

ОБ ИЗМЕРЕНИИ ДЛИНЫ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ ВОДОХРАНИЛИЩ

© 2014 г. И.С. Соболев, С.В. Соболев, А.С. Крупинов

*Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Нижний Новгород*

Ключевые слова: водохранилище, береговая линия, фрактальные свойства, измерение длины, поведение во времени.



И.С. Соболев



С.В. Соболев



А.С. Крупинов

Теоретически обоснована необходимость учета фрактальных свойств при измерении длины береговой линии водохранилищ, проанализирована адекватность ее моделирования, синтезирован общий тренд изменения длины береговой линии с возрастом больших равнинных водохранилищ.

В 2000-е годы были инициированы [1] и получают развитие работы по уточнению морфометрических параметров больших равнинных российских водохранилищ [2–5], а также границ их водоохраных зон [6], в составе которых измеряется длина береговой линии.

По определению, длину (протяженность) береговой линии водохранилища измеряют по урезу воды при НПУ на правом и левом берегах от плотины до мест выклинивания подпора на основной реке и притоках. Береговая линия подвижна и визуально наблюдается только в отсутствие волнения. Ее длина изменяется с течением лет.

В публикуемых перечнях параметров водохранилищ длина береговой линии практически всегда указывается без ссылки на масштаб и способ измерения [3, 4, 7, 8], часто и на момент измерения, что ведет к несо-

поставимости результатов. Вопрос об измерении длины береговой линии водохранилищ и ее изменении с течением лет становится предметом исследования и анализа.

Фрактальные свойства береговой линии

Термин «фрактал» ввел в 1970-х гг. бельгийский математик Б.Б. Мандельброт. Фрактал – означает дробный, ломаный, фрагментарный и определяется как структура, состоящая из частей, которые в каком-либо смысле подобны целой структуре. Б.Б. Мандельброт постулировал, что идеальный фрактал обладает масштабной инвариантностью (скейлингом), а его важнейшим свойством является самоподобие.

Длину береговой линии L можно измерить на топографической карте циркулем с шагом ϵ . При этом с уменьшением единичного отрезка ϵ длина береговой линии $L(\epsilon)$ склонна увеличиваться, причем неограниченно. Такое поведение береговой линии связано с тем, что она не является гладкой кривой, а представляет фрактал. При увеличении (укрупнении) масштаба ее рассмотрения (т.е. уменьшении ϵ) появляются новые подробности, все более мелкие мысы и заливы, и она постепенно превращается во все более длинную изошрненного характера ломаную линию. С математической точки зрения предела увеличения масштаба и тем самым увеличения длины береговой линии нет: теоретически она имеет бесконечную длину. Но природные фракталы существуют в ограниченном интервале масштабов, в котором сохраняется принцип фрактальности и где они проявляют свою фрактальную природу. В реальности такой фрактал, как береговая линия, имеет некоторый минимальный и максимальный масштаб длины, при меньших или больших значениях этой длины самоподобие пропадает.

Математической формой самоподобия (скейлинга) выступает степенная функция, где показатель степени характеризует итерационную процедуру рождения фрактальной структуры. Проводя измерение длины береговой линии с последовательным уменьшением длины мерного отрезка ϵ , получим, что на i -м шагу итерации аппроксимационная кривая будет состоять из $N(\epsilon)$ элементов, имея длину

$$L(\epsilon) \sim \epsilon^{1-D}, \quad (1)$$

где D – величина фрактальной размерности;

$$D = -\lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(\epsilon)}{\ln \epsilon}, \quad (2)$$

если $i \rightarrow \infty$ и, то $\epsilon \rightarrow 0$, $L \rightarrow \infty$.

Размерность D является главной количественной характеристикой фрактального объекта. Размерность точки равна нулю, прямой линии – 1 (линия

одномерна), плоскость имеет размерность 2, т. е. двумерна. Береговая линия является множеством, занимающим промежуточное положение между линией ($D = 1$) и плоскостью ($D = 2$). Фрактальная размерность характеризует степень извилистости береговой линии: величина $1 < D < 2$ тем больше, а L тем быстрее стремится к бесконечности согласно (1), чем более изрезанным является берег.

Для нахождения фрактальной размерности береговой линии по ее изображению можно применить разные методы, например алгоритм Б.Б. Мандельброта.

