


 МОРФОЛОГИЯ И ДИНАМИКА РЕЛЬЕФА РУСЛА НИЖНЕГО НИГЕРА

Рассматривая итоги и дальнейшие задачи научно-исследовательских работ Проблемной лаборатории эрозии почв и русловых процессов Географического факультета МГУ, ее научный руководитель профессор Н.И.Маккавеев отметил, что "научная зрелость лаборатории позволяет также поставить в качестве очередной задачи помощь развивающимся странам" /Маккавеев, 1979/. В 1978 г. группа сотрудников лаборатории была приглашена в экспедицию в/о "Тяжпромэкспорт" - ПНИИИС для проведения гидрологических и русловых изысканий на р.Нигер /Федеративная Республика Нигерия/ и разработки рекомендаций по размещению в русле этой реки водозаборных сооружений металлургического комбината в г.Аджакуте. Материалы, собранные нами* во время этой экспедиции, а также опубликованные данные Нидерландских инженеров-консультантов /Nedeco, 1959/ и Нигерийского управления внутренних водных путей, легли в основу этой статьи.

Река Нигер - третья по величине река Африки, имеет длину 4100 км, площадь водосбора 2092 км² /из них активных 1112 км²/, годовой сток воды 180 км³ и сток наносов 40 млн. тонн ниже впадения основного притока, р.Бенуэ. Гидрологический режим реки характеризуется мощным половодьем, приходящимся на май-декабрь, и глубокой меженью в январе - апреле. Во время половодья уровни воды достигают 36,7-40,1 м абс., расходы воды доходят до 27 тыс. м³/с /обычно в начале октября/. Во время межени уровни ^{на в.к. Лодина} снижаются до 28,0 - 28,5 м, водность уменьшается до 800 м³/с. Водность Нигера испытывает многолетние колебания. За период 1914-1978гг. выделяются два интервала относительно повышенного стока, приходящиеся на середину 20-тых и середину 50-х годов. В начале 40-х и 70-х годов отмечается общее снижение водности реки, длина цикла колебаний водности составляет около 30 лет.

*/ Изыскания проводились В.М.Беликовым, Б.В.Белым, К.М.

Берковичем, А.Л.Богомоловым, Г.Т.Кальбергеновым, О.М.Кириком, В.Б.Лялеко, Р.В.Лодиной, автором.

Переносимые ре/ль наносы целесообразно разделить на две категории: русловые и нерусловые. Русловые наносы перемещаются в основном в придонных горизонтах потока, их концентрация монотонно убывает к поверхности. Для р.Нигера у г.Аджакуты потолок взвешивания русловых наносов определяется следующим эмпирическим выражением:

$$h_n/h = 0,038 \frac{v}{\omega} \sqrt{Fr} \quad Fr = u^2/gh$$

где h_n - высота над дном, на которой перестают встречаться частицы наносов с гидравлической крупностью ω , v - средняя скорость потока, h - глубина реки, Fr - число Фруда. Более мелкие частицы, которые относительно равномерно распределяются по вертикали или даже в больших количествах встречаются в поверхностных слоях потока, относятся к нерусловым. Граничной между двумя категориями наносов будет гидравлическая крупность

$$\omega_{кр} = 0,038v \sqrt{Fr}$$

Практически на всем диапазоне скоростей и глубин на участке р. Нигера от г.Локоджи до г.Идах эта граница расположена между песчаными и алевритовыми частицами, что соответствует рекомендациям большинства исследователей.

Количество нерусловых наносов в водах нижнего Нигера сравнительно невелико. В 1978-79 гидрологическом году средние значения мутности, определяемой нерусловыми наносами, в створе г.Аджакуты изменялись от 30 до 180 г/м³, максимальные средние по вертикали ее значения составили 325 г/м³. Максимальная измеренная в 1956-57 гг. средняя по живому сечению мутность по всей длине Нигера и Бенуэ не превосходила 500 г/м³, лишь на притоках /рр. Гонголе и Кадуре/ отмечались большие ее значения /Nedeco, 1959/.

Изменение во времени величины мутности нерусловых наносов в потоке нижнего Нигера связано с изменением количества и интенсивности выпадающих осадков. При этом большое значение имеет подготовленность к эрозии водосбора реки. Так, в 1978 г. сравнительно малое количество дождевых осадков /но большой интенсивности/ в начале влажного сезона привело к увеличению мутности воды в реке до максимальных значений - 180 г/м³, так как осадки выпадали на землю, оголенную после сухого сезона, лишенную растительности и покрытую золой сожженных пожарами растений. В авгу-

сте - сентябре более мощные ливни не привели к росту мутности нерусловых наносов, так как к этому времени склоны в бассейне реки были покрыты густой растительностью. Мутность воды после обильных дождей в небольших распадках не превышала 20 г/м^3 , причем в основном во взвеси переносились органические остатки. В составе нерусловых наносов самого Нигера органика также составляет до 20% по весу.

