

УДК 551.435.13

Г.В. Морозова*, С.А. Двинских, Т.П. Девяткова, О.В. Ларченко

ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА И СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ ВОДОХРАНИЛИЩ В РЕЗУЛЬТАТЕ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНОЙ СМЕСИ²

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: hydrology@psu.ru

*Естественнонаучный институт ПГНИУ, 614990, Пермь, ул. Генкеля, 4; e-mail: eni.kiv@mail.ru

На основе системной методологии предложен подход к изучению изменения гидрологического режима и состояния экосистем водохранилищ в результате разработки месторождений песчано-гравийной смеси. Показан механизм формирования ямы размыва и посадки уровня в нижнем бьефе Камского гидроузла.

Ключевые слова: водохранилище, гидрологический режим, месторождения песчано-гравийной смеси, посадка уровня, мутность воды

Для современного развития общества характерен всеобщий общественный и научный интерес к проблемам рационального природопользования. Это касается и вопросов создания, использования и изучения водохранилищ и прилегающей к ним территории. К настоящему времени накоплен достаточно объемный исследовательский материал, посвященный изучению отдельных водохранилищ, процессов формирования их водного, гидродинамического и гидрохимического режимов, гидробиологического комплексов. Но системных исследований, связанных с изменением гидрологического режима в результате разработок полезных ископаемых в русле рек, чаще водоемов, не было. Сложность оценки последствий разработки русловых месторождений на водохранилищах объясняется сложностью взаимодействия многочисленных процессов: геологических, гидрологических, гидромеханических и др. Каждый процесс является предметом изучения разных наук, имеющих собственные методологические подходы и методы исследований.

Таким образом, суть проблемы заключается в создании структуры методологического знания на предельно общем уровне, который позволяет решать конкретные практические задачи. Для целей решения поставленных задач и с учетом имеющейся информации по характеру разнородных процессов наиболее приемлемым способом изучения систем является системная методология (СМ). Эта методология была адаптирована нами к изучению рационального использования месторождений песчано-гравийной смеси на камских водохранилищах. В качестве системы принимается участок водохранилища в районе месторождений песчано-гравийной смеси (ПГС).

На основе принятого в СМ языка исходных понятий полная информация о системе как определенной части более общей целостности должна представлять совокупность представлений о ее структуре, функционировании и развитии. Структура выражает способ связи внутренних элементов системы. Элементы и связи могут иметь как материальное, так и организационное содержание. Связь между элементами выражается в существовании зависимостей между ними. Систему понятий, характеризующих изменения свойств иерархически целостной системы, представляет пара «функционирование – развитие». Функционирование выражает циклически повторяющийся процесс взаимодействия частей объекта в условиях неизменной (или заданной) структуры его внутреннего содержания. Процесс развития проявляется во взаимодействии состояния функционирования: исходного, идеального и необходимого.

Формой системно-методологического знания является структурно-функциональная схема, отражающая взаимосвязи на разных уровнях. Конструктивная особенность этой схемы – ее триадное выражение. Диалектическая триада на уровне СМ имеет конкретное содержание. Это выражается в том, что в любой системе на каждом иерархическом уровне существуют три необходимые и достаточные части: 1) основная, выражающая функцию всей системы в системе более общего вида (надсистеме); 2) вспомогательная – диалектически противоположная основной части и 3) обеспечивающая их взаимодействие [1].

С точки зрения СМ элементы могут быть разделены на три вида: системообразующие элементы объединяют всю систему в единое целое; внешние элементы определяют внешние воздействия; результирующие элементы отражают результат взаимодействия первых двух. С учетом этого нами разработана графическая модель в виде структурно-функциональной схемы, отражающей функционирование и развитие экосистемы водохранилища в условиях разработок ПГС. Схема представлена тремя уровнями (I, II, III), которые отражают структуру, функционирование и развитие системы. Каждый из этих уровней содержит три подсистемы, или блока, каждый из них состоит из трех элементов.

На I уровне *подсистема I.1* содержит элементы (факторы), определяющие внешние воздействия – характеристика месторождений ПГС. Среди них объем выемки – основной фактор; местоположение месторождения – обеспечивающий; длительность разработки месторождения – вспомогательный, который может стать основным в условиях возрастания антропогенных воздействий.

