

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ БАСЕЙНА И ВОДНОСТИ РЕКИ КАЗАНКА

Выявлены основные системообразующие факторы формирования бассейновой структуры Казанки. Исследована пространственно-временная динамика режима формирования стока. Оценен уровень устойчивости водных экосистем бассейна. Определен характер механизма самоочищения вод. Рассмотрены принципы освоения территориального пространства.

Ключевые слова: бассейн реки, формирование стока, геоморфология, антропогенное воздействие.

Повышенный интерес к изучению тренда формирования поверхностного стока обусловлен как необходимостью решения целого ряда задач фундаментальной науки и, в частности, выявлению закономерностей пространственно-временных геоморфологических преобразований и их взаимосвязей с трансформацией речных бассейнов, так и необходимостью урегулирования норм водопользования в целях сохранения водного баланса территории бассейна.

Рост потребности в водных ресурсах и превышение нормативного сброса сточных вод, наблюдающиеся в последнее столетие, привели не только к количественному дисбалансу в формировании стока, но и к существенным изменениям качественного состава природных вод, нарушению механизмов биоценотической саморегуляции и самоочищения среды. Этому способствовало и усиленное антропогенное воздействие на водные объекты, наблюдающееся в пределах интенсивно осваивающихся в последние годы территориальных образований (пригородные застройки, коттеджные поселения, дачные кооперативы) и ускоряющее природные процессы «старения» водоёмов и водотоков в тысячи раз быстрее, чем это определено естественными процессами.

Особенно это касается природных водотоков, относящихся к категории «малых» рек, как наиболее уязвимых звеньев речной сети, для которых необходимо разработать свои системы экспресс-оценки экологической обстановки, возникающей в их бассейнах. Примером такой малой реки является Казанка, имеющая статус памятника природы регионального значения и протекающая по территории города Казани. Водные ресурсы Казанки используются многими промышленными предприятиями. Как водный объект она находится под пристальным вниманием гидроэкологов, результаты наблюдений которых позволяют вывести некоторые закономерности в процессах формирования бассейнового пространства и водности реки, определить уязвимые зоны, в которых при нарушении установившегося природного равновесия могут возникнуть различного рода негативные экологические ситуации.

По своим географическим показателям (длина, площадь водосбора, средний многолетний годовой расход воды и др.) Казанка относится к типично равнинным малым рекам со смешанным питанием. Для ее гидрологического режима характерно наличие двух резко отличающихся периодов – межени и половодья, на время которого приходится до 75-80% годового стока. Исток реки рас-

положен северо-восточнее д. Бимери Арского муниципального района, а устье, географические координаты которого в настоящее время соответствуют 55°50'44" СШ и 49°09'47" ВД, находится в городе Казани. Поскольку Казанка впадает в залив, образованный Куйбышевским водохранилищем, устьевая зона реки зарегулирована целым рядом транспортных дамб (Кировская и Ленинская дамбы, дамба моста Миллениум, 3 и 4 транспортные дамбы на пр. Ямашева).

Водосбор реки представляет слабоволнистую асимметричную равнину со средней шириной 17-18 км, расчлененную речными долинами многочисленных притоков и вытянутую в широтном направлении. Равнина имеет общий уклон поверхности к юго-западу и по мере приближения к Волге постепенно понижается с 200-210 м до 120-140 м, приобретая все более мягкие очертания. На севере и северо-востоке бассейна хорошо прослеживаются в рельефе отроги длинных, сильно денудированных склонов южного окончания Вятских Увалов, волнистая поверхность которых является водоразделом между реками Казанка, Ашит и Шошма.

Правобережная часть водосбора наклонена на юго-восток в сторону Казанки. Речные долины правых притоков Казанки (Красная, Шимьяковка, Сула, Солонка и др.) имеют меридиональную ориентацию и переходят в своих верховьях в овраги, хотя и неглубокие, но с резкими рваными краями. У долин правых притоков Казанки ярко выражена асимметрия склонов. На приводораздельных территориях преобладают углы наклона поверхности от 0.5-1.0° до 2-3°, а склоны долин наклонены под углом от 10° до 17°. Такая разносторонность наклонных поверхностей влияет на разнообразие скоростей стекания и степень эрозийного расчленения, что в конечном итоге определяет величину подземного питания малых рек.