1. Выбирают раствор циркуля ϵ .
2. Осуществляют проход линии этим циркулем и подсчитывают понижавшееся число шагов $N(\epsilon)$.
3. Повторяют действия 1 и 2 с увеличением размера ϵ от минимального до максимального. Увеличение обычно следует геометрическому ряду, например, 2, 4, 8, 16.
4. Строят график зависимости N от ϵ в логарифмических координатах $\ln(N)$ и $\ln(\epsilon)$. Уклон прямой графика представляет собой фрактальную размерность береговой линии

$$D = \tan \alpha. \quad (3)$$

Или можно вычислить фрактальную размерность как

$$D = - \frac{\ln \left(\frac{N(\epsilon)}{N(\epsilon')} \right)}{\ln \left(\frac{\epsilon}{\epsilon'} \right)}, \quad (4)$$

где ϵ и ϵ' – длины мерных отрезков на i -м и на следующем шагах измерения.

Очевидно, что чем меньше ϵ , тем точнее будет результат измерения и, следовательно, точнее определено отклонение размерности D от целого значения. Понятно, что измерить длину береговой линии в любом случае можно только приблизительно [9].

Количественный анализ фрактальных свойств береговой линии

Исследуем участок АБ левого берега Горьковского водохранилища от д. Малый Суходол до плотины гидроузла (рис. 1). Разглядывая изображение этого участка, выкопированное с картографической основы разных масштабов, нельзя с уверенностью сказать, какому масштабу соответствует каждая из картин: все выглядят статистически одинаково. Это наглядная иллюстрация самоподобия береговой линии.