Подсистема I.2 отражает системообразующий фактор – водный режим до начала разработки месторождения. В процессе круговорота вещества и энергии водный режим является транспортным звеном и интегрирующим фактором процессов, которые происходят в природном комплексе [2]. Исходные условия не будут одинаковыми по всему водохранилищу и в зависимости от условий регулирования можно выделить три участка по специфике водного режима: нижний бьеф, зона переменного и постоянного подпора. Любое изменение в водном режиме приводит к образованию качественно новой системы. Причем эти изменения могут быть столь существенными, что коренным образом изменят направленность гидрологических, гидрогеологических и биологических процессов на участках разработки месторождений.

Подсистема I.3 представляет структуру измененной системы как результат взаимодействия внешних и системообразующих факторов. Причем глубина и направленность изменений будет различна в зависимости от конкретного сочетания составляющих данных подсистем. Последствия проявляются в изменениях морфологии и морфометрии участка (нарушение устойчивости русла, изменение морфометрических параметров, образование новых форм подводного рельефа), водного режима (изменение объемов водной массы, перестройка гидродинамического режима, формирование «нового» качества воды) и нарушении равновесия водной экосистемы в целом (меняется среда обитания, трансформируется видовой состав фито- и зоопланктона ихтиофауны, в результате чего формируются качественно новые водные экосистемы).

Уровень II содержит элементы, которые отражают специфику функционирования подсистем (и их составляющих) первого уровня. В зависимости от конкретного сочетания между ними могут формироваться качественно новые системы, в которых степень проявления негативных изменений может быть несущественной, значительной, а порой и катастрофической.

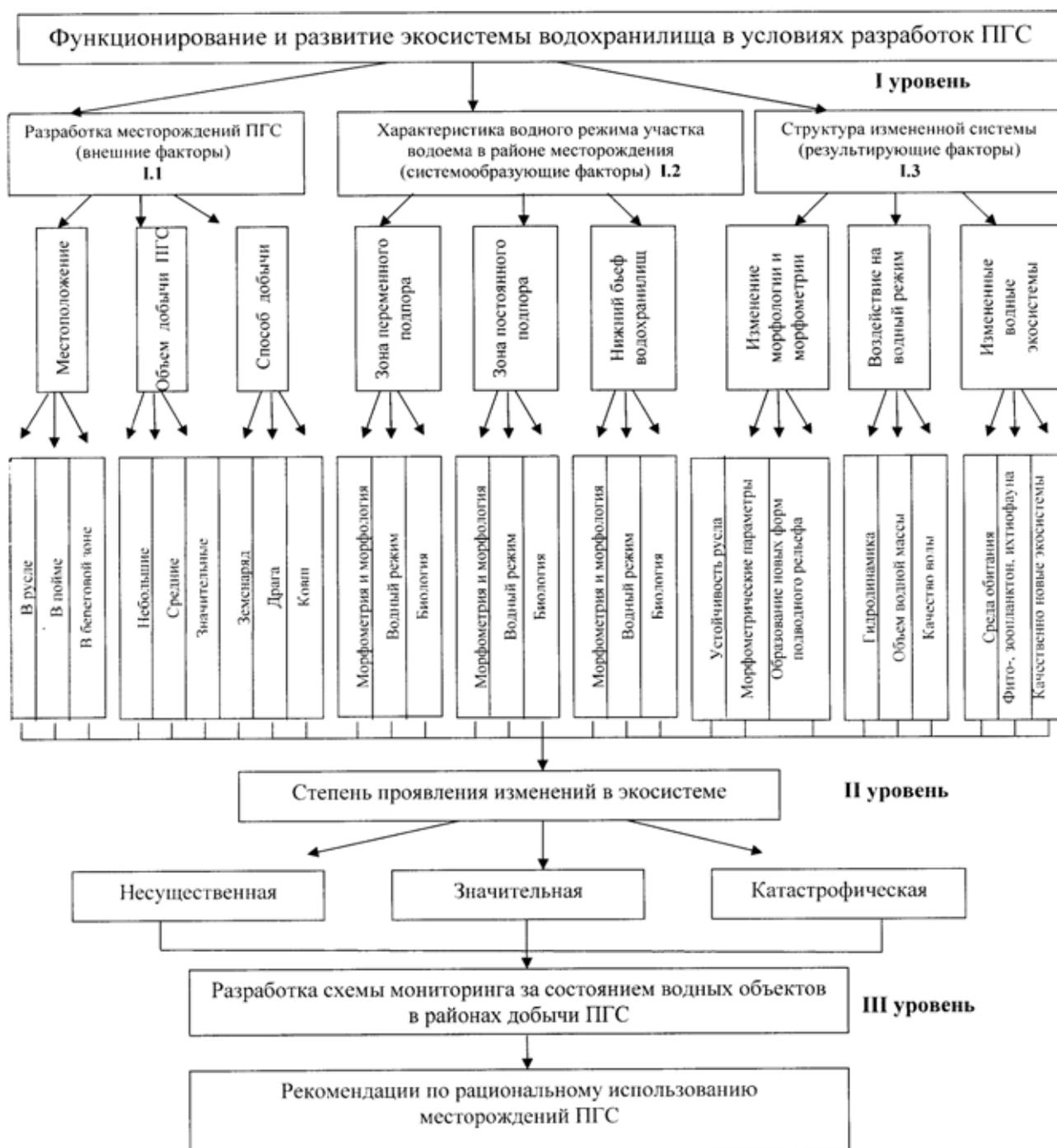
На III уровне отражено развитие системы. Этот уровень проявляется во взаимодействии состояния функционирования: исходного (современного), идеального (принципиально возможного) и необходимого (практически осуществимого). Третий уровень является предельным для изучаемого цикла. Это значит, что система водоема полностью охарактеризована на данный момент времени, если даны описания всех составляющих I и II уровня и их связей. Система является открытой, так как развивается в результате внешнего воздействия. Третий уровень предполагает выбор оптимального сочетания элементов для выработки рекомендаций по рациональному использованию месторождений в виде ограничения, разрешения либо полного запрета разработки. Контроль за развитием системы осуществляется регулярным мониторингом за состоянием водных объектов в районах добычи ПГС.

