Киселевки) до 7 км, русло шириной от 1.5 до 3.0 км становится врезанным. Склоны долины высотой 50–200 м сложены палеозойскими осадочными толщами, устойчивыми к размыву.

Накопление наносов в горной части долины Амура также приводит к образованию подпрудных

озер в устьях притоков. Но здесь, в горном сужении долины, они имеют небольшие размеры (до 0.2 × 0.4 км) и вытянуты вдоль долин притоков (рис. 5,Б). Пойма представлена узкими островами и небольшими фрагментами береговой поймы, отделенными от склонов долины пойменными протоками. Несмотря на небольшие размеры пойменных массивов, в их пределах наблюдается несколько высотных уровней, образование которых обусловлено врезанием реки, а молодостью пойменных фрагментов, не достигших в своем развитии среднего уровня, который имеет значительную высоту в условиях больших колебаний отметок воды в горной части долины (до 8–10 м).

Между устьем р. Шелехова и о. Ургуту на протяжении 36 км долина Амура пересекает локальное



Рис. 5. Подпрудные озера — приустьевые разливы на притоках Амура в пределах Среднеамурской низменности (А) и во врезанном русле при пересечении отрогов Сихотэ-Алиня (Б)

А



Б

тектоническое поднятие. В устьях притоков отсутствуют озера. Пойма имеет несколько уровней, наиболее высокий из которых расположен выше предельного для данного участка реки, что отражается в залегании русловой фации гипсометрически выше, чем на пойме предельного высотного уровня. Растительность представлена в основном более ксерофильными видами трав и редким лесом, что для поймы нижнего Амура вообще не характерно. Все это свидетельствует о врезании русла на данном локальном участке; следствием его, по-видимому, является увеличение стока наносов между гидропостами Комсомольск-на-Амуре и Богородское.

Выйдя из гор, Амур течет вдоль восточного края Удыль-Кизинской низменности, испытавшей в общих чертах то же развитие, что и Среднеамурская низменность. Отличие заключается в относительно большей роли озер, которые здесь являются как современными, приустьевыми, имеющими очень большие размеры, так и реликтовыми, разного размера — до 10 км², не соединенными с Амуром протоками (Круглое, Пальмука и др.). В геологическом строении восточного обрамления низменности большую роль играют вулканические покровы, представленные базальтами миоценового возраста. Амур местами подмывает их, образуя невысокие (до 20 м) скалистые обрывы (окрестности сел Софийского, Мариинского и др.).

Пойма Амура характеризуется чередованием узких и широких участков при наибольшей ширине 20 км. Она преимущественно представлена пойменно-островными массивами разных размеров, причем основной фон образуют очень большие массивы сложной формы, разделенные пойменными протоками, образующими пойменную многорукавность. Один из таких островных массивов, ограниченный примерно равными по водности рукавами раздвоенного русла — Старым и Новым Амуром, имеет длину 60 км при ширине 12 км. Центральные части таких массивов (междурукавьев) обычно заняты мелкими озерами подтопления. Рельефы (древние золотые дюны) на пойме встречаются редко, будучи погребенными под толщей пойменных отложений вследствие интенсивной аккумуляции наносов. Пойменная фация, за исключением молодых пойменных островов, как правило, имеет мощность 10–12 м и представлена плотными суглинками с редкими прослоями супеси и линзами погребенных торфяников.

Предельный уровень поймы находится ниже относительно характерных отметок воды по сравнению с поймой Среднеамурской низменности. Поэтому она затапливается чаще и на более продолжительное время.

Между Удыль-Кизинской и Амуро-Амгуньской низменностями Амур пересекает низкогорный Чаятынский хребет. Крутые склоны долины, покрытые местами каменистыми осыпями, опираются на узкие (40–50 м) бичевники, перекрытые слоем валунного материала. Ширина русла, занимающего все дно долины, не превышает 1.5 км. Тем не менее в устьях притоков имеются небольшие озера, отделенные от русла Амура высокими галечно-песчаными валами.

