

А.З. Сатдаров, инженер
Казанский (Приволжский) федеральный университет

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТАНОВЛЕНИЯ ОХРАННЫХ
ЗОН ВОДОТОКОВ И ОПЫТ ИХ РЕШЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ
РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН¹**

(научный руководитель – к.е.н., доцент, В.В. Мозжерин)

Геоэкологическое состояние водных объектов зависит во многом от запрета совершения той или иной хозяйственной деятельности не только на акваториях, но и непосредственно на примыкающих к ним территориях. Выражается это в установлении определенных границ на местности, в пределах которых возникают обременения [Сатдаров, 2015]. В действующем Водном кодексе РФ подобными границами служат водоохранные зоны, береговые полосы и прибрежные защитные полосы.

Согласно статье 65 Водного кодекса РФ [2006] водоохранными зонами являются территории, примыкающие к береговой линии (границам водного объекта) морей, рек, ручьев, каналов, озер, водохранилищ и на которых устанавливается специальный режим осуществления хозяйственной и иной деятельности в целях предотвращения загрязнения, засорения, заиления указанных водных объектов и истощения их вод, а также сохранения среды обитания водных биологических ресурсов и других объектов животного и растительного мира. В границах водоохранных зон устанавливаются прибрежные защитные полосы, на территориях которых вводятся дополнительные ограничения хозяйственной и иной деятельности.

Однако основная сложность установления подобных охранных зон заключается в определении береговой линии водного объекта, а именно рек, ручьев, каналов, озер и обводненных карьеров. Согласно действующему Водному кодексу [2006], границей поверхностных водных объектов суши естественного происхождения (а именно рек, ручьев и озер) служит их береговая линия при среднем многолетнем уровне воды за период, когда сами водные объекты не покрыты льдом (т.н. безледный период, либо период открытого русла).

При определении искомого уровня возникают некоторые проблемы, т.к. средний многолетний уровень за безледный период является сугубо расчетной характеристикой: на местности непосредственно он установлен быть не может, а на картографических материалах положение береговой линии дается либо на момент съемки, либо при среднем уровне летне-осенней межени. В Водном кодексе порядок определения границ водных объектов не регламентируется, а имеющиеся методические рекомендации

¹ Работа подготовлена при финансовой поддержке проекта РНФ №15-17-20006

по этой проблеме (например, Методические рекомендации... [2005, 2009]) не могут считаться универсальными.

В период 2013–2015 гг. при установлении границ водоохранных зон и прибрежных защитных полос водных объектов Республики Татарстан нами предложена и апробирована методика определения границ водотоков, и установки границ водоохранных зон и прибрежных защитных полос. При этом к разрабатываемой методике предъявлялись определенные требования. Во-первых, методика должна быть расчетной, основанной на предположении, что искомый уровень заранее неизвестен, но может быть установлен сочетанием методов гидрологических и геодезических изысканий на местности с последующими гидрологическими расчетами, проводимыми в камеральных условиях. Во-вторых, методика должна быть универсальной, т.е. обеспечивать возможность определения границ любых водных объектов (любой протяженности, любого местоположения и т.п.). Наконец, методика должна быть простой, воспроизводимой, верифицируемой и обладать практически значимой точностью.

Предложенная методика состоит из нескольких этапов, каждый из которых включает в себя определенные принципиальные задачи и решения, необходимые для определения границ водотоков и охранных зон.

При определении искомого уровня на начальном этапе необходима расстановка по руслу водотока некоторой регулярной сети точек. Причем при расстановке должны соблюдаться несколько критериев. Основным критерием расстановки является плотность точек и необходимость их расстановки с учетом местных гидролого-морфологических и гидродинамических особенностей водотоков, поскольку именно этими характеристиками определяется положение уровня воды за безледный период. Плотность точек стоит увязывать с топографической точностью отображения высот. Анализ показывает, что расстояние между точками целесообразно брать равным 1–2 км. Пример расстановки расчетных точек по выбранным категориям представлен рис.1.

