



## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РЕКОНСТРУИРОВАНИЯ И НЕЛИНЕЙНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭРОЗИОННОЙ СЕТИ В ГЕОЛОГИЧЕСКОМ ПРОШЛОМ

Комментарии географа и геолога к статье  
В.В. Сидоренко, В.Н. Суртаева, М.М. Хасанова  
«Новый подход в моделировании строения  
природных нефтяных резервуаров речного генезиса»

*И.А. Яиков, А.В. Иванов*

Обсуждается необходимость учета историко-геологических и палеогеоморфологических закономерностей формирования речного бассейна при моделировании строения природных нефтяных резервуаров речного генезиса. Речная сеть, развивающаяся в разные геологические эпохи, не может приниматься в качестве прямого аналога современной гидросети. Следовательно, при моделировании нефтяных резервуаров необходим учет потенциально возможных различий в морфологии древней и современной гидросетей. По мнению авторов, создание физико-математической модели строения нефтяных ловушек должно быть адаптировано с учетом временного, морфометрического, актуалистического и морфотектонического аспектов. Подобные исследования позволят приблизиться к возможности создания обобщенной синтетической нелинейной модели эволюции геолого-географических процессов. Авторы призывают к развитию комплексирования методов нелинейной динамики и наук о Земле.

При анализе актуальной статьи В.В. Сидоренко с коллегами нам представляется целесообразным рассмотреть некоторые в определенной мере дискуссионные геолого-геоморфологические аспекты затронутой проблематики, что может оказаться полезным: а) для дальнейшего развития и совершенствования предложенной ими модели путем учета в ней более широкого комплекса особенностей строения и развития геологического субстрата и рельефа; б) для объективной оценки границ применимости разрабатываемой модели; в) для адаптации модели к изучению конкретного района, конкретного геолого-геоморфологического объекта непосредственно при решении практических геолого-разведочных задач; г) для оптимизации комплексирования методов в практике поисковых работ.

В геологии и геоморфологии (междисциплинарной науке на стыке геологии и географии, изучающей развитие рельефа) сегодня доминирует представление о глубокой конформной взаимосвязи внутренних (эндогенных) и внешних (экзогенных) процессов на Земле [1]. Результатом их сложного взаимодействия и коэволюции в геологическом времени являются разнообразные по своему строению и размерам формы рельефа земной поверхности. К связанным с погребенными формами рельефа геологическим структурам и отложениям приурочены месторождения различных

полезных ископаемых. Согласно сегодняшним представлениям (см., например, [2]), многие месторождения нефти располагаются в местах распространения локальных антиклинальных складок, которые расположены либо в пределах новейших тектонических региональных впадин, либо на их периферии. Описываемые В.В. Сидоренко, В.Н. Суртаевым и М.М. Хасановым нефтяные резервуары приурочены к отложениям аллювиального (речного) генезиса. В геоморфологическом отношении такие отложения формируются вдоль русел (долин) речных потоков.

В.В. Сидоренко с соавторами применяют для исследования свойств речного рельефа физико-математическое моделирование, объединяя возможности математической статистики и компьютерной обработки геологической и геоморфологической информации. В последнее время такие исследования становятся все более распространенными и их актуальность очевидна. Попытка связать коллекторские свойства речных отложений с гидрологической моделью самой речной системы безусловно является интересной научно-практической задачей. Возможности применения математических и физических моделей для объяснения природы геолого-геоморфологических объектов приводят к открытию их новых свойств и особенностей эволюции. В частности, применение фрактального анализа к изучению овражно-балочных и речных систем позволяет оценить степень сложности рисунка сети, энергоопасности контрастных сочленений форм рельефа с разным рисунком сети и т.д. [3].

При описании геометрии речного бассейна важное значение приобретает надлежащая информационная база морфометрических данных. По этому вопросу существует обширная научная литература отечественных геологов и геоморфологов. Одной из классических работ по данной проблеме является монография [2] профессора Саратовского госуниверситета В.П. Философова «Основы морфометрического метода поисков тектонических структур» 1975 года, в которой он описывает применение нового подхода в изучении локальных тектонических структур – морфометрический анализ. Не углубляясь в детали методики, отметим, что с помощью морфометрического анализа по данным отрисовки порядков речных систем и их водоразделов можно выявить локальные тектонические структуры под рельефом территории, в том числе и участки погребенного рельефа для целей поисков месторождений нефти и газа.