Пространственное изменение концентрации нерусловых наносов на Нигере ниже слияния его с Бенуэ во многом определяется смешением водных масс этих рек, которое происходит крайне медленно. На 60-километровом отрезке нижнего Нигера от г.Локоджи до д.Итобе посередине реки хорошо видна граница раздела вод. Наиболее ярко она проявляется во время межени: у правого берега текут желтоватые, более мутные воды, поступающие из верхнего Нигера, у левого берега - чистые изумрудно-зеленые воды Бенуэ. Во время половодья мутность воды в Бенуэ больше, чем в верхнем Нигере, соответственно у правого берега вода менее мутная, чем у левого. Визуально эта разница не видна, но хорошо выявляется съемками мутности, так как разница в концентрации нерусловых наносов достигает 100 г/м^3 . Заметное перемешивание водных масс верхнего Нигера и Итобе начинается ниже д.Итобе и в основном завершается у г.Идах.

Концентрация нерусловых наносов измеряется несложно, поэтому часто именно эта величина характеризует общую мутность воды в реке. Но эти наносы имеют очень малое отношение к динамике руслового рельефа. Вычисленные по балансу нерусловых наносов русловые деформации оказались совершенно несоответствующими по величине, а часто и по знаку фактическим деформациям русла, установленным повторными промерами. Лишь при значительном уменьшении горизонтов воды и скоростей течения в областях скоростной тени у берегов и во второстепенных рукавах на нижнем Нигере происходит отложение алевритов, т.е. нерусловых наносов. На подъеме паводка все эти отложения размываются. Главное участие нерусловые наносы принимают в формировании поймы; однако этот процесс на участке реки от г.Локоджи до г.Идах замедлен из-за малой частоты затопления поймы.

Интересно, что имеется обратное влияние динамики поймы, размыва пойменных яров на пространственное изменение концен-

трации нерусловых наносов. Непосредственно выше г.Аджакуты на пике половодья происходит отрыв стрежня потока от берега, размыв пойменного яра становится минимальным и мутность у правого берега соответствует фоновой мутности. На подъеме и спаде половодья стержень потока прижимается к берегу в районе выбоины напротив оголовка о.Бокуа. Происходит интенсивный размыв правобережного пойменного яра: с 1963 по 1979 гг. берег отступил здесь на 40-50 м, местные максимумы размыва достигали 30 м/год. В итоге при средней по живому сечению мутности 170 г/м³ непосредственно у правого берега мутность превышает 200 г/м³, что практически совпадает с мутностью воды у левого берега. С дальнейшим понижением уровней воды в реке берег прикрывается полосой песчаных отмелей, его размыв прекращается. Мутность у правого берега вновь становится фоновой. Размыв левого берега /в ухвостье о.Бокуа/ подчиняется той же закономерности, но он менее интенсивен и поэтому мало влияет на величину мутности воды.

Сток русловых наносов обусловлен гидравлическими характеристиками потока и свойствами донных грунтов. Это обстоятельство позволяет вычислить сток русловых наносов на основании данных по относительно просто измеряемым гидравлическим характеристикам и небольшому количеству надежно измеренных значений концентрации русловых наносов, увязанных в эмпирические зависимости с определяющими факторами. Для створа р.Нигер у г.Аджакуты распределение русловых наносов по вертикали хорошо описывается уравнением Рауза-Великанова /Великанов, 1958/ с поправочным коэффициентом к постоянной Кармана равным 0,5. Для придонной мутности на горизонте 20 см от дна /предел погружения гидрометрического груза без опасности засорения батометра/ было найдено эмпирическое выражение:

