

Оценка вероятности, высоты и площади затопления днищ речных долин в период весеннего половодья для обеспечения безопасности нефтедобычи¹

О.П. Ермолаев, Д.Г.Н.,
К.А. Мальцев, К.Г.Н.,
В.В. Мозжерин, К.Г.Н.,
А.Ф. Гилязов,
А.З. Сатдаров
(Казанский (Приволжский)
федеральный университет),
Р.М. Гареев
(ПАО «Татнефть»),
О.Е. Мишанина
(ТатНИПИнефть)

Адреса для связи: vadim_mozzherin@mail.ru
mishanina@tatnipi.ru

Ключевые слова: затопление территорий, безопасность нефтедобычи, сток весеннего половодья, речные долины, чрезвычайные ситуации, цифровая модель рельефа (ЦМР), Республика Татарстан

Сотрудниками Казанского (Приволжского) федерального университета и ТатНИПИнефти были проведены масштабные работы по оценке вероятности, высоты и площади затопления речных долин в бассейне р. Степной Зай (выше г. Альметьевска, Республика Татарстан) при прохождении волны весеннего половодья. Район исследований приведен на обзорной карте (см. рисунок). Основная цель работ заключалась в обеспечении технологической и экологической безопасности функционирования нефтепромышленной инфраструктуры ПАО «Татнефть».

Предпосылкой для проведения работ стали многочисленные зафиксированные случаи нанесения ущерба от затопления весной 2012 г. В начале второй декады апреля 2012 г. в результате резкого повышения температуры и быстрого таяния снега произошел массовый выход рек на пойму во многих муниципальных районах Татарстана, включая зону деятельности ПАО «Татнефть». В связи с этим руководство компании инициировало работы по изучению гидрологического режима водных объектов в бассейне р. Степной Зай, в котором сосредоточена основная масса нефтепромышленных и сопутствующих им объектов, с целью выявления возможности возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с неконтролируемым затоплением территорий.

В гидрографическом отношении изучаемая территория принадлежит верхней части бассейна р. Степной Зай и бассейнам ее притоков. Территория дренируется примерно 300

Estimation of probability, height and area of flood in the bottoms of rivers' valleys due to the snowmelt flood runoff in order to ensure safety of oil production

O.P. Yermolaev, K.A. Maltsev, V.V. Mozzherin, A.F. Giljazov, A.Z. Satdarov (Kazan (Volga Region) Federal University, RF, Kazan),
R.M. Gareev (Tatneft PJSC, RF, Almetьевsk),
O.E. Mishanina (TatNIPIneft, RF, Bugulma)

E-mail: vadim_mozzherin@mail.ru, mishanina@tatnipi.ru

Key words: flooded areas, safety of oil production, snowmelt flood runoff, rivers valleys, emergency situations, digital elevation model (DEM)

Fundamentally new method of assessment of flooded areas in rivers' valleys during the spring flood to ensure technological and environmental safety of the oilfield infrastructure of Tatneft PAO is described. The method is based on an analytical relationship between water discharge and water level, taking into account the hydro-morphological characteristics of rivers and their valleys. Assessment of flooded areas was carried out using digital elevation modeling and GIS mapping.