Разработанная на основе СМ универсальная концептуальная схема (рис.) позволяет научно обоснованно определить задачи, направление и этапы исследований, а именно: изучение функционирования и возможностей развития системы при заданной или предварительно установленной ее структуре.

С помощью приведенной концептуальной схемы нами изучены особенности водного режима нижнего бьефа Камского водохранилища, дана характеристика Гайвинского руслового месторождения песчано-гравийной смеси и выполнена оценка влияния разработки ПГС на деформацию ложа водохранилища; составлены планы линий тока.

Согласно принятой структуре исследований, изучение должно начинаться с характеристики водного режима участка водоема в районе участка месторождения. Это объясняется тем, что разработка месторождения приводит к изменению водного режима и создает условия для развития риска, как для находящихся в русле гидротехнических сооружений, так и для экосистемы водоема. Гайвинское месторождение песчано-гравийной смеси расположено в русле р. Камы в 2 км ниже плотины Камской ГЭС в административной черте г. Перми. Участок водоема в районе разработки

представляет собой слабо изогнутый плес. Характерной особенностью района является своеобразие его гидрологического режима. Он одновременно является нижним бьефом Камской ГЭС и находится под влиянием переменного подпора от плотины Воткинского гидроузла.



Структурно-функциональная схема, отражающая влияние разработок ПГС на функционирование и развитие экосистем водохранилищ

Специфика гидрологического режима определяется планом эксплуатации ГЭС и обоих водохранилищ, работающих в каскаде. В связи с этим участок в пределах месторождения является очень сложным в гидрологическом и гидравлическом отношениях. Специальные исследования, выполненные нами в районе выклинивания подпора, позволили выявить особенности колебаний уровня в связи с пусками Камской ГЭС и распространением волн в подпертом бьефе. Анализ материалов показал, что здесь возникают колебания, обусловленные прохождением прямых и «обратных» волн пуска. Явление «обратной» волны возникает в случае прекращения поступления

воды с Камской ГЭС. Через 6-8 ч после этого наступает положение, при котором уровни воды в районе выклинивания подпора будут ниже, чем у Воткинской ГЭС. Значения скоростей приближаются к нулю, а уклон зеркала становится отрицательным. Под действием отрицательного уклона возникает движение воды от Воткинской к Камской ГЭС. На участке Пермь – Краснокамск отмечаются наибольшие колебания уровня воды в результате недельного и суточного регулирования.