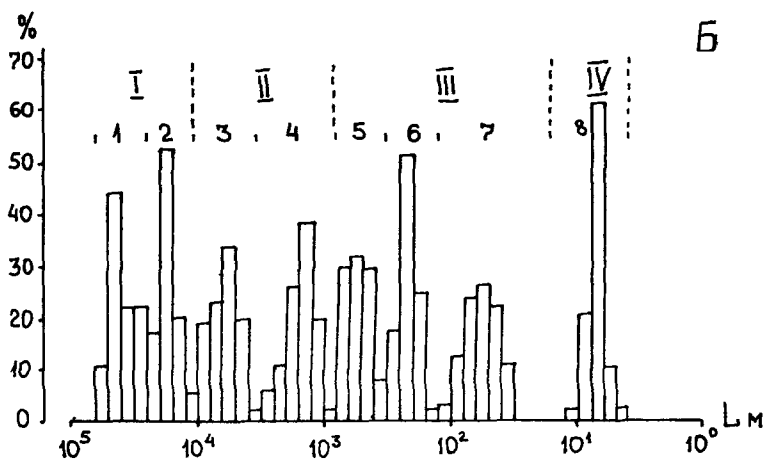
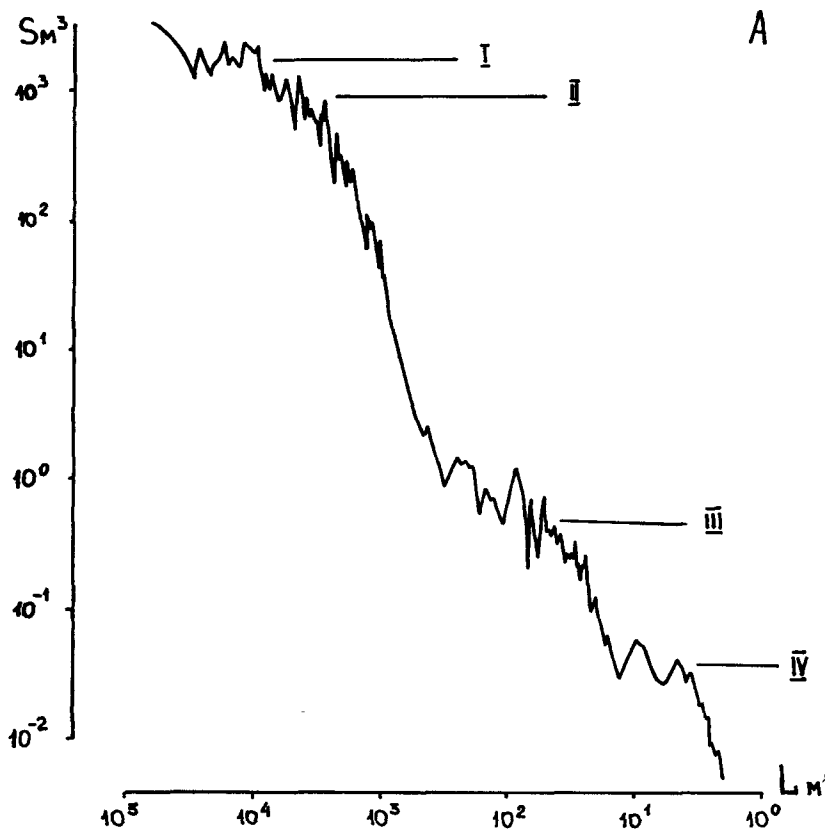
$$\rho_{i\Delta} = 0,75 (v - v_n)^3 h \beta_i$$

где $\rho_{i\Delta}$ - частная мутность i -той фракции в 20 см ото дна, β_i - доля наносов i -той фракции в 20 см ото дна, определяемая по методике А.В.Караушева /1977/, v_n - неразмывающая скорость.

Для оценки количества русловых наносов, перемещающихся в придонном слое /0-20 см от дна/, привлечены данные о скоростях перемещения и высотах донных гряд на 6 продольных створах по руслу р.Нигер в створе г.Аджакута, полностью характеризующих гряд-

ТАБЛИЦА I Сток наносов р.Нигер у г.Аджакута за
1978-79 гидрологический год / в тыс. т /.

Фракции в мм	вид транспорта наносов		
	в грядовой форме	во взвеси	
		русловые наносы	нерусловые наносы
	10	1.0	-
10-5	9.0	-	-
5-2	56.3	115.4	-
2-1	184.4	2156.7	-
1-0.5	188.3	4467.0	-
0.5 -0.25	260.5	7618.4	-
0.25-0.10	97.2	1666.4	-
0.10-0.05	-	577.0	2922.8
0.05-0.01	-	-	9523.4
0.01 -0.005	-	-	1211.8
0.005-0.001	-	-	2256.2
0.001	-	-	2635.8
Всего	796.7	16600.9	18550.0
	17397.6		<i>Всего</i> <u>35947.6</u>



довый рельеф русла. При этом наносы с высотой потолка взвешивания более 20 см не учитывались.

В результате измерений и расчетов получены величины стока наносов по фракциям на р.Нигере в створе г.Аджакуты за 1978-79 гидрологический год / табл. I/. Сток нерусловых наносов составил 18,6 млн. тонн, сток русловых наносов - 17,4 млн. тонн, из них 0,8 млн. тонн перемещалось в виде мелких гряд.

Донные грунты на нижнем Нигере изменяются от грубых песков с медианным диаметром 0,7-0,8 мм на участке от г.Локоджи до г.Идах до крупных песков с медианным диаметром 0,4-0,6 мм на участке от г.Идах до г.Онитши. На верхнем участке кривая гранулометрического состава донных грунтов бимодальна /анализ проведен Р.В.Лодиной/. Первая мода приходится на фракцию 0,25-0,5 мм. Эта фракция представлена хорошо окатанными частичками кварца, видимо, поступающими с водосбора верхнего Нигера и Бенуэ при размыве преобладающих здесь меловых песчаников. Вторая мода приходится на фракцию 1-2 мм. Эта фракция представлена аркозами с относительно окатанными обломками пород и полевыми шпатами и совершенно неокатанным кварцем. Вероятно, вторая мода кривой гранулометрического состава донных грунтов отражает процесс размыва выступающих в русле нижнего Нигера на участке г.Локоджа - д.Итобе /так наз. Скалистый участок/ скал коренных пород.