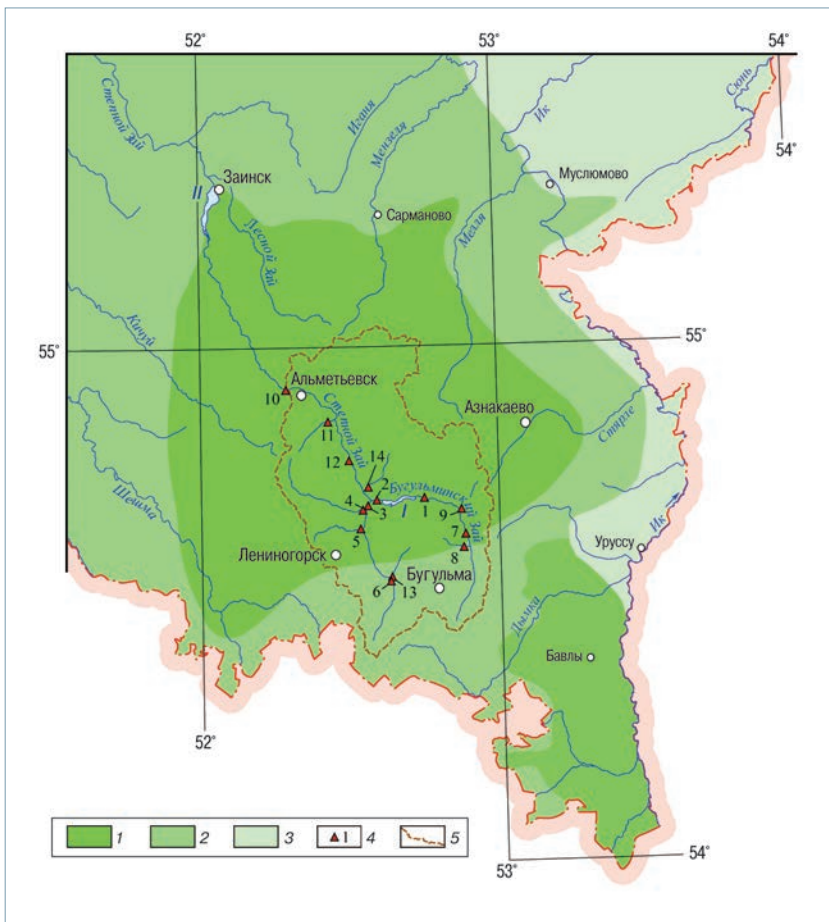
водотоками суммарной протяженностью более 800 км. В ее пределах расположено 60 населенных пунктов (из них 6 городов и поселков городского типа), в которых проживает более 350 тыс. человек. В пределах рассматриваемой территории осуществляют добычу нефти пять НГДУ на 14 площадях Ромашкинского нефтяного месторождения.

Методика исследования

В настоящее время имеются многочисленные примеры конкретных решений задачи оценки затопления днищ речных долин тальми водами. С некоторой долей условности все эти решения можно свести к двум независимым методологическим подходам.

Первый подход как по хронологии, так и по числу использований базируется на общегосударственной методике [3, 4], принятой в практике строительного проектирования [5]. Она основывается на уравнении Шези – Маннинга, описывающем среднюю скорость v равномерного устоявшегося турбулентного движения воды в безнапорных условиях. После соответствующих преобразований уравнение может быть решено относительно средней глубины потока h или абсолютной отметки водной поверхности H , с которой средняя глубина связана корреляционной зависимостью. По результатам решения уравнения строится зависимость расходов воды в водотоке Q от уровня водной поверхности H , которая имеет для гидрометрических исследований основополагающее значение.

¹Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 15-17-10008).



Обзорная карта юго-востока Республики Татарстан и района исследований (границы нефтяных месторождений проведены по данным атласа (1) и работы (2)); I, II – соответственно Карабашское и Заинское водохранилище; 1 – разведанные и эксплуатируемые месторождения нефти; 2 – оплоискованные, высокоперспективные и перспективные месторождения; 3 – высокоперспективные и слабоизученные месторождения; 4 – ключевые участки на водотоках и их номера; 5 – границы района исследований (бассейн р. Степной Зай выше г. Альметьевска)

Другой подход к оценке и выделению зон периодического затопления днищ речных долин тальми водами основан на учете фактических зон затопления во время мощных половодий, дешифрируемых по материалам дистанционного зондирования высокого временного разрешения. Наилучшим образом для этих целей подходят снимки Terra MODIS и Landsat, имеющие для одной и той же территории посуточную – понедельную дискретизацию. В серии разновременных снимков выбирается тот (на ту дату), на котором ширина и площадь разлива максимальны. В последующем по данным гидрологических постов сети Росгидромета на дату выбранного снимка определяются уровень воды и его обеспеченность. Имея достаточный по продолжительности ряд снимков за различные годы (архив Terra MODIS накапливается с 2002 г., Landsat – с 1983 г.), в общем случае можно получить довольно надежные оценки размеров зон затопления различной вероятности превышения. Достаточно полный библиографический обзор накопленного опыта в рамках второго подхода приведен в работе [6].