Таким образом, нами установлено, что суточные колебания уровня, как и изменения других элементов гидрологического режима, определяются в значительной степени прохождением по бьефу длинных волн. При прохождении прямой положительной волны подъем уровня у КамГЭС составляет 50-60 см. Обратная отрицательная волна вызывает понижение на 3-2 см, а прямая отрицательная волна дает понижение до 60-70 см. Обратные положительные волны вызывают незначительное, 5-8 см, повышение уровня. Характер волновых колебаний уровенной поверхности нижнего бьефа осложняется явлением резонанса, когда период собственных колебаний волнового цикла совпадает с периодом вынужденных колебаний (за счет сброса воды через КамГЭС). В этом случае происходит некоторое увеличение колебаний уровня. Скорость перемещения прямой волны составляет в среднем 8,6 м/с, а отраженной – 6,9 м/с. Можно сделать вывод, что на рассматриваемом участке отмечается резкое изменение уклонов водной поверхности; в режиме скоростей течения наблюдается четкая зависимость между величиной и продолжительностью попусковых расходов, высотой стояния уровня и величиной и направлением течения. При резком увеличении расходов воды через ГЭС отмечается усиление основного проточного течения. В среднем скорости течения увеличивались в 5-7 раз; сдвиг во времени между максимальными расходами и скоростями течения составляет от 1 до 3 ч; время, в течение которого скорость движения водной массы приходит в соответствие с величиной расхода, составляет 5-6 ч.

Другой особенностью скоростного режима этого участка является формирование обратных течений. Обратные течения вызываются волновыми колебаниями и связанными с ними изменениями уклона. Продолжительность существования обратного течения, по данным проведенного эксперимента, составляет в среднем около 5 ч. Его максимальная величина не превышает 14-16 см/с.

По глубине скорости течения распределены неравномерно. Своеобразие динамики поверхностных и придонных скоростей заключается в следующем: в период интенсивного увеличения скоростей течения (при прохождении прямой положительной волны) отмечается значительное превышение абсолютной величины придонных скоростей над поверхностными, составляя 10 см/с и более. Затем происходит постепенное выравнивание скорости течения по вертикали.

В случае прямой отрицательной или отраженной положительной волны интенсивность сокращения поверхностной скорости значительно меньше, чем придонной. Таким образом, придонные слои быстрее реагируют на изменения попусковых расходов.

Таким образом, гидрологические условия района месторождения осложняются его местоположением в каскаде камских водохранилищ (зона сопряжения) и не могут не определять особенности протекания процессов занесения подводных карьеров. Разработка месторождений песчано-гравийной смеси не может не оказывать влияния на русловой режим рек и переформирование дна и берегов водохранилищ. К числу негативных воздействий относится снижение уровней воды выше разрабатываемых карьеров. Согласно «Руководству по проектированию русловых карьеров» [3] при оценке воздействия разработки карьеров по добыче ПГС необходимо учитывать тип водоема и место расположения карьера, намечаемые объемы и сроки извлечения. Однако в «Руководстве...» изложены методические указания по расчету карьеров на естественных водотоках и их различных морфологических участках, в верхних бьефах и зонах переменного подпора низконапорных плотин. Ни к одному из типов участков нижнего бьефа Камской ГЭС не относится, так как отличается своеобразным сочетанием двух видов неустановившегося режима.

Гайвинское месторождение, разведанное в 1988 г., не имеет сплошного контура подсчета запасов и представляет собой три разобщенных участка – два в верхней по течению части площади геологоразведочных работ и один, вытянутый более чем на 2 км вдоль правого берега, в низовой части участка. Песчано-гравийные отложения содержат гравий в количестве 21,2-76,0%. В заполнителе – песок средний (реже крупный), местами с включениями отдельных валунов, прослойками ила и суглинка средней плотности, водонасыщенные, мощностью не превышающие повсеместно 6 м (чаще 3 м). Общая мощность аллювиальных отложений составляет в среднем 2,82 м. Оработка месторождения началась в 1985 г., при этом объемы добычи увеличивались с 2,0 до 320 тыс.м³ (1990), а начиная с 1991 г. объемы добычи снижались (за период с 2006-2008 гг. было изъято около 30,0 тыс. м³ грунта).

