

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Рождественский А. П.* Новейшая тектоника и развитие рельефа Южного Приуралья. М., Наука, 1971. 302 с.
2. *Решетова Л. Н.* Связь речной сети с тектоническим строением Оренбургской части Общего Сырта // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1987. № 1. С. 59—63.
3. *Аристархова Л. Б.* Геоморфологические исследования при поисках нефти и газа. М.: Изд-во МГУ, 1979. 152 с.
4. *Решетова Л. Н.* Опыт применения морфоструктурного анализа для целей поисков нефти и газа (на примере бассейна реки Самары): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1987. 20 с.

Московский государственный университет  
Географический факультет

Поступила в редакцию  
23. II. 1989

Оренбургский пединститут

### MORPHOSTRUCTURAL ANALYSIS APPLIED TO SEARCH FOR OIL AND GAS IN THE SAMARA DRAINAGE BASIN

Aristarkhova L. B., Reshetova L. N.

#### Summary

Taking the Samara drainage basin, inadequately studied and covered with thick sedimentary mantle, as a case study, the morphostruclural analysis is shown to be useful for identification of regional and local deep-seated structures. It permits to recognise promptly areas promising with view to the search for oil and gas.

УДК 551.435.1:556.537 (571.56)

А. В. ЧЕРНОВ

### ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ПЕРЕКАТОВ НА Р. ВИЛЮЙ И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ СУДОХОДСТВА

Прогноз развития природных и природно-антропогенных объектов и комплексов приобрел в последнее время первостепенное значение в географии. Знание того, что произойдет с природным комплексом в обозримом будущем в естественных условиях, позволяет предсказать его поведение при приложении тех или иных антропогенных нагрузок, определить пороговые значения нагрузок, превышение которых разрушает объект, установить порядок и баланс потребления, а значит, рационально управлять использованием природных ресурсов.

Важность прогноза развития природы оценена во всех направлениях географической науки: прогнозы вместе с рекомендациями по рациональному природопользованию занимают сейчас существенное место среди конечных результатов географических исследований. Вместе с тем темпы изменения в естественных условиях большей части географических объектов весьма невелики по человеческим масштабам: продолжительность циклов развития или промежутки времени между заметными качественными изменениями объектов либо соизмеримы со сроком нашей жизни, либо значительно ее превышают. Поэтому прогнозы развития большинства природных и природно-антропогенных объектов не могут быть подтверждены и проверены на практике при жизни одного поколения. Тем больший интерес представляет составление прогнозов развития наиболее динамичных систем географической оболочки, таких, где циклы развития или качественные изменения происходят за короткие промежутки времени: годы или первые десятилетия, месяцы, дни, часы. Это системы, в которых носите-

лем энергии является газообразный или жидкий компонент, т. е. атмосфера или гидросфера, а также двух- или трехфазные системы с присущим им взаимодействием сред.

Среди двухфазных систем, включающих жидкую гидросферу и литосферу, наиболее динамичны речные русла, в которых основным преобразующим фактором является водный поток. Процессы, происходящие в речных руслах, могут быть как периодическими, так и направленными [1]; диапазон скоростей их протекания велик и зависит от структурного уровня рассматриваемого объекта. Например, частица грунта изменяет свое положение в русле реки в течение нескольких секунд или минут, тогда как циклы развития макроизлучин исчисляются тысячелетиями. Однако развитие основных форм речного русла и макроформ руслового рельефа — излучин, разветвлений, перекатов, с которыми чаще всего приходится сталкиваться в практической деятельности, происходит в условиях свободного развития русловых деформаций с длительностью циклов или заметных изменений от нескольких месяцев (сезонные деформации перекатов) до нескольких лет или первых десятилетий (многолетние деформации перекатов, переформирования излучин и узлов разветвления и т. д.). Такие сроки позволяют, во-первых, при наличии достаточного ряда наблюдений применять наиболее точный для равновесных систем экстраполяционный метод прогнозирования (метод тенденций), а во-вторых, осуществлять своеобразный «авторский надзор» за развитием системы и выявлять заложенные в прогнозировании ошибки не только для исправления прогноза, но и для исключения аналогичных ошибок в дальнейшем. Кроме того, проверка прогнозов может служить для отработки математических моделей прогнозируемых процессов и явлений с целью их большего приближения к реальности.

Экстраполяционный метод прогноза развития русловых деформаций применяется в практике эксплуатации рек с конца XIX — начала XX в., со времени появления систематической съемки русел и рядов наблюдений за гидрологическим режимом. С тех пор он детально описывался как в своих конкретных приложениях, так и в обобщенном виде во многих специальных работах и учебниках по русловым процессам [2]. Поэтому в данной статье приводятся только граничные условия его применения.

