

## ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ГИС УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ КЕРЕТЬ

Т. В. Скороспехова<sup>1</sup>, Г. В. Пряхина<sup>1</sup>, С. А. Журавлев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет

<sup>2</sup> Государственный гидрологический институт

Устьевые области рек благодаря своим природным особенностям занимают особое положение среди других географических объектов. Устья рек выполняют роль природных «барьеров» между реками и морями. Здесь отлагается большая часть приносимых рекой наносов; задерживаются и накапливаются растворенные в воде вещества, в том числе загрязняющие, в наибольшей мере проявляются естественные и антропогенные изменения речного и морского режима. Устьевые области рек – наиболее экологически уязвимые природные объекты [1].

С 2006 г. кафедра гидрологии суши совместно с кафедрой физики Земли СПбГУ проводит полевые и экспедиционные работы в устьевой области р. Кереть, впадающей в Белое море между устьями рек Ковда и Кемь. Кереть протекает по территории Керетского заповедника, имеющего статус водно-болотного угодья международного значения. Керетский заповедник включает в себя острова, побережье и часть акватории Белого моря в устье р. Кереть. Гидрологические и экологические условия в эстуарии лимитируют численность проходных лососевых рыб (сёмги, горбуши, сига), составляющих основу речной экосистемы и являющихся важнейшим объектом рыбного промысла района.

За период 2007–2010 гг. в ходе экспедиционных полевых работ накоплено множество материалов, включающих в себя гидрологические, гидроморфометрические, гидрохимические и гидрофизические характеристики вод устьевой области и самой реки Кереть.

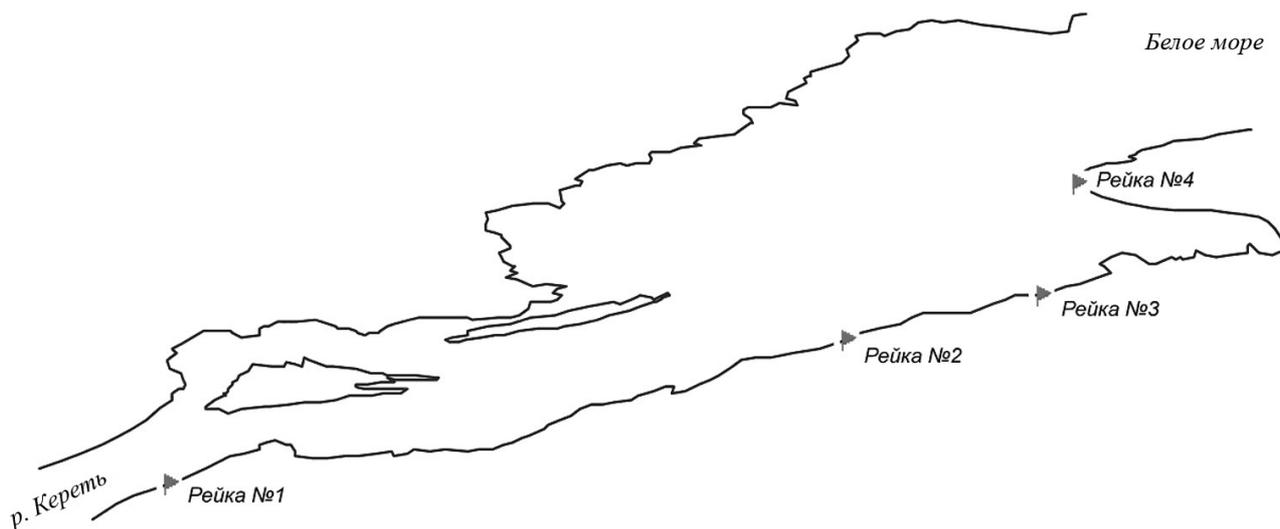
Создание геоинформационной системы устьевой области р. Кереть позволило обобщить и систематизировать данные, полученные в ходе экспедиционных работ кафедры гидрологии суши и кафедры физики Земли СПбГУ в 2007–2010 гг.; составить электронную батиметрическую карту объекта исследования; создать трехмерную визуальную модель устьевой области р. Кереть, а также выполнить расчеты батиметрических характеристик устьевой области, определить объем приливной призмы и зоны осушения и границы раздела пресных и морских вод.