Левобережная часть водосбора несколько ниже правобережной. Водоразделы левых коротких и немногочисленных притоков Казанки плоские, ровные, либо полого выпуклые. Они постепенно понижаются в сторону широких и плоских долин с уклоном 1-3°. Крутизна их склонов достигает 5-6° и лишь местами 8°. Овраги на левобережье редки. Чаще развиты балочные системы или балки с луговой растительностью.

В бассейне Казанки, особенно на правобережной части (Киндери, Карелино, Чепчуги, Мамонино) очень развиты явления карста, поверхностные проявления которо-

го обусловлены высоким залеганием растворимых доломитово-известняковых толщ. Влияние карста на формирование стока рек неоднозначно. В одних случаях он способствует потерям речных вод на питание подземных горизонтов, что типично для водораздельных участков. В других случаях карст создает концентрацию подземных вод, обуславливает их значительный дебит и выводит карстовые воды в русло реки в виде источников с повышенной минерализацией (устьевые участки Казанки и ее правых притоков). В рельефе карст представлен трещинами, провалами и воронками, часто заполненными водой и представляющими собой живописнейшие озера (Семиозерка, Светлое, Сулянгур, Карасиное, Мочальное, Голубые), являющихся достопримечательностью бассейнового ландшафта.

Всего в пределах бассейна находится 32 водораздельных карстовых озера, но более подробно следует охарактеризовать Голубые озера, играющие определенную роль в режиме Казанки. Голубые озера классифицируются как очень редкий аazonальный тип водоемов не только для Республики Татарстан, но и для всего Среднего Поволжья. Это провальные, водно-эрозионные, антропогенные, сточные, солоноватые, «дисгармоничные» природные образования, гидравлически связанные с Казанкой и имеющие целый ряд отличительных особенностей. Это, прежде всего, оптические свойства воды озер (бирюзово-изумрудно-зеленовато-голубовато-синий цвет и абсолютная прозрачность), специфический химический состав воды и донных отложений (высокая концентрация солей с сильным запахом сероводорода), специфический набор видов флоры и фауны (Красная Книга Республики Татарстан, 2006), наличие характерной «бактериальной» субстанции, постоянство водного и солевого балансов, интенсивный водообмен (обновление полного объема воды в Малом Голубом озере происходит за период равный 1.7 часа, т.е. 12 раз за сутки, а в Большом Голубом озере за 23.4 часа, т.е. практически за сутки) и неординарный механизм самоочищения.

В тектоническом отношении территория Республики Татарстан расположена у восточного края Русской платформы в зоне развития структуры I порядка (Татарский свод, осложненный целым рядом более мелких тектонических форм – структур II порядка). На севере республики крупной тектонической структурой II порядка является Вятский вал, заходящий в республику своим окончанием. Вятский вал, осложненный большим числом крупных куполовидных поднятий и мульд (структуры III и более высоких порядков) с резко выраженной асимметрией вос-

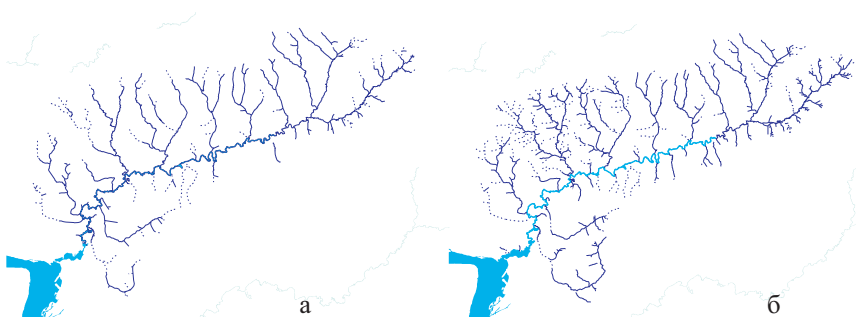


Рис. 1. Изменение рисунка гидрографической сети бассейна Казанки. Густота речной сети после создания Куйбышевского водохранилища: в первые годы (а) и через 50 лет (б).