Прогноз по экстраполяциям хорошо оправдывается только для равновесных систем. Это означает, что прогнозируемая система не должна в период обоснования экстраполяции и на период срока действия прогноза подвергаться таким внешним воздействиям, которые вывели бы ее из состояния устойчивого динамического равновесия [3]. Иными словами, факторы, воздействующие на систему, должны быть постоянными или закономерно изменяющимися. Для речной долины наиболее распространенное в наше время нарушение равновесного состояния — регулирование стока. Нельзя тенденцию развития незарегулированного русла экстраполировать для прогноза деформаций этого же русла, но уже с водохранилищем.

Из данного условия вытекает второе ограничение: срок действия экстраполяционных прогнозов невелик и связан с предположительным сроком невмешательства в систему. Для естественных условий он определяется состоянием и историей развития каждого конкретного объекта, т. е. по той же экстраполяции, но уже на более сложном уровне. При антропогенном воздействии этот срок задается генеральными планами комплексного использования ресурсов.

Некоторые возможности экстраполяционных прогнозов и оценка их точности при использовании в практике выправления водных судоходных путей рассматриваются на примере среднего и нижнего Вилюя, где в 1977—1980 гг. русловой экспедицией географического факультета МГУ изучались русловые процессы [4]. Исследования проводились для нужд речного транспорта, испытывающего на этой реке большие затруднения при поддержании приемлемых и устойчивых габаритов судового хода. Целью исследований было составление прогноза развития русла и русловых форм и разработка на его основе рекомендаций по вып-

равлению русла для улучшения условий судоходства. При составлении прогноза использовался экстраполяционный метод. Но по независящим от авторов прогноза обстоятельствам практически ни одна рекомендация по улучшению судоходных условий выполнена не была — выправление водного пути не производилось и река продолжала развиваться естественным путем. Этот факт невольно сделал средний и нижний Вилюй модельной рекой для проверки русловых прогнозов. В 1981—1986 гг. на реке были проведены повторные наблюдения за деформациями русла и перекаатов.

В среднем течении (верхние 200 км 750-километрового участка) Вилюй пересекает Сунтарское поднятие, где русло образует в трудноразмываемых меловых песчаниках врезанные излучины и врезанные прямолинейные отрезки. Аллювий галечный, конфигурация русла за последние сотни лет практически не изменилась. Постоянны также местоположение и морфология перекаатов; они испытывают лишь очень медленные местные деформации. Ниже устья р. Мархи, сток составляет которой 36% от общего стока Вилюя, долина проходит в пределах Центральнаякутской низменности. Река прорезает в основном рыхлые песчаные аллювиальные отложения; долина постепенно становится широкопойменной. Русло представлено большим количеством типов: свободные и вынужденные излучины чередуются с прямолинейными отрезками, вниз по течению увеличивается разветвленность реки на рукава. Устойчивость русла уменьшается по направлению к устью. Скорость размыва поймы и отдельных участков террас, составляя в среднем 5—8, достигает величины 20—30 м/год.

Перекааты на нижнем Вилюе отличаются активными переформированиями, что затрудняет судоходство. В частности, устойчивость положения фарватера снижается из-за большой подвижности донных гряд — так, на нижнем Вилюе отмечена скорость смещения побочной около 600, при средней — 100—200 м/год. В процессе движения вниз по течению донные гряды перемещаются от одного берега к другому, некоторое время существуя в виде осередков. Дать верный прогноз поперечных перемещений гряд значительно сложнее, чем их движение вниз по течению. Деформации перекаатов могут быть как периодическими, с любой продолжительностью цикла развития, так и не повторяющимися (например, направленными на смещение вниз по течению побочной вдоль какого-либо одного берега и на размыв противоположного, отторжение от него прибрежных островов). Взаимосвязанные деформации могут охватывать группу перекаатов, составляющих участок. Характер развития перекаатов и перекаатных участков определяется их местоположением в извилистом, относительно прямолинейном или разветвленном русле.

Прогноз развития одно- реже двурукавного русла Вилюя для водного транспорта может быть сведен в основном к прогнозу развития перекаатов и перекаатных участков, как узлов русла, наиболее затруднительных для судоходства, а если конкретно — к прогнозу изменения глубины дна, ширины и конфигурации трассы судового хода [5].

При составлении прогноза учитывались граничные условия для простой экстраполяции. Так, зарегулирование стока Вилюя с 1967 г. плотиной Вилюйской ГЭС, находящейся выше по течению, нарушило равновесное состояние системы долины — русла реки, срезав верхние интервалы руслоформирующих расходов воды, иными словами — высокие половодья и паводки. Поэтому переформирования русла и перекаатов, которые происходили до 1967 г. только во время высоких половодий и паводков, при прогнозировании современного состояния русловых деформаций не учитывались. Кроме того, если тенденции переформирования русла различались в многоводные и маловодные годы, то предпочтение при прогнозе отдавалось тенденциям маловодных лет [6].