### Материалы и методы

В рамках полевых экспедиционных работ с 2006 по 2010 г. все измерения проводились в период с 8 по 20 августа, также проводились гидрохимические работы 1–2 июня 2008 г.

Для определения особенностей изменения уровня воды в устьевой области р. Кереть под влиянием речного стока и приливно-отливных колебаний моря на различных ее участках были организованы наблюдения за уровнем воды на временных реечных водомерных постах. Использовались нестационарные рейки, изготовленные из подручных материалов, длиной около 2 м, «нули» реек определялись с помощью нивелирных работ. Расположение постов от года к году практически не менялось и было выбрано таким образом, чтобы наиболее точно проследить нарастание и спад уровня в приливно-отливные фазы в различных частях устьевой области и определить положение замыкающего створа р. Кереть. С 2006 по 2009 г. измерения уровня велись по четырем рейкам: речной, двум устьевым и морской (рис. 1), в 2010 г. количество реек было сокращено до двух: речной и морской.

Батиметрическая съемка проводилась с 2006 по 2010 г. (для составления карты были использованы данные съемки 2009 г., так как они являются наиболее точными). Батиметрическая съемка и съемка береговой линии производились дважды, в фазу большой и малой воды. Съемка глубин осуществлялась с гребной лодки при помощи эхолота Garmin. Датчик прибора был закреплен на корме лодки и погружен в воду. Лодка шла по галсам с равномерной скоростью. Координаты точек начала и конца каждого галса записывались прибором, а также отмечалось время начала и конца галса для последующего приведения полученных отметок глубин к максимальному и минимальному уровню воды для полной и малой воды соответственно. Также производилась съемка трека береговой линии при помощи портативного GPS навигатора.



**Рис. 1. Расположение водомерных реек на плане устьевой области р. Кереть, август 2009 г.**

Гидрохимические исследования проводились в устьевой области р. Кереть в период 2007–2010 гг., а также в озерном расширении Керети в 2009 г. Воды реки проверялись на наличие биогенных элементов (азота нитритного, азота аммонийного, фосфора), на содержание растворенного в воде кислорода. Определялись значения общей минерализации, рН, температуры.

### **Результаты и обсуждение**

Целью работы было систематизировать и обобщить накопленные данные, а также по возможности представить их в удобном для восприятия виде, для чего была использована программа ArcGIS.

Была создана база данных гидрохимических и гидрофизических показателей, измерявшихся в период полевых и экспедиционных работ 2007–2010 гг. в устьевой области р. Кереть. Основными составляющими базы данных являются общая минерализация, растворенный кислород, рН и температура воды, измерявшиеся каждый полевой сезон на буйковых станциях в разные фазы водного режима. Помимо этого, в БД включены измеренные величины биогенных элементов ( $\text{NO}_2$ ;  $\text{NH}_4$ ;  $\text{PO}_4$ ), а также цветность и значения  $\text{SO}_4$ .

Помимо создания БД в среде программы ArcGIS было выполнено построение полигонов устьевой области для фаз большой и малой воды, а также определена зона осушения и объем приливной призмы. Данными для построения линий урезов в устьевой области для фаз большой и малой воды явились результаты GPS-съемки координат точек береговой линии, выполненных в 2009 г. в соответствующие фазы.

Построение полигонов в векторном виде и расчет их площадей были выполнены в приложении ArcMap (рис. 2). Площадь водной поверхности составила  $198\,800\text{ м}^2$  в фазу большой воды и  $154\,200\text{ м}^2$  – в фазу малой воды.

По разности площадей водной поверхности, при большой и малой воде, определена зона осушения, которая составила  $44\,600\text{ м}^2$ .

На основе данных, полученных во время полевых работ августа 2009 г., которые включали координаты береговой линии и данные съемки глубин, представляющие собой набор точек с координатами и значениями глубин, в приложении ArcMap построены батиметрические карты (рис. 3) и объемная модель устьевой области. Построение объемной модели устьевой области для фаз большой и малой воды выполнялось в дополнительном модуле программы ArcGIS ArcScene. Также на основе батиметрических карт рассчитаны объемы воды, занимающие устьевую область р. Кереть в фазу полной и малой воды. Они составили  $355\,900$  и  $146\,500\text{ м}^3$  соответственно. На основе этих данных был рассчитан объем приливной призмы, составивший  $209\,400\text{ м}^3$ .