Считаем, что положение карьеров вблизи плотины КамГЭС (8-9 км ниже сброса воды) создает опасность понижения (посадки) уровня в нижнем бьефе КамГЭС, образования зоны размыва при меженных уровнях и расходах воды. В то же время подпор от Воткинской ГЭС снижает эту опасность.

Процессы деформации дна связаны со степенью опорожнения бьефа на различных стадиях водного режима, с практически отсутствием области питания взвешенными и влекомыми наносами, величиной сбросов воды через вышележащую плотину и т.п. Поэтому оценка деформаций основывается на использовании натуральных материалов по состоянию дна; расчетов транспортирующей способности потока на основе балансового метода; оценки понижения уровня; рекомендаций по оценке степени воздействия добычи ПГС на режим реки. Наличие русловых деформаций оценивалось по материалам русловых съемок участка проектируемых карьеров, выполненных в период с 1976 по 1992 г., с 1992 по 2001 г. и 2001-2008 г. Анализ совмещенных планов русла в пределах участка, а также совмещенных профилей по четырем опорным створам показывает, что в эти периоды направленные изменения дна отсутствовали. Отмечены локальные размывы и намывы, связанные с движением донных гряд. Изменения отметок дна составили $\pm 1-2$ м. Таким образом, при отсутствии разработок ПГС русло р.Камы ниже Камской ГЭС является достаточно стабильным.

Определение характера и интенсивности посадки уровня в нижнем бьефе КамГЭС было выполнено на основе применения разработанной в «Гипроречтранс» методики [4]. Методика предполагает анализ кривых расходов (зависимости расходов воды от высоты стояния уровня). В отличие от естественных речных условий кривые расходов неоднозначны и зависят от естественной водности и характера регулирования. Сопоставление ежегодных кривых со стандартной (предварительно построенной) показало, что происходящее с 1964 по 1976 г. понижение уровня свидетельствует о его посадке, а с 1976 г. наблюдается стабилизация горизонтов воды. При этом объемы добычи ПГС были сравнительно невелики: с 1985 по 1991 г. – от 2,0 до 320 тыс.м³ (1990) и 75,0 тыс.м³ – в 1991 г. Согласно нашим исследованиям посадка уровня в нижнем бьефе Камской ГЭС с 1965 по 2002 г. составила 180 см.

Ориентировочные (упрощенные) расчеты кривых свободной поверхности при заданных расходах воды 2500, 2000 и 1000 м³/с и условии полной выработки карьеров показали, что расчетное снижение уровня в районе выемки составит 0,3-0,4 м по сравнению с «естественными» условиями. При полной выработке карьеров изменяется кинематическая структура потока. Построенный нами план линий тока свидетельствует, что при отметках 89,0 м и выше кинематика потока изменится незначительно и выразится в небольшом смещении течения к правому берегу, при отметках ниже 89,0 м смещение течения к правому берегу становится более выраженным.

Разработка месторождений ПГС ведет к увеличению мутности и площади распространения взмученных масс воды; зон аккумуляции взвесей и др. Степень воздействия добычи ПГС на режим реки характеризуется показателем C (отношение годового объема выработки к годовому объему твердого стока). Во всех ситуациях, когда $C > 0,5$ – зона понижения уровня воды распространяется вверх на большое расстояние. Произведенные расчеты на Гайвинском месторождении показали, что при условии ежегодной выемки 500 тыс.м³, среднегодовом расходе воды 2000 м³/с, величинах мутности 2; 6 и 24 мг/м³ степень воздействия составляет 10; 3,3 и 0,83 соответственно, т.е. разработка карьера при проектируемом объеме выработок приведет к негативному воздействию на участок, непосредственно примыкающий к зоне сброса воды через плотину КамГЭС.