Табл. 1. Сравнительная характеристика структуры речной сети Казанки до и после создания Куйбышевского водохранилища.

Порядок притока	Количество притоков		Длина притоков, км	
	первые годы	через 50 лет	первые годы	через 50 лет
I	37	41	414.0	410.9
II	69	101	288.4	355.0
III	18	96	33.6	145.6
IV	2	14	2.2	20.8
V	-	2	-	1.4
VI	126	254	738.2	933.7

точных крыльев и падением в южном направлении, четко прослеживается от Кирова до устья Камы.

К Вятскому валу приурочены высокие значения модулей подземного питания. Объясняется это тем, что такие положительные структуры, как Вятский вал, выводят на поверхность более глубокие водоносные горизонты напорного типа, которые и разгружаются в русла основных рек. Этому способствует и уклон подземного потока, направленный на юг и на восток, согласно понижению кровли нижеказанского подъяруса. В связи с таким меридиональным направлением подземного потока, все реки, расположенные широтно, отличаются более высокой водностью. Казанка, бассейн которой расположен в мульде, образованной отложениями казанского яруса, и лежащая почти широтно, получает повышенный приток воды.

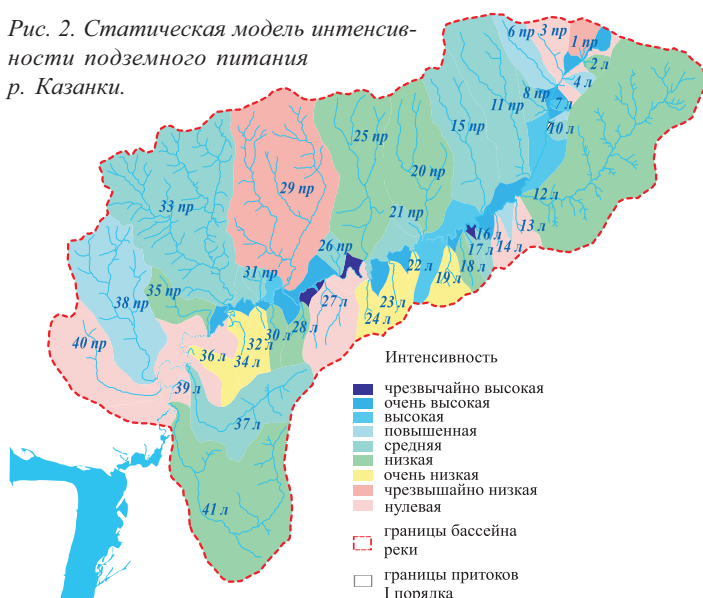
Анализ условий формирования стока Казанки показывает, что изменение водности реки за последнее 50 лет частично связано с усилением дренирования горизонтов подземных вод. Это явление глобального характера, соответствующее сценарию развития событий меридиональной эпохи атмосферной циркуляции со сменой периодов потепления, увеличения давления и наполнения глубинных подземных пластовых вод и наблюдающегося смещения солевого баланса (Дедков и др., 2005). Однако при этом усматриваются и региональные причины, наиболее существенное влияние, из которых оказывает созданный водохранилищем подпор поверхностных и подземных вод.

Совокупность глобальных и региональных факторов влияет на ускорение процессов геоморфологического преобразования бассейновой структуры, проявляющихся в изменениях долинного рельефа и характера формирования речного стока. Возникает предположение, что влияние подпора водохранилища на подземные горизонты простирается выше поверхностных границ воздействия на речную структуру, вызывая изменения в распределении подземного притока. На эту мысль наталкивает факт видимой трансформации речной сети бассейна Казанки, суммарная величина которой увеличилась за последние

50 лет более чем на 150 км, а количество притоков возросло со 126 до 254 (Рис. 1, Табл. 1). Следует отметить, что возросло число правых притоков, а левые притоки сократились и количественно и уменьшили свои длины. Такое разное развитие водотоков обусловлено особенностями питания притоков с левого и правого берега: врезающиеся овраги по правобережью вскрывают водоносные горизонты и превращаются в постоянные водотоки, в то время как на левобережье такого не наблюдается (Можжерин и др., 2004).

