ПРИРОДНЫЕ ФРАКТАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРО- И ЛИТОДИНАМИЧЕСКИМИ ПОТОКАМИ

Н.В. Соколова, *канд. техн. наук, ст. науч. сотр.*
Институт проблем нефти и газа Российской академии наук
(Россия, г. Москва)

DOI:10.24411/2500-1000-2019-11517

Статья написана в рамках выполнения государственного задания (тема «Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности (фундаментальные, поисковые и прикладные исследования)», № АААА-А19-119013190038-2).

Аннотация. *Статья посвящена выявлению объективных, функционирующих в природе структур управления развитием гидро- и литодинамических потоков при минимальной формализации фактических данных. Рассмотрены по степени усложнения три уровня естественного управления такими потоками (узлы, области, принцип объединения и ранжирования областей). В результате выявления таких фрактальных структур получена новая информация о характере изменения гидро- и литодинамических потоков.*

Ключевые слова*: зона разрядки напряжений, узел потоков, относительно независимые гидро- и литодинамические потоки, фрактальная структура, управление потоками, местный базис денудации.*

Практика землепользования требует прогнозных данных об изменениях природных ресурсов, в том числе и систем гидро- и литодинамических потоков, рек. Возможные изменения в будущем этих объектов целесообразно определять с использованием информации о зонах разрядки напряжений, потенциальных разрывов земного вещества (ЗРН), и динамике местных базисов денудации.

В настоящее время очень актуальными становятся исследования [1, 2], в которых показывается необходимость учета местных базисов эрозии при изучении трансформаций рек. Без такой информации невозможно установить и действующий в природе принцип управления гидро- и литодинамическими потоками.

Для функционирования подобных объектов необходимы условия, в том числе непрерывное понижение местных базисов денудации по ходу потока. Эти условия реализуются в ЗРН. Каждая из ЗРН в поперечном разрезе состоит из канала уплотняющегося вещества (по которому движется транзитный поток воды) и оконтуривающих его с противоположных сторон двух зон разуплотнения (которые стимулируют развитие приточных систем). В ЗРН развиваются два противоположных процесса – компакции и дилатансии. Относительно независимые (параллельные с люфтом 45°) гидро- и литодинамические потоки являются индикаторами развития ЗРН разного ранга [3]. Земная поверхность при этом рассматривается как совокупность узлов сочленения транзитных потоков и активных притоков к ним. Этот огромный фактический материал может быть широко использован для геоинформационного моделирования будущих изменений природных условий.

Каждый такой узел сочленения потоков является естественным фрактальным объектом. Б. Мандельброт разработал прогрессивный метод фрактального анализа, позволяющий все вновь и вновь выявлять самые необычные общие черты развития природы [4, 5].

В настоящее время для геоинформационного моделирования речных сетей применяются фрактальные методы, которые включает в себя: разбиение изображения речной сети на квадратные ячейки заданного размера; формирование фрактальной меры на основе значений коэффициента

густоты, характеризующего каждую ячейку карты; получение мультифрактальных характеристик, позволяющих описать неоднородные по густоте участки бассейна реки [6].

Согласно [7] земная поверхность, образованная горами и впадинами, также может рассматриваться как фрактальный объект. Природные объекты описываются геометрическими и физическими величинами. При этом требуется свести многообразие явлений и процессов как можно к меньшему числу способов их описания.

Формализация фактических данных при фрактальном анализе может быть настолько велика, что рассматриваемая ситуация станет далекой от реальной. И легко потеряется та первичная информация, по которой можно судить о возможных будущих изменениях природной обстановки.

Поэтому важная задача – выявление объективных, заложенных в природе фрактальных структур управления потоками разного ранга, функционирующих на земной поверхности, с минимальной формализацией фактических данных.

В каждом узле сочленения транзитного потока и его активного притока уже изначально заложен принцип субординации (и управления) самого низкого уровня. В этой связи имеет смысл выявить объединения таких объектов, которые тоже будут обладать свойством самоподобия и позволят получить новую информацию о возможностях естественного управления гидро- и литодинамическими потоками на более высоком уровне.

Несмотря на то, что субординация потоков в таком узле четко определена в каждый момент времени, она может меняться в определенных пределах. Тогда транзитный поток становится активным притоком, а бывший активный приток начинает выполнять функцию транзитного. Такие трансформации русел рек имели место в природе, и существуют потенциальные возможности для таких изменений природы в будущем.