Срок действия предложенного прогноза жестко не фиксировался и был определен в 8—12 лет. Он казался достаточным, чтобы успеть реализовать выданные на основании прогноза рекомендации по улучшению условий судоходства; с другой стороны, сложность и во многом стохастичность русловых процессов Вилюя,

неопределенность дальнейшего векового хода температуры и влажности атмосферы, связанная с общепланетарным антропогенным прессом, не гарантировали оправдываемость прогнозов развития русла с большим сроком действия.

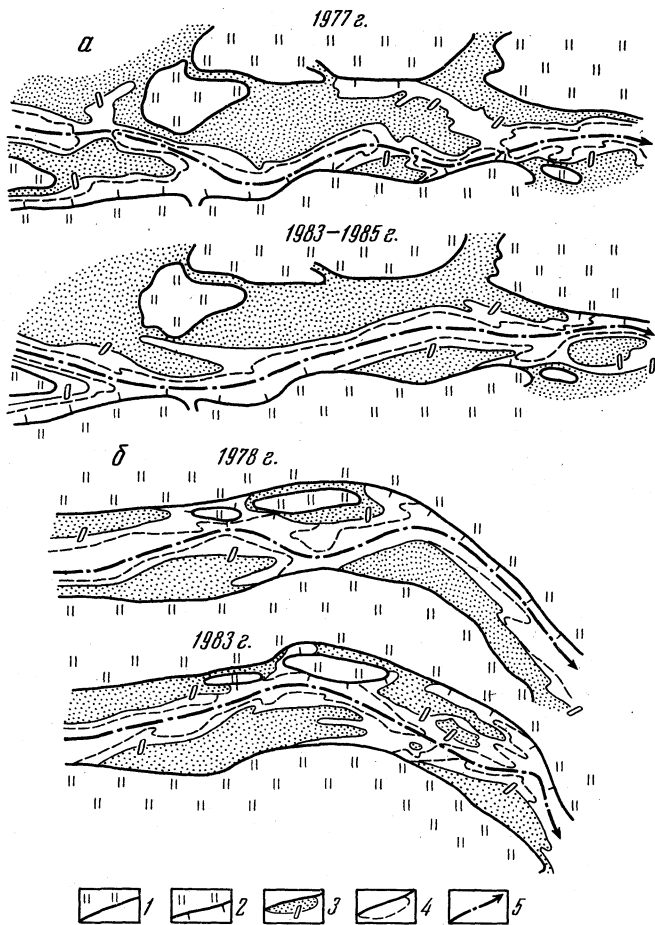
Следует отметить, что срок действия прогноза для конкретных потребителей является отчасти субъективным понятием, зависящим от их требований, и поэтому не связан с длительностью периодов развития отдельных участков русла. Тем не менее в любом прогнозе учитываются все без исключения закономерности развития русла, в том числе и те, цикл перестроений которых намного превышает предлагаемый срок действия прогноза.

Составление любого прогноза предполагает определение тенденций развития прогнозируемого объекта, которые можно объединить по признаку их направленности в каждый конкретный момент времени в три группы: прямого действия, противоположного действия и нейтральные. Соответственно тенденциям своего развития в аналогичные группы объединяются и исследуемые динамические объекты, в нашем случае участки русла и перекаты. Разумеется, определение направления развития как «прямое» или «обратное» во многих случаях условно и зависит от потребителя прогноза.

Нами принято, что к **I группе** относятся перекаты с естественной тенденцией увеличения концентрации потока на гребнях и в связи с этим углубления русла в процессе своего развития [7]. Судоходные условия в данном случае улучшаются. В качестве примера приведем современную историю развития переката Бычий, расположенного в разветвленно-извилистом русле в низовьях Вилюя (рисунок, а). Во второй половине 70-х годов это был сложный перекатный участок с тремя мелкими гребнями. Большое количество неровностей ведущего правого пойменного сильно размываемого ( $>20$  м/год) берега постоянно отклоняло поток в центральную часть русла, где он рассредотачивался; скорость и транспортирующая способность его падали и русло мелело. Однако в процессе анализа поведения русловых форм и составления прогноза (в 1977 г.) была установлена тенденция к отторжению чрезмерно вытянутой косы на верхнем гребне переката и ослаблению в связи с этим негативного влияния правобережных выбоин на положение потока. Как результат этого процесса ожидалась большая концентрация потока на нижних гребнях переката, более прямая его конфигурация и размыв гребней до глубин, удовлетворяющих требованиям речного транспорта. Ожидалось, что углубление будет происходить последовательно от верхнего гребня к нижнему.

