

## Системный подход к русловедению

А.Н. Кондратьев<sup>+</sup>, В.В. Бадяй<sup>++</sup>

<sup>+</sup>ЗАО «Фирма УНИКОМ», Санкт-Петербург, Россия

<sup>++</sup>Институт геохимии и геофизики Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

## The systems approach to the study of river channel processes

A.N. Kondratyev<sup>+</sup>, V.V. Badiay<sup>++</sup>

<sup>+</sup>UNIKOM Joint Stock Company, Sankt-Peterburg, Russia

<sup>++</sup>Institute of Geochemistry and Geophysics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

In this paper a systematic representation of channel processes studies is presented in a condensed form. The actuality of such representation lies in the contradictory approaches of various schools. The systematic representation allows to outline the ways leading to unified form of this science. The systematic representation of 'channel processes' is based on the laws of nature, as suggested by G.E. Skvortsov. To generate exact statements for 'channel processes' general statements of these laws are used. The functional form has the following structure: basic types of objects (O), basic concepts (N), laws (L), principles (P), methods (M), and problems (Pb). The function and subject of 'channel processes' are defined. The definition is given. The matter, object, problems, basic terms of 'channel processes' are formulated. The three state-of-the-art important problems of 'channel processes' are outlined. The generalization is realized with terms, which are given in the appendix to this paper. In short the laws of 'channel processes' are described.

Предлагается сжатое системное представление русловедения. Актуальность такого представления заключается в существующей разноречивости подходов разных школ. Системное представление позволяет наметить пути к приведению этой отрасли науки в единый вид.

**Русловедение** – наука о русловых процессах.

**Функция** русловедения – прогноз русловых деформаций для потребностей практики.

**Предметом** русловедения являются русловые процессы, а также причины, закономерности и виды русловых процессов.

**Русловые процессы** – совокупность процессов, совершающихся под воздействием комплекса факторов, выражающихся в изменениях параметров речных русел.

**Основным содержанием** русловых процессов является перемещение наносов.

**Цель** русловедения – нахождение верных ответов на различные вариации вопроса: “что будет с речным руслом?” (сейчас, потом, при каких-либо изменениях и т.д.).

**Задачи** русловедения:

---

Кондратьев А.Н., Бадяй В.В. Системный подход к русловедению. // Изменения природной среды на рубеже тысячелетий. Труды Международной электронной конференции. Тбилиси-Москва, 2006, с. 221-228. [www.cetm.narod.ru/pdf/kondratyev.pdf](http://www.cetm.narod.ru/pdf/kondratyev.pdf)

Для нахождения ответов на подобные вопросы, русловедение последовательно должно решить следующие задачи:

- 1) наблюдать и выяснить существующие виды деформаций русла;
- 2) объяснить, почему реки деформируются именно таким образом;
- 3) предсказать деформации русла при стабильности руслоформирующих факторов;
- 4) предсказать деформации русла при естественном и антропогенном изменениях руслоформирующих факторов;
- 5) предложить способы регулирования русловыми процессами;
- 6) предложить способы управления русловыми процессами.

На современном этапе развития русловедения большинство перечисленных выше задач не решено и требуют более тщательного изучения.

В настоящее время основной прикладной задачей русловедения является предсказание деформаций речных русел при нарушении баланса между руслоформирующими факторами.

Развитие русловедения сдерживает отсутствие согласования в противоречивых подходах различных школ.

Любая наука и теория должны строиться системным образом. Дальнейшее развитие русловедения требует целенаправленного использования системного подхода.

Г.Е. Скворцов (2003, 2004) установил, что для достижения наибольшей плодотворности, каждая отрасль науки должна принимать функциональную системную форму.

Функциональная форма имеет вид: основные классы объектов (**O**), основные понятия (**N**), законы (**L**), принципы (**P**), методы (**M**), проблемы (**Pb**).

С учётом этого, придадим русловедению вид функциональной системы.

**Объекты русловедения (O).** Главными объектами русловедения является речная долина, русло и русловые процессы. Объектами русловедения также являются речные поймы, водосбор, нанососбор, а также ближайшие подсистемы речного русла – мезоформы (побочни, пляжи, осерёдки и т.п.), рассмотрение которых необходимо для познания русловых процессов.