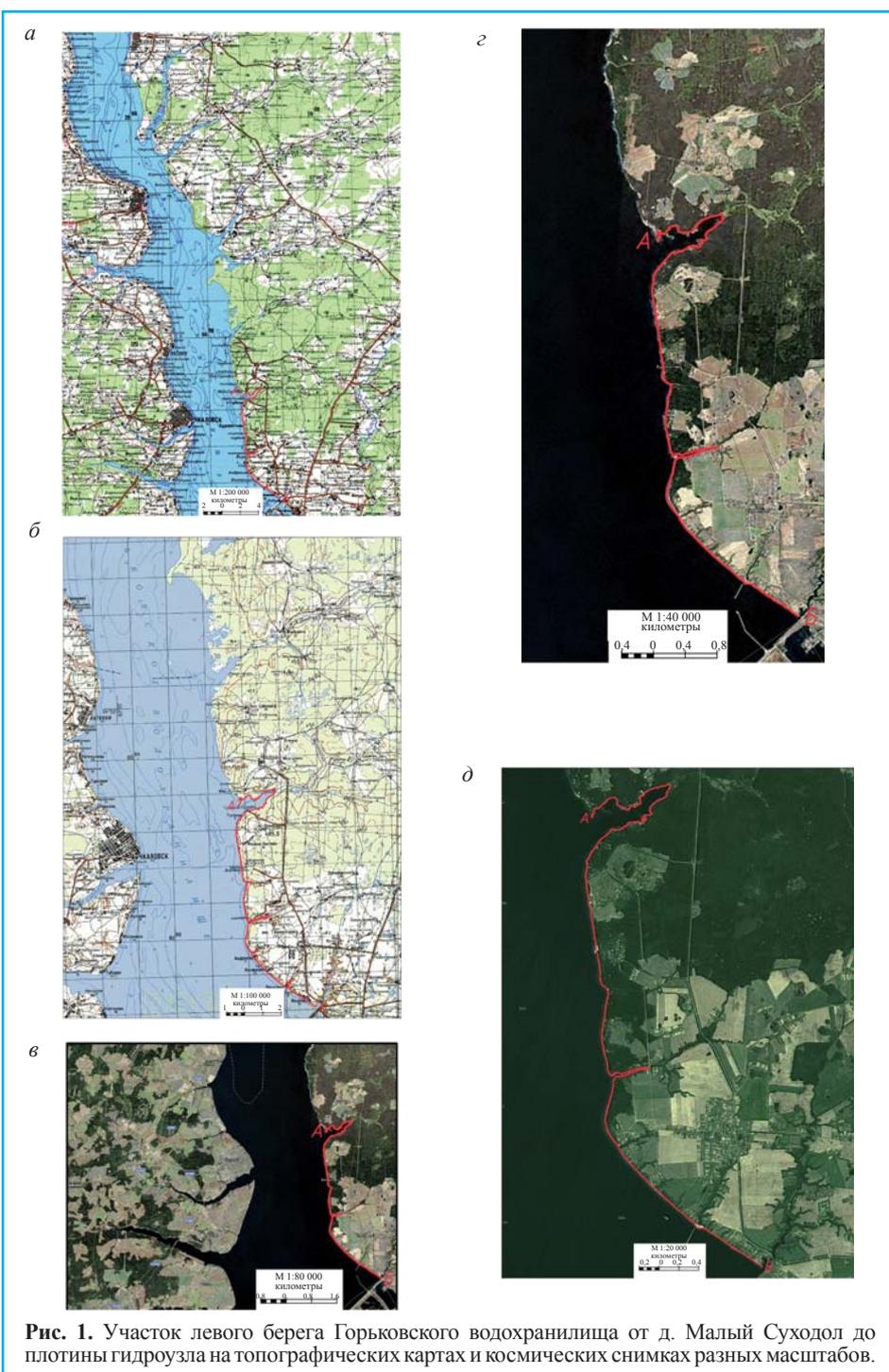


Таблица 1. Результаты измерения длины береговой линии Горьковского водохранилища на участке АБ между д. Малый Суходол и плотиной гидроузла

Картографическая основа	Год выпуска	Масштаб	Длина мерного отрезка	Длина береговой линии на участке АБ	
				км	%
Карта топографическая	1992	1:200 000	2 мм = 400 м	20,80	83,9
Карта топографическая	1992	1:100 000	2 мм = 200 м	21,20	85,5
Космоснимок (20,49 м/пиксель)	04.10.2010	1:80 000	2 мм = 160 м	21,76	87,6
Космоснимок (10,47 м/пиксель)	04.10.2010	1:40 000	2 мм = 80 м	22,64	91,1
Космоснимок (5,25 м/пиксель)	04.10.2010	1:20 000	2 мм = 40 м	23,84	96,2
Натурное измерение	28.07.2012	1:200	1 м	24,80	100

В пренебрежении одномоментностью проведено измерение длины береговой линии участка АБ:

- на топографических картах масштабов 1:200 000 и 1:100 000;
- на космических снимках разного разрешения, сделанных в летний период, когда в водохранилище поддерживается НПУ. Снимки обрабатывались в среде ArcGIS для получения монохромного разделения воды и суши;
- в натуре пешим маршрутом при штилевой погоде циркулем расвором 1 м.

Результаты измерений приведены в табл. 1. На рис. 2 графически отображена зависимость измеренной длины береговой линии участка АБ от масштаба картографической основы.



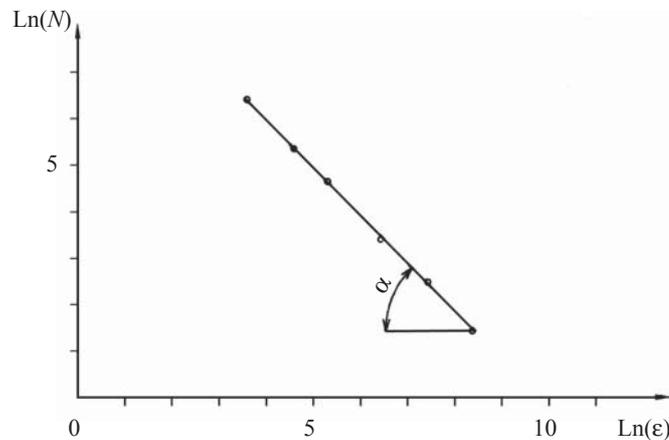


Рис. 3. Логарифмический график зависимости N от ε для береговой линии Горьковского водохранилища на участке АБ.

Если взять за 100 % длину береговой линии на участке АБ, определенную натурным измерением (масштаб 1:200), то при переходе к масштабу 1:200 000 получается расхождение 16,1 %. Таким образом, чтобы избежать несопоставимости результатов, в сообщениях о длине береговой линии необходимо указывать масштаб картографической основы, на которой она измерена.

По описанному выше алгоритму посредством построенного графика зависимости N от ε в логарифмических координатах для каждого масштаба картографической основы (рис. 3) найдена фрактальная размерность береговой линии участка АБ. Она составила $D = 1,021$.