Основная доля гидрографических преоб-

Рис. 2. Статическая модель интенсивности подземного питания р. Казанки.



разований лежит в зоне вероятного воздействия подпора, простирающегося по рельефу местности выше отметки 53м БС, соответствующей нормальному подпорному уровню Куйбышевского водохранилища. Очевидно, что уравнивание сообщаемых по высоте уровней подземных горизонтов морфолитоогенной платформы бассейна и водохранилища не даёт водам разгружаться в пределах «привычных» тальвегов, как это происходило до создания водохранилища, и постепенно вода находит новые выходы, наполняя все возможные эрозионные углубления рельефа, которые встречаются на её пути. По-видимому, процесс этот по времени прохождения соответствует процессу формирования ложа водохранилища, который с разной интенсивностью и в различных проявлениях продолжается уже более 50 лет.

В подтверждение возникших предположений была рассчитана величина модуля подземного питания. Модуль, как величина трёхмерная, отражающая объем подземного стока с единицы площади в единицу времени, считается одним из самых информативных показателей геоэкологической оценки пространственных структур и удобным для картографического отображения, с помощью которого можно уточнить генезис вод, питающих реки, установить причины различий в приточности (в величине модулей) и определить положение и распространение водоносных комплексов, во всяком случае, из числа расположенных выше местных базисов эрозии.

Комплексное обследование 2009-2010 гг., включавшее

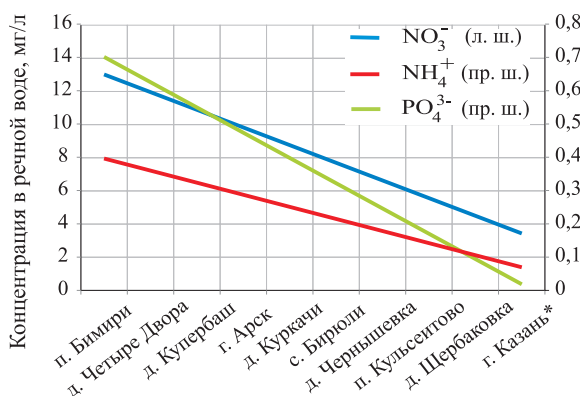


Рис. 3. Снижение концентрации биогенных элементов по мере разбавления речной воды подземной приточностью.

и измерение расходов воды на притоках Казанки, позволило достоверно рассчитать модули подземного питания частных водосборов и с помощью геоинформационных технологий построить статическую модель, являющуюся основой динамической модели речного бассейна (Рис.2).

Значения модуля подземного питания притоков Казанки варьируют в пределах 0-10 л/сек·км², а межприточных пространств – от 0 до 50 и более л/сек·км². На фоне преобладания высокой и средней интенсивности подземного питания в бассейне встречаются участки с низкими, почти нулевыми значениями модуля. Но каждая величина считается вполне достоверной и может быть объяснена геолого-тектоническим строением территории бассейна и гидрогеологическими условиями питания рек, так как именно они накладывают свой отпечаток на водность рек, особенно в период межени.

В правобережной части бассейна Казанки водовмещающие породы, в которых водоносные слои чередуются с водоупорами, занимают высокие водораздельные участки, и подземные воды здесь разгружаются через многочисленные родники в хорошо развитую речную сеть, глубокие овраги и балки. Таков участок верхнего течения Казанки с однообразным эрозионным врезом речных долин в однородные стратиграфические отложения (мульдообразно сложенный бассейн подземных межпластовых вод). Это способствует тому, что все верхние притоки Казанки имеют одинаковое устойчивое подземное питание. Участок среднего течения Казанки слагают морские отложения, характеризующиеся выдержанностью водоупорных горизонтов, что обеспечивает устойчивое питание рек, приуроченных к седловинам между положительными структурами III и более высоких порядков.