В пределах Амуро-Амгуньской низменности русло Амура формируется под влиянием приливов, представляя собой уже его устьевую область. Пойма имеет плоскую поверхность и небольшую высоту над меженным уровнем воды. Вследствие поступления в низовья реки небольшого количества наносов преимущественно тонкого механического состава русло относительно устойчивое, о чем свидетельствуют незначительные изменения планового положения основного русла и рукавов реки за более чем столетний период.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направленность вертикальных русловых деформаций в среднем течении Амура изменяется по длине реки в основном в связи с особенностями тектонических движений, проявляющихся по-разному на различных участках его долины. Они определяют долговременные тенденции вертикальных русловых деформаций, продолжительность которых измеряется сотнями и тысячами лет. Вместе с тем относительно кратковременные (десяtkи лет) процессы врезания или аккумуляции наносов в русле реки нередко бывают обусловлены хозяйственной деятельностью.

Систематическая аккумуляция на нижнем Амуре доказывается балансом наносов по длине реки, анализом кривых $Q = f(H)$ и рядом морфологических признаков (приустьевые озера на притоках, превышение уровня воды в межень над тыловыми частями поймы и т. д.). В этих условиях практически повсеместно (за исключением наиболее суженных участков врезанного русла и непосредственно ниже слияния с р. Уссури) формируются различные типы разветвлений с преобладанием сложных форм. Специфической их разновидностью является раздвоенное русло, на участках которого основные рукава на всем их протяжении характеризуются руслами своего морфодинамического типа, главным образом, одиночными, сопряженными и пойменно-русловыми разветвлениями. Направленная аккумуляция наносов способствует также развитию пойменной многорукавности, встречающейся даже на участках врезанного русла с узкой поймой.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выполнено по планам НИР (ГЗ) Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева и кафедры гидрологии суши МГУ имени М.В. Ломоносова, планам НИР ИВЭП ДВО РАН (исходные материалы).

Русловой анализ р. Амур выполнен при финансовой поддержке РНФ (проект 23-1700065).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ахметьева Н.П. Палеогеография Нижнего Приамурья. М.: Наука. 1977. 112 с.

Белый Б.В., Чалов Р.С. Руслоформирующие расходы воды и морфологические типы русел на реках Дальнего Востока // Геоморфология. 1997, № 1. С. 58–65.

Геоморфология Амуро-Зейской равнины и низкогорья Малого Хингана. М.: Изд-во МГУ. 1973. 276 с.

Иванов В.В., Махинов А.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. Вертикальные русловые деформации на среднем Амуре // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2000. № 5. С. 32–38.

Карташов И.П. Основные закономерности геологической деятельности рек горных стран. М.: Наука. 1972. 184 с.

Ким В.И., Махинов А.Н. Гидрологические и геоморфологические последствия разработки русловых месторождений Амура // География и природные ресурсы. 1997. № 3. С. 75–82.

Короткий А.М. Анализ коррелятных отложений и реконструкция рельефа горных стран. М.: Наука. 1985. 189 с.

Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.

Маккавеев Н.И., Хмелева Н.В., Зайтов И.Р., Лебедева Н.В. Экспериментальная геоморфология. М.: Изд-во МГУ. 1961. 196 с.

Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. О морфологических признаках современной аккумуляции в речной долине // Изв. АН СССР. Сер. Географ. 1963, № 3. С. 84–89.

Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ. 1986. 264 с.

Махинов А.Н. Русловые процессы и формирование поймы в условиях устойчивой аккумуляции наносов в долине реки // Геоморфология. 1990. № 3. С. 75–84.

Махинов А.Н. Приустьевые озера притоков р. Амур // Изв. РГО. 1992. Т. 124, вып. 3. С. 276–282.

Махинов А.Н. Закономерности формирования аккумулятивного рельефа в долинах рек // Исследования водных и экологических проблем

Приамурья. Владивосток–Хабаровск: Дальнаука, 1999. С. 113–117.