Русловой рельеф Нигера характеризуется большой сложностью. На основе анализа функций спектральной плотности рядов максимальных глубин русла и кривых повторяемости длин русловых форм /Сидорчук, 1984/ здесь выделяется четыре структурных уровня и восемь структурных ячеек русловых образований /рис. I/. По верхней ступени спектра выделяется структурный уровень макроформ, включающий две структурные ячейки: I ранга - меандров и 2 ранга

Рис. I. Функция спектральной плотности максимальных глубин /А/ и гистограммы длин форм рельефа /Б/ русла р.Нигер на участке от г.Локоджи до г.Онитши. Структурные уровни: I - макроформ; II - мезоформ; III - микроформ; IV - ультрамикроформ. Структурные ячейки: 1/ меандров; 2/ систем сопряженных рукавов; 3/ побочней; 4/ песчаных волн ; 5/шалыг; 6/заструг; 7/дюн; 8/ рифелей

- систем сопряженных рукавов. Несколько ниже на спектре располагается ступень структурного уровня мезоформ, представленного структурными ячейками 3 ранга - побочной - и 4 ранга - несущих волн. Малые различия спектральных плотностей рельефа макроформ и мезоформ объясняет тот факт, что ранее /Беркович, Сидорчук, 1983/ все вышеперечисленные формы руслового рельефа были объединены нами в структурный уровень макроформ; соответственно изменились и структурные уровни всех более мелких форм руслового рельефа. Структурный уровень микроформ рельефа русла р. Нигера отчетливо выделяется ступенью функции спектральной плотности. В этом структурном уровне выделяются три структурные ячейки: 5 ранга - шалыг, 6 ранга - заструг и 7 ранга - дон. Последним структурным уровнем, который выделяется по спектру максимальных глубин в русле нижнего Нигера, является структурный уровень ультрамикроформ. Он состоит из одной структурной ячейки 8 ранга - рифелей. Характерные размеры русловых форм, входящих в выделенные структурные уровни и ячейки руслового рельефа р. Нигер, рукавов его дельты и его основного притока, р. Бенуэ, приведены в табл. 2. Соответствующие руслоформирующие расходы воды вычислены по методике Н.И. Маккавеева /1955/ на основании кривых повторяемости ежедневных расходов воды, приведенных к периоду 1914-57 гг. /Nedeco, 1959/.

На большем протяжении Нигера и Бенуэ меандры выражены плохо. Они пологи, крутизна излучин /отношение длины по руслу к длине по прямой между теми же точками/ не превышает 1,06. На отдельных участках меандры вообще не выделяются, основной макроформой является прямолинейное русло. На протяжении Скалистого участка нижнего Нигера меандры врезаны в коренные породы, на остальном протяжении русла они часто адаптируются к выступам бортов долины. Одновременно на противоположном борту долины ширина поймы может достигать 30 км, русло сопровождается пойменной рукавностью. Излучины русла часто спрямляются соединительными протоками, причем основной расход воды зачастую проходит по более прямому и короткому рукаву. На лишенных спрямляющих протоков излучинах стрежень потока также стремится прижаться к выпуклому берегу. С этим связана крайне малая скорость поперечного перемещения пологих излучин. Вниз по руслу врезанные и адап-

тированные излучины также практически не перемещаются.

Хорошо выраженные свободные меандры развиты в верховьях Бенуэ. Крутизна этих излучин составляет в среднем 1,5, достигая 2,0. Наиболее обширной областью развития свободных излучин в долине р.Нигера является дельта реки. Практически все рукава, вплоть до самых мелких, интенсивно меандрируют на большом своем протяжении. Лишь в устьевых частях рукавов, в области воздействия приливов, русла рукавов выпрямляются, воронкообразно расширяясь к морю. В условиях свободного развития русловых деформаций в дельте излучины русла смещаются как в продольном, так и в поперечном направлениях. Их размеры хорошо соответствуют водности потоков, зависимость между длиной излучин по руслу и руслоформирующим расходом воды описывается формулой

$$L = 1,39 Q^{\phi}$$

В то же время размеры врезанных и адаптированных излучин почти вдвое больше, чем соответствующих по величине руслоформирующих расходов свободных излучин. По данным Н.И.Маккавеева и Н. В.Хмелевой /"Экспериментальная геоморфология", 1969/, размеры врезанных излучин могут быть больше размеров свободных излучин той же реки в двух случаях: 1/ если в период врезания реки вверх по руслу проходила волна регрессивной эрозии и излучины русла удлинялись и выполаживались; 2/ если врезанные излучины сформировались в период воздействия на русло больших, чем современные, руслоформирующих расходов воды. Как и большинство рек, впадающих в океан, русло реки Нигер переживало период глубокого врезания, которое, скорее всего, сопровождалось волной регрессивной эрозии и увеличением размеров врезанных излучин. Однако этому этапу соответствуют не современные, а погребенные врезанные излучины. Погребенное врезанное русло обнаруживается при бурении на всем протяжении нижнего Нигера и Бенуэ. У г.Они-тши его ложе залегает на отметках -90 абс., у г.Аджакуты - на отметках -50 м абс., у г.Макурди на Бенуэ - на отметках -20 м абс. На участке Нигера между о-вами Бофорт и Шатер положение погребенного русла восстановлено нами по данным бурения фирмы Motor-Columbus /у о-ва Бофорт/, института ПНИИИС /у о-ва Маконоки/ и по характеру гривистого рельефа поймы реки /рис.2а/. Размеры врезанных излучин этого русла составляют 13 км. По