Для правобережных притоков Солонки, из Голубого Озера и Голубого болота, впадающих в нижнем течении Казанки, характерен очень высокий модуль подземного питания. По мнению геологов, здесь в Казанку поступают воды из нижнепермских отложений, область питания которых находится около Кирова-Советска. Большой путь подземного продвижения этих вод обеспечивает им высокую степень устойчивости, подтверждающуюся близкими результатами измерений, проводившимися на протяжении почти 80 лет.

Исследования засушливого 2010 г. подтвердили гипотезу, что меженный сток обеспечивается предварительно сформированными запасами вод подземных горизонтов и в большей степени зависит от осадков предшествующих лет.

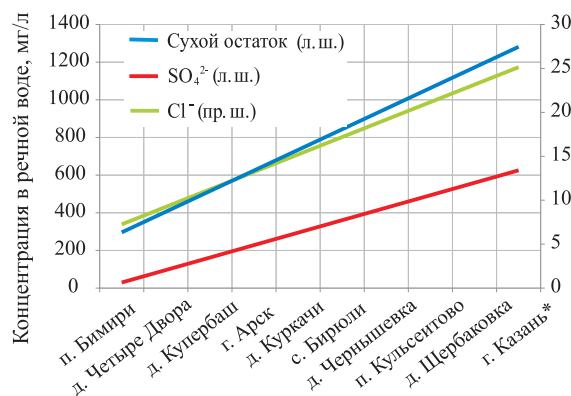


Рис. 4. Рост концентрации ионов, поступающих с подземными водами.

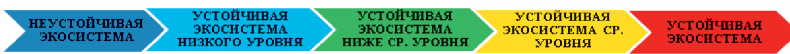
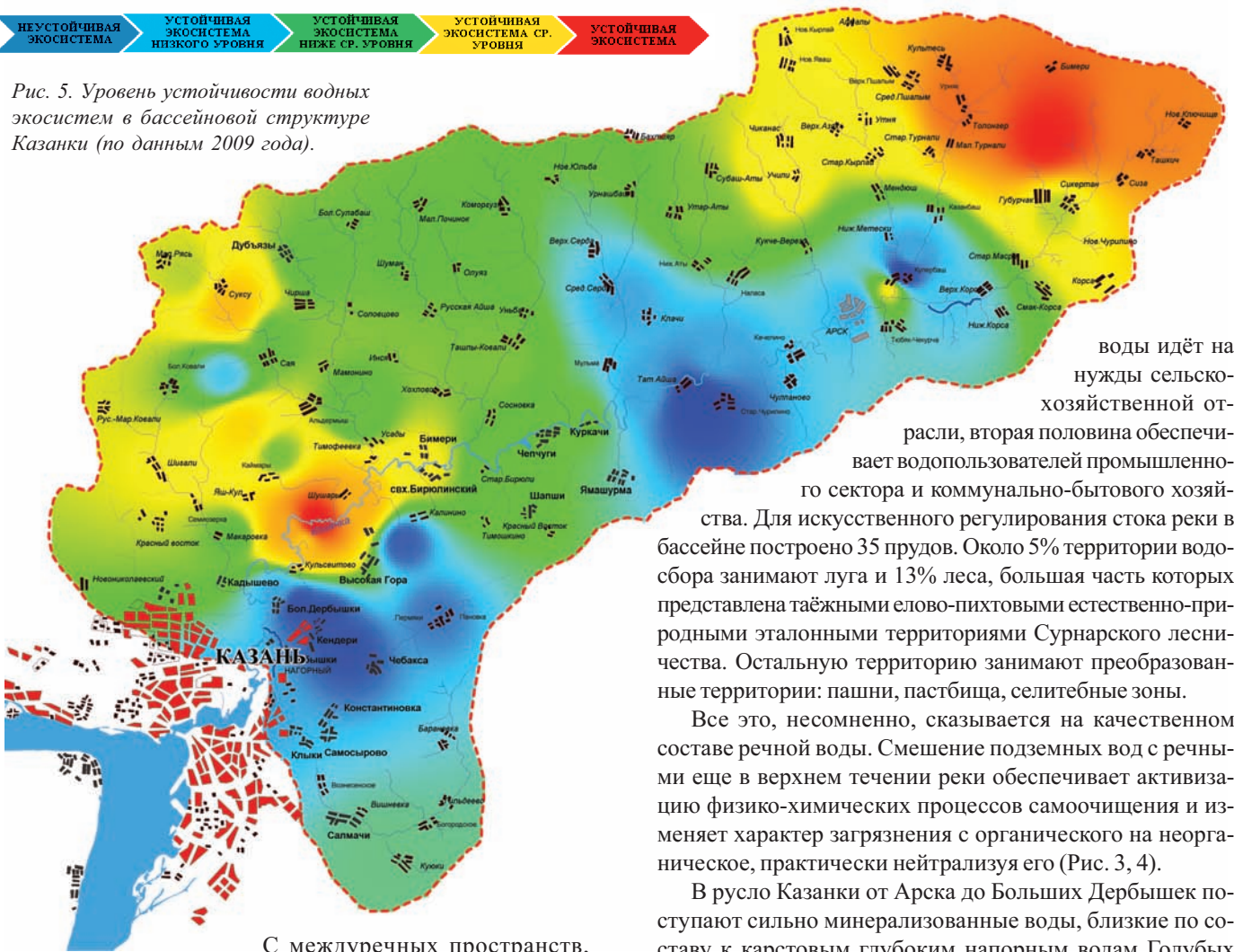