Несмотря на широкое использование указанных подходов каждому из них свойственны весьма серьезные недостатки. Надежность первого подхода целиком определяется качеством материалов крупномасштабной (обычно 1 : 1 000 или 1 : 2 000) топографической съем-

ки с сечением рельефа не менее 1 м на весь исследуемый участок реки. Второй подход очень чувствителен к наличию высокодетальных материалов космической съемки на изучаемый водоток за достаточно длительный (не менее 20–25 лет) период.

При выполнении работ авторами предложен и апробирован принципиально новый подход к оценке размеров зон затопления речных долин тальми водами различной обеспеченности. В основе подхода лежит уравнение, предложенное В.Г. Глушковым [7] и основанное на существовании корреляционной зависимости степенного вида

$$Q = a(H - C)^b, \quad (1)$$

где a, b – районные коэффициенты, устанавливаемые эмпирически; C – редуцированный параметр, численно равный абсолютной высоте дна перекатов.

Очевидно, что превышение одного расхода Q_2 над другим Q_1 будет соотноситься пропорционально превышению уровня H_2 над H_1 в степени b

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{H_2 - C}{H_1 - C} \right)^b. \quad (2)$$

Если принять, что H_2 – искомый уровень воды весеннего половодья заданной вероятности (обеспеченности) $P(\%)$ превышения H_p , Q_2 – соответствующий ему расход воды, то для

практического применения формулы требуется выбрать некоторую пару H_1 и Q_1 , так называемые стандарты уравнения, значения которых известны. В качестве таковых можно принять летний меженный уровень $H_{л}$ и срочный расход воды $Q_{л}$ на момент гидрометрической съемки.

Из уравнения (2) несложно получить рабочую формулу (модифицированное уравнение Глушкова) для расчета максимальных годовых уровней воды редкой повторяемости

$$H_p = 10^{\frac{1}{b} \lg \left(\frac{Q_p}{Q_{л}} \right) + \lg(H_{л} - C)} + C, \quad (3)$$

где $C = H_{л} - h_{\max}$ – разница между меженным уровнем воды $H_{л}$ и максимальной глубиной русла h_{\max} в створе измерения.

Коэффициент b полностью контролируется двумя группами гидроморфологических факторов, которые определяют условия прохождения водного потока: морфологией днища речной долины и шероховатостью слагающих русло и пойму грунтов. Его численные значения могут быть получены путем решения уравнения (3) по данным ключевых участков (см. рисунок), для которых на местности установлены параметры уравнения Шези – Маннинга. Максимальные расходы воды Q_p

уравнения (3) получены с соблюдением всех методических требований по формуле редуцированного типа согласно схеме, рекомендованной для гидрологически неизученных водотоков [4, 5]. По возможности расчетные величины Q_p сверялись с материалами наблюдений на гидрологических постах.

Вдоль русел всех водотоков, для которых определялись зоны затопления, была расставлена дискретная условно регулярная сеть точек, называемых расчетными, поскольку в них вычислялись все гидрологические характеристики. В последующем для каждой расчетной точки по модифицированному уравнению Глушкова (3) рассчитывались уровни воды весеннего половодья 1-, 2-, 5-, 10- и 25%-ной обеспеченности.

Определение зон затопления при вычисленных уровнях проводилось по сформированной авторами цифровой модели рельефа, основанной на векторных цифровых топографических картах масштаба 1 : 25 000. Сведения о рельефе с цифровых топографических карт были преобразованы в среде ArcGIS в регулярное поле высот сеточной (GRID) модели. Ключевые этапы построения этих алгоритмов изложены в работе [8]. Шаг сетки принят равным 6 м, что примерно соответствует графической точности исходных топографических карт выбранного масштаба [9]. Построение цифровой модели рельефа осуществлялось с учетом положения тальвегов водотоков и береговых линий водоемов. Таким образом, сама модель является гидрологически корректной.

Полученные результаты и их обсуждение

По результатам натурного обследования и обработки топографических планов все водотоки исследуемого бассейна можно разделить на четыре группы, различаю-

щиеся по гидроморфологическим признакам, условиям формирования и прохождения весеннего половодья. Краткая гидроморфологическая характеристика групп приведена в табл. 1.