**Речное русло** – вытянутое понижение земной поверхности, занятое водным потоком.

Другие **основные понятия русловедения (N)** приведены в приложении 1.

**Целью** настоящей работы является выяснение роли влияния разных руслоформирующих факторов на смену типа русловых процессов.

На настоящем этапе развития науки актуальными являются следующие положения:

- теоретическое положение о том, что одним из главных руслоформирующих факторов является относительная транспортирующая способность потока (ОТСП).

- двухфакторная классификация русловых процессов, в которой типы русловых процессов расположены в таблице по определяющим факторам. По одной оси происходит изменение ОТСП, что выражается в смене от меандрирования к прямым руслам, а затем к разветвлённым рекам по типу русловой многорукавности. Другая ось отражает смену неразветвлённых русел к разветвлённым по типу пойменной многорукавности, и показателем является относительная степень затопляемости поймы (Кондратьев, 2001).

**Актуальность** настоящей работы обусловлена:

- нарушениями баланса между руслоформирующими факторами; потребностями практики в прогнозе деформаций речных русел отсутствием методики прогнозирования смены типов русловых процессов.

**Новизна** подходов, применённых в настоящей работе, заключается:

- 1) в применении системного подхода к русловедению;
- 2) в переходе от прогноза в рамках одного типа к прогнозу смены типа;
- 3) в применении относительных критериев (мер действия);
- 4) в выявлении основного руслоформирующего критерия – относительной транспортирующей способности потока.
- 5) в переходе от однофакторных классификаций русловых процессов к многофакторным классификациям по нескольким руслоформирующим факторам.

Решены три основные **проблемы**:

**1. Систематизация.** Выявлено и проанализировано существующее многообразие: А) типов русловых процессов; Б) руслоформирующих факторов; В) типизаций русловых процессов; Г) представлений о транспортирующей способности потока, поступлении наносов и расходе наносов.

**2. Обобщение.**

- Перечислены основные классы объектов (О) и основные понятия (N) русловедения.
- Сформулирована система законов русловедения (L); на основе этих законов определены принципы (P), необходимые для ответа на поставленные вопросы.
- Выявлено, что одним из главных руслоформирующих факторов является *относительная транспортирующая способность потока*.
- Найдены цепочки взаимопревращения типов при изменении разных руслоформирующих факторов;
- Построена двухфакторная классификация типов русловых процессов по главным руслоформирующим факторам;

Результатом обобщения является концепция руслоформирования.

**3. Опытная демонстрация.**

- Продемонстрировано на экспериментальных и натуральных примерах изменения типов русловых процессов при нарушении баланса между транспортирующей способностью потока и поступлением наносов на участок русла.
- Показано, каким образом, и в каком порядке относительная транспортирующая способность потока определяет смену типов русловых процессов.

**Методы.** Для решения перечисленных выше задач были применены следующие **методы**: ретроспективно-обзорный; экспериментальный; синтетический; системный.

**Ретроспективно-обзорный метод** включает в себя выявление, анализ и обобщение сведений о выделенных в настоящее время: - типах русел, - типах русловых процессов, - типизации русел и русловых процессов, - классификации русел и русловых процессах, - видах изменения типов русловых процессов по длине реки, - видах изменения типов русловых процессов во времени, - руслоформирующих факторах.

**Экспериментальный метод** реализуется посредством проведения собственных экспериментов, а также основывается на анализе и интерпретации данных прочих экспериментов.

**Синтетический метод** понимается как объединение в разном смысле: - объединение подходов разных школ; - объединение гипотез о формировании типов русловых процессов; - одновременное рассматривание нескольких типов русловых процессов; - совместное рассмотрение различных руслоформирующих факторов; - переход от однофакторных классификаций к многофакторным.

**Системный подход** включает в себя наиболее широкое рассмотрение взаимосвязанных аспектов русловедения и наиболее глубокое рассмотрение вопросов, касающихся защищаемых положений. Для этого русловедению придан вид функциональной системы: определён объект науки, определены основные понятия, сформулирована система законов, принципов, методов и проблем русловедения, необходимые для решения поставленной задачи.