Проверка состояния перекатного участка в последующие годы показала правильность прогноза его развития. Отторжение косы на верхнем гребне и его углубление произошли в 1979—1980 гг. Это вызвало уменьшение влияния на поток правобережного мыса, ранее слишком круто отклонявшего его от берега, что приводило к рассредоточению потока в систему левобережных пойменных проток и обмелению переката. Как следствие к 1982—1983 гг. размылся и углубился средний гребень ниже выбоины, стрежень потока выпрямился и приобрел конфигурацию, соответствующую его водности. Черед нижнего гребня пришел в 1985 г., когда был отторжен от левого берега крупный массив песков и поток получил возможность переваливать от правого к левому ведущему берегу по короткому расстоянию. В итоге благодаря естественной тенденции сосредоточения потока на перекатном участке, проявлявшейся в период действия прогноза (1977—1985 гг.), глубины на всем протяжении участка увеличились, а условия судоходства улучшились.

К **II группе** относятся перекаты с противоположной тенденцией прогрессирующего рассредоточения потока по руслу, его обмеления и ухудшения судоходных условий. Пример — перекат Буденновский — находится там, где прямолинейный стрезок русла сменяется пологой излучиной, и состоит из двух гряд, объединенных центральным правобережным побочнем (рисунок, б). Нижний побочень приурочен к острову у вогнутого левого берега; пески у выпуклого правого берега в нижнем крыле пологой излучины существуют постоянно и не связаны с перекатом.



Тенденции развития перекатов нижнего Вилуя

*a* — перекат с естественной тенденцией увеличения концентрации потока на гребнях и углубления дна (перекат Бычий); *б* — перекат с естественной тенденцией рассредоточения потока на гребнях и обмеления дна (перекат Буденновский). Пойменные яры: 1— не подмываемые потоком в годы исследований; 2— подмываемые потоком в годы исследований; 3— надводные части аккумулятивного рельефа русла (побочни, осередки, прирусловые отмели); 4— изобата гарантированной для судоходства глубины; 5— положение судового хода и направление течения реки

До 60-х годов в верхнем крыле излучины была плесовая лощина. Перекат возник в конце 50-х годов под влиянием развития выбоин правого берега на вышележащем перекате Прокаженных. Сначала его центральный побочень находился в 2 км выше излучины, но к 1978 г. сместился почти к самому ее началу, заняв выбоину в правом берегу. Все эти годы глубины на участке русла уменьшались.

Проведенный в 1978 г. анализ показал, что в течение ближайших 5—8 лет центральный правобережный побочень, двигаясь вниз по течению со скоростью около 50 м/год по ухвостью, должен будет занять место у выпуклого берега излучины, где от него начнут отторгаться косы, искривляющие динамическую ось потока и понижающие глубины. Фактически уже в 1982 г. центральный побочень переката стабилизировался у выпуклого берега и от него стали отторгаться осередки со скоростью около 600 м/год, искривляющие и рассредоточивающие поток на нижнем гребне переката. Это в свою очередь стимулировало рост кос от ухвостья левобережного нижнего побочня. В результате к 1983 г. фарватер на перекате стал более извилистым и мелким, чем в 1978 г. Прогноз, таким образом, оправдался.

**В III группу** объединяются перекаты с постоянной глубиной и отсутствием четко выраженной тенденции изменения конфигурации русла на перекате, положения потока на нем и т. д. Сюда входят как недеформируемые (стабильные) перекаты, так и перекаты, деформации которых не ведут к заметным изменениям их характеристик. Эту группу можно разделить на две подгруппы: постоянно глубокие перекаты (перевалы) — III<sub>1</sub> и постоянно мелкие перекаты — III<sub>2</sub>.

Анализ тенденций современного развития речного русла будет весьма неопределенным без рассмотрения вопроса о длительности (конечности) тенденций и их смене. Любая определенная тенденция развития русла имеет начало и конец: поток в русле не может быть абсолютно нелинейным (плоскостным), как не может и постоянно концентрироваться и углубляться. Рассмотрим приведенные выше примеры. Перекат Бычий в период составления и действия прогноза представлял собой перекат с усиливающейся концентрацией потока и ростом глубины. Но до начала этой тенденции он был постоянно мелким с распластанным потоком, т. е. относился к подгруппе III<sub>2</sub>. После завершения ожидавшихся перестроений, что собственно уже случилось, перекат стал относительно стабильным с концентрированным стоком и глубоким руслом (подгруппа III<sub>1</sub>).

Перекат Буденновский образовался в конце 50-х годов под влиянием перестроений русла на вышележащем участке. С конца 50-х годов по настоящее время здесь наблюдается устойчивое снижение глубин. Однако, судя по размыву левого островного берега напротив центрального побочня, есть основания полагать, что со временем стрежень потока разработает устойчивое положение вдоль левого вогнутого берега, нижний, наиболее мелкий гребень переката, окажется на его периферии и глубины в русле начнут увеличиваться. Перекат перейдет в I группу. Но это будет уже за пределами срока действия прогноза.