При разработке месторождений ПГС меняется конфигурация дна и состав выстилающего его грунта, что разрушает биотопы донных животных (зообентос). Производство гидротехнических работ влечет за собой образование зоны (шлейфа) повышенной мутности (зона выноса взвеси). В шлейфе повышенной мутности создаются неблагоприятные условия для жизни рыб, кроме того, нарушаются нормальные условия жизни для организмов, составляющих кормовую базу рыб (зоопланктон и зообентос). Несмотря на то что воздействие повышенной мутности воды носит временный характер (период проведения работ и время восстановления поврежденных ценозов), оно негативно сказывается на воспроизводстве рыбных запасов. Восстановление или формирование новых планктоценозов происходит на следующий год после прекращения работ. Восстановление донных ценозов идет медленно с потерей части видов и снижением (до 60% от исходной величины) биомассы бентоса. В экологической зоне Пермского края срок восстановления зообентоса равен 5 годам.

В зонах разработок многократно увеличивается мутность, снижается прозрачность, уменьшается содержание кислорода, повышается количество органики и отходов технического производства,

изменяется санитарно-микробиологическое состояние водоема. Водные организмы оказываются в условиях обитания, резко отличных от нормальных, причем пагубному воздействию подвергаются все группы гидробионтов. На ихтиофауну оказывается как прямое (гибель кладок икры, личинок и молоди рыб), так и косвенное (потеря кормовой базы, ухудшение среды обитания, изменение естественных условий воспроизводства рыб) воздействие. У рыб, населяющих прирусловые биотопы (леща, судака, чехони) в районах разработок месторождений ПГС, происходит угнетение темпа роста в среднем на 10,5-16,3%. По материалам Пермского отделения ГОСНИОРХ, у рыб прибрежной зоны (щуки, плотвы, окуня) таких отклонений в росте не наблюдается, либо они минимальны.

Ущерб рыбным запасам наносится и в результате нарушения экологического состояния водоема в районе разработки ПГС, где происходит повреждение дна при выемке грунта, общее загрязнение толщи водных масс, прилегающих участков при выносе взвеси, в том числе осаждение взвеси на планктонные и бентосные организмы, гибель зоопланктона при заборе воды для технических нужд. Несмотря на то что изъятие породы носит локальный и краткосрочный характер, выбор грунта, как правило, оказывает существенное воздействие на все группы гидробионтов. Многие аспекты этого воздействия до конца не изучены.

Особенностью этого участка является то, что в нижний бьеф поступает очищенная от нерусловых наносов вода, поэтому фактическое количество наносов очень мало, а транспортирующая способность, наоборот, очень велика, т.к. скорости сбросного потока велики. Поэтому возникает явление небаланса, которое компенсируется за счет образования ямы размыва. Это явление приводит к увеличению глубины, за счет чего скорость уменьшается; поток насыщается наносами, поэтому общий размыв нижнего бьефа постепенно уменьшается по длине. За ямой размыва образуется зона аккумуляции. В результате этих явлений река мелеет, что ухудшает устойчивость плотины и использование реки в нижнем бьефе. Нами произведены расчеты транспортирующей способности и критических скоростей перемещения наносов при наличии в нижнем бьефе разработок месторождений ПГС. Расчеты, выполненные для колебаний уровня от 87,0 до 90,0 м БС для весеннего и летне-осеннего сезонов, и сравнение расчетных величин мутности и скорости течения с измеренными, показали, что транспорт наносов осуществляется на участке почти все время в условиях, неблагоприятных для аккумуляции. Наилучшие условия для переноса наносов – при отметке 89,0-99,5 м. Мутность (по материалам Пермской ГМО) изменяется по длине участка от 2-6 г/м³, затем к створу Н.Курья наблюдается резкое увеличение мутности до 2-34 г/м³, что объясняется тем, что осветленный поток насыщается наносами за счет размыва дна. Таким образом, при отметке 89,9 м в русле устанавливается баланс наносов и стабилизация русловых процессов. При более высоких отметках и скоростях течения мутность возрастает и превышает транспортирующую способность, что может приводить даже к локальной аккумуляции наносов. При отметках ниже 89,9 м возникает деформация наносов и усиление размыва дна. Более полную характеристику последствий разработки ПГС для трансформации ложа водохранилища можно дать только при наличии данных мониторинга.