В соответствии с законами природы, предложенными Г.Е. Скворцовым (2003), построена система законов русловедения.

**Система основных законов (L) и принципов (P) русловедения** (приведены только те, которые отвечают поставленной цели в настоящей работе).

**Закон меры действия**

Степень изменения речного русла определяется величиной меры действия (G) сочетания руслоформирующих факторов. Мера действия учитывает подходящим образом воздействие внешних руслоформирующих факторов и внутреннего противодействия системы этому внешнему воздействию. Мера действия:  $G = g/g_s$ , где  $g$  – внешний руслоформирующий фактор,  $g_s$  – соответствующий этому руслоформирующему фактору внутренний системно-структурный фактор.

**Закон малых и умеренных воздействий**

При малых изменениях руслоформирующих факторов  $G < 1$  тип русловых процессов изменяется по линейной зависимости  $R(G) = kG$ , где  $k$  – восприимчивость, которая определяется структурой исходного объекта или нелинейной зависимостью  $R(G) = k(G)G$ .

Общий принцип для русловых процессов: при малых и умеренных нарушениях баланса между руслоформирующими факторами река реагирует таким образом, чтобы вернуть баланс между руслоформирующими факторами

**Закон границы качества**

При достижении воздействием определенного значения такого, что  $G = G_c = 1$  в системе начинается качественное изменение.

Изменение выражается в переходе реки в другие близкие водные объекты.

Например: сухое русло, озеро, водохранилище, сель, лавина, плавни и т.д.

Детализация принципа для ОТСП: При малом и умеренном изменении относительной транспортирующей способности изменяется тип русловых процессов. Последовательность изменения: развитое меандрирование – неразвитое меандрирование – побочный процесс – русловая многорукавность.

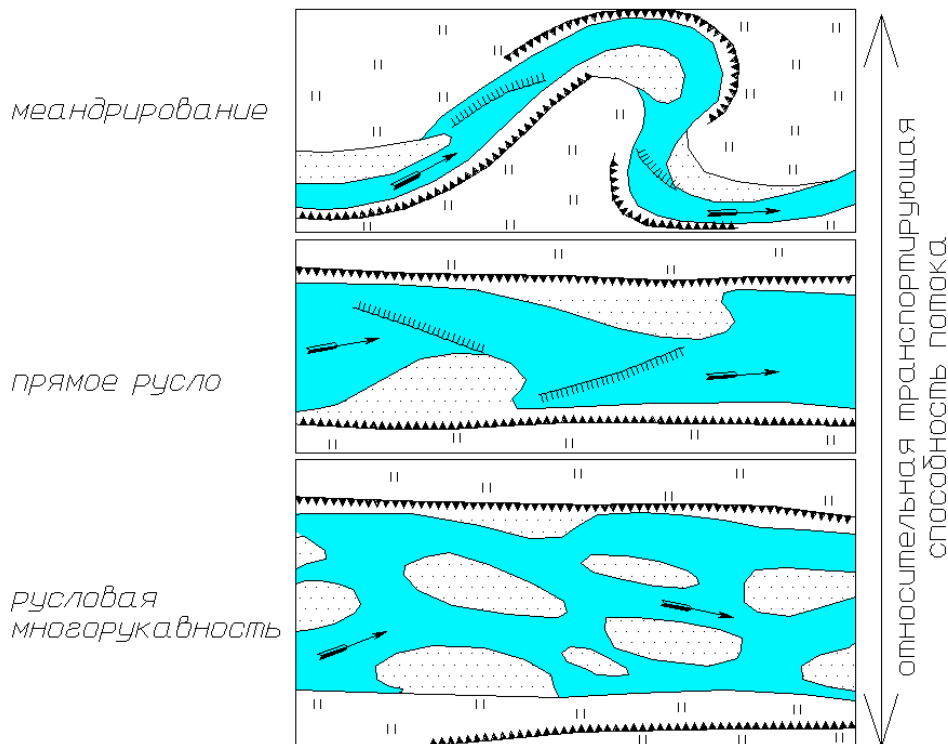


Рис. 1. Ранжирование типов русловых процессов по относительной транспортирующей способности потока

**Причинно-следственная цепочка** образования меандрирования такова: транспортирующая способность потока больше по сравнению с поступлением наносов → излишек энергии → деформация берегов → образование меандрирования → уменьшение уклона водной поверхности → уменьшение транспортирующей способности → уравнивание транспортирующей способности и поступления наносов →

меандрирование реки при динамическом равновесии (до очередного возникновения неравенства между определяющими факторами).