В дальнейшем для каждой из расчетных точек восстанавливаются границы поверхностного водосбора и определяется спектр различных гидрографических характеристик: площадь бассейна выше расчетной точки, его залесенность и озерность, средняя высота и уклон поверхности, отметка водной поверхности и т.п.

На следующем этапе рассчитываются показатели расхода воды за безледный период, связанный с показателями модуля стока в расчетных точках с учетом местных особенностей его формирования. Обобщение показателя модуля стока для территории РТ, а также его связи с различными факторами проведены по 63 постам, расположенным как в пределах РТ, так и на прилегающих территориях. Для расчета использовались среднемесячные показатели расхода воды за весь период наблюдений на вы-

бранных постах с учетом периода, когда сами водные объекты не покрыты льдом.

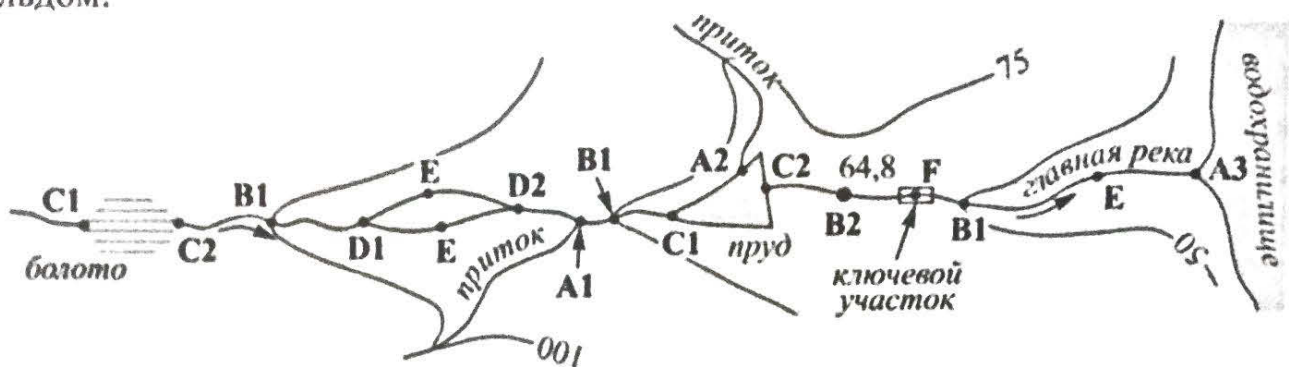


Рис.1. Пример расстановки расчетных точек вдоль русла главной реки

Категории точек: A1 – приток впадает непосредственно в русло главной реки; A2 – приток впадает в озеро или пруд, находящиеся в русле главной реки; A3 – устье главной (исследуемой) реки; B1 – пересечение водотока с горизонталями; B2 – подписанные на картах урезы воды; C1 – в точке выклинивания подпора пруда или в верхней точке озера; C2 – в створах плотин или в нижней точке озера; C3 и C4 – в точках входа и выхода реки из болотного массива, соответственно; D1 – точка выше зоны фуркации; D2 – точка ниже зоны фуркации; E – дополнительные точки, т.е. не характеризующие местные гидрологические особенности водотока и не подкрепленные высотными отметками (расставляются равномерно с шагом 1–2 км); F – точки, в которых проводилось полевое обследование с измерением срочных межженных расходов воды, а также высокоточная тахеометрическая съемка с целью изучения морфологии русла и днища речной долины.

Кроме того, были учтены комплекс различных факторов, так или иначе влияющих на формирование стока. Так, из всего многообразия факторов, в результате проведенного корреляционного анализа, были выбраны несколько наиболее значимых (площадь, средняя высота, средний уклон поверхности, залесенность, озерность и закарстованность водосборов), для которых были установлены характер, направление и теснота связи для основных физико-географических регионов РТ (Предволжье, Предкамье, Западное и Восточное Закамье).