Махинов А.Н. Современное рельефообразование в условиях аллювиальной аккумуляции. Владивосток: Дальнаука, 2006. 232 с.

Махинов А.Н. Эоловые формы рельефа в пойме реки Амур // Геоморфология. 2017, № 3. С. 52–62.

Махинов А.Н., Завадский А.С., Ким В.И., Чернов А.В., Губарева Е.К. Изменение русла реки Амур после наводнения 2013 года // Изв. РГО. 2016. Т. 148, вып. 3. С. 46–61.

Махинов А.Н., Ким В.И., Чалов Р.С., Чернов А.В. Изменение русловых процессов реки Амур в районе Хабаровска в результате строительства полузапруд в протоках Пемзенская и Бешеная // Сб. докл. конф. с междунар. участием «Регионы нового освоения: ресурсный потенциал и инновационные пути его использования», 19–22 сент. 2011 г., Хабаровск: [Электронный ресурс]. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН. 2011.

Махинов А.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. Направленная аккумуляция наносов и морфология русла Нижнего Амура // Геоморфология. 1994. № 4. С. 70–78.

Сидорчук А.Ю., Чалов Р.С. Врезание горных рек: скорости и причины // Природа. 1996. № 12. С. 36–45.

Сорокин А.П., Махинов А.Н., Воронов Б.А., Сорокина А.Т., Артеменко Т.В. Эволюция бассейна Амура в мезозое-кайнозое и ее отражение в современной динамике рельефа // Вест. ДВО РАН. 2010. № 3. С. 72–80.

Чалов Р.С., Лю Шугуан, Алексеевский Н.И. Сток наносов и русловые процессы на больших реках России и Китая. М.: Изд-во МГУ. 2000. 216 с.

Чалов Р.С., Чернов А.В. Проблемы развития русла Амура в районе Амуро-Уссурийского водного узла // География и природные ресурсы. 2000. № 4. С. 93–98.

Chernov A.V. Formation of depositional zones in piedmont regions of the southern part of the Russian Far East and specifics of their land use // Antropopresia w górach i na przedpolu; zapiszmen w formah terenu I osqadach // Streszenia referatow I posterov. Głucholazy, 24–27 czerwca 2008. P. 38–39.

ОБ АВТОРАХ

Чалов Роман Сергеевич, доктор географических наук, профессор, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, rschalov@mail.ru.

Махинов Алексей Николаевич, доктор географических наук, заместитель директора Институ-

та водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск, iver@iver.as.khb.ru

Чернов Алексей Владимирович. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, alexey.chernov@inbox.ru

Иванов Вадим Витальевич (1956–2020), кандидат географических наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Макавеева географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

VERTICAL CHANNEL DEFORMATIONS ON THE MIDDLE AND LOWER AMUR RIVER AND THEIR REFLECTION IN THE MORPHOLOGY OF THE CHANNEL AND FLOODPLAIN

R.S. Chalov¹, A.N. Mahinov², A.V. Chernov¹, V.V. Ivanov¹

¹*M.V. Lomonosov Moscow State University*

²*Institute of water and ecology problems of the Far Eastern branch of the Russian academy of sciences, Khabarovsk, Russia*