В связи с этим нам кажется разумным остановиться на отражении особенностей рисунка речной палеосети (именно на это делают больший акцент В.В. Сидоренко с соавторами) в геометрии нефтяного резервуара. Делая попытку описать новым LN-алгоритмом эволюцию речной палеосистемы от начала ее зарождения до формирования в аллювиальных толщах нефтяных резервуаров, авторы ставят перед собой сложную задачу проследить особенности всех этапов развития речного бассейна, создающие предпосылки для формирования нефтяных ловушек при складывающихся в итоге геолого-геоморфологических условиях. Учитывая, что речь идет о нефтяных резервуарах руслового типа (залежи нефти формируются в погребенных речных долинах в виде «шнурковых сетей», насыщая аллювиальные отложения), необходимо учитывать историко-геологические и палеогеоморфологические закономерности формирования осадочных толщ на поверхности речного бассейна, которые могут привести к изменению конфигурации речной сети. При дальнейшем развитии модели представляется целесообразным учитывать ряд серьезно осложняющих ситуацию аспектов.

**Временной аспект.** Как известно, любые палеогеографические и палеогеологические реконструкции выполняются на определенный, заранее очерченный для конкретной задачи интервал времени (период, эпоху, век, хрон). В зависимости от

длительности этого интервала определяется подробность выполняемой реконструкции, достаточность исходных данных, возможность, необходимость и степень генерализации. Для рассматриваемой модели это особенно актуально в связи с темпоральностью развития речной сети и возможными значительными изменениями рисунка за историю ее существования. Эти изменения зависят от геолого-геоморфологических условий, в которых развивается сеть. Морфологические параметры речной сети являются результатом деятельности не только современных экзо-эндогенных процессов, они фиксируются ранее существовавшими геолого-геоморфологическими условиями. В этом контексте говорят об унаследованности и о «памяти» природной системы [4]. Длительность перехода системы из одного состояния в другое контролируется одним из ее главных свойств – устойчивостью к влиянию внешних и внутренних условий во времени. В результате изменения геолого-геоморфологической обстановки на территории речная сеть переходит в состояние релаксации – приспособления к новым, более устойчивым состояниям среды. Это означает, что новые элементы формирующейся гидрографической сети могут иметь иные, несколько отличные от древней сети рисунок, размеры, ориентировку. Но общая унаследованность в характере и свойствах сохраняется благодаря «памяти» гидрографической сети. Такие метаморфозы обычны для всех речных систем. Возможности применения модели, видимо, пока ограничиваются временными интервалами «между соседними метаморфизирующими событиями».

**Морфометрический аспект.** Главные факторы формирования речных долин – тектонические и геологические особенности территории. Возможно, механизм деятельности тектонических факторов, свойства вмещающих горных пород и особенности их залегания являются сложными параметрами для использования их в расчетах LN-алгоритма, но пренебрегать ими хотя бы в теоретическом описании сущности самого процесса образования речной системы нельзя. По словам А.В. Вострякова (цит. по В.П. Философову [2]), «изменение геологической структуры, возникающее в результате тектонических движений ”сразу же сказывается на характере русловых процессов и вызывает изменение конфигурации гидрографической сети. План речной сети... является своего рода индикатором или зеркалом, отражающим геологическое строение, интенсивность и направленность неотектонических движений”». В.В. Сидоренко с соавторами основное внимание в моделировании эволюции речных потоков сосредоточивают на действии «капель контрольного дождя», однако, при формировании элементов речной сети имеет место также деятельность подземных вод. Согласно их расчетам, «капля», попадая на поверхность неразмытого или частично размытого (затронутого эрозией) склона, начинает «блуждать» в поисках своего места в общем водном потоке, который, упорядочиваясь, приобретает по истечении некоторого времени черты речного потока в русле. Весь этот процесс хаотичного поведения «капель», подчиненного только случайности, называется «шагом LN-алгоритма». По мнению авторов статьи, после нескольких таких «шагов» можно выделить речную сеть, которая именуется «синтезированной речной сетью». Опуская все сложности моделирования рисунка и расчета параметров гидрографической сети, необходимо помнить, что формирование речных долин происходит с учетом определенных геолого-геоморфологических закономерностей: «долины возникают только по тем линейным разрывным нарушениям, по которым происходят подвижки и которые совпадают с векторами градиентов геопотенциалов. Вода всегда течет по направлению к большему значению силы тяжести, а поэтому и уклоны долин направлены в ту же сторону» [2]. Для заложения русла реки необходимо определенное геологическое время, сочетание особенностей залегания пластов горных пород, направления подземных вод и ориентировки сети трещиноватости. Все это в сово-