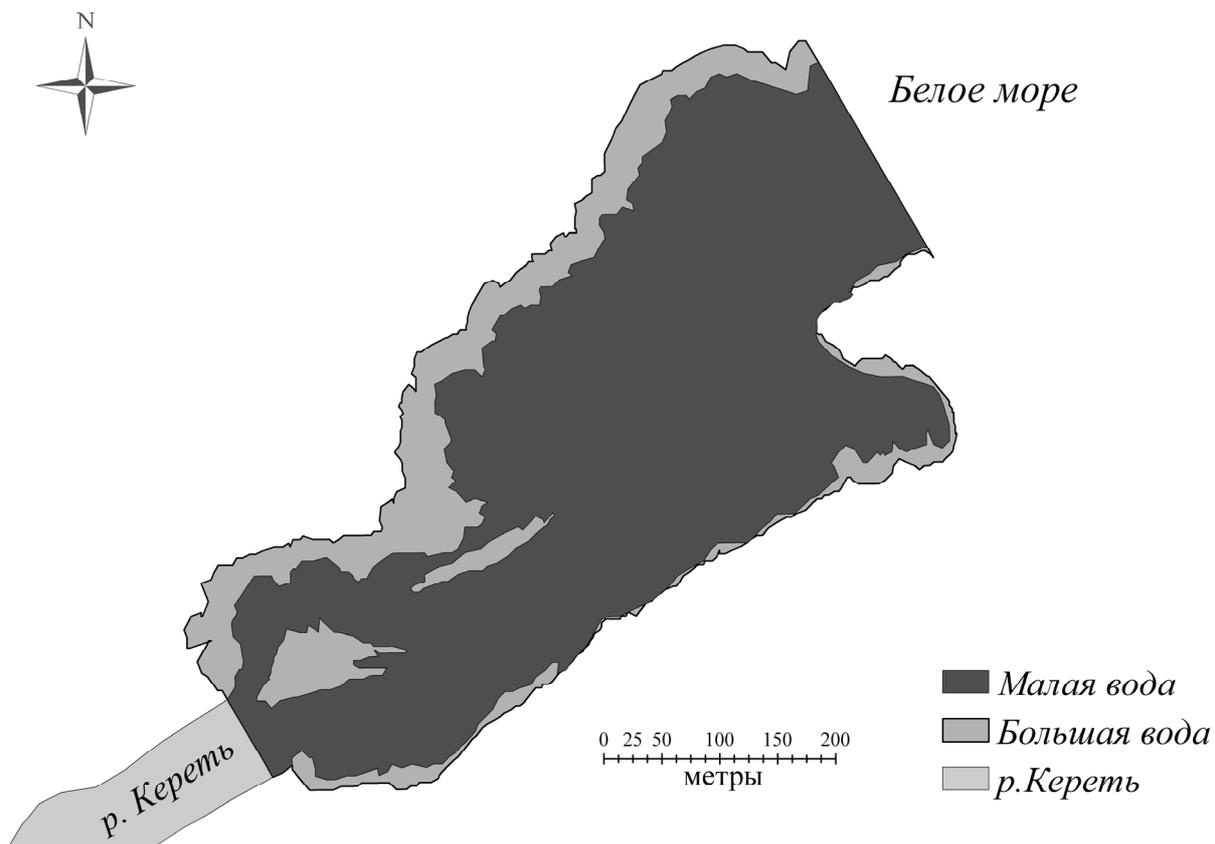


Рис. 2. Карта-схема зоны осушения устьевой области р. Кереть, 9–10 августа 2009 г.