Abstract. The article examines the features of the morphology of the middle and lower reaches of the Amur River channel. They are characterized by vertical channel deformations with different directions and intensities. The sediment accumulation is observed on most of the middle reach of the Amur (except for the section where the Maly Khingan ridge intersects, where the channel is incised, and floodplain don't exist) and the entire lower reach of the Amur. A weak incision of the river is observed only below the confluence with the Zeya River. Increased sediment removal from the artificial channel is fixed in the lower reach of the Amur near the sandy Belaya Mountain (in the 20th century) after the construction of a hydroelectric complex on it. It led to a change from incision to accumulation in the first few tens of kilometers downstream, which has not yet manifested itself in the morphology of the river channel. Different directions of vertical deformations are recorded in the positions of the curves $Q=f(H)$. This is reflected in changes in the type of the river channel and the relief of the valley bottom. With the directed accumulation of sediments, the Amur in its lower reaches is characterized by an excess of the low-water level above the floodplain surface, widespread floodplain multi-branching, the widespread formation of a complexly branched channel, and on the tributaries (except for the large rivers — Sungari and Ussuri) estuarine lakes-spills. The channel becomes incised according to the geomorphological type, but branched, downstream from the city of Komsomolsk-on-Amur, as the Amur river crosses the spurs of the Sikhote-Alin ridge. The alternation of wide-floodplain, adapted and incised sections of the riverbed also occurs against the background of the directed accumulation of sediments, which is manifested in channel branches, floodplain multi-branching and estuarine lakes on tributaries in the estuarine part of the Amur River. Thus, throughout almost the entire middle and lower reaches of the Amur River, systematic accumulation of sediments occurs. It is caused by negative tectonic movements and is interrupted in the middle reaches of the Amur River by incision when it intersects positive structures. Long-term (on a geological time scale) intensive accumulation of sediments determines the morphology and dynamics of the Amur riverbed even in those areas where its rates are reduced or it is replaced by weak incision.

Keywords: Amur, riverbed, floodplain, river incision, directed accumulation of sediments, estuarine spills on tributaries

ACKNOWLEDGMENTS

It was carried out according to the plans of the Research and Development Laboratory of Soil Erosion and River Channel Processes named after N.I. Makkaveev and the Department of Land Hydrology of Lomonosov

Moscow State University, plans Research and Development of the IVEP Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (source materials) with the financial support of the Russian Science Foundation (project 23-17- 00065 — channel analysis).