Согласно фактическим данным, каждый рассматриваемый узел – это воронка, в которой соединяются две ортогональные системы встречных гидро- и литодинамических потоков. В ней действуют свои местные базис эрозии и базис денудации. Из четырех притоков в воронку один – самый сильный и еще один – самый слабый (но протяженный). Если распределение притоков в воронку таково, что самый сильный и самый слабый из них развиваются в одной плоскости, то формируется транзитный поток, выходящий за пределы воронки, а один из относительно сильных потоков в ортогональной плоскости становится активным его притоком. Если наиболее сильный и наиболее слабый притоки развиваются в ортогональных плоскостях, то выходящий за пределы воронки транзитный поток формирует меандр. При этом возможно раздвоение транзитного потока, развитие параллельной протоки.

С учетом того, что на земной поверхности функционируют относительно независимые потоки в ортогональных плоскостях и между ними действуют динамические границы [3, 8], такая фрактальная структура является областью денудации, определяется только 4-мя подобными узлами, оконтуривается транзитными потоками (внутри нее действуют только приточные системы).

Рассмотрим вышеизложенное на примере дельты р. Волги.

В работе [7] отмечается, что дельты рек являются фрактальными объектами и образование дельтообразного устья реки связано с неоднородным строением земной поверхности. При этом последовательный учет всех неоднородностей вряд ли представляется возможным.

До сих пор дельты рек изучаются с морфологических позиций [6, 7, 9]. Этого явно недостаточно для выявления механизма естественного управления развитием данного объекта. При привлечении дополнительных данных о системах относительно независимых потоков и местных базисах денудации изучается не только сама дельта, но и фрактальная структура (с четырьмя узлами сочленения транзитных потоков и активных их притоков). Такая структура управляет развитием дельты в ходе непрерывной динамики местных базисов денудации в каждом из четырех узлов.

Дельта р. Волги развивается в пределах своей управляющей фрактальной структуры с 4 узлами сочленения потоков (рис. 1, красные линии). Первый такой узел – узел Волги, где русло ее раздваивается. Второй – на соединении правой главной протоки (действующей в настоящее время) с местным тальвегом в Кизлярском заливе. Третий такой узел соединяет левую (зависимую) протоку с линией тальвега в широтной части Каспия. Четвертый узел находится на пересечении первых двух тальвегов с линией тальвега основной части Каспия меридионального простирания. В зависимости от динамики местных базисов денудации в узлах 1-4 изменяется дельта р. Волги.

В настоящее время развитие дельты Волги таково, что происходит активное понижение местного базиса денудации на линии, соединяющей узлы 1-2, близ Астрахани. И это понижение большее чем во 2-м подобном узле. В результате активно развиваются процессы переувлажнения (индикаторы), формируются многочисленные озерки характерного простирания на правобережье Волги (правой основной протоки). Однако при этом местный базис денудации во 2-м узле понижается больше, чем в 3-м. В противном случае левая протока была бы основной, а не зависимой, и русло Волги тяготело бы к ней. По-видимому, такие варианты возможны и имели место в реальной действительности.

Самое активное понижение базиса денудации происходит в 4-м узле сочленения потоков. Если бы активнее понижался базис денудации в 3-м узле, то углублялась бы воронка в широтной части Каспия (чего не наблюдается в реальной действительности). Просматриваются возможность небольшой трансформации фрактальной структуры, тенденция расширения площади дельты Волги за счет переувлажненных площадей на правобережье основной правой протоки. В будущем здесь могут сформироваться меандр русла Волги (на участке от Астрахани до места впадения реки в Каспий) и новый узел потоков, который скорректирует границу управляющей фрактальной структуры (при этом прежний (современный) узел 1 останется на ее границе).

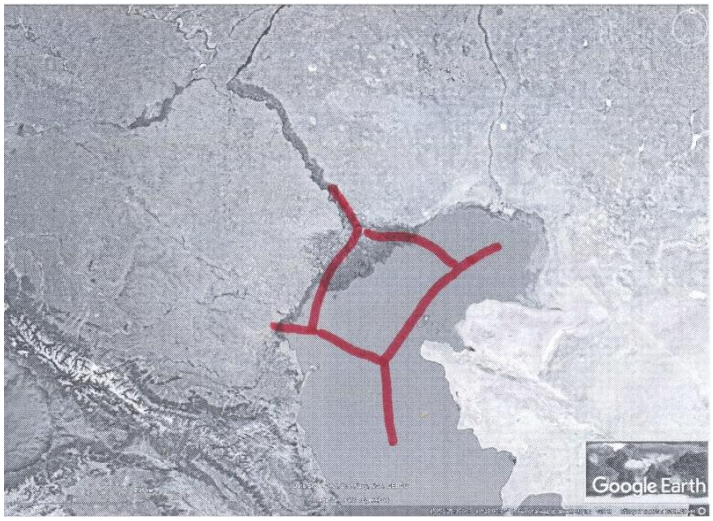

Рис. 1. Природная фрактальная структура управления относительно независимыми гидро- и литодинамическими потоками, в пределах которой развивается дельта Волги (показана красными линиями)