Зная фрактальную размерность ($D = 1,021$) и используя результат измерения длины береговой линии на участке АБ по карте масштаба 1:200 000 ($L = 20,80$ км), можно рассчитать, какой была бы эта длина, если бы измерение проводили по карте другого масштаба, например, 1:200. Из (4) получим

$$N(\varepsilon) = N(\varepsilon') \cdot \left(\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}\right)^D, \quad (5)$$

где $\varepsilon' = 400$ м – длина мерного отрезка на карте масштаба 1:200 000; $N(\varepsilon') = 52$; $\varepsilon = 1$ м – длина мерного отрезка на карте масштаба 1:200.

Тогда по (5) $N(\varepsilon) = 23\,588$ и длина береговой линии на участке АБ равна $L_{\text{АБ}} = N(\varepsilon) \cdot \varepsilon = 23,588$ км. Погрешность данного вычисления по сравнению с результатом натурного измерения (24,80 км) составляет 4,88 %, что указывает на результативность определения длины береговой линии с учетом ее фрактальных свойств.

Определение длины береговой линии с учетом фрактальных свойств на примере Горьковского водохранилища

Измерение длины береговой линии всего водохранилища проведено на топографической карте 1992 г. посредством построения непрерывного полигона по его периметру с учетом притоков до зоны выклинивания подпора (рис. 4).

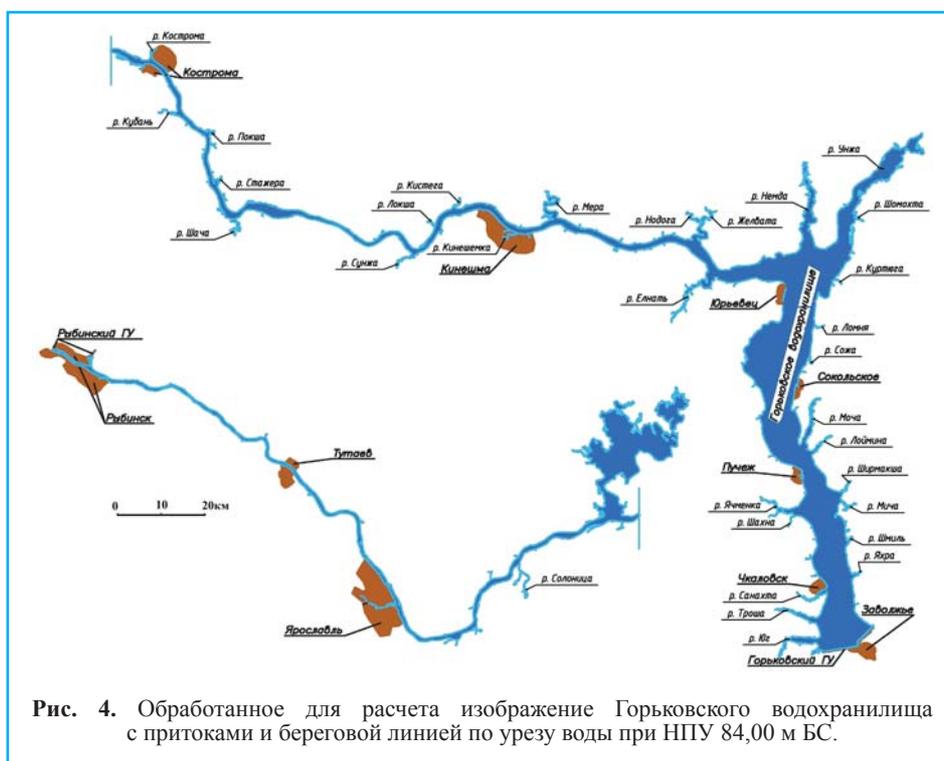


Рис. 4. Обработанное для расчета изображение Горьковского водохранилища с притоками и береговой линией по урезу воды при НПУ 84,00 м БС.

Результаты приведены в табл. 2. Фрактальная размерность береговой линии водохранилища составила $D = 1,031$. Величина D здесь больше, чем на участке АБ ввиду большей извилистости береговой линии.