Существование целого ряда последовательно сменяющих друг друга во времени тенденций развития и состояния русла (как и многих других систем и подсистем невысокого ранга) создает определенные трудности при составлении прогнозов русловых деформаций, так как далеко не всегда в течение всего срока действия прогноза русло развивается в одном направлении, как это происходило в приведенных выше примерах. Нередко смена тенденций развития русла ожидается именно в период срока действия прогноза. В этих случаях в прогнозах русловых деформаций необходимо учитывать характер развития русла до предполагаемой смены тенденций, после нее и ожидаемые сроки этого рубежа.

Причин возникновения тех или иных тенденций развития русла много, но все они могут быть объединены в факторы внешние по отношению к руслу, присущие самому руслу (его форма, конфигурация берегов) и связанные с саморазвитием русла. К внешним факторам относятся сток воды и водный режим, геологическое строение берегов, растительность на подмываемых берегах и др. Деформации многих перекатов зависят от водности. На среднем Вилюе, например, на перекате Крохалиный в маловодные годы развивается левая система проток, а в многоводные — правая. Тенденция развития этого переката определяется предстоящей водностью лет. Учитывая регулируемую роль Вилюйской ГЭС был составлен прогноз на преимущественное развитие левой протоки. Зачастую на некоторых простых перекатах цикличность развития прямо предопределена ходом водности реки.

Геологическое строение бортов долины и ложа является основным фактором, ограничивающим русловые деформации. На среднем Вилюе слабая размываемость пород и общее воздымание территории обуславливают настолько медленные деформации перекатов, что длительность одного цикла деформаций или промежутка времени между качественными изменениями на перекате по меньшей мере на порядок выше сроков действия большинства практических прогнозов. Поэтому в пределах длительности прогноза все перекаты среднего Вилюя являются либо постоянно глубокими, либо постоянно мелкими. На нижнем Вилюе подход русла к коренному берегу, сложенному неразмываемыми породами,

Тенденция развития перекатов нижнего Вилюя в зависимости от их местоположения в русле.  
Оправдываемость прогнозов развития этих перекатов

Группа	Тенденция развития перекатов	Местоположение перекатов						итого по группам
		на излу- чинах	в прямолинейном русле			в разветвленном русле		
			в расши- рениях русла	с направ- ляющими берегами	без направ- ляющих бере- гов и плеч	в узлах развет- вления	в узлах слияния	
I	Естественное углубление	4(0)	3(1)	8(2)	7(0)	7(0)	2(0)	31
II	Естественное обмеление	6(2)	2(1)	—	7(1)	—	—	15
III <sub>1</sub>	Стабильно глубокие	22(1)	2(0)	6(0)	5(1)	2(0)	2(0)	39
III <sub>2</sub>	Стабильно мелкие	7(0)	1(0)	1(1)	2(0)	2(0)	—	13
	Итого (по местоположе- нию и оправдываемости)	39(3)	8(2)	15(3)	21(2)	11(0)	4(0)	

*Примечание.* Цифра перед скобками — число перекатов, развивающихся с данной тенденцией; цифра в скобках — число перекатов в данной группе, прогноз развития которых не оправдался.

почти всегда предопределяет увеличение концентрации потока и углубление русла согласно правилу ведущего берега.

При подмыве залесенного пойменного берега упавшие деревья могут замедлить скорость его размыва и изменить направление потока, а следовательно, и тенденцию развития нижележащего участка реки. В некоторых случаях обмеление русла вызвано зарегулированным стоком и поддерживается поступлением песка в русло с террасы (перекат Васькина Протока).

Форма русла определяет не только морфологический облик переката, но и его динамику, а следовательно, тенденцию развития. В таблице представлена направленность развития перекатов нижнего Вилюя, расположенных на различных по своей конфигурации участках русла и имеющих разную морфологию. Проанализировано 98 перекатов. Почти 40% перекатов сформировалось на перегибах между излучинами, а также в вершинах и на крыльях излучин. Они же отличаются наиболее простым развитием: 29 перекатов из 39 относительно стабильны, что связано с инвариантностью формы излучины.