**Собраны примеры изменения типов, которые показывают:**

➤ При перегрузке реки наносами она изменяет свой тип русловых процессов от меандрирования (извилистости) к русловой многорукавности (разветвлённости).

➤ При недогрузке реки наносами она, наоборот, трансформируется в меандрирующую.

➤ Отношение между транспортирующей способностью потока и поступлением наносов в реку является главным руслоформирующим фактором, определяющим изменение реки по линии: меандрирование – прямые – русловая многорукавность.

➤ Меандрирование и русловая многорукавность являются противоположностями по относительной транспортирующей способности.

Например, в нижнем течении река Зeya раньше была свободно меандрирующей. На пойме видны остатки старых меандр и старицы. Около 100 лет назад Зeya подошла правым берегом к “Белым горам”, сложенным песком. Подмываемые горы стали “фабрикой” наносов, что обусловило поступление большого количества наносов в реку. В результате река не стала справляться с транспортом этих наносов, что привело к смене типа русловых процессов на русловую многорукавность.

Принцип по относительному геоморфологическому фактору образования пойменных проток: При значительной затопляемости поймы образуются условия для формирования пойменных проток.

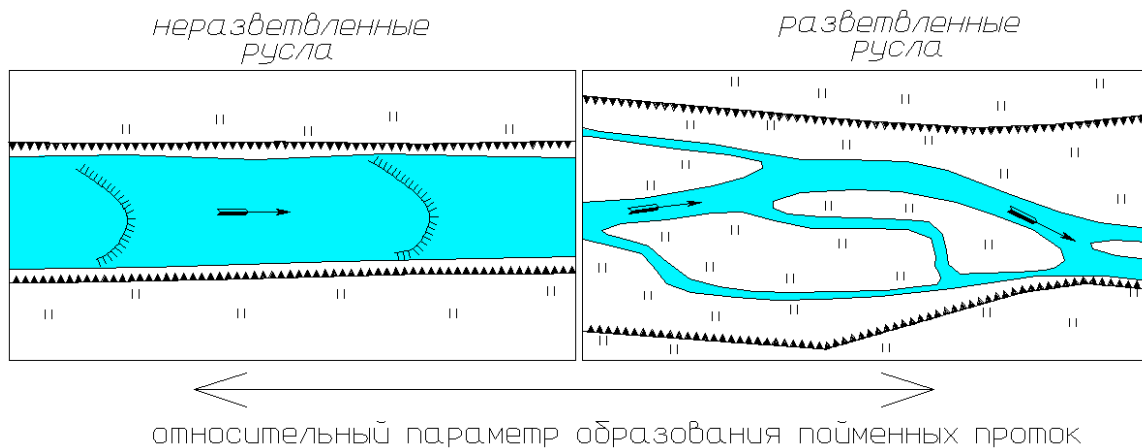


Рис. 2. Ранжирование типов русловых процессов по относительному геоморфологическому фактору образования пойменных проток

**Экспериментальные исследования.**

Выполнен эксперимент, в котором были сделаны попытки получить различные типы русловых процессов при различном сочетании руслоформирующих факторов.

Собраны и проанализированы результаты прочих экспериментов:

- Отдельные исследователи приходят к разным выводам. Есть такие, которые убеждены, что всегда получается меандрирование, а другие – что всегда русло расплывается.

- Синтез результатов различных экспериментов показывает расширенную картину.

• Общий анализ подтверждает гипотезу о правомерности использования относительной транспортирующей способности как одного из руслоформирующих факторов.