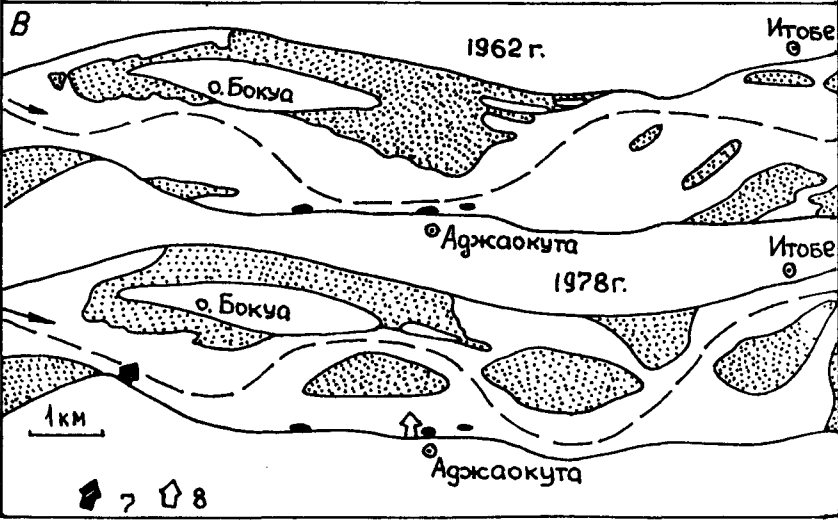
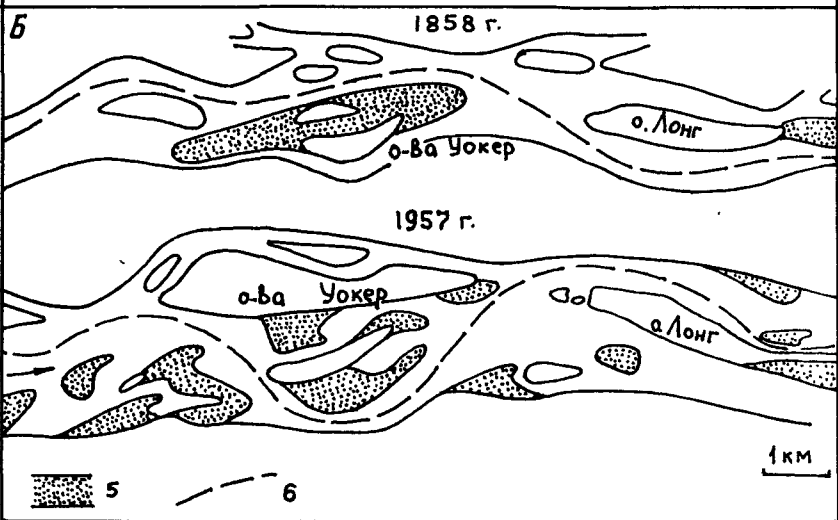
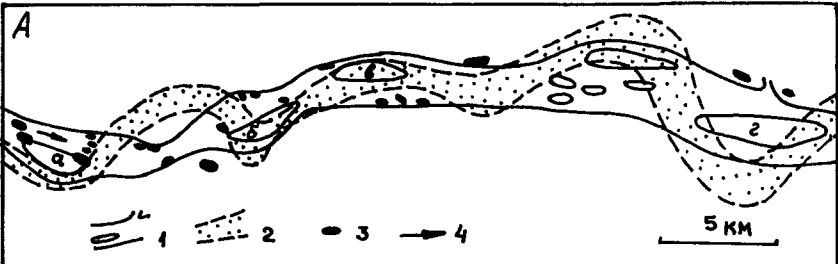


Рис. 2. Переформирование меандров /А/, систем сопряженных рукавов /Б/ и побочной /В/ в русле нижнего Нигера.

Условные обозначения: 1 - современное русло реки; 2 - погребенное врезанное русло; 3 - выступы скал; 4 - направление течения; 5 - побочка; 6 - положение стрежня потока; 7 - расположение водозабора, 1-й вариант; 8 - то же, 2-й вариант.

а - о-в Бофорт; б - о-в Маконоки; в - о-в Бокуа; г - о-в Шатер.