REFERENCES

- Ahmet'eva N.P. Paleogeografiya Nizhnego Priamur'ya. M.: Nauka, 1977. 112 s.
- Belyj B.V., Chalov R.S. Rusloformiruyushchie raskhody vody i morfologicheskie tipy rusel na rekah Dal'nego Vostoka // Geomorfologiya, 1997, № 1. P. 58-65.
- Geomorfologiya Amuro-Zejskoj ravniny i nizkogor'ya Malogo Hingana. M.: Izd-vo MGU, 1973. 4.1. 276 p.
- Ivanov V.V., Mahinov A.N., Chalov R.S., Chernov A.V. Vertikal'nye ruslovyje de-formacii na srednem Amure // Vest. Mosk. un-ta Ser. 5. Geografiya. 2000. № 5. P. 32-38
- Kartashov I.P. Osnovnye zakonomernosti geologicheskoy deyatel'no-sti rek gornyh stran. M.: Nauka, 1972. 184 p.
- Kim V.I., Mahinov A.N. Gidrologicheskie i geomorfologicheskie posledstviya razrabotki ruslovyh mestorozhdenij Amura // Geografiya i prirodnye resursy, 1997. № 3. P. 75-82.
- Korotkij A.M. Analiz korrelyatnyh otlozhenij i rekonstrukciya rel'efa gornyh stran. M.: Nauka, 1985, 189 p.
- Makkaveev N.I. Ruslo reki i eroziya v ee bassejne. M.: izd-vo AN SSSR, 1955. 347 p.
- Makkaveev N.I., Hmeleva N.V., Zaitov I.R., Lebedeva N.V. Eksperimental'naya geomorfologiya. M.: Izd-vo MGU. 1961. 196 p.
- Makkaveev N.I., Chalov R.S. O morfologicheskikh priznakah sovremennoj akkumulyacii v rečnoj doline // Izv. AN SSSR. Ser. geograf. 1963, № 3. P. 84-89.
- Makkaveev N.I., Chalov R.S. Ruslovyje processy. M.: Izd-vo MGU. 1986. 264 p.
- Mahinov A.N. Ruslovyje processy i formirovanie pojmy v usloviyah ustojchivoj akkumulyacii nanosov v doline reki // Geomorfologiya. 1990. № 3. P. 75-84.
- Mahinov A.N. Priust'evye ozera pritokov r. Amur // Izv. RGO. 1992.T.124, vyp. 3. P. 276-282.
- Mahinov A.N. Zakonomernosti formirovaniya akkumulyativnogo rel'efa v dolinah rek // Issledovaniya vodnyh i ekologicheskikh problem Priamur'ya. Vladivostok-Habarovsk: Dal'nauka, 1999. P. 113-117.
- Mahinov A.N. Sovremennoe rel'efoobrazovanie v usloviyah allyu-vial'noj akkumulyacii. Vladivostok: Dal'nauka, 2006. 232 p.
- Mahinov A.N. Eolovye formy rel'efa v pojme reki Amur // Geomorfologiya. 2017, № 3. P. 52-62.
- Mahinov A.N., Zavadskij A.S., Kim V.I., Chernov A.V., Gubareva E.K. Izmenenie rusla reki Amur posle navodneniya 2013 goda // Izvestiya RGO, 2016. T. 148, vyp. 3. P. 46-61.
- Mahinov A.N., Kim V.I., Chalov R.S., Chernov A.V. Izmenenie ruslovyh proces-sov reki Amur v rajone Habarovska v rezul'tate stroitel'stva poluzaprud v protokah Pemzenskaya i Beshenaya // Sb. dokl. konf. s mezhdunar. uchastiem «Regiony novogo osvoeniya: resursnyj potencial i innovacionnye puti ego ispol'zovaniya», 19-22 sent. 2011 g., Habarovsk: [Elektronnyj resurs]. Habarovsk: IVEP DVO RAN. 2011.
- Mahinov A.N., Chalov R.S., Chernov A.V. Napravleniya akkumulyacii nanosov i morfologiya rusla Nizhnego Amura // Geomorfologiya, 1994, № 4. P. 70-78.
- Sidorchuk A.Yu., Chalov R.S. Vrezanie gornyh rek: skorosti i prichiny // Priroda. 1996. № 12. P. 36-45.
- Sorokin A.P., Mahinov A.N., Voronov B.A., Sorokina A.T., Artemenko T.V. Evolyuciya bassejna Amura v mezozoe-kajnozoe i ee otrazhenie v sovremennoj dinamike rel'efa. // Vestnik DVO RAN, 2010, № 3. P. 72-80.
- Chalov R.S., Lyu Shuguan, Alekseevskij N.I. Stok nanosov i ruslovyje processy na bol'shih rekah Rossii i Kitaya. M.: Izd-vo MGU. 2000. 216 p.
- Chalov R.S., Chernov A.V. Problemy razvitiya rusla Amura v rajone Amuro-Ussurijskogo vodnogo uzla // Geografiya i prirodnye resursy. 2000. № 4. P. 93-98.
- Chernov A.V. Formation of depositional zones in piedmont regions of the southern part of the Russian Far East and specifics of their land use // Antropopresia w górach i na przedpolu; zapiszmen w formach terenu I osqadach // Streszenia referatow I posterov. Głuchola-zy, 24-27 czerwca 2008. P. 38-39/

ABOUT THE AUTHORS

Chalov Roman Sergeevich, Doctor of geographical sciences, Professor Lomonosov Moscow State University, rschalov@mail.ru

Makhinov Alexey Nikolaevich, Doctor of geographical sciences, Deputy Director of the Institute of Water and Environmental Problems of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, iverp@iverp.as.khb.ru

Chernov Alexey Vladimirovich, Doctor of geographical sciences, Lomonosov Moscow State University, Leading Researcher, alexey.chernov@inbox.ru

Ivanov Vadim Vitalievich (1956–2020), PhD in geography, Senior Researcher at the N.I. Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and River Channel Processes, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University.