На прямолинейных и разветвленных участках непосредственные причины тех или иных тенденций развития конкретных участков русла и перекатов уже не зависят от формы русла в целом, а определяются местными деталями (неровностями), переформированием вышележащего участка и т. п. Например, растекание потока чаще всего связано с ослаблением деятельности плеча ведущего берега, направляющего поток на перекат, что в свою очередь может быть вызвано размывом этого плеча, смещением места перевала вверх или вниз по течению (иногда буквально на первые десятки метров), надвижением к этому плечу побочня сверху и тому подобными местными случайными явлениями. Интересно, что концентрацию потока на перекатах вызывают эти же причины: смещение перевала потока вверх или вниз по течению, размыв ведущего берега с образованием направляющего плеча. В то же время наблюдаются и прямо противоположные случаи, когда усиление концентрации, но при незначительном изменении направления стрежня на перекате вызывает оживление второстепенных проток и рукавов и обмеление нижележащего участка русла. Одна и та же причина может вызвать обмеление верхнего переката в цепочке перекатного участка и углубление русла на нижележащем перекате. Так, например, рассредоточение потока на перекате Крохалиный обуславливает его концентрацию в более глубокой протоке на перекате Тюкан, лежащем непосредственно ниже.

Не исключено, что причина той или иной тенденции развития русла и их сме-

ны заложена в процессе саморазвития речного русла, чередования волн врезания — аккумуляции, регрессивно проходящих по реке с выработанным продольным профилем [8]. Так, локальная аккумуляция может вызвать при прочих равных условиях обмеление участка русла, тогда как эрозия, наоборот, приведет к его углублению.

Неопределенную причинность тех или иных тенденций или их смен можно объяснить законом факторной относительности Н. И. Маккавеева: один фактор, одно явление, одна форма или их определенные сочетания могут вызвать на участках реки с различными местными условиями протекания прямо противоположные тенденции развития русла.

На основании прогноза развития русла при применении его к нуждам водного транспорта производится капитальное выправление затруднительных участков русел, которое направлено при ухудшающихся и постоянно плохих условиях на искусственную замену тенденций развития русла, а при улучшающихся — на их ускорение. Достигается это путем выгодной трансформации причин, обусловивших ту или иную тенденцию. Внешние факторы не могут быть изменены без последствий в других природных системах, поэтому антропогенному воздействию при выправлении русла подвергаются локальные факторы формы русла и его берегов. Для этого применяются выправительные сооружения, дамбы, сужающие русло, направляющие поток и перекрывающие второстепенные протоки, дноуглубительные прорезы, берегоукрепления, препятствующие изменению плеч ведущих берегов. Например, если прогрессирующее обмеление переката происходит от того, что плечо ведущего берега направляет поток во второстепенные протоки, минуя гребень переката, то при выправлении закладывается выбоина ведущего берега, из-за чего меняется направление стрежня и перекрываются в своей средней части второстепенные протоки.

Некоторые перекаты мелеют потому, что в процессе смещения гребня вниз по течению поток на них отрывается от ведущего берега и расплывается. Смена тенденции развития переката произойдет, если замедлить или даже остановить смещение гребня и сконцентрировать на нем поток. Этого можно достичь, создав искусственное плечо, направляющее поток на гребень переката, разработать в оптимальном положении дноуглубительную прорезь, а также сузить акваторию русла в нижележащем расширении. На перекатах со стабильно неблагоприятными судоходными условиями целесообразно создать тенденцию углубления с тем, чтобы через определенное время глубина и ширина на них стали удовлетворять судоходство. Этого можно достигнуть, например, за счет дополнительной концентрации потока на гребне путем углубления на нем дна и сужения русла перед перекатом.

В улучшении судоходных условий нуждаются и перспективно улучшающиеся перекаты или участки русла, если указанная тенденция начала проявляться относительно недавно и состояние русла в данный момент еще не устраивает судоводителей. В этом случае необходимо искусственно ускорить процесс углубления русла, разработав по направлению начавшегося размыва дна русла дноуглубительную прорезь, помогая концентрации потока в ней различными выправительными сооружениями.

Участки с разными тенденциями развития русла требуют различных затрат на их выполнение и характеризуются разными изменениями затрат во времени. Улучшение судоходных условий на перекатах с прогрессирующим в данный период времени обмелением будет с каждым годом обходиться все дороже и дороже, так как будут расти объемы грунта, изымаемые при углублении дна и необходимые для возведения наземных сооружений. Напротив, затраты на оптимизацию углубляющихся перекатов будут из года в год сокращаться до тех пор, пока необходимость во вмешательстве в жизнь русла в данном месте отпадет сама собой. Стоимость выправления устойчивых участков русла в среднем сохраняется постоянной.