данным экспериментов /"Экспериментальная геоморфология", 1969/, при быстром понижении уровня приемного бассейна размеры врезанных меандров увеличиваются на 20-30% по сравнению с размерами свободных излучин. Тогда приведенные размеры свободных излучин р.Нигера периода максимального падения уровня Мирового океана составляли около 10 км, а соответствующие им величины руслоформирующего расхода воды - $7500 \text{ м}^3/\text{с}$. Максимум последней крупной регрессии океана относится к периоду 15-18 тыс.лет назад. В это время саванны Западной Африки подверглись резкой аридизации /Фейбридж, 1968 ; Ожо, 1977/, в бассейне Нигера выпадало в 5 раз меньше осадков, чем в современную эпоху, т.е. около 230 мм в год. Вероятно, площадь водосбора нижнего Нигера сокращалась тогда до 700 тыс.км^2 за счет полного пересыхания реки в районе внутренней дельты, где и сейчас происходят большие потери стока на испарение. Коэффициент стока реки можно принять равным современному, так как аридизация климата не сопровождалась увеличением суммы температур. В таком случае среднегодовой расход Нигера ниже впадения в него Бенуэ составлял в период аридизации климата около 13 тыс.лет назад $900 \text{ м}^3/\text{с}$, т.е. был близок к расходу современного меженного периода.

Современные врезанные излучины нижнего Нигера сформировались, как это ни парадоксально, в период аккумуляции наносов в днище долины реки, на этапе подъема уровня Мирового океана и роста гумидности климата. Максимум увлажненности отмечается в период 6-9 тыс.лет назад. Водность реки увеличилась, образовались более крупные и пологие излучины русла, которые спрямили старое, гораздо более извилистое русло. Река на отдельных участках оставила в стороне хорошо разработанную переуг-

ТАБЛИЦА 2

Размеры русловых форм на реках Нигер и Бенуэ и определяющие их руслоформирующие расходы воды.

Река, рукав	в/п	Величина Q_p и его обеспеченность		РУСЛОВЫЕ ФОРМЫ									
		верхний интервал m^3/c %	нижний интервал m^3/c %	меандры км	системы сопряж. рукавов км	побочные км	песчаные дюны км	шалыги км	заструги м	двиг м	рифели м		
Бенуэ	1	10500	5.07	5520	21.1	-	22.5	5.2	1.6	0.5	?	?	?
Нигер	2	7800	6.03	2400	26.8	-	7.5	3.8	0.7	0.3	50	?	?
"-	3	20800	5.75	3900	38.4	46.6	16.1	7.4	1.3	0.7	200-300	30-70	6-20
"-	4	24000	5.75	3200	54.8	59.2	24.6	7.3	1.4	0.75	?	?	?
Форка	5	12600	1.65	-	-	17.5	-	-	1.7	0.7	130	?	?
дос	6	8800	1.70	-	-	12.0	-	-	1.2	0.4	150	?	?
"-	7	5400	3.20	-	-	7.2	-	-	?	?	?	?	?
"-	8	2500	3.20	-	-	3.4	-	-	?	?	?	?	?

Примечание: знак "-" означает отсутствие интервала Q_p или соответствующей русловой формы; знак "?" означает отсутствие данных о размерах русловых форм;

цифрами обозначены водопосты: 1 - Макурди, 2 - Баро, 3 - Локоджа, 4 - Онитша, 5 - Самабри, 6 - Сагбама, 7 - Бомали, 8 - Слама.

дубленную долину и врезалась в коренные породы /кристаллические сланцы докембрия/, которые слагали шейки древних врезанных излучин. Таким образом, размеры современных врезанных и адаптированных излучин практически полностью соответствуют размерам свободных излучин периода их формирования. Малые темпы их преформирования /размыв вогнутого берега излучины напротив о-ва Маконоки у д.Текомана не превысил за это время 100 м, судя по размерам отпрепарированных выступов скал/ обеспечили полную сохранность их размеров времени формирования. Руслоформирующие расходы воды составляли в районе г.Локоджи 34 тыс.м³/с, в районе г.Онитши - 44 тыс. м³/с. Так как активная площадь водосбора реки в период максимальной влажности соответствовала полной площади бассейна / т.е. была почти вдвое больше современной активной площади водосбора/, среднегодовой расход воды превышал во время оптимума голоцена 12000 м³/с.

Системы сопряженных рукавов на Нигере развиты на врезанных, адаптированных излучинах и на прямолинейных участках русла, на свободных излучинах они отсутствуют. В среднем на одну излучину приходится 2,5-3 системы сопряженных рукавов. По морфологии они соответствуют простым системам сопряженных рукавов нормального и удлиненного типа /Чалов, 1979/. Устойчивость их значительна. Время перехода основного стока реки из одного рукава системы в другой превышает в большинстве случаев 100 лет. Лишь на отдельных участках в расширении русла /у о-ва Шатер, о-ва Лонг/, где устойчивость русла в целом уменьшается, оно менее 100 лет /рис. 2-б/. Острова, образующие разветвления, смещаются вниз по течению со скоростями до 16-20 м/год. Системы сопряженных рукавов на нижнем Нигере по своим размерам соответствуют длинам излучин древнего погребенного русла. При этом второстепенные рукава практически полностью повторяют плановое положение этого русла. Это позволяет предположить, что большинство систем сопряженных рукавов на нижнем Нигере являются реликтовыми формами руслового рельефа, при неизменности гидрологического режима реки второстепенные протоки отомрут. Они и сейчас забирают в половодье не более 10-15% расхода воды, в межень пересыхают. Тенденция к отмиранию не распространяется на системы сопряженных рукавов у о-вов Шатер и Лонг, где рука-

ва обладают примерно одинаковой водностью.