Таблица 2. Результаты определения длины береговой линии Горьковского водохранилища

Способ определения	Масштаб	Длина береговой линии	
		км	%
Измерение на топографической карте 1992 г.	1:200 000	1927,6	86,5
Расчет фрактальным методом	1:2000	2228,3	100

Результаты уточнения длины береговой линии Горьковского водохранилища после долголетней эксплуатации

По Горьковскому водохранилищу, заполненному до НПУ = 84,0 м БС в 1957 г., длина береговой линии в «Основных правилах...» [10] не приведена, в научных изданиях [7, 8] называется равной 2168–2170 км без указания года и способа измерения.

Для составления цифровой модели современного рельефа совместной экспедицией Государственного океанографического института и Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета в июле – октябре 2009 г. проводили промеры глубин Горьковского водохранилища с двух маломерных судов, оборудованных промерными комплексами (эхолот Reason Navi Sound 110, CNSS-приемник Topcon GB 1000, компьютер Rover Book Voyager W514). Суда двигались прямыми П-образными галсами шириной 500 м (на открытой воде) и 250 м (в заливах) от геометрической середины акватории до непроходимых глубин 0,5 м у берегов. Фиксировали время начала и окончания галсов для привязки результатов к уровню воды, который за экспедиционный период колебался между отметками 84,0–85,0 м БС в речной и 83,6–84,1 м БС в озерной частях водохранилища.

Для установления положения береговой линии определяли расстояния от фиксированных концевых точек судовых галсов до берегового уреза с помощью лазерного дальномера. По сложным для промеров участкам в камеральную обработку привлекали данные дистанционного зондирования земли 2009 г., сверявшиеся с топографическими картами масштаба 1:10 000 выпуска 1963–1998 гг. Географическую привязку цифровых растровых копий карт проводили в проекции Гаусса–Крюгера в системе координат СК-42 [11]. Модель составлена в масштабе 1:5000. Длина береговой линии водохранилища с учетом подпертых участков притоков определена равной 2963 км [2, 5].

В 2011–2013 гг. определение длины береговой линии Горьковского водохранилища провело ОАО «Кировводпроект» в составе работ по установлению границ водоохранной зоны [6]. В качестве «рабочего материала» использовали топографические карты масштаба 1:10 000 выпуска 1980–2003 гг., а «в особо сложных условиях проведено уточнение положения береговой линии в полевых условиях при проведении полевого рекогносцировочного обследования местности и по результатам полевого маршрутного обследования проведена дополнительная корректировка картографического материала». Длина береговой линии с учетом «рек боковой приточности в подпоре водохранилища» составила 2675,3 км [6].

В обоих случаях современная длина береговой линии водохранилища (2963 км в 2009 г. [2, 5] и 2675,3 км в 2011–2013 гг. [6]) оказалась больше первоначальной длины 2170 км [7, 8], но с расхождением в результатах измерения 287,7 км (около 10 %).

Адекватность моделей береговой линии

Расхождение данных о современной длине береговой линии Горьковского водохранилища, полученных независимыми исследователями [5, 6], указывает на неточность ее моделирования. Причины видятся в следующем.

– Определение при эхолотировании координат натурального уреза в точках, отстоящих на большом расстоянии одна от другой [2, 11].

– Приблизительная фиксация линии уреза на участках мелководий. У Горьковского водохранилища мелководья с глубинами 0–1 м по проектным данным занимают площадь 211 км² или 13,3 % к площади акватории [10]. Сейчас они заболочены и недоступны для маломерных экспедиционных судов, их границы непроходимы при «полевом маршрутном обследовании» и трудноразличимы для монохромного разделения воды и суши на космических снимках.

– Использование устаревших топографических карт при оценке современной длины береговой линии [6]. Этим можно объяснить меньшую длину береговой линии, полученную в [6] по сравнению с результатами изысканий [2, 5].

– Неточное отражение линии уреза на топографических картах. Так, на карте масштаба 1:10 000 положение контуров объектов относительно съемочной опорной сети определяется с точностью $\pm 0,5$ мм, что соответствует ± 5 м на местности. При измерении отрезка L ошибка в длине составит $\Delta L = 5\sqrt{2} = \pm 7$ м.

– Погрешность при векторизации линии уреза. После сканирования полиграфических оттисков карт ширина контура береговой линии на растровом изображении составляет 3–4 пикселя, что соответствует 6–8 м на местности по карте масштаба 1:10 000. Векторная линия проводится по середине растрового контура береговой линии. Погрешность в положении береговой линии, векторизованной по растровым изображениям топографических карт, с учетом неточности проецирования карт может не уложиться в 10 м.