Рис. 5. Уровень устойчивости водных экосистем в бассейновой структуре Казанки (по данным 2009 года).



воды идёт на нужды сельскохозяйственной отрасли, вторая половина обеспечивает водопользователей промышленного сектора и коммунально-бытового хозяйства. Для искусственного регулирования стока реки в бассейне построено 35 прудов. Около 5% территории водосбора занимают луга и 13% леса, большая часть которых представлена таёжными елово-пихтовыми естественно-природными эталонными территориями Сурнарского лесничества. Остальную территорию занимают преобразованные территории: пашни, пастбища, селитебные зоны.

Все это, несомненно, сказывается на качественном составе речной воды. Смешение подземных вод с речными еще в верхнем течении реки обеспечивает активизацию физико-химических процессов самоочищения и изменяет характер загрязнения с органического на неорганическое, практически нейтрализуя его (Рис. 3, 4).

В русле Казанки от Арска до Больших Дербышек поступают сильно минерализованные воды, близкие по составу к карстовым глубоким напорным водам Голубых озер. Из Голубых озер в Казанку поверхностным путем поступает около 2 м³/сек подземных вод с повышенной минерализацией, которые почти на 43% разбавляют воду реки, вызывая изменение ее качества, проявляющееся в увеличении количества гидрокарбонатов, сульфатов, хлоридов, жесткости и уменьшении концентрации нитритов, нитратов, аммонийного азота и фосфатов.

Если в других водоемах данной географической зоны формирование качества воды определяется в основном активностью биологического слоя в поверхностных водах, то в Казанке механизм самоочищения обеспечивается и физико-химическими процессами, связанными со смеше-

С междуречных пространств, примыкающих к руслу, подземные воды поступают в реки и, по мере расходования запасов в прирусловой части, пополняются из более удаленных частей по всему периметру бассейна. Этот процесс может продолжаться в течение многих лет, длительное время, обеспечивая устойчивую величину меженного стока, как это было при аналогичных обстоятельствах в периоды 1932-1939 гг. и в 1972-1975 гг., то есть с повторяемостью 1 раз в 30 лет. В 2010 г. величины расходов меженного стока в устьевой зоне Казанки оставались в пределах 7 м³/сек, что лишь на 0.5 м³/сек меньше среднееголетних значений, т.е. уровень подземного питания за два маловодных года фактически не нарушился. Видимое для восприятия понижение уровня воды в устьевой зарегулированной зоне – акватории Казанского залива было вызвано снижением уровня воды в Куйбышевском водохранилище. Существенные изменения величин стока малых рек, имеющих высокую степень подземного питания, могут проявиться лишь на 4-5-ый годы засухи. Произведённые расчёты водохозяйственного баланса, показывают, что годовых водных ресурсов Казанки достаточно для удовлетворения всех потребностей водопользователей в условиях 95% обеспеченности стока, то есть в такие маловодные годы каким был 2010 год.