Наиболее широко в русле нижнего Нигера развиты наиболее крупные мезоформы — побочни и осередки. В пределах системы сопряженных рукавов обычно их насчитывается 2-3. Побочни формируются в местных расширениях русла, часто в выбоинах берегов; в экстремально многоводные годы здесь происходит отрыв стрежня потока от берега, в выбоине образуется тиховод или даже водоворотная зона. Происходит аккумуляция наносов и зарождаются побочни. Если многоводный год располагается в пределах многоводного периода многолетнего цикла водности реки, побочни увеличиваются в размерах, начинают перемещаться вниз по руслу со скоростями 100-150 м/год /рис. 2-в/. На участках перегиба основного русла или развития вдоль берега коренных пород побочни часто отрезаются от ведущего берега и превращаются в осередки. Если зарождение побочни в выбоине берега произошло в маловодный период цикла водности, то в последующие маловодные годы побочень размывается. В течение одного гидрологического года также происходит существенное переформирование побочней и осередков. Так, осередок у г. Аджакуты /рис. 2-в/ в половодье покрывается 3-4-метровым слоем воды, направление потока над ним определяется конфигурацией пойменных берегов. До 56% общего расхода воды проходит в правой, более прямой протоке. Оголовок осередка разрастается вверх по течению, иногда примыкает к правому берегу в области выбоины напротив приверха о-ва Бокуа. Ухвостье осередка вытягивается вниз по течению /до 200 м за 1978 г./. В меженный период осередок обсыхает и начинает сам определять направление струй в потоке. Увеличивается расход воды в более искривленной левой протоке /до 52% общего/. Происходит размыв оголовка осередка. Ухвостье осередка либо также размывается, тогда происходит общее уменьшение его размеров — это характерно для маловодного года, либо сохраняется его положение в период высокой воды /при многоводной межени/. Тогда осередок смещается вниз по реке /на 250 м за 1978-79 гг./.

Структурная ячейка ^{песчаных вод} выделяется в системе руслового рельефа нижнего Нигера далеко не повсеместно. В пределах Скалистого участка, где побочни малоподвижны и массивны, дны мало-рельефны, визуальнo не обнаруживаются и вычленяются из общего

рельефа лишь методами спектрального анализа. Плохо выражены эти формы также в области развития свободных излучин. Наиболее отчетливо выделяются на побочнях, расположенных в расширенных русла. Здесь скорости их смещения вниз по реке достигают 170 м/год, что примерно в 1,5 раза больше, чем скорость перемещения побочней, на которых эти формы располагаются. Размеры песчаных волн мало изменяются по длине Нигера и Бенуэ, длина их составляет 1,4-1,7 км. Видимо, их параметры определяются уже не общей водностью потока и не шириной русла, а местными гидравлическими особенностями /скоростью течения, глубиной, шероховатостью ложа/, которые меньше изменяются по течению реки, чем расход.

Русловые формы структурных уровней микроформ и ультрамикроформ развиты в русле нижнего Нигера практически повсеместно /за исключением областей скального ложа/. Их параметры еще в большей степени зависят от местных гидравлических характеристик потока и изменяются с изменением фазы гидрологического режима реки. Анализ этих зависимостей выходит за рамки этой статьи. Отметим лишь то существенное обстоятельство, что при перемещении гряд происходят значительные периодические колебания отметок дна. Само это перемещение происходит довольно быстро - для дон, например, скорости смещения вниз по реке составляют 6-10 м/сут в половодье и 1-3 м/сут в межень.

В табл. 3 приведены повторяемости отметок дна, снятых через 4 м по длине на двух продольных профилях длиной по 600 м на разных фазах гидрологического режима. Исходя из принципа эргодичности, можно рассматривать их как повторяемости отметок дна в фиксированной точке во времени. Размах колебаний отметки дна у правого берега р.Нигер напротив о-ва Бокуа /вариант 2/ на пике половодья достигает 4 м при средней глубине реки около 10 м. Показательно то, что на спаде половодья, когда средние глубины падают до 5-7 м, диапазон колебаний отметок дна не уменьшается. Только в меженный период, когда устанавливаются устойчивые средние глубины 3-4 м, грядовой рельеф дна становится более сглаженным, колебания отметок дна уменьшаются до 2,7 м. В правобережной протоке у г.Аджакуты /вариант 1/ тенденция колебаний отметок дна та же, но здесь меньше их амплитуда из-за меньших средних глубин.

ТАБЛИЦА 3 Повторяемость в % отметок дна р.Нигер у водозаборных сооружений.