Изменяющиеся затраты на улучшение судоходных условий обуславливают



четкое определение сроков капитального выправления того или иного участка русла и очередность этих мероприятий. В настоящее время очередность устанавливается путевскими организациями исходя из затруднительности участка русла для судоходства, интенсивности последнего, близости участка к средствам выправления, других причин. Было бы целесообразно учитывать при этом также и тенденцию развития лимитирующих участков русла. Тогда при комплексном капитальном выправлении протяженного участка реки улучшение судоходных условий должно производиться в первую очередь на перекатах с прогрессирующим ухудшением судоходных условий (II группа); затем подлежат выправлению перекаты III группы с постоянными характеристиками, и в последнюю очередь искусственно ускоряется процесс улучшения перекатов I группы. Подобная очередность предполагает минимальные объемы извлеченного и перемещенного в процессе работ грунта и, при наличии достаточного количества выправительной техники (при котором затраты на ее транспортировку к местам выправления в нужном порядке также будут минимальными), может снизить общие затраты на поддержание благоприятных условий судоходства.

Выявление тенденции развития русла, особенно для практического применения, требует оценки точности русловых прогнозов. Таблица содержит сведения об оправдываемости прогнозов развития перекатов нижнего Вилюя. В среднем ошибка в прогнозировании, а следовательно, в определении тенденции, составляет около 10%. Однако распределяются ошибки далеко не равномерно: большая их часть приходится на сложные по своей морфологии и динамике перекаты в прямолинейных руслах. Анализ ошибок показал большой разброс причин их возникновения, что, между прочим, говорит о правильности применяемых методов и случайности ошибок: похожие ошибки почти не повторяются.

Первая причина неправильного прогноза — недостаточный учет влияния на поток одного из многих мысов, осложняющих прогнозируемый перекат, и неучет его направляющего действия. По этой причине не совпал прогноз с действительностью на трех перекатах. Избежать таких ошибок сложно, так как зачастую активизация влияния того или иного направляющего мыса (плеча) — дело случая.

Следующая причина ошибочных выводов — неточный прогноз водоносности предстоящего периода и соответственно поведения различных перекатов при разных ее характеристиках (три неверных прогноза). Эта ошибка возникла из-за трудностей предсказания водоносности реки по годам в условиях возрастающего потребления гидроэнергоресурсов Вилюйской ГЭС. Ожидалось отторжение побочня Нижнего Намского переката и спрямление стрежня потока, но этого не произошло, поскольку малая водность последовавших после прогноза лет не обеспечила прохождение руслоформирующих расходов воды, при которых происходят деформации осередков и побочней на этом перекате.

К числу субъективных ошибок можно отнести недостаточный учет донного и берегового грунта, мерзлоты в русле и других заметных, но не основных факторов. Так, на перекате Хараянан ожидалось смещение ложины к правому берегу и углубление переката. Однако при составлении прогноза не было учтено, что дно на перекате у правого берега выстлано крупными валунно-галечными грунтами, которые препятствуют смещению сюда русловых форм.

Три ошибки в прогнозе развития перекатов возникли под влиянием ошибочных прогнозов вышележащих смежных с ними перекатов на перекатных участках. Однако в целом незначительный процент ошибок в прогнозировании развития 550-километрового нижнего участка русла крупной неустойчивой реки говорит о возможности применения информации о тенденциях развития русла в практике планирования и производства комплексных выправительных работ для улучшения условий судоходства, а также для других целей.

## Выводы

Некоторые выводы можно, очевидно, распространить и на природные объекты и комплексы в целом.

1. При оценке развития сравнительно простых и быстроменяющихся природных объектов (в нашем примере — речного русла) наиболее точным является экстраполяционный прогноз. Срок его действия не должен превышать 10—20 лет, так как в противном случае может быть нарушено правило применимости этого прогноза только в равновесных системах. Подобный срок устраивает многие практические запросы.

2. Составная часть прогноза — выделение тенденций развития объекта — прогрессивной, регрессивной (возрастающей — сокращающейся, развивающейся — затухающей и т. д.) и нейтральной. При русловых прогнозах эти тенденции звучат как естественные углубление, обмеление и стабильное состояние русла. С позиции судоходства это улучшение, ухудшение и не меняющееся состояние судоходных условий.

3. Составной частью оптимизации использования природных ресурсов является управление тенденциями развития их носителей. Управление тенденциями развития русла в отраслевых целях — это выправление русла для улучшения условий судоходства, при котором выбираются и искусственно стимулируются тенденции, направленные на углубление русла. Противоположные направления развития блокируются. Достигается управление тенденциями путем воздействия на причины их обуславливающие, в частности на форму берегов и дна русла.

4. Учет тенденций развития природного комплекса определяет приоритетность разработки или, наоборот, первоочередность рекультивации объектов комплекса. При оптимизации использования рек с учетом тенденций развития русел экономически целесообразно установление строгой очередности выправления: сначала перекаты мелеющие, затем стабильные, затем углубляющиеся.