купности с физико-географическими и климатическими условиями предопределяет место заложения долины реки и ее эволюцию в будущем.

В формировании рисунка речной сети, в «конкурентной борьбе» русел, выживании одних эрозионных долин и отмирании других большую роль играют особенности движений, знак и направления колебаний земной коры на данной территории. Четко формулирует эту закономерность В.П. Философов [2]: «Одновременно со сменной направления колебаний и преобладания опусканий над поднятиями происходит перестройка долин и речных систем или их частей. Часть долин низших порядков, неглубоко врезаемых в геологические напластования и получающих небольшое поверхностное и грунтовое питание, постепенно замирает, заполняясь осадками, и наконец, отмирает. Наоборот, долины высших порядков, более глубоко врезаемые в пласты горных пород и получающие больше поверхностного и подземного питания, сохраняются, но порядок их уменьшается».

**Актуалистический аспект.** В науках о Земле вопрос степени аналогии современных геолого-географических процессов и явлений таковым в прошлом всегда был одним из главнейших. Его решение по мере развития геонаучных знаний претерпело кардинальные изменения: от принципа униформизма («сегодня – как всегда, значит вчера было как сегодня») до концепции эволюции геолого-географических процессов [5]. В настоящее время в науках о Земле пользуются так называемой *презумпцией актуализма*, означающей, что в процессе исследований все геолого-географические процессы, явления, объекты в прошлом считаются сходными с современными, пока не доказано обратное. Формулируется также «принцип актуализма», реализуемый на практике посредством актуалистического метода с определенными ограничениями (см., например, [6]).

Применительно к рассматриваемой проблематике можно констатировать, что на сегодняшний день в обширной литературе описаны существенные различия речных объектов, развивавшихся в разные временные интервалы истории Земли и их отличия от современных рек. Так, например, для средней юры В.Ф.Салтыковым [7] на территории Нижнего Поволжья описаны реки с медленным течением, широкими плоскими долинами, блуждающими руслами и обилием мелких озер и заболоченных участков на территории бассейна. Видимо, имел место режим, отличный от режима современных рек, – реки разливались, имели иной эрозионный потенциал. Условием для такого характера рисунка послужили, скорее всего, климат, особенности залегания и гидрогеологические свойства известняков карбона, вмещающих речные долины.

В связи с этим и сама речная сеть в целом в разные геологические эпохи явно не может быть принята как прямой аналог современной, что подтверждается сравнением схем, приведенных на рисунке [8]. В качестве одного из ярких примеров приведем описание истории развития Волги. В течение долгого геологического развития Восточно-Европейской платформы речной сток с ее территории происходил в разных направлениях: от западного до юго-восточного. Возникновение верховий Волги относится к карбону [9]. В этот период сток речных вод из центра России в юго-восточном направлении не осуществлялся из-за возникшей в конце девона – начале карбона антиклинальной структуры. С заложением Восточно-Русского прогиба в карбоне и формированием основы водораздельной зоны на широте современной Валдайской возвышенности речной сток нашел выход в восточном направлении, устремляясь в уральские бассейны и бассейны северных морей. Заложение долины самой крупной реки Европейской России было определено устойчивым однонаправленным отрицательным движением Прикаспийского бассейна. В раннем палеозое ось одной из крупнейших тектонических структур Русской платформы – Москов-



то вправо на 80–100 км относительно доакчагыльского и на несколько километров относительно раннечетвертичного русла». Этот пример подтверждает имеющееся несоответствие в расположении палеодолин Волги и ее притоков с аналогичными им современными речными долинами.