Уровень воды в м абс.		I вариант			2 вариант		
		36.3	31.1	29.2	36.3	31.3	29.2
Отметка дна в м абс. / середина интервала /	23.2	-	-	-	-	0.4	-
	23.6	-	-	-	-	1.2	-
	24.0	-	-	-	-	3.3	2.4
	24.4	-	-	-	0.8	4.6	4.8
	24.8	-	-	-	2.4	5.9	6.3
	25.2	0.9	0.1	-	6.4	14.2	15.9
	25.6	3.4	2.4	1.0	8.8	27.2	28.4
	26.0	9.0	8.0	6.5	12.7	24.3	18.4
	26.4	19.0	17.5	23.5	19.0	10.8	23.8
	26.8	23.0	23.0	38.5	14.2	5.4	-
	27.2	24.0	26.5	23.0	17.5	2.7	-
	27.6	12.5	10.5	7.5	10.3	-	-
	28.0	7.5	8.0	-	4.8	-	-
	28.4	0.7	4.0	-	3.1	-	-
Макс. отметка дна		28.4	28.4	27.8	28.2	27.4	27.1
Миним. отметка дна		25.2	25.3	25.5	24.3	23.8	24.2
Средн. отметка дна		26.9	27.0	26.9	26.6	26.1	25.7
Диапазон колебаний отметок дна		3.2	3.1	2.3	3.9	3.6	2.9

Согласно проекту металлургического завода предполагалось два варианта размещения промышленного водозабора: 1/ в правобережной протоке за осередком у г.Аджакуты; 2/ в основном русле реки напротив приверха о-ва Бокуа /рис. 2-в/. Необходимо оценить влияние на работу водозабора по каждому из этих вариантов динамики рельефа русла р.Нигер при неизменном режиме реки и при условии коренного изменения внутригодового распределения стока воды и дефицита стока наносов в случае сооружения водохранилища в 16 км выше г.Аджакуты /Беркович, Сидорчук, 1983/.

Переформирование макроформ руслового рельефа нижнего Нигера в условиях неизменного стока реки происходит медленно и на работе водозабора в практически обозримые сроки не скажется. При измененном гидрологическом режиме реки и врезании русла в нижнем бьефе гидроузла наиболее вероятно быстрое отмирание второстепенных рукавов у о-вов Маконоки и Бокуа. Концентрация потока в едином русле, увеличение кривизны стрелы потока и тенденция к увеличению полноты живого сечения приведут к увеличению скорости размыва берегов, что следует учитывать при размещении водозабора по варианту 2.

Наибольшее значение для выбора места водозабора имеет динамика мезоформ руслового рельефа, особенно побочней, которые могут полностью блокировать берег реки. Участок русла р.Нигер у г.Аджакуты примечателен тем, что выше оголовка о-ва Бокуа побочни стабильны, не смещаются вниз по руслу. Первый динамичный побочень формируется в выбоине правого берега в многоводные годы. Поэтому здесь можно расположить водозабор выше первого подвижного побочня /вариант 2/. Именно такое размещение было рекомендовано проектировщикам /рекомендации разрабатывались К.М.Берковичем и автором под руководством Р.С.Чалова/. При этом следует учитывать необходимость возведения здесь тяжелых берегоукрепительных сооружений и учета значительных колебаний отметок дна при прохождении гряд.

Несмотря на совершенно отличный от рек умеренного пояса гидрологический режим, морфология и русловой режим Нигера в целом подчиняются тем же закономерностям, что и на хорошо изученных крупных реках нашей страны. Здесь отчетливо проявляется принцип ограниченности естественных морфологических комп-

лексов М.А. Великанова, принимаемый Н.И. Маккавеевым /1976/ в качестве одного из законов развития эрозионно-русловых процессов. Поэтому при прогнозировании русловых переформирований на реках тропической зоны можно с успехом использовать тот значительный опыт, который накоплен в отечественной школе русловых исследований, во многом трудами Николая Ивановича Маккавеева.

Литература

- Беркович К.М., Сидорчук А.Ю. Динамика руслового рельефа нижнего Нигера. - Изв. АН СССР, сер. геогр. 1983, № 4.
- Великанов М.А. Русловой процесс. - М., 1958.
- Караушев А.В. Теория и методы расчета речных наносов. - Л., 1977.
- Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. - М., изд-во АН СССР, 1955.
- Маккавеев Н.И. Общие закономерности эрозионно-русловых процессов. - В кн.: Русловые процессы. /Тр. IУ Всесоюзного гидрологического съезда./Л., 1976. т. IО.
- Маккавеев Н.И. Итоги и дальнейшие задачи научно-исследовательских работ Проблемной лаборатории эрозии почв и русловых процессов. - В кн.: Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 7. М., изд-во Моск. ун-та, 1979.
- Сидорчук А.Ю. Структура рельефа речного русла. - Вестник Моск. ун-та, сер. геогр., 1984, № I.
- Фейрбридж Ф.В. Аридность климата ледниковых эпох в Африке. - В кн.: Проблемы палеоклиматологии. М., 1968.
- Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов. М., 1979.
- Экспериментальная геоморфология. Ред. Н.И. Маккавеев. Вып. 2. М., изд-во Моск. ун-та, 1969.
- Nedeco. River studies and recommendations on improvement of Niger and Benue. - Amsterdam, 1959.
- Ojo O. The climate of West Africa. London, 1977.