В силу перечисленных причин адекватность моделей береговой линии водохранилищ для измерения ее длины в инженерных целях оставляет желать лучшего.

Изменение длины береговой линии в зависимости от периода эксплуатации водохранилищ

По представлению 1970-х гг. [12–14], перешедшему в публикации 2000-х гг. [7, 15], вследствие выравнивания берегов водохранилищ в период эксплуатации длина береговой линии должна сокращаться. Количественные

данные об этом приводились в монографии Б.А. Пышкина [13], где сообщалось буквально следующее:

- длина береговой линии на Куйбышевском водохранилище с 1959 г. по 1963 г. сократилась (по материалам аэрофотосъемки) от 2500 до 2100 км;
- «длина берегов» Цимлянского водохранилища при НПУ за первые 10 лет эксплуатации (1952–1962 гг.) сократилась на 24 % (с проектных 912 до 693 км).

В табл. 3 обобщены данные современных изысканий ННГАСУ [5, 16] и других организаций [2–4, 17–19], отражающие изменения, произошедшие с длиной береговой линии больших (>100 км²) водохранилищ за длительный период эксплуатации. Сведения обладают относительной достоверностью, т. к. во всех случаях за первоначальную брали проектную длину береговой линии, а определение современной длины выполнено посредством цифровых моделей рельефа (ЦМР), построенных практически одинаковы-

Таблица 3. Показатели изменения длины береговой линии больших равнинных водохранилищ за длительный период эксплуатации

Водохранилище	Длина береговой линии проектная, км	Период нормальной эксплуатации, годы	Длина береговой линии в конце периода, км	Изменение длины береговой линии (+ увеличение; – уменьшение)		Источники информации
				км	%	
Иваньковское	820	1937–2009 (72)	938,5	+118,5	14,4	[2]
Угличское	883	1943–2008 (65)	938,4	+55,4	6,27	
Рыбинское	2460	1947–2007 (60)	2150	–310	12,6	[8]
		1947–2010 (63)	2326	–134	5,4	[5]
Горьковское	2170	1957–1992 (35)	2228	+58	2,7	[8]
		1957–2009 (52)	2963	+793	36,5	[2, 5]
Чебоксарское (ВПУ = 63,0)	–	1981–2006 (25)	700	0	0	ННГАСУ
				(не прослеживается)		
Камское	–	1954–1966	1394			[3]
		1966–2008 (54)	2268*	+874	62,6	
Воткинское	–	1961–1972	970			[4]
		1972–2009 (48)	1492,7	+522,7	53,8	
Куйбышевское	2500	1959–1963 (4)	2100	–400	16,0	[13]
Волгоградское	2028	1960–2000 (40)	2058	+30	1,47	[17]
Цимлянское	912	1952–2010 (58)	912	0	0	[20]
				(не определено)		
Пензенское	99	1979–2005 (26)	109	+10	10,1	[16]
Новосибирское	800	1959–2009 (50)	725,6	–74,4	9,3	[18]
Усть-Хантайское	968	1971–1978 (7)	999,4	+31,4	3,25	[19]
Вилуйское	2750	1973–1985 (12)	2755	+5	0,18	[21]

Примечание: * – за вычетом 482,6 км береговой линии в верховье водохранилища, не учтенной в 1966 г. [3].