Как и большинство других малых рек республики, Казанка испытывает сильный антропогенный пресс и имеет высокий уровень нагрузки по водопользованию. Более 50% забранной природной

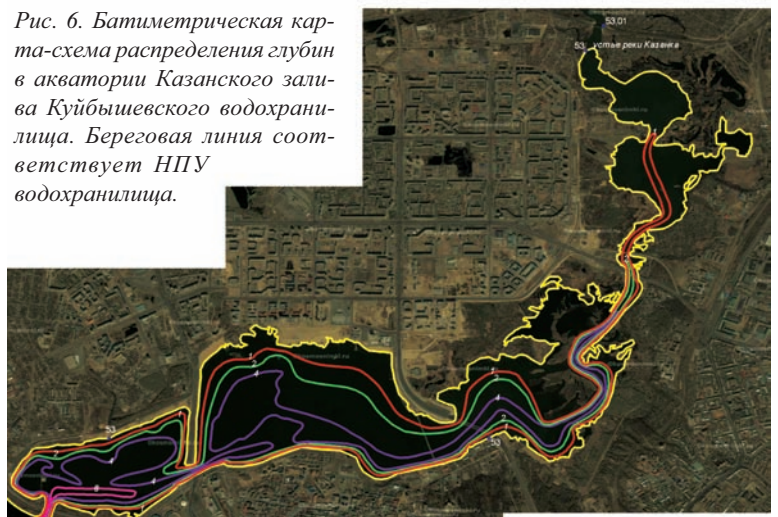


Рис. 6. Батиметрическая карта-схема распределения глубин в акватории Казанского залива Куйбышевского водохранилища. Береговая линия соответствует НПУ водохранилища.

нием подземных и поверхностных вод. Отсюда и высокий на значительном протяжении течения реки уровень устойчивости водной экосистемы (Рис. 5).

Степень преобразования природных ландшафтов водосбора Казанки хозяйственной деятельностью постоянно возрастает, нарушая сформировавшееся природное равновесие, так как производится без учёта принципов ландшафтного планирования, с нарушениями непрерывности трансект структуры экологического каркаса и исключительно в хозяйственных интересах населения. Помимо увеличения количества осваиваемых площадей в бассейне реки быстрыми темпами происходят и структурно-архитектурные преобразования городской структуры. Все градостроительные работы приводят к ускоренным во времени процессам денудации ландшафтов, нарушению законов соразмерности элементов и форм рельефа, изменению направленности и интенсивности рельефообразующих процессов, приводящих к эрозионно-опасным явлениям. Образующиеся после выравнивания рельефа и засыпки овражно-балочной сети техногенные морфолитосистемы состоят из двух основных горизонтов: нижнего рыхлого искусственно насыпного водопроницаемого и верхнего асфальто-бетонного водонепроницаемого. Такая структура неустойчива, так как стремится вернуться в изначальное состояние (Лихачева, Тимофеев, 2002). Овражно-балочная система за счёт активизирующихся суффозионных процессов вызывает обрушения поверхностных покрытий. Изменяется и структура водосборных бассейнов, условия формирования водности, сноса твёрдого стока, аккумуляции загрязнений. Процесс приводит к деградации, в первую очередь, внутригородских аквальных комплексов, дистрофии экологических систем, нарушению структуры экологического каркаса, а, следовательно, к дисбалансу обмена веществ, энергии и информации в окружающем пространстве.