Следовательно, при моделировании необходим учет выявленных различий и потенциальные допущения для различий, не выявленных на сегодняшний день, для конкретной речной палеосистемы, развивавшейся в конкретный интервал геологического времени. В частности, при анализе реконструированной эрозионной сети территории Саратова, авторами применяются возможности фрактального анализа, позволяющие оценить значение фрактальной размерности древней эрозионной сети и ее современного аналога. Такой подход позволяет констатировать серьезные изменения в характере развития и в морфометрических особенностях существующей городской эрозионной сети.

**Морфотектонический аспект.** Именно к морфотектоническим можно отнести, на наш взгляд, основные факторы, способные наиболее серьезно исказить модельную («идеальную») картину эволюции речных систем при приложении нелинейной модели к реальным территориям и конкретным геолого-географическим объектам. В качестве наиболее серьезных искажающих процессов, способных потенциально проявляться во время развития изучаемой реальной конкретной эрозионной палеосистемы, назовем следующие:

а) развитие разломно-трещинной сети, отражающей как эндотектонические особенности территории, так и экзотектонические явления;

б) осложняющие строение геологического субстрата локальные процессы и явления – развитие соляных куполов, глинистых диапиров, экзогенных мульд, овалов и блоков проседания, карстово-суффозионных форм и т.п.

Эти и другие факторы могут проявляться достаточно масштабно и исказить элементы эрозионной сети вплоть до высоких порядков. Видимо, нелинейная модель должна быть потенциально трансформируемой с учетом возможности серьезного искажения модельной картины, что определяет важную задачу для дальнейших исследований.

Учитывая сказанное выше, хотелось бы заострить внимание на сложности механизма формирования гидрографической сети, которая В.В. Сидоренко с соавторами представлена в виде сильно генерализованной гидрологической модели. Для объяснения механизма LN-алгоритма как упрощенной последовательной схемы отрисовки «синтезированной речной системы» потребуется раскрытие и серьезный учет в дальнейшем основных закономерностей формирования природной речной системы. При этом нельзя пренебрегать существенной ролью эндогенных факторов. В противном случае применение модели значительно ограничивается. Совместные палеогеоморфологические реконструкции речных бассейнов и оценка коллекторских свойств их отложений специалистами из разных естественно-научных направлений – геологами, географами, физиками – способствовали бы созданию обобщенной синтетической нелинейной модели эволюции речных систем с учетом широкого комплекса известных факторов рельефообразования – особенностей геологического строения, системы трещиноватости, физико-географических, климатических и историко-геологических условий и др.

В заключение авторам хочется выразить большое удовлетворение фактом развития междисциплинарных исследований на стыке наук о Земле (геологии, палеогеографии, геоморфологии, морфотектоники) и нелинейной динамики. Одним из наглядных подтверждений этого могут служить исследования В.В. Сидоренко с коллегами. Их работы являются хорошим примером комплексирования методов и ис-

пользования новых возможностей физико-математического аппарата при построении моделей сложных природных систем, каковыми являются речные бассейны. Хочется пожелать им продолжить совершенствование предложенной ими модели с учетом геолого-геоморфологических ограничений и сложностей, о которых говорилось выше. Целесообразно совместное изучение междисциплинарных вопросов, подобных рассматриваемым в статье В.В. Сидоренко и др., представителями физико-математического и геолого-географического направлений. Опыт такого взаимодействия специалистов, научных групп, кафедр получен, например, в Саратовском государственном университете при изучении фрактальных свойств овражно-балочной сети территории Саратова [3], проявлений самоорганизованной критичности и триггерного эффекта в эволюции эколого-геологических процессов. В настоящее время предпринимаются попытки совместного исследования физиками, геологами и географами синергетических эффектов в эволюции природных систем и геоэкологических опасностей, в частности, на урбанизированных территориях Нижнего Поволжья [11].

Авторы выражают благодарность профессору СГУ, члену-корреспонденту РАН Г.И. Худякову за консультации в ходе подготовки статьи к изданию.