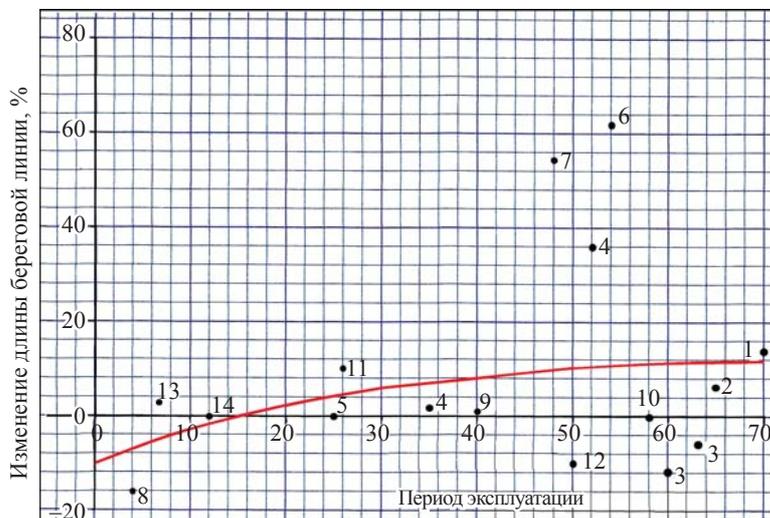


Рис. 5. Показатели и общий тренд изменения длины береговой линии больших равнинных водохранилищ за долготелетний период эксплуатации:
 1 – Ивановское; 2 – Угличское; 3 – Рыбинское; 4 – Горьковское; 5 – Чебоксарское;
 6 – Камское; 7 – Воткинское; 8 – Куйбышевское; 9 – Волгоградское; 10 – Цимлянское;
 11 – Пензенское; 12 – Новосибирское; 13 – Усть-Хантайское; 14 – Вилюйское.

ми средствами в одних масштабах. Обобщенные данные свидетельствуют, что из 14 исследованных водохранилищ к настоящему времени 10 имеют длину береговой линии больше проектной, два – меньше, на двух – изменения не прослеживаются. Увеличение длины береговой линии против проектной зафиксировано от 1,47 % после 40 лет эксплуатации на Волгоградском водохранилище [17] до 62,6 % за 54 года на Камском водохранилище [3].

Значительное превышение протяженности береговой линии Камского водохранилища над проектной связывается в том числе с уточнением ее конфигурации, особенно в верховьях крупных заливов [3]. Сокращение на четверть длины береговой линии Цимлянского водохранилища [13] современными исследованиями не подтверждено и в действующих Правилах [20] используется первоначальная длина.

Открывшееся обстоятельство увеличения длины береговой линии на большинстве исследованных водохранилищ после значительного срока эксплуатации позволило синтезировать [22] общий тренд (рис. 5), когда итоговая аналитическая модель динамики процесса имеет вид

$$Y(t) = 0,198F_1(t) + 0,183F_2(t) + 0,188F_3(t) + 0,197F_4(t) + 0,233F_5(t) + \min - 0,001, \quad (6)$$

где $F_1(t) = 0,00251t + 0,13834$; $F_2(t) = 0,0001153t^2 + 0,0110399t + 0,0316817$;
 $F_3(t) = 0,06437\ln(t) + 0,01659$; $F_4(t) = 0,11236e^{0,01326t}$; $F_5(t) = 0,05046t^{0,38749}$;
 $\min = -0,16$;

t – значение независимой переменной по оси абсцисс, именуемой как «годы эксплуатации»;

0,198 – весовой коэффициент для линейного; 0,183 – для полиномиального; 0,188 – для логарифмического; 0,197 – для экспоненциального; 0,233 – для степенного элементарных трендов.

Модель определенно показывает тенденцию постепенного увеличения длины береговой линии больших равнинных водохранилищ (в т. ч. в криолитозоне) после периода начальной эксплуатации до возраста 40–60 лет с интенсивностью 0,25 % в год.

Выводы

Береговая линия является фрактальным объектом, поэтому сообщать об ее длине следует с указанием масштаба картографической основы, на которой она измерена. С некоторой погрешностью можно вычислить длину береговой линии водохранилищ через ее фрактальную размерность.

Сопоставление данных независимых исследований по Горьковскому водохранилищу показывает, что декларируемая исполнителями точность в отношении измеренной длины береговой линии излишне оптимистична.

Из совокупности данных по 14 большим равнинным водохранилищам проявилась общая тенденция увеличения длины береговой линии после периода начальной эксплуатации до возраста 40–60 лет с интенсивностью 0,25 % в год. Этот факт располагает к продолжению исследований за пределами охваченного количества и возраста водохранилищ. Для обеспечения сопоставимости результатов очевидна необходимость выработки общих правил уточнения длины береговой линии водохранилищ в рамках их мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Найденко В.В.* Великая Волга на рубеже тысячелетий. От экологического кризиса к устойчивому развитию. Н. Новгород: Промграфика, 2003. Т. 1. 432 с. Т. 2. 368 с.
2. *Землянов И.В., Горелиц О.В., Павловский А.Е., Шкунова Е.Ю.* Уточнение морфологических характеристик водохранилищ Волжско-Камского каскада // Тез. докл. на научно-техническом совете Верхне-Волжского бассейнового водного управления. М.: ФГУ ГОИН, 2010. 10 с.