Выявленная природная фрактальная структура может дать новую информацию о процессах, в том числе геодинамических, поддерживающих развитие дельты Волги.

Фрактальная область с 4-мя узлами относительно независимых потоков в ортогональных плоскостях является вторым более высоким уровнем управления гидро- и литодинамическими потоками в природе.

Третий уровень управления гидро- и литодинамическими потоками фиксирует-

ся при объединении не только узлов сочленения потоков, но и фрактальных областей. Данные фрактальные объекты должны сохраняться при ранжировании. Если учитывать это условие, то такое объединение возможно только тогда, когда в одной фрактальной области более высокого ранга объединяются пять фрактальных областей более низкого ранга. При этом одна из них – центральная.

К примеру, наиболее крупной и относительно глубоко врезанной в Западной Сибири является область денудации условно первого ранга (рис. 2, красная линия) в границах ЗРН с рр. Обь (участок меридионального простирания), Иртыш, Черный Иртыш, Черный Енисей, со связкой противоположных притоков Черного Енисея и Черного Иртыша (слабое звено ЗРН первого ранга), с Обской губой и Надымской Обью.

Данная фрактальная структура имеет четыре управляющих узла ЗРН и сочленения рек: Оби и Иртыша; Обской губы и Енисея; Ангары, Черного Енисея и Енисея; Иртыша и активного его левого притока (см. рис. 2, продолжение красных линий).

Внутри этой фрактальной структуры функционирует самый крупный приток – р. Обь (участок субширотного простирания). Эта фрактальная структура объединяет пять подобных структур более низкого второго ранга: центральную и четыре боковые (см. рис. 2, голубые линии).

Сравнительно небольшая центральная область денудации второго ранга оформляется участками главного потока – Оби, а также рр. Кети, Чулыма, связкой противоположных притоков Кети и Чулыма (слабое звено ЗРН второго ранга). Относительно самые глубокие эрозионные врезы от центральной области представлены рр. Обью (участок субширотного простирания до узла Оби и Иртыша); связками рр. Кети и Каса (до узла р. Кас с Енисеем, слабое звено ЗРН второго ранга); Чулыма с минимальным притоком Черного Енисея (слабое звено ЗРН второго ранга); связкой противоположных притоков Оби и Иртыша (проходит через оз. Чаны, является слабым звеном ЗРН второго ранга).

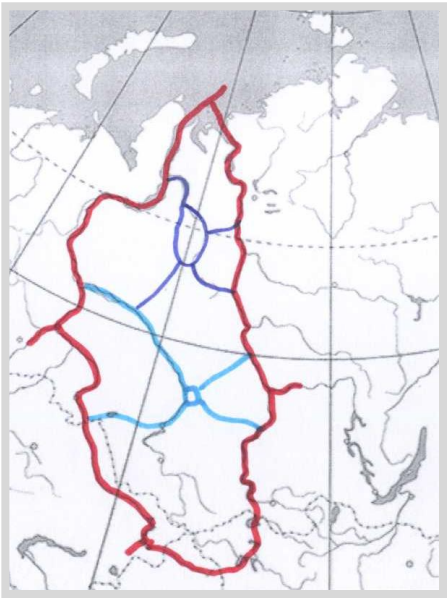

Рис. 2. Границы фрактальных областей денудации (зоны разрядки напряжений, потенциальных разрывов земного вещества) в пределах Западной Сибири условно: первого (красные линии); второго (голубые линии), третьего (синие линии) рангов

В качестве примера показаны пять областей денудации третьего ранга (см. рис. 2, синие линии) в пределах одной из фрактальных структур второго ранга в границах рр. Оби, Кети, Каса, Енисея, а также Надымской Оби и Обской губы. Центральная область денудации третьего ранга оконтурена рр. Пур, Таз, связкой противоположных притоков Часельки и Айваседа-Пур, сформирована четырьмя

управляющими узлами ЗРН и слияния рек: Пур–Таз–Тазовская губа; Пяку-Пур–Айваседа-Пур–Пур; Часелька–Таз; Б. Парусовая–Таз. Слабое звено ЗРН третьего ранга – связка противоположных потоков Часельки и Айваседа-Пур. Наиболее глубокие врезы здесь выстраиваются соответственно управляющим узлам фрактальной структуры второго ранга (с учетом узла Енисей-Нижняя Тунгуска первого ранга). Они представлены тремя связками рр. (слабые звенья ЗРН третьего ранга): Айваседа-Пур – Аган; Таз – Елогуй; Б. Парусовая – Турухан, а также Тазовской губой.