5. Эффективность применения прогнозов в целом и тенденций развития в частности определяется точностью прогнозов. Краткосрочные экстраполяционные прогнозы подлежат непосредственной проверке. Для русла нижнего Вилюя такая проверка показала хорошую сходимость результатов прогноза и реальных процессов: ошибка составила всего 10%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чалов Р. С. Главные виды русловых деформаций, формы их проявления и особенности соотношений в различных природных условиях // Общие вопросы теории руслового процесса. Вып. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1986. С. 100—113.
2. Маккавеев Н. И., Чалов Р. С. Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 264 с.
3. Зейдис И. М., Симонов Ю. Г., Трофимов А. М. Теория и методы прогнозирования экзогенных процессов // Климат, рельеф и деятельность человека. М.: Наука, 1981. С. 226—231.
4. Белый Б. В., Борсук О. А., Иванов В. В. и др. Условия формирования, морфология, динамика и регулирование русла среднего и нижнего Вилюя // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 9. М.: Изд-во МГУ, 1983. С. 146—175.
5. Чалов Р. С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
6. Беркович К. М., Зайцев А. А., Чалов Р. С., Чернов А. В. Влияние гидроузла на развитие русла и поймы реки Вилюя в среднем и нижнем течении // Влияние ГЭС на окружающую среду в условиях Крайнего Севера. Якутск: Изд-во Якут. фил. СО АН СССР. 1987. С. 12—18.
7. Воробьев Ю. Г., Никитина Л. Н., Чернов А. В. Русловой режим и улучшение судоходных условий среднего и нижнего Вилюя // Исследование русловых процессов для практики народного хозяйства. М.: Изд-во МГУ, 1983. С. 272—273.
8. Зубков Н. С. Врезание реки в аллювиальные отложения на дне долины и характерные типы руслового процесса // Геоморфология. 1987. № 3. С. 39—44.

# FORECAST OF THE DEVELOPMENT OF SHALLOWS IN THE VILYUI RIVER CHANNEL: ITS SIGNIFICANCE FOR NAVIGATION

CHERNOV A. V.

## Summary

The paper deals with extrapolation method as applied to channel processes forecasting, to shallows reformation under conditions of both restricted and free development of channel deformations in particular (case study of the lower and middle Vilyui). The method can be applied only on the condition of steady state of the system (i. e. constancy of controlling factors); the forecast is limited to a few decades. Three trends are distinguished in the channel shallows evolution: flow concentration and deepening; flow diffusion and decrease in depth; relative stability of the channel's depth. Possibilities are discussed of artificial reversal of trends unfavourable for navigation. In the author's opinion, it is economically justified to establish priorities for channel regulation: first, channel's reaches with shallowing in progress, then constantly shallow ones and finally, those where conditions are changing for better. The forecast of shallows development given in 1977—1980 is assessed on the basis of channel observations during 1981—86; the error of forecast appeared to be 10%.

УДК 551.435.1:551.4.08

В. Г. ЩЕПИЛОВ

## ВЛИЯНИЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ЭРОЗИЮ И УРОЖАЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Территория Курской области характеризуется большой густотой долинно-балочного расчленения. Протяженность долинно-балочной сети в пределах области составляет 22 544 км. Протяженность балок и речных долин определялась по чертежам проектов внутрихозяйственного землеустройства масштаба 1:10 000. Измерения проводились с помощью курвиметра. Всего было обработано 500 чертежей проектов. В каждом проекте протяженность относилась к соответствующей площади. Полученные коэффициенты группировались; соотношение площадей выделенных групп ( $\text{км}^2$ , %) характеризовало расчлененность территории (табл. 1). При работе с чертежами проектов необходима четкая стыковка смежных листов с тем, чтобы избежать ошибок в подсчете площадей и протяженности долинно-балочной сети. На основании полученных данных была составлена карта районирования территории Курской обл. по густоте долинно-балочного расчленения (рисунк).

На карте выделяются зоны повышенной густоты балочной сети по правобережью рек Сейм, Псёл, Свапа. Восточная часть области относится к бассейну Дона. Водосбор одного из его притоков — р. Оскол также характеризуется сильным расчленением. Из табл. 1 следует, что наибольшее распространение на территории области имеет густота 0,86—1,05  $\text{км}/\text{км}^2$  (24,7%). Анализ характера расчлененности 40 водосборов малых рек (средняя площадь 15 тыс. га) показал, что коэффициенты от 0,46 до 1,05  $\text{км}/\text{км}^2$ , имеющие по распространенности наибольший удельный вес, характеризуют, как правило, среднюю и верхнюю части водосборных бассейнов.

Помимо горизонтального расчленения на каждом чертеже проекта внутрихозяйственного землеустройства определялась крутизна склонов (табл. 2). Установлено, что с возрастанием густоты балок и речных долин возрастает площадь более крутых участков склонов, а площадь пологих участков уменьшается. Большая густота долинно-балочного расчленения и связанный с ней повышенный процент площадей крутых участков склонов создают предпосылки интенсивного развития эрозионных процессов.