Строительство, проводимое в рамках реализации программы «Универсиада-2013» и решения архитектурно-планировочной концепции спортивного природно-рекреационного комплекса с размещением футбольного стадиона на 45000 зрителей и дворца водных видов спорта на правом берегу Казанки, следует признать меньшим из всех прочих издержек градостроительной деятельности, как не наносящего значительного экологического ущерба.

Устойчивое подземное питание Казанки определяет постоянное обновление воды устьевой зоны реки, которое техническим преобразованием прибрежной части акватории правобережья изменить невозможно. В данном случае частичная засыпка мелководий, наоборот, должна способствовать увеличению проточности речной воды по основному руслу. В настоящее время водные потоки искусственно зарегулированной зоны устья реки распадаются на множество маломощных второстепенных сейшевых течений, способствующих донному илонакоплению. Дно Казанского залива уже сегодня нуждается в технической чистке, поскольку только за последние двадцать лет глубина водоёма уменьшилась в среднем по акватории на два метра. Донные отложения представляют собой массу тёмного ила, содержащего тяжёлые фракции загрязнений и механических примесей, которые не выносятся с твёрдым стоком в водохранилище по зауженным под последовательно расположенными городскими мостовыми пере-

мычками участкам русла, а, следовательно, скапливаются на определённых местах и, несомненно, представляют угрозу вторичного загрязнения. Современная батиметрическая съёмка показывает, что максимальная глубина в зонах интенсификации городской застройки не достигает четырёх метров, конфигурация линии распределения глубоководных мест по акватории залива соответствует линии уреза воды в маловодный 2010 г. (Рис. 6).

Таким образом, уязвимым звеном в процессах формирования водности Казанки является вероятное изменение режима подземного питания реки. Если поступление подземного притока по каким-то причинам будет нарушено и примет другое направление разгрузки, например, непосредственно в Волгу, Казанка потеряет практически 50% водности и деградирует. Наиболее уязвимой территориальной единицей в бассейне Казанки является зона расположения системы «Голубых озёр» Высокогорского района, активное освоение которого в целях застройки может способствовать изменению режима формирования стока.

Алгоритм, применённый в данной работе для выявления пространственно-временной схемы формирования структуры и функциональности речного бассейна Казанки, безусловно, на наш взгляд, является конструктивным элементом в поиске компромисса между социальными, экономическими и экологическими интересами в целях достижения гармонии в окружающей среде, при которой механизмы экономического развития не нарушали бы естественного хода природных процессов.

Литература

Дедков А.П., Мошкова Л.В., Пенькова Н.В. Гетерогенная структура гидрологической системы Татарстана как фактор изменчивости водораздельных озёр. *Мат-лы науч. конф.: «Функциональные проблемы изучения и использования воды и водных ресурсов»*. Иркутск. 2005. 307-309.

Красная Книга Республики Татарстан (животные, растения, грибы). Изд-е второе. Казань: Изд-во «Идел-Пресс». 2006. 832.

Лихачёва Э.А., Тимофеев Д.А. Геоморфология городских территорий. Рельеф среды жизни человека (экологическая геоморфология). М.: Изд-во «Media-press». Т.1. 2002. 514-516.

Можжерин В.И., Курбанова С.Г. Деятельность человека и эрозионно-русловые системы Среднего Поволжья. Казань: Изд-во «Арт Дизайн». 2004. 73.

A.T. Gorshkova, O.N. Urbanova, A.A. Minullina. **Geomorphological fundamentals of the basin structure formation and water volume of Kazanka river (Tatarstan Republic).**

The main system-forming factors of watershed structure of Kazanka river are identified. The spatio-temporal dynamics of runoff regime is investigated. The level of sustainability of water basin ecosystems is estimated. The mechanism of self-regulation of water is defined. The principles of territorial space mastering are considered.

Keywords: watershed, formation of river runoff, geomorphology, human factor.

Алсу Альбертовна Минуллина

Научный сотрудник лаборатории гидрологии. Научные интересы: состояние малых рек и их водосборных территорий, качество водных ресурсов, экологическое картографирование.

Институт проблем экологии и недропользования АН РТ
420087, Казань, ул. Даурская, 28. Тел.: (843) 298-56-10.