Число расчетных точек, использованных для вычисления искомых уровней воды весеннего половодья, составляет 431. При суммарной длине водотоков в бассейне р. Степной Зай, равной примерно 800 км, средняя плотность расстановки точек составляет 5,4 на 10 км длины водотоков. Фактически расчетные точки расставлялись с большей плотностью вдоль малых водотоков, реже – в средних и нижних течениях крупных и средних (в масштабе исследования) водотоков.

Изменение значений коэффициента b в уравнении (3), определенных по материалам гидрометрической и русловой съемки на ключевых участках, соответствует площади речного бассейна A (коэффициент прямолинейной корреляции $r=0,89$) и средним многолетним расходам воды за период летней межени $Q_{л}$ ($r = 0,90$). Следовательно, коэффициент b можно рассматривать в качестве зависимого от крупности (водности) водотока параметра. Для упрощения расчетов и с учетом высокой доли приближенности экстраполяции значений b на все реки исследуемого бассейна данный коэффициент принят постоянным внутри отдельных категорий крупности водотоков (см. табл. 1). Подобное допущение не лишено оснований, поскольку внутри выделенных групп гидроморфологические особенности речного русла и возвышающейся над ним поймы остаются относительно постоянными.

Максимальная глубина перекаатов h_{max} , входящая в формулу для расчета параметра C , может быть определена на основе полученного авторами уравнения регрес-

Таблица 1

| Характеристики | Водотоки | | | |
|------------------------------------|---|--|--|---|
| | сверхмалые | малые | средние | крупные |
| Площадь водосбора, км ² | < 50 | 50–200 | 200–1 000 | > 1 000 |
| Пойма | Поверхность ровная, с заметным наклоном к руслу, узкая (как правило, не более 10–20 м), относительная высота не более 1 м, выражена фрагментарно | Поверхность ровная, слабо наклонена к руслу, ширина поймы редко превышает 20–30 м, относительная высота составляет 1–2 м, часто отсутствует | Поверхность неровная, различаются два уровня (низкая и высокая пойма), общая ширина достигает 100 м, относительная высота над межени урезом составляет 2–4 м, выражена по обоим берегам | Поверхность неровная, с многочисленными внутриводосборными повышениями и понижениями, четко выделяются уровни низкой и высокой пойм, относительная высота над верхнего уровня 4–6 м, ширина – сотни метров, пойма выражена повсеместно (преимущественно по левому берегу) |
| Русло | Русла прямолинейные со значительными средними уклонами (до 10 ‰ и более), средняя глубина водного потока не превышает 10–15 см, ширина редко превышает 2 м, преобладающий русловый процесс – глубинная эрозия | Русла обычно прямолинейные, излучины немногочисленны, средние уклоны водной поверхности обычно не превышают 5 ‰, средняя глубина водного потока составляет 10–20 см, ширина не более 5–6 м, преобладает глубинная эрозия | Русла извилистые, излучины зрелые, уклоны изменяются в интервале 0,4–3 ‰, средняя глубина потока обычно составляет 40–60 см, ширина – до 20 м, преобладает боковая эрозия, развивающаяся по типу свободного или ограниченного меандрирования | Русла образуют многочисленные крупные излучины, средние уклоны невелики (менее 0,1 ‰), средняя глубина водного потока способна достигать 1 м, ширина более 20 м, преобладает боковая эрозия, развивающаяся по типу свободного или ограниченного меандрирования |
| Течение | Быстрое (до 1,0 м/с и более), неровное, сильно турбулентное | Быстрое (0,5–1,0 м/с, иногда меньше) с отдельными неровными струями, турбулентное | Спокойное (не более 0,5 м/с), ровное, слаботурбулентное, стрежень потока выражен | Медленное (не более 0,2 м/с), очень ровное, слаботурбулентное, с четко выраженным стрежнем и периферийными зонами |
| Коэффициент b | $\frac{1,5946 - 1,9298}{1,7808}$ (5) | $\frac{1,9343 - 2,4307}{2,1618}$ (4) | $\frac{2,4478 - 2,9912}{2,7044}$ (4) | $\frac{3,6421 - 3,6421}{3,6421}$ (1) |

Примечание. В числителе указан диапазон изменений показателя по ключевым участкам, в знаменателе – его средняя величина, в скобках – число ключевых участков.