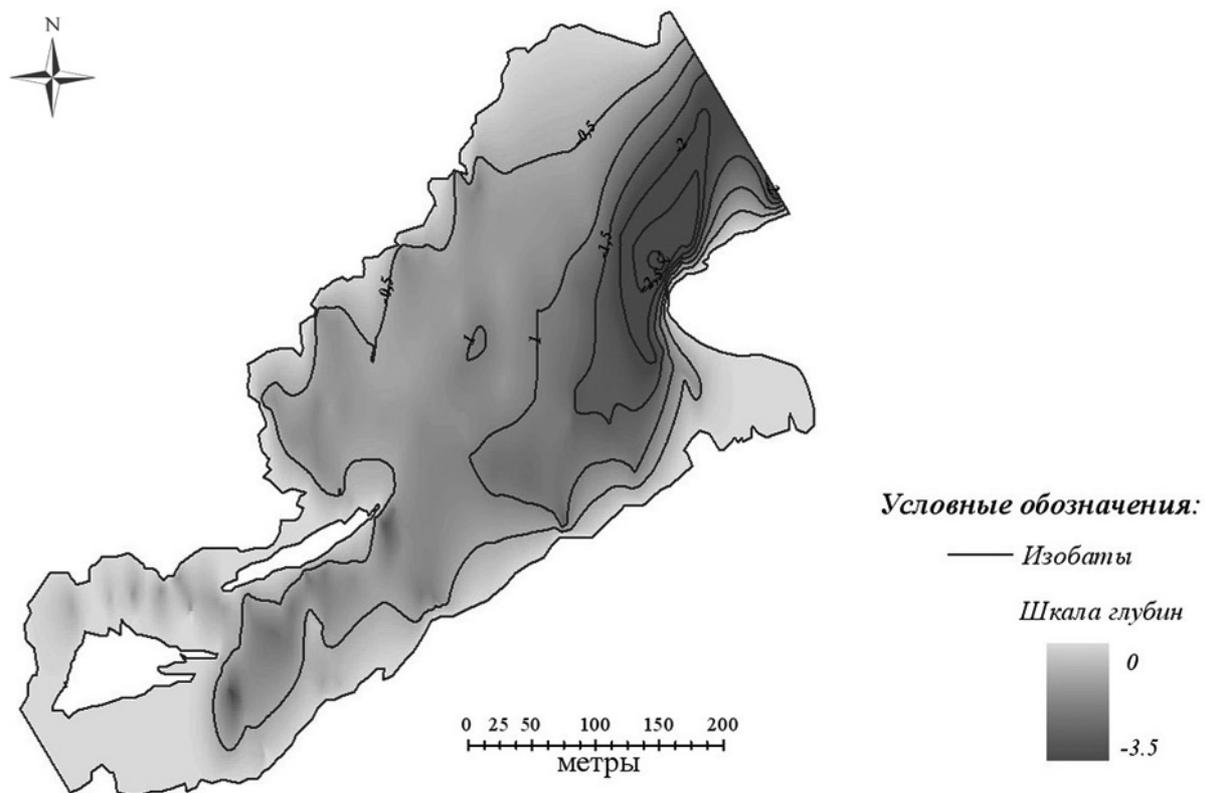


Рис. 3. Батиметрическая карта устьевой области р. Кереть, фаза малой воды, август 2009 г.

С использованием батиметрических карт устьевой области Керети в программе ArcGIS получены площади и объемы, ограниченные отдельными изобатами, по которым построены батиграфические и объемные кривые для большой и малой воды.

В 2007 г. отбор проб для определения общей минерализации воды производился на 5 станциях, расположенных на продольном и поперечных профилях устьевой области, в разные приливно-отливные фазы (рис. 4).



Рис. 4. Расположение буйковых станций, август 2007 г.

Работа с приложением ArcScene программы ArcGIS позволила на основе построенной объемной модели с использованием измеренных значений минерализации, хранящихся в созданной базе данных, представить пространственное распределение минерализации не только по глубине, но и по акватории устьевой области (рис. 5).

В период малой воды (рис. 5, б) пресная вода (минерализация <1000 мг/л), приносимая рекой, наблюдалась в поверхностном слое на всех пяти станциях. На станции 1, расположенной ближе всего к реке, распресненный слой распространялся до глубины 1 м, а на глубине 1,5 м общая минерализация составила более 20 000 мг/л, что свидетельствует о присутствии там соленых морских вод. Такое же распределение общей минерализации с глубиной наблюдалось и на станции 2. На станциях, расположенных дальше от устья реки, присутствие морских вод было зафиксировано уже на глубине 1 м от поверхности.

В период большой воды (рис. 5, а) пресная вода на всех станциях определялась только в тонком поверхностном слое. Для станций 1 и 2 на глубине между 1,0 и 1,5 м наблюдалось резкое увеличение минерализации. Для станций 3, 4, 5 слой резкого скачка находился выше к поверхности, между 0,5–1 м.

Использование гидрологической ГИС позволило представить пространственное положение границы раздела пресных и соленых вод и дало возможность проследить ее перемещение в различные приливно-отливные фазы по данным измерений 2008 г. Граница проводилась по значению 1000 мг/л (рис. 6).