В результате расход воды за период открытого русла в расчетной точке Q_0 получаем с учетом поправок модуля стока M_0 по следующей формуле:

$$Q_0 = \frac{M_0 F}{1000} \quad (1)$$

На следующем этапе из всей совокупности расчетных точек выбираются некоторые, так называемые ключевые участки, которые характеризуют схожие гидрологические особенности на конкретном участке реки и обследуемые на местности. В порядке обследования на ключевых участках измеряются глубины речного потока h , срочный расход воды Q , мгновен-

ный уклон водной поверхности I , площадь живого сечения W , проводится тахеометрическая съемка прирусловой части. По этим данным в последующем строится кривая зависимости расхода от уровня воды $Q = f(H)$ (рис.2).

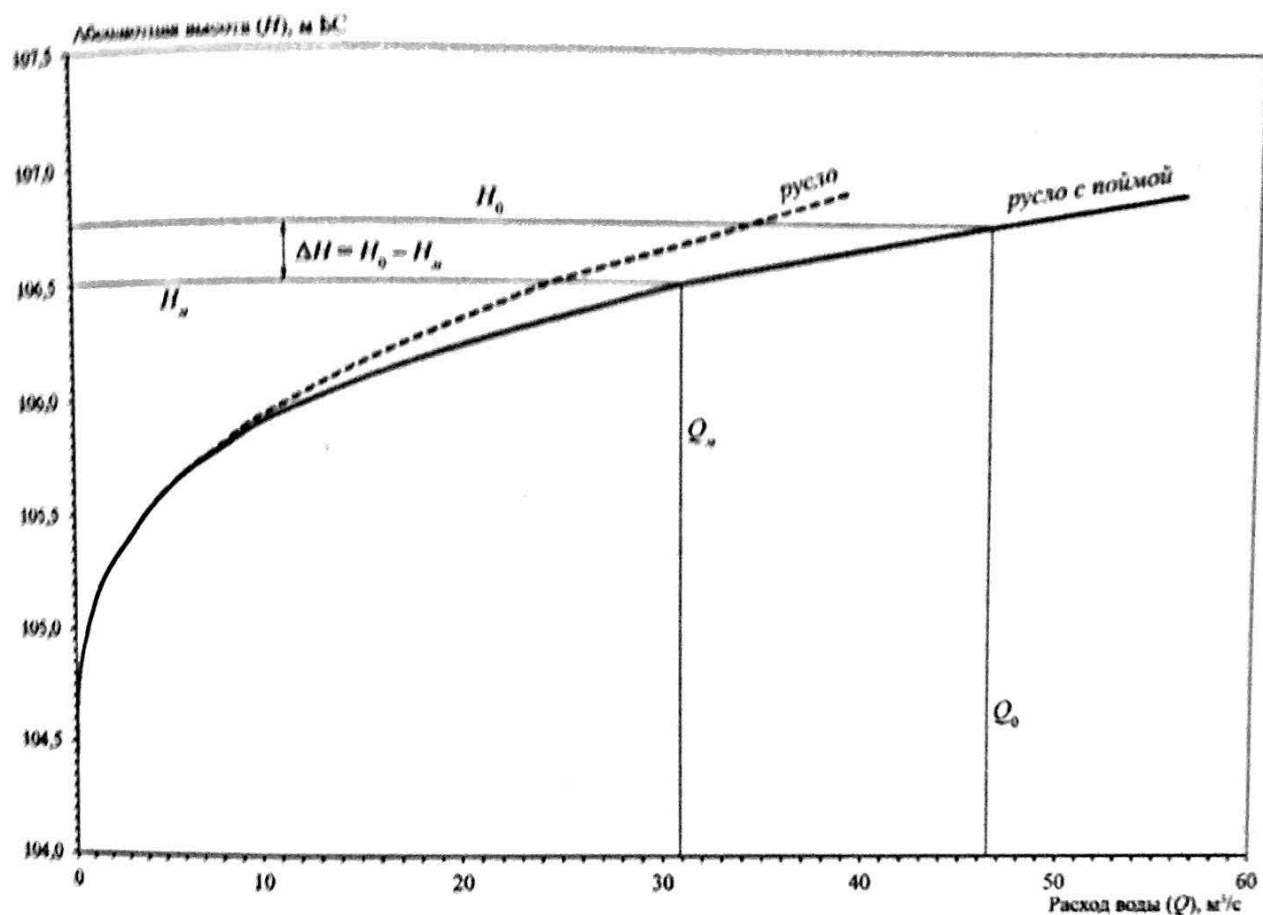


Рис.2. Кривая зависимости расхода Q от уровня воды H в расчетном створе ключевого участка, построенная по уравнению Шези-Маннинга.