Таблица 2

| Обеспеченность P, % | Средняя высота половодья, м/ ширина зоны затопления, м, при водотоках | | | |
|---------------------|---|----------------------|------------------------|-------------------------|
| | сверхмалых | малых | средних | крупных |
| 1 | $\frac{0,95}{20-30}$ | $\frac{1,77}{30-40}$ | $\frac{2,86}{150-200}$ | $\frac{4,71}{700-1000}$ |
| 2 | $\frac{0,91}{20-30}$ | $\frac{1,71}{30-40}$ | $\frac{2,77}{120-160}$ | $\frac{4,56}{550-800}$ |
| 5 | $\frac{0,83}{10-20}$ | $\frac{1,56}{25-35}$ | $\frac{2,55}{90-130}$ | $\frac{4,19}{450-650}$ |
| 10 | $\frac{0,77}{10-20}$ | $\frac{1,45}{20-30}$ | $\frac{2,37}{70-100}$ | $\frac{3,90}{400-600}$ |
| 25 | $\frac{0,64}{<10}$ | $\frac{1,23}{20-25}$ | $\frac{2,02}{40-60}$ | $\frac{3,32}{250-400}$ |

сии, связывающего значения h_{max} с измеренным (срочным) расходом воды летней межени $Q_{л}$

$$h_{max} = 0,5997 Q_{л}^{0,4975}. \quad (4)$$

Полученные значения максимальных подъемов уровней воды весеннего половодья редкой повторяемости над летним межени урезом ΔH_p изменяются в исследуемых водотоках в широких пределах. Они определяются крупностью водотока и гидроморфологическими условиями прохождения половодного стока (табл. 2). Минимальные равновероятные значения ΔH_p (не более 1 м) характерны для сверхмалых водотоков, особенно на участках с распланным руслом и значительными уклонами продольного профиля. Максимальные равновероятные значения ΔH_p (<5 м) получены для крупнейшего из обследованных водотока – р. Степной Зай вблизи г. Альметьевска. Высоким подъемам здесь способствуют также подпор со стороны нижерасположенного Альметьевского водохранилища и сужение речной долины.

На заключительном этапе работ границы зон затопления были наложены на топографическую основу масштаба 1 : 25 000 Государственного ГИС-Центра, находящуюся в открытом доступе. Анализ карт позволяет сделать некоторые общие выводы. Площадь затопления при 1%-ной вероятности превышения уровня весеннего половодья $H_{1\%}$ достигает 119 км², что приблизительно составляет 1/4 общей площади днищ речных долин исследуемой территории. С повышением вероятности прогноза площадь затопления закономерно сокращается и при 25%-ной вероятности превышения уровня снижается до 106 км².

Одна из главных закономерностей в размерах зон затопления проявляется в том, что их ширина полностью контролируется крупностью водотока. Наибольшие разливы полых вод отмечаются в широкопойменных долинах крупнейших рек исследуемой территории: Степной Зай и Бугульминский Зай. При этом вниз по их течению в связи с общим расширением dna долины возрастает также ширина зоны затопления. В долинах указанных рек ширина зоны затопления 1%-ной обеспеченности на отдельных участках даже по одному берегу нередко доходит до 1–2 км (например, фрагменты долины р. Степной Зай вблизи г. Альметьевска, участок р. Бугульминский Зай в устьевой части). По мере уменьшения крупности водотоков ширина рассматриваемых зон закономерно снижается. В долинах сверхмалых водотоков, гидрографическая длина которых не превышает 10 км, общая ширина

зоны затопления по обоим берегам даже при 1%-ной повторяемости редко достигает 100 м.