**С помощью синтетического метода выполнено объединение различных подходов.**

Совместное рассмотрение основных руслоформирующих критериев привело к необходимости построения двухфакторной таблицы типов русловых процессов (двухфакторной классификации).

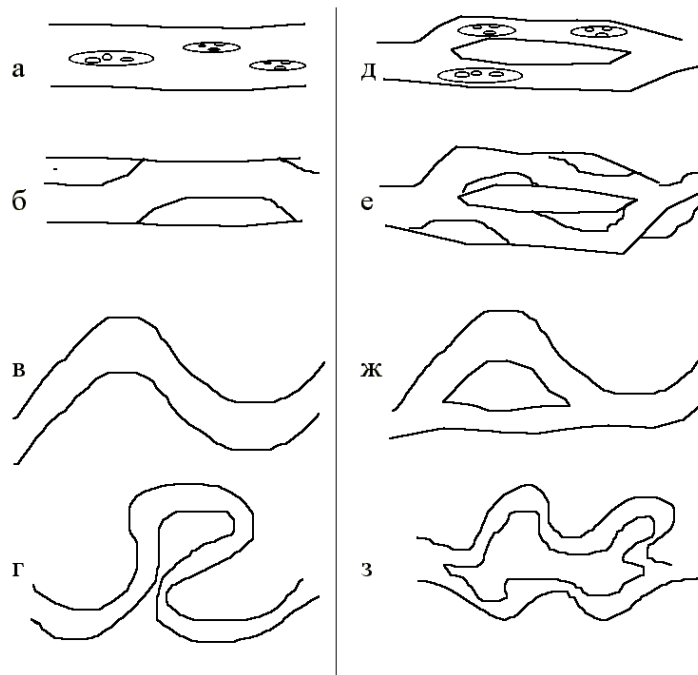


Рис. 3. Типы русловых процессов широкопойменных рек, представленные в виде таблицы по определяющим руслоформирующим факторам. В первом столбце расположены неразветвленные русла, формируемые при малой затопляемости поймы: а – осередковый тип, б – побочный тип, в – неразвитое меандрирование, г – развитое меандрирование. Во втором столбце расположены разветвленные русла, формируемые при большой затопляемости поймы: д – осередки в разветвленном русле, е – побочный тип в разветвленном русле, ж – прорванное (незавершенное) меандрирование, з – меандрирование рукавов разветвленного русла. Увеличение относительной транспортирующей способности потока происходит сверху вниз.

**В результате** было сделано и получено:

1. Собраны примеры изменений типов русловых процессов, выявлены и типизированы виды изменения типов русловых процессов.
2. Выполнено деление руслоформирующих факторов:
  - 1) *главные*, совокупность которых, в соответствующих природных условиях, определяют тип русловых процессов;
  - 2) *второстепенные*, влияние которых значительно меньше;
  - 3) *косвенные*, которые влияют на непосредственные (главные и второстепенные) факторы;
  - 4) *ограничивающие*, которые подавляют проявление главных и второстепенных факторов.

3. Сделан вывод, что большинство используемых руслоформирующих факторов (осей) являются отношениями. Это отражает баланс сил, формирующих при разном соотношении различные морфологические проявления (типы русловых процессов).

4. Доказано, что относительная транспортирующая способность потока является обычно одним из главных руслоформирующим фактором.

5. Предложена двухфакторная классификация типов русловых процессов.

## ЛИТЕРАТУРА

Скворцов Г.Е. Картина мира природы (К1). СПб., 2003.

Скворцов Г.Е. Система законов природы (К2). СПб., Петрополис, 2004.

Кондратьев А.Н. О гипотезах причин формирования русел // Водные ресурсы, т. 28, № 5, 2001, с. 628-630.

## ПРИЛОЖЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ РУСЛОВЕДЕНИЯ (N)

Другие, более общие понятия определяются в других науках.

**Речное русло** – вытянутое понижение земной поверхности, занятое водным потоком.

**Русловые процессы** – совокупность явлений и процессов, происходящих под воздействием комплекса различных природных и антропогенных факторов, и выражающихся в изменениях формы и параметров речных русел.