В период максимального подъема уровня (рис. 6, а) в устьевой зоне вода с минерализацией, превышающей 1000 мг/л, наблюдалась на всех станциях, где проводились измерения. В районе моря граница раздела пресных и соленых вод выходит на поверхность, т. е. данная часть устьевой области полностью подвергается морскому влиянию, соленая вода распространена на всей глубине.

В фазу спада (рис. 6, б) поверхностный слой постепенно распресняется речными водами. Граница раздела пресных и соленых вод проходит уже в более глубоких слоях. На нижней (морской) границе устьевой области, так же как и в фазу максимума, граница раздела выходит на поверхность.

В период малой воды (рис. 6, в) пресная вода наблюдалась в поверхностном слое на всех станциях. Граница раздела значительно сдвинута в сторону моря. На станциях 1–3 вода оставалась пресной по всей глубине, что объясняется близостью этих станций к реке. На морской станции граница проходит на глубине 0,2 м от поверхности.

В фазу подъема уровня (рис. 6, г) происходит движение границы раздела вод к реке, вверх по устьевой области. Расположение границы раздела в фазу подъема уровня проходит примерно таким же образом, как и в фазу спада. Граница имеет при этом менее сглаженный характер, что объясняется подпором, создаваемым речными водами.

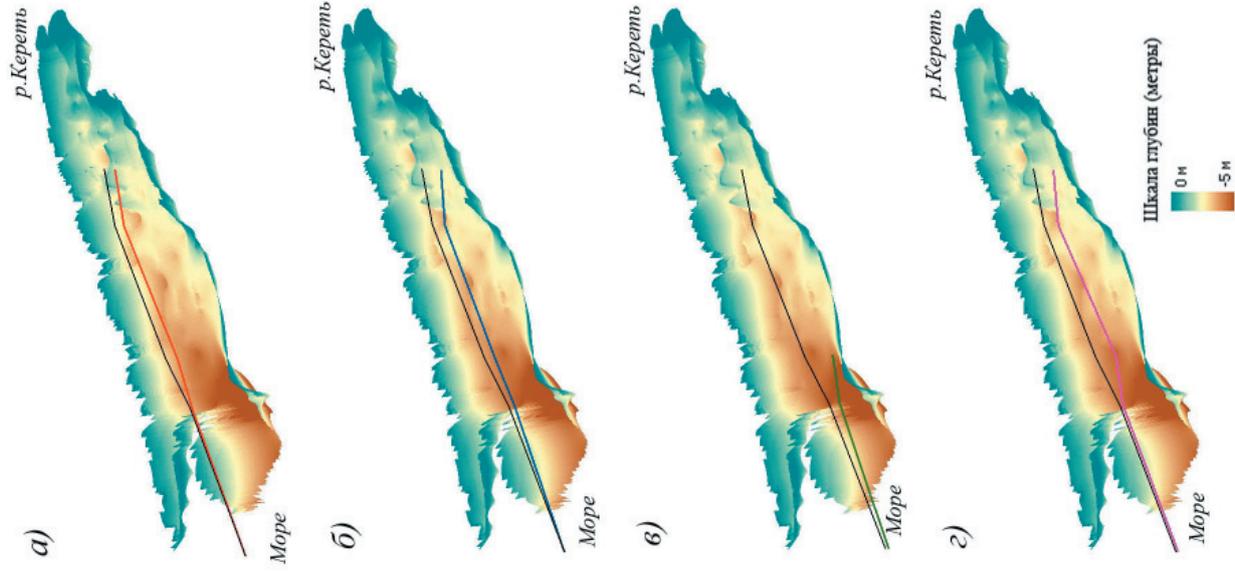
### Заключение

Созданная в среде программы ArcGIS гидрологическая ГИС устьевой области р. Кереть позволила выполнить построение электронной батиметрической карты и трехмерной визуальной модели устьевой области, а также расчеты батиметрических характеристик, объема приливной призмы и площади зоны осушения, составивших 209 300 м<sup>3</sup> и 44 600 м<sup>2</sup> соответственно. ГИС дала возможность проследить изменение положения границы раздела пресных и морских вод в устьевой области р. Кереть в зависимости от приливно-отливной фазы.

Созданная гидрологическая ГИС устьевой области р. Кереть позволяет определять оптимальное положение станций для наблюдений за гидрологическими, гидрофизическими и гидрохимическими характеристиками в зависимости от особенностей распределения пресных и соленых вод, а в дальнейшем и пополнять имеющуюся базу данных.