Другая закономерность связана с тем, что, хотя преобладающие значения ширины зоны затопления дифференцированы по крупности водотока, на многих участках границы этих зон, соответствующие различной обеспеченности P, располагаются близко друг к другу. Иными словами, ширина зон затопления при различной вероятности подъема уровней в пределах одного участка реки часто остается практически постоянной. Такая ситуация связана с особенностями морфологии днища речных долин: поймы многих водотоков возвышаются по сравнению с половодными подъемами уровней на относительно небольшую величину. По этой причине происходит их практически ежегодное затопление независимо от обеспеченности уровня и расхода воды. В то же время тыловой шов большинства пойм ограничен крутыми морфологически выраженными уступами низких надпойменных террас или коренных склонов. В связи с отмеченным сами уступы служат хорошим естественным барьером на пути проникновения полых вод любой обеспеченности.

Зоны затопления нередко имеют асимметричную по отношению к речному руслу конфигурацию, что особенно характерно для крупных и средних рек (в масштабе исследования). Наибольшую ширину зоны разлива в долинах р. Степной Зай, Бугульминский Зай и их наиболее значимых притоков имеют по левому борту. Подобная конфигурация зон обусловлена орографией днища долины: поперечные профили днищ речных долин в основном асимметричны: правая часть короче и круче по сравнению с левой стороной dna речной долины, занятой широкими полосами поймы.

Еще одна закономерность проявляется в том, что в выделенные зоны затопления практически не попадают постройки (дома и хозяйственно-бытовые сооружения) в старых частях населенных пунктов. Вместе с тем застройка новых кварталов внутри городской черты (включая г. Альметьевск), а также строительство новых коттеджных поселков по периферии старых сельских поселений, по всей видимости, нередко проводились без должного инженерно-гидрологического обоснования и учета местных гидрологических особенностей. По этой причине новостройки нередко подвержены затоплению полыми речными водами.

Полученные результаты дают возможность оценить обеспеченность половодья 2012 г., благодаря которому были начаты исследования зон затопления в долинах

р. Степной Зай и ее притоков. Однако однозначный ответ на этот вопрос дать невозможно, поскольку в бассейне р. Степной Зай нет ни одного действующего гидрологического поста, на котором могла бы быть зафиксирована точная отметка горизонта высоких вод. Сопоставление с соседними реками региона, на которых посты продолжают функционировать, позволяет констатировать, что обеспеченность половодья 2012 г. на левобережье бассейна р. Нижней Камы составляла около 10–16 %, т.е. оно не может считаться мощным. Этому противоречию можно найти два объяснения. С одной стороны, не исключено, что условия формирования и прохождения весеннего стока на р. Степной Зай имеют постоянно или имели в 2012 г. ряд особенностей, и именно здесь половодье было особенно сильным. Однако более вероятным представляется следующее объяснение. Половодье 2012 г. было самым мощным за последние 20–25 лет (как в бассейне р. Степной Зай, так и во всем регионе). Более мощные половодья, как следует из наблюдений на соседних постах, отмечались лишь в 40–80-е годы XX столетия. Видимо, возникла своеобразная абберация дальности: были забыты мощные половодья более чем 30-летней давности, и даже относительно некрупное половодье 2012 г. на фоне последних 20–30 лет представляется экстремальным. С учетом того, что последнее десятилетие средний и максимальный годовые стоки на реках восточной части Восточно-Европейской равнины возрастают и существующие долгосрочные гидроклиматические прогнозные модели не исключают возможность установления до середины XXI века положительных отклонений от нормы [10], в ближайшие годы можно ожидать повышения частоты повторения высоких половодий.

Полученные в ходе выполнения работ результаты в первую очередь могут быть применены для инвентаризации объектов хозяйственной и иной деятельности, попадающих в зоны затопления различной обеспеченности. Все объекты антропогенного происхождения, расположенные внутри указанных зон, надлежит ранжировать на группы по степени их уязвимости затоплению речными водами.

Далее для каждой выделенной группы разрабатываются технологические решения (регламент) по правилам дальнейшей эксплуатации включенных в группу объектов. Дифференцированно по видам объектов выполняются мероприятия по переносу их за пределы зон затопления или по предотвращению затопления путем создания дамб и валов, монтажа электрооборудования на специальных опорах и др. Указанные мероприятия должны быть дополнительно подкреплены результатами инженерно-гидрометеорологических изысканий. Для части объектов, не чувствительных к кратковременному затоплению, сохраняются существующее положение и характер функционирования.