В Пермском крае проводится регулярный мониторинг состояния природной среды, который включает наблюдения за состоянием загрязнения атмосферного воздуха, поверхностных водных объектов. На территории края формируется и действует социально-гигиенический, сопряженный с медико-экологическим мониторингом подземных вод, радиоэкологический и радиационно-гигиенический мониторинг, проводятся регулярные гидрометеорологические наблюдения. В то же время отсутствует мониторинг за русловыми процессами и трансформацией ложа водохранилища. Это ограничивает либо делает невозможным прогноз техногенного воздействия на окружающую среду и исключает своевременное предотвращение аварийных ситуаций на водных объектах.

Библиографический список

1. *Девяткова Т.П.* Исследование водного режима крупных долинных водохранилищ (на примере Камских) на основе системно-диалектической методологии: дисс. в виде науч. доклада на соиск. уч. ст. д.геогр.наук. Пермь: ПГУ, 1997. 74 с.
2. *Ларченко О.В.* Системообразующая роль водного фактора в развитии и функционировании природно-антропогенных комплексов (на примере Усть-Качкинской рекреационной зоны): автореф. дис...канд.геогр.наук. Пермь: ПГУ, 2004. 20 с.
3. Руководство по проектированию русловых карьеров. Министерство речного флота РСФСР. М.:Транспорт, 1987.
4. *Чекаловский Е.Ф.* О методике посадки уровня воды // Метеорология и гидрология. 1990. №4. С. 19-25.

G.V. Morozova, S.A. Dvinskih, T.P. Devyatkova, O.V. Larchenko
THE APPROACH TO STUDYING CHANGE OF THE HYDROLOGICAL MODE AND
CONDITION ECOSYSTEMS OF WATER BASINS AS A RESULT OF DEVELOPMENT OF
DEPOSITS MIX OF SAND AND GRAVEL

On the basis of system methodology the approach to studying change of a hydrological mode and condition ecosystems of water basins as a result of development of deposits mix of sand and gravel is offered. The mechanism of formation of a hole of washout and landing of a level in tail-water of the Кама hydrounit is shown.

К е у в о р д с : Water basin, hydrological mode, deposits mix of sand and gravel, landing of a level

УДК 502.65

Д.Г. Сазонова

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРИМЕНЕНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
В ГИДРОЛОГИИ

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: hydrology@psu.ru

Рассмотрены вопросы, связанные с возможностью применения методов математического моделирования в гидрологических исследованиях. Обосновывается системный подход к математическому моделированию.

К л ю ч е в ы е с л о в а : системный подход; математическое моделирование; водный объект.

Математическое моделирование является одним из основных методов в современной гидрологии. Оно неизмеримо расширяет возможности последней как в ее фундаментальных исследованиях, так и в области ее практических приложений. В то же время в научных исследованиях возрастает значимость системной методологии.

С развитием науки и техники объект исследований непрерывно усложняется, и поэтому исследования говорят о нем как о некоторой сложной системе, которая состоит из различных компонент, взаимосвязанных друг с другом. Следовательно, рассматривая системный подход как основу для построения больших систем и как базу создания методики их анализа и синтеза, прежде всего определим само понятие системного подхода как средства создания целостного представления о системе на основе законов диалектики.

Целостность можно представить как совокупность всех элементов, связей, свойств, выражающих специфику объекта (процесса, явления), т.е. это система, где каждый элемент выполняет свою определенную функцию [1].

Для охвата целостности необходимы и достаточны три составляющие (по Гегелю):

- 1 – тезис (основная, определяется исходя из проблемы);
- 2 – антитезис (вспомогательная, дает возможность функционировать основной);
- 3 – синтез (обеспечивающая взаимодействие первых двух).

Таким образом, системное изучение любого объекта (процесса) должно строиться на фундаментальной структурной схеме (табл. 1).

В свою очередь, сам системный подход можно попытаться представить как триадный (основное), дедуктивный (вспомогательное) и логичный (обеспечивающее).

Обозначив необходимые элементы системы, попытаемся представить основные понятия математического моделирования.