Q_0 и H_0 – расходы и уровни воды за период открытого русла, соответственно; Q_m и H_m – расходы и уровни воды, измеренные в период летне-осенней межени, соответственно.

В основе этой кривой лежит уравнение Шези-Маннинга, имеющее для гидравлики основополагающее значение и описывающее среднюю скорость устоявшегося турбулентного потока в безнапорных условиях [Михайлов, 1991]:

$$Q = WC \sqrt{hI} = \frac{W}{n} h^{2/3} \sqrt{I}, \quad (2)$$

где Q – расход воды (м³/с), W – площадь поперечного (живого) сечения (м²), C – коэффициент Шези (м²/с), h – средняя глубина потока (м), которая в условиях речных русел используется вместо гидравлического радиуса, I – уклон водной поверхности, n – коэффициент шероховатости грунтов дна русла и/или поверхности поймы (с/м^{1/3}).

Перепирав уравнение (2) относительно расхода воды Q и решая его при разных значениях уровня H (или средней глубины h) можно получить искомую кривую, по которой производится определение среднего многолетнего уровня воды за период открытого русла H_0 при известной величине соответствующего ему расхода Q_0 .

На следующем этапе рассчитанные уровни воды необходимо с ключевых участков перенести на расчетные точки. Подобный массовый расчет возможен по степенному уравнению, предложенному В.Г. Глушковым [1961]:

$$Q = a |H - C|^b, \quad (3)$$

которое связывает значения расходов (Q) и уровней (H) воды посредством эмпирических коэффициентов a , b и C , числовые значения которых могут быть найдены из материалов обследования ключевых участков.

Параметр a и показатель степени b контролируются морфологией днища речной долины (русла и поймы), а также скоростью течения потока v , которая в свою очередь определяется уклоном водной поверхности I , коэффициентом шероховатости руслоформирующих грунтов n и средней глубиной водного потока h . Параметр C представляет собой наименьшую абсолютную отметку дна потока, которая связана с величиной максимальной глубины h_{\max} при заданном уровне воды:

$$C = H - h_{\max}, \quad (4)$$

Уравнение Глушкова (3) можно переписать относительно H , в результате чего для всех расчетных точек, выделенных на первом этапе, можно получить искомый уровень воды за период открытого русла H_0 без необходимости их натурального обследования:

$$H_0 = H - h_{\max} + \frac{Q_0}{a} = C + \left(\frac{Q_0}{a} \right)^{1/b}. \quad (5)$$

Исследование величин, получаемых H_0 , вычисленных по описанной методике для гидрологических постов, подкрепленных надежными значениями среднего многолетнего уровня за период открытого русла, показывает, что максимальная ошибка прогноза не превышает 2–3 дециметров. Равноценную точность передачи высотных отметок имеют топографические карты и планы масштаба 1:10 000 – 1:5 000. Таким образом, методика применима во всех случаях, когда фиксация границ водных объектов не требует большей точности.

На следующем этапе, зная необходимые уровни в расчетных точках, производится непосредственное построение береговых линий (границ) водотоков с использованием цифровых моделей рельефа. При решении этой задачи хорошо зарекомендовали себя цифровые модели рельефа, или

ЦМР, в формате GRID-модели. GRID-модель во многом аналогична растровой модели пространственных данных: она предполагает разбиение пространства карты на далее неделимые элементы (пикселы), внутри которых высота земной поверхности считается постоянной. Пикселы образуют квадраты регулярной прямоугольной матрицы высот, расстояние между которыми определяет пространственное разрешение и соответственно пространственную точность ЦМР. В качестве дополнительной функции интерполирования учитываются структурные линии рельефа (талwegи водотоков) и линейные нарушения рельефа.