Параллельно рекомендуется подготовить свод правил (руководящий документ) для внутреннего пользования ПАО «Татнефть», ограничивающих строительство и/или размещение новых объектов нефтедобывающей отрасли вблизи элементов речной сети. В соответствии с ним ввод в эксплуатацию новых объектов должен осу-

ществляться с учетом выделенных зон потенциального затопления.

Для принятия оперативных мер по предотвращению неблагоприятных последствий, связанных с неконтролируемым затоплением территорий, рекомендуется в период формирования максимальных расходов воды (апрель – май) выполнять тесную межведомственную кооперацию с представителями Министерства по чрезвычайным ситуациям и Управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды по Республике Татарстан (УГМС РТ). В УГМС РТ также ежегодно в этот период следует запрашивать результаты краткосрочного прогнозирования, полученные с учетом текущей гидрометеорологической обстановки на водосборе, перед прохождением волны очередного весеннего половодья.

Список литературы

1. Атлас Республики Татарстан / под ред. Г.В. Поздняк. – М.: Картография, 2005. – 215 с.
2. Мозжерин В.В. Геолого-геоморфологические условия размещения залежей нефтяных битумов и битумоизлияний в бассейне средней Шешмы (Республика Татарстан) // Геоморфология. – 2011. – № 4. – С. 33–45.
3. Владимиров А.М. Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 365 с.
4. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 448 с.
5. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госком РФ по строительству и жил.-коммун. комплексу, 2003. – 70 с.
6. Пьянков С.В., Шихов А.Н. Опасные гидрометеорологические явления: режим, мониторинг, прогноз. – Пермь: Раритет-Пермь, 2014. – 296 с.
7. Глушков В.Г. Вопросы теории и методы гидрологических исследований. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 320 с.
8. Мальцев К.А., Ермолаев О.П. Использование цифровых моделей рельефа для автоматизированного построения границ водосборов // Геоморфология. – 2014. – № 1. – С. 45–52.
9. Руководство по определению гидрографических характеристик картометрическим способом. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 94 с.
10. Евстигнеев В.М., Кислов А.В., Сидорова М.В. Влияние климатических изменений на годовой сток Восточно-Европейской равнины в XXI в. // Вестник Московского университета. Сер. 5. «География». – 2010. – С. 3–10.

References

1. Atlas Respubliki Tatarstan (Atlas of the Republic of Tatarstan): edited by Pozdnyak G.V., Moscow: Kartografiya Publ., 2005, 215 p.
2. Mozherin V.V., Geological and geomorphological conditions of oil bitumen deposits placing and bitumen outpouring in Middle Sheshma river basin, Tatarstan (In Russ.), Geomorfologiya, 2011, no. 4, pp. 33–45.
3. Vladimirov A.M., Gidrologicheskie raschety (Hydrological calculations), Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1990, 365 p.
4. Pособie po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik (Manual for the definition of estimated hydrological characteristics), Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1984, 448 p.
5. SP 33-101-2003. Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik (Determination of basic calculation of hydrological characteristics), Moscow: Publ. of Goskom RF po stroitel'stvu i zhil.-kommun. kompleksu, 2003, 70 p.
6. P'yankov S.V., Shikhov A.N., Opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya: rezhim, monitoring, prognoz (Hydrometeorological hazards: mode, monitoring, prediction), Perm: Raritet-Perm' Publ., 2014, 296 p.
7. Glushkov V.G., Voprosy teorii i metody gidrologicheskikh issledovaniy (Issues of theory and methods of hydrological studies), Moscow: Publ. of RAS USSR, 1961, 320 p.
8. Mal'tsev K.A., Ermolaev O.P., Using DEMs for automatic plotting of catchments (In Russ.), Geomorfologiya, 2014, no. 1, pp. 45–52.
9. Rukovodstvo po opredeleniyu gidrograficheskikh kharakteristik kartometricheskim sposobom (Guidelines for the determination of hydrographic characteristics using dimensions on landscape maps), Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1986, 94 p.
10. Evstigneev V.M., Kislov A.V., Sidorova M.V., Influence of climate changes on the annual river runoff over the East European Plain in the 21st century (In Russ.), Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya, 2010, no. 2, pp. 3–10.