**Русловедение** – наука о русловых процессах.

**Водоток** – водный объект, характеризуемый постоянным или временным движением воды в русле. Существуют: - временные и постоянные водотоки; - естественные и искусственные водотоки;

**Водосбор (бассейн)** – часть земной поверхности, с которой вода поступает в отдельный водоток.

**Река** – водоток значительных размеров с естественным течением по руслу.

**Речная долина** – вытянутое понижение земной поверхности, на дне которого располагается водоток.

**Пойма** – часть дна долины, прилегающая к руслу водотока и затопляемая при подъемах уровня воды в водотоке.

**Водный поток** – вода, движущаяся под действием силы тяжести и (или) других сил;

**Речной поток** – водный поток в русле;

**Остров** – участок суши, окруженный речными потоками. Существуют русловые и пойменные острова.

**Русловой остров** – остров, образованный в речном русле.

**Пойменный остров** – остров, образованный в результате формирования на пойме дополнительного речного русла.

**Протока** – меньшая часть речного русла с одной стороны от руслового острова.

**Главное русло** – одно из нескольких речных русел или часть речного русла, в котором сосредоточена большая часть речного потока.

**Рукав** (пойменный рукав; или ответвление – в зависимости от длины) – одно из нескольких речных русел реки, в котором сосредоточена меньшая часть речного потока.

**Тип русла** – форма речного русла в плане. Например, извилистые, прямые, разветвлённые и др. типы русел.

**Разветвлённое русло** – тип русла с пойменными рукавами

**Неразветвлённое русло** – тип русла без пойменных рукавов.

**Излучина** – часть извилистого русла между точками перегиба.

**Деформация речного русла** – изменение формы и параметров речного русла.

**Тип русловых процессов** – квазициклическая схема деформаций речных русел (на конкретном участке реки). Существуют различные типы русловых процессов.

**Меандрирование** – тип русловых процессов, в виде последовательных стадий извилистости речного русла. Различается развитое и неразвитое меандрирование, свободное и ограниченное меандрирование.

**Русловая многорукавность** – тип русловых процессов, включающий образование, смещение и исчезновение русловых островов.

**Пойменная многорукавность (разветвлённое русло)** – тип русловых процессов, включающий образование, деформации и исчезновение пойменных рукавов. Существуют также многообразные другие типы русловых процессов.

**Типизация русловых процессов** – выделение набора типов русловых процессов.

**Классификация русловых процессов** – обоснованное упорядочивание выделенных типов русловых процессов.

**Руслоформирующий фактор** – существенное явление, влияющее на деформации речного русла. Различают флювиальные и нефлювиальные, естественные и антропогенные руслоформирующие факторы.

**Активный руслоформирующий фактор** – руслоформирующий фактор, воздействующий на русло и определяющий его деформации.

**Ограничивающий фактор** – руслоформирующий фактор, сдерживающий проявление результатов какого-либо активного руслоформирующего фактора.

**Непосредственный руслоформирующий фактор** – руслоформирующий фактор, действующий на русло.

**Косвенный руслоформирующий фактор** – руслоформирующий фактор, действующий не на русло, а на непосредственный руслоформирующий фактор.

**Наносы** – твёрдые частицы, переносимые водным потоком. Существуют руслоформирующие и не руслоформирующие наносы.

**Транспортирующая способность потока** – количество наносов за единицу времени, которое способна перемещать река через поперечное сечение без изменения типа русловых процессов.

**Поступление наносов** – количество наносов, поступающих за единицу времени на определённый участок реки с нанососбора, вышележащего участка реки и берегов).

**Расход наносов** – количество наносов за единицу времени, которое перемещает река через поперечное сечение. Расход наносов является результатом поступления наносов и транспортирующей способности потока.

**Руслоформирующий критерий** – соотношение внешнего руслоформирующего фактора и внутреннего противодействия этому фактору, определяющее тип руслового процесса.

**Относительная транспортирующая способность потока (ОТСП)** – руслоформирующий критерий, являющийся отношением транспортирующей способности потока и поступления наносов.