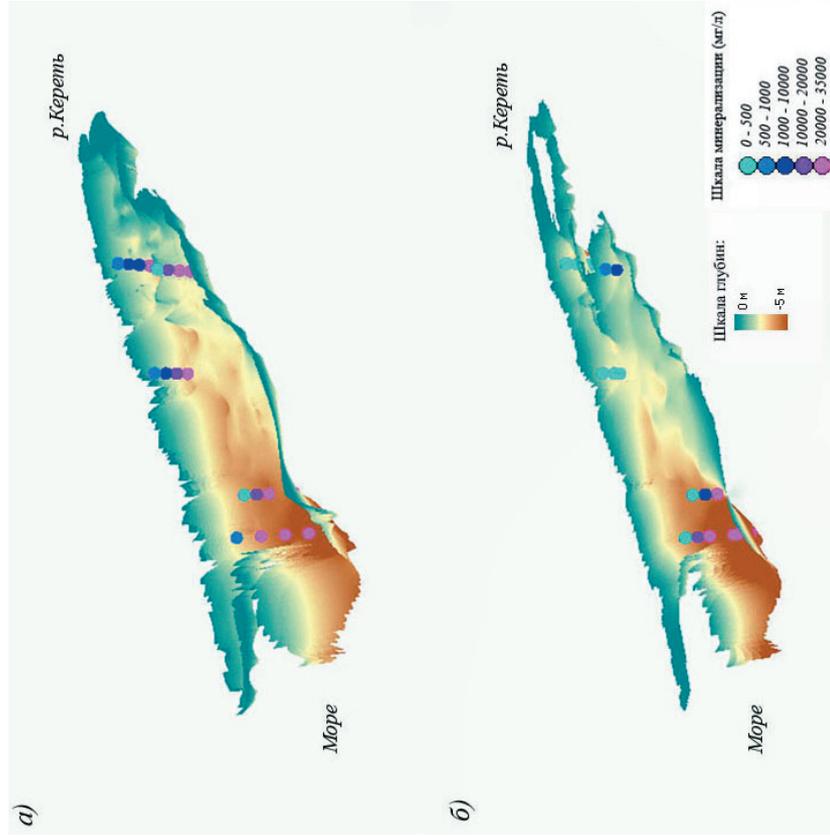
### Литература

1. Михайлов В. Н. Гидрология устьев рек. М., 1998.
2. Отчет по результатам учебно-производственной практики в устьевой области реки Кереть и на внутренних водоемах о. Средний (Морская биологическая станция СПбГУ). СПбГУ, факультет географии и геоэкологии, кафедра гидрологии суши, 2006.
3. Отчет по учебно-производственной практике на морской биологической станции СПбГУ остров Средний, Белое море. СПбГУ, факультет географии и геоэкологии, кафедра гидрологии суши, 2007.
4. Отчет по гранту РФФИ № 07-05-00583: Развитие методов мониторинга состояния устьевых областей рек на основе георадиолокации и интегральной оценки состояния водных объектов, 2007.
5. Отчет по учебно-производственной практике на морской биологической станции СПбГУ остров Средний, Белое море. СПбГУ, факультет географии и геоэкологии, кафедра гидрологии суши, 2008.
6. Отчет о производственной практике в устьевой области р. Кереть и на внутренних водоемах о. Средний. СПбГУ, факультет географии и геоэкологии, кафедра гидрологии суши, 2009.
7. Отчет по экспедиционному гранту РФФИ № 09-05-10019-К – 2009.
8. What is ArcGIS 9 // © 2001–2004 ESRI. Russian Translation by DATA+, Ltd.
9. ArcGIS 9. ArcMap Руководство пользователя // © 2001–2004 ESRI. Russian Translation by DATA+, Ltd.
10. Arc Hydro Watershed and Stream Network Delineation // David Tarboton, Utah State University.



**Рис. 6. Положение границы раздела пресных и соленых вод в устьевой области р. Кереть в различные приливо-отливные фазы (15 августа 2008 г.):**

а – максимум, б – спад, в – минимум, г – подъем; черной линией обозначена поверхность воды в данную фазу



**Рис. 5. Распределение минерализации по горизонталм в устьевой области р. Кереть в различные приливо-отливные фазы (16 августа 2007 г.):**

а – фаза максимума, б – фаза минимума