### Библиографический список

1. Худяков Г.И. Геоморфотектоника юга Дальнего Востока. М.: Наука, 1977. 256 с.
2. Философов В.П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. 232 с.
3. Иванов А.В., Короновский А.А., Минюхин И.М., Яшков И.А. Определение фрактальной размерности овражно-балочной сети города Саратова // Изв. вузов. ПНД. 2006. Т. 14, № 2. С. 64.
4. Торнес Д.Б., Брунсден Д. Геоморфология и время. М.: Недра, 1981. 225 с.
5. Эволюция геологических процессов в истории Земли. М.: Наука, 1993. 240 с.
6. Салтыков В.Ф., Иванов А.В. О главных ограничениях применимости метода актуализма при геологических исследованиях // Биниология, симметрология и синергетика в естественных науках. Тр. 4-й междунар. конф. Тюмень, 2004. С. 110.
7. Салтыков В.Ф. Палеогеоморфология байосского времени северной части Доно-Медведицких дислокаций // Геоморфология.. 2004. № 4. С. 78.
8. Коноваленко С.С., Кочубенко О.В., Шиляев С.А., Янушкевич О.А. Плиоценовая речная сеть Куйбышевского Поволжья // Возраст и генезис переуглублений на шельфах и история речных долин. М.: Наука, 1984. С. 97.
9. Морфоструктурный анализ речной сети СССР / Отв ред. И.П. Герасимов и С.С. Коржув. М.: Наука, 1979. 303 с.
10. Ступишин А.В. К истории формирования левобережья Приказанского Поволжья // Изв. Всесоюз. Географ. об-ва. 1948. Т. 80, вып. 3.
11. Иванов А.В., Молоствовский Э.А., Трубецков Д.И. Эколого-геологические опасности в городах и их нелинейное моделирование: постановка проблемы // Геологические науки – 2007: Материалы науч. межвед. конф. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2007. С. 57.

Саратовский государственный  
университет

Поступила в редакцию 6.06.2007

## SOME ASPECTS OF RECONSTRUCTION AND NONLINEAR MODELING OF EROSION NETWORK IN GEOLOGICAL PAST

Geographer's and geologist's comments to the paper written by  
V. V. Sidorenko, V. N. Surtaev and M. M. Khasanov  
«New approach to modeling of natural fluvial reservoirs »

*I.A. Yashkov, A. V. Ivanov*

The necessity of the considering the historical-geological and paleogeomorphological regularities of the river basin formation in the modeling of natural (river genesis) oil reservoirs structure has been discussed. River network developed at the different geological epochs can not represent the modern river network similarity. Therefore, formodeling the oil reservoirs structure it is necessary to take into account the possible structure differences between old and modern river networks. According to author's conception, the salvage sumps structure' mathematical model development must be adapted by means of time, morphometric, actualistic and morphotectonic factors. Similar developments will allow us to approach the possibility of the development of the generalized synthetic nonlinear model of geological-geographical process evolution. Authors call to the integration of the nonlinear dynamic' methods with earth



*Яшков Иван Александрович* – родился в Жанатасе, республика Казахстан (1981), окончил с отличием географический факультет Саратовского госуниверситета (2003). Ассистент кафедры геоэкологии геологического факультета СГУ. По теме диссертационной работы опубликовано 10 научных статей, несколько тезисов докладов международных и всероссийских научных конференций. Область научных интересов: применение фрактального метода в изучении эрозионных структур, эволюция и строение естественных и искусственных дренажных систем урбанизированных территорий.



*Иванов Алексей Викторович* – родился в 1974 году в Саратове, окончил Саратовский госуниверситет в 1996 году по специальности «геолог-нефтяник», кандидат геолого-минералогических наук по специальности «палеонтология и стратиграфия» (1996), доцент (1999). Директор НИИ геологии Саратовского университета (1997–2004), первый заведующий новой кафедрой геоэкологии СГУ (с 2002 года), профессор СГУ (с 2003 года). Автор и соавтор более 250 работ, в том числе 18 монографий, 10 учебных пособий, двух научно-популярных книг. Трижды «Соросовский доцент», дважды лауреат Государственной научной стипендии, лауреат Потанинской стипендии. Заместитель главного редактора журнала «Недра Поволжья и Прикаспия». Область научных интересов: палеонтология, историческая геоэкология, экологическая геология.