Границы областей денудации 1-3 рангов определялись с использованием общегеографических карт масштаба 1:5 000 000 [10], для уточнения слабых звеньев ЗРН разного ранга применялись топографические карты масштаба 1:500 000 [11]. При выявлении областей денудации более низкого ранга необходимо использовать серию топографических карт крупного масштаба.

Данные о природных фрактальных областях управления гидро- и литодинамическими потоками имеют научное значение. Можно определить более высокий пространственный уровень объединения фрактальных структур разного ранга.

В практическом плане появилась возможность выявления слабых звеньев ЗРН (между узлами одного ранга), являющихся границами фрактальных областей. В пределах таких участков реализуются взаимосвязи противоположных притоков, которые наиболее подвержены трансформациям. Здесь возможны активные перестройки рельефа, усиление эрозионных процессов, микроземлетрясения.

Библиографический список

1. *Иванов П.В.* Уточнение понятия «базис эрозии» // Изв. Всесоюз. геогр. об-ва. 1949. Вып. 4.

2. *Алексеевский Н.И.,* Беркович К.М., Чалов Р.С., Чалов С.Р. Естественные и антропогенно обусловленные трансформации русел рек России (методология и география) // Эрозия почв и русловые процессы: Сб. ст. – М.: Изд-во МГУ, 2012. – С. 148–170.

3. *Соколова Н.В.* О роли единой системы непрерывных потоков вещества разного ранга в формировании внутренней структуры Земли // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2017. – Вып. 1 (16). [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://oilgasjournal.ru (Дата обращения 02.08.2019). doi:10.29222/ipng.2078-5712.2017-16.art12

4. *Мандельброт Б.* Фрактальная геометрия природы. – М.: «Институт компьютерных исследований», 2002. – 656 с.

5. *Peitgen H.-O.* Benoit B. Mandelbrot (1924–2010) // Science. 12 Nov. 2010. Vol. 330, Iss. 6006. P. 926.

6. *Учаев Д.В.* Методика геоинформационного моделирования речных сетей на основе фрактальных методов: автореф. на соиск. ученой степ. канд. техн. наук: 25.00.35 – геоинформатика. – М., 2007. – 24 с.

7. *Балханов В.К.* Основы фрактальной геометрии и фрактального исчисления / Отв. ред. Ю.Б. Башкуев. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2013. 224 с.

8. *Способ* выявления зон разрядки напряжений, потенциальных разрывов земного вещества: пат. 2034317 Рос. Федерация. № 93029540/23 / Орлов В.И., Соколова Н.В.; заявл. 25.05.93; опубл. 30.04.95, Изобретения. 1995. № 12.

9. *Day J.W.,* Boesch D.F., Clairain E.J., Kemp G.P. et.al. Restoration of the Mississippi delta: lessons from hurricanes Katrina and Rita // Science. 23 Mar. 2007. Vol. 315, Iss. 5819. P. 1679-1684.

10. *Атлас мира* / Отв. ред. А.Н. Баранов. М.: ГУГК при МВД СССР, 1954.

11. *Карты* генштаба СССР – архив топографических карт. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://satmaps.info (Дата обращения 01.07.2019).

NATURAL FRACTAL STRUCTURES OF HYDRO AND LITHODYNAMIC FLOWS CONTROL

N.V. Sokolova, *Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher*
Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences
(Russia, Moscow)

Abstract. *The article is devoted to the identification of objective, naturally functioning structures of controlling the development of hydro- and lithodynamic flows with minimal formalization of factual data. Three levels of natural control of such flows (nodes, regions, the principle of combining and ranking regions) are examined in terms of complexity. As a result of the identification of such fractal structures, new information was obtained on the nature of changes in hydro- and lithodynamic flows.*

Keywords*: stress release zone, flows node, relatively independent hydro- and lithodynamic flows, fractal structure, flows control, local denudation basis.*