3. Михалев В.В., Мацкевич И.К. Современная морфология Камского водохранилища // Водное хозяйство России. 2010. № 3. С. 4–18.
4. Михалев В.В., Мацкевич И.К., Белобородов А.В. Современная морфометрия Воткинского водохранилища // Водное хозяйство России. 2011. № 1. С. 23–32.
5. Красильников В.М., Соболев И.С. Уточнение морфометрических параметров водохранилищ на базе цифровых моделей рельефа // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 272–280.
6. Желнина Е.А. Определение водоохранных зон, прибрежных полос водохранилищ на примере Горьковского водохранилища // Тез. докл. ОАО «Кировводпроект» по результатам выполнения государственного контракта № 23/2011. Пенза: Бассейновый совет Верхне-волжского бассейнового округа, 2013. С. 11–14.
7. Вода России. Водоохранилища / под науч. ред. А.М. Черняева, ФГУП РосНИИВХ. Екатеринбург: Изд-во «АКВА-ПРЕСС», 2001. 700 с.
8. Водоохранилища Верхней Волги / Руководитель авторского коллектива В.С. Дементьев. Н. Новгород: Верхне-Волжское бассейновое водное управление, 2008. 156 с.
9. Иудин Д.И., Копосов Е.В. Фракталы: от простого к сложному. Н. Новгород: ННГАСУ, 2012. 200 с.
10. Основные правила использования водных ресурсов Рыбинского и Горьковского водохранилищ на р. Волге. М.: Минмелиоводхоз РСФСР, 1983. 52 с.
11. Соболев И.С., Красильников В.М., Хохлов Д.Н. Современные методы съемки подводного рельефа водохранилищ // Приволжский научный журнал. 2010. № 2. С. 34–40.
12. Качугин Е.Г. Геологическое изучение динамики берегов водохранилищ. М.: Наука, 1975. 148 с.
13. Пышкин Б.А. Динамика берегов водохранилищ. Киев: Наукова думка, 1973. 413 с.
14. Финаров Д.П. Динамика берегов и котловин водохранилищ гидроэлектростанций СССР. Л.: Энергия, 1974. 244 с.
15. Назаров Н.Н. Современная переработка берегов равнинных водохранилищ / Двадцатое межвузовское координационное совещание по проблеме эрозийных, русловых и устьевых процессов. Доклады и сообщения. Ульяновск. 2005. С. 76–87.
16. Коновалова О.А., Парамонов В.К., Потемин П.В., Соболев И.С. Определение размеров эксплуатируемых водохранилищ для оценки объемов воды и площадей затопления // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов / Труды междунар. науч.-практ. конф. Т. 1. Пермь: Пермский гос. ун-т, 2009. С. 58–62.
17. Назаров Н.Н., Виноградова Н.Н. Современное перестроение берегов водохранилищ Волжско-Камского каскада // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов / Труды междунар. науч.-практ. конф. Т. 1. Пермь: Пермский гос. ун-т, 2009. С. 102–107.
18. Федорова Е.А. Изменение морфометрических характеристик Новосибирского водохранилища за 50-ти летний период эксплуатации / Ежегодная конф. молодых ученых ИВЭП РАН. Новосибирск, 08.02.2010 г. 3 с.
19. Кроник Я.А., Оникиенко Т.С. Перестроение чаши и берегов искусственных водохранилищ в криолитозоне // Инженерная геология. 1980. № 3. С. 120–129.
20. Основные положения правил использования водных ресурсов Цимлянского водохранилища на р. Дон. М.: Минмелиоводхоз РСФСР, 1965.
21. Бурлаков В.М. Районирование Вилюйского водохранилища. Типизация и классификация его берегов / Влияние ГЭС на окружающую среду: Сб. науч. трудов. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1987. С. 34–42.
22. Громов Ю.А., Соболев И.С. Синтез динамической модели процесса по измеренным характеристикам неоднородных объектов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки, 2012. № 4. С. 120–126.

Сведения об авторах:

Соболь Илья Станиславович, канд. техн. наук, доцент, проректор по научной работе, ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65; e-mail: nir@nngasu.ru

Соболь Станислав Владимирович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65; e-mail: gs@nngasu.ru

Крупинов Антон Сергеевич, магистр, ассистент кафедры гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65; e-mail: gs@nngasu.ru