Таким образом, по построенной ЦМР относительно расчетных точек средний многолетний уровень за безледный период H_0 переносится на береговую зону с нахождением тех элементов модели (участков земной поверхности), которые оказываются затапливаемыми при заданном уровне H_0 . Внешняя граница совокупности смежных элементов, чья высота оказалась меньше величины необходимого уровня H_0 , считается границей водного объекта.

Сравнение очертаний береговых линий водных объектов при среднем меженином уровне H_m и среднем многолетнем уровне за период открытого русла H_0 обнаруживает как случаи их частого совпадения, так и существенного расхождения. Максимальные различия в положении береговых линий при летнем меженином уровне и уровне за период открытого русла (в отдельных случаях до первых сотен метров) наблюдаются в долинах крупных рек, на широкопойменных участках, а также в местах слияния водотоков.

На завершающем этапе, зная положение береговой линии, происходит выделение границ охранных зон. Проще всего выделяются границы водоохраных зон и береговых полос, т.к. данное построение представляет собой элементарное восстановление буферных зон необходимой ширины от положения линии берега за безледный период. Более сложен процесс установления границ прибрежных защитных полос водных объектов. Они выделяются внутри водоохраной зоны непосредственно вблизи водного объекта. Для этих целей для прибрежной зоны определяется экспозиция и уклоны на каждом участке, которые анализируются с учетом требований водного законодательства, в результате чего строятся прибрежные защитные полосы необходимой ширины.

Представленная в докладе методика на данный момент опробована для рек, расположенных в пределах РТ. Данная методика применима для определения береговых линий с последующей возможностью установления охранных зон любых водотоков, в том числе при необходимости и временных, концентрирующихся в днищах оврагов.

Постановление Правительства РФ [2016] регламентирует периодичность определения положения береговой линии не реже чем 1 раз в 25 лет. Необходимость повторных определений положения береговой линии свя-

заны с горизонтальными русловыми деформациями, которые в свою очередь обусловлены различными гидрологическими особенностями перестроения стока, а также поступлением твердого материала из активно развивающихся оврагов. Так, по результатам исследователей Казанского университета [Средняя Волга..., 1991], ежегодный прирост оврагов в восточной и юго-восточной частях Приволжской возвышенности, приуроченных к бассейну р. Свияга, колеблется от 0 до 3 м/год, причем на 60 – 80% рост происходит во время весеннего снеготаяния. Данные подтверждаются современными исследованиями, проводимыми сотрудниками Казанского университета. Так, полевые измерения с использованием различных методик (линейные измерения, тахеометрическая съемка, лазерное сканирование, фотограмметрические исследования) в бассейне р. Меша, показывают, что в период с осени 2015, по весну 2016 происходил рост вершин оврагов, который достигал 1 – 1,2 м. Подобные значения дают представление о достаточно высокой интенсивности роста оврагов, что способствует различным перестроениям, приводящим к изменениям бортов оврагов, их днищ, а также изменению гидрологического режима временных водотоков. Таким образом, серьезные изменения границ водотоков могут происходить гораздо интенсивнее и быстрее, в результате чего появляется необходимость гораздо более частого мониторинга береговых линий.

ЛИТЕРАТУРА

Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ (действующая редакция от 28.11.2015), 2006. – 34 с.

Глушков В.Г. Вопросы теории и методы гидрологических исследований. М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 320 с.

Михайлов В.Н. Общая гидрология. М.: Высшая школа, 1991. – 368 с.

Постановление правительства «Об утверждении Правил определения местоположения береговой линии (границы водного объекта), случаев периодичности ее определения и о внесении изменений в Правила установления на местности границ водоохранных зон и границ прибрежных защитных полос водных объектов» от 29 апреля 2016 № 377 (вступил в силу 13.05.2016), 2016. – 9 с.

Сатдаров А.З. Водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы в законодательных системах России и мира // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о Земле. 2015. Вып. 4. – С. 35-44.

Средняя Волга. Геоморфологический путеводитель / Под ред. А.П. Дедкова. Казань: Изд-во КазГУ, 1991. – 148 с.