

УДК 556.01

С.А. Двинских, Т.П. Девяткова, О.В. Ларченко

**ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА  
В ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Показаны возможности применения системного подхода в гидрологии. Рассмотрено использование системного подхода при изучении процессов, происходящих в водохранилище, и при разработке схемы управления водными ресурсами.

Ключевые слова: системный подход, водные ресурсы, схема, водные системы.

Согласно Д.Харвею применение абстрактного методологического инструментария конкретной науки предполагает соблюдение двух основных условий: 1) этот инструментарий должен быть в *принципе* пригоден для *любой* конкретной науки и 2) любой метод предполагает некоторое “предуготовление” того объекта, к которому этот метод собираются применять [6]. Таким образом, выбранный для исследования объект должен обладать наиболее возможной сложностью, а метод исследования — стремиться к универсальности.

По нашему мнению, этим условиям отвечает системный подход. В отличие от комплексного системный подход предполагает не суммирование обобщений по многочисленным элементам общего природного процесса с последующей увязкой результатов, а определение необходимых характеристик, способ взаимосвязи которых даёт представление о системе (явлений, процессов, объектов) как об органической целостности.

Имеющиеся предпосылки и разработки общенаучной методологии исследования сложных систем позволили сделать попытку создания концептуальной модели, отражающей представления о структуре и особенностях функционирования системы природных процессов в водохранилище, как водоеме, обладающем высшей степенью сложности. Концептуальная модель представляет собой совокупность, состоящую из:

- 1) структурной схемы процессов, происходящих в водных объектах (водная экосистема);
- 2) схем функционирования составных частей (элементов) структуры — в общем абстрактном и конкретном для каждого элемента выражении;
- 3) системы показателей процессов и явлений, представляющих информацию о структуре, функционировании и развитии системы.

Применение системного подхода в гидрологии предполагает использование основных принципов системной методологии при изучении водных объектов. Применение этих принципов позволяет расчленять (анализировать) и интегрировать (синтезировать) любое целое, учитывая особенности структуры и динамику частей этого целого. В связи с этим большое значение имеет выделение объекта исследования (геосистемы), для которого характерны целостность, иерархичность, взаимозависимость и взаимообусловленность всех его частей, процессов и явлений. Если исходить из того, что геосистема — это часть географической оболочки, характеризующаяся совокупностью элементов, имеющих общий базис, определяющий целостность этой совокупности [1], то водохранилище (и любой другой водный объект) является геосистемой. Оно имеет единый базис (долину реки, озеро, копань) и его компоненты тесно связаны друг с другом.

Применение системного подхода к изучаемому водному объекту требует четко сформулировать цель исследования. Это позволит разработать схему исследования структуры объекта, взаимосвязанных с ней процессов, обеспечивающих его функционирование и развитие. Иначе говоря, разработать логическую схему (своего рода «*дорожную карту*») исследований, описывающую структуру, функционирование и развитие изучаемого объекта.

---

© Двинских С.А., Девяткова Т.П., Ларченко О.В., 2015

**Двинских Светлана Александровна**, доктор географических наук, профессор, зав. кафедрой гидрологии и охраны водных ресурсов Пермского государственного национального исследовательского университета, Россия, 614990. Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: hydrology@psu.ru

**Девяткова Тамара Павловна**, доктор географических наук, профессор

**Ларченко Ольга Викторовна**, кандидат географических наук, доцент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов Пермского государственного национального исследовательского университета, Россия, 614990. Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: larhchenko@yandex.ru

Всеобщая связь всех явлений и процессов в объекте выражается на общем иерархическом уровне, где находятся подсистемы первого порядка: «биологическая» (основная часть), «химическая» (вспомогательная) и «физическая» (обеспечивающая) формы организации материи. На следующем уровне каждая из подсистем состоит, в свою очередь, из трех подсистем второго порядка, взаимосвязи и отношения которых носят более сложный характер. Элементы третьего уровня отражают проявление гидрофизических, физико-химических, гидрохимических процессов; общий процесс стока: «формирование водного режима» (характеризующееся водным балансом, морфометрией водоема). Этот уровень является предельным: экосистема водоема полностью освещена, если даны описания составляющих и их связей (рис. 1) [4].

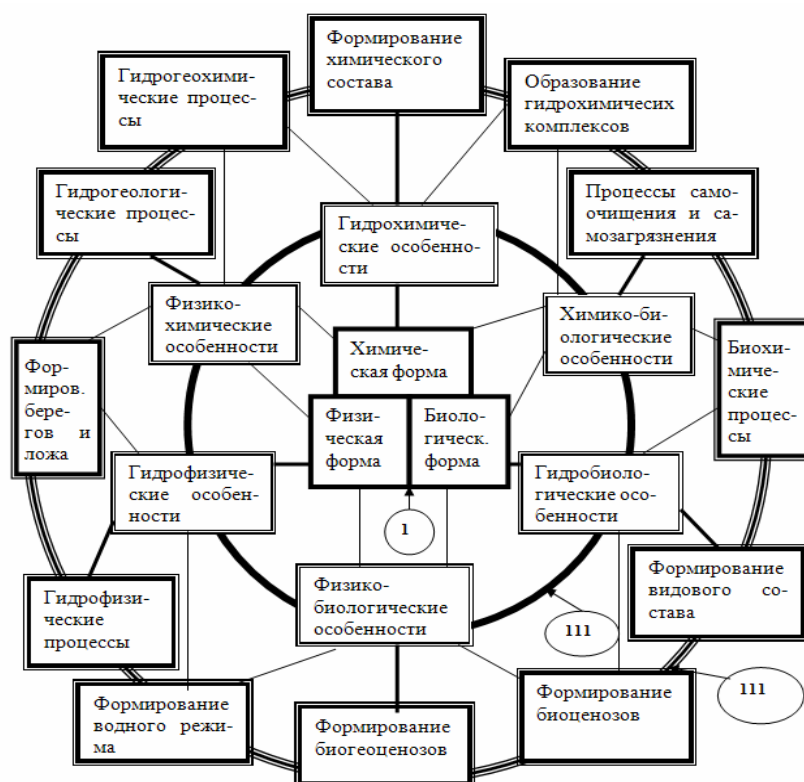


Рис. 1. Структурная схема процессов в водных экосистемах:

I — первый иерархический уровень (формы организации материи), II — второй иерархический уровень (особенности взаимодействия форм), III — третий иерархический уровень (взаимодействие процессов)

Система является одновременно замкнутой и открытой. Замкнутость обеспечивается внутриводоемными процессами, открытость связана с особенностями функционирования и определяется обменом веществом, энергией и информацией с окружающей средой.

Схемы функционирования элемента третьего уровня отражают в триадной форме основной процесс переноса и преобразования вещества и энергии (рис. 2).

Дальнейшее расчленение приводит к выделению «элементарных» характеристик — составляющих приходной и расходной частей, баланса, обмена, особенностей трансформации и устойчивости. Теоретический смысл функциональных схем заключается в способе сочетания, взаимодействия и увязки всех составляющих, внешних и внутренних сторон; практический — в определении адекватных характеристик, позволяющих определить эту увязку на разных уровнях; методический — в обосновании балансового метода в определении способов постановки и решения экологических задач.

Системный подход можно использовать и при изучении процессов, происходящих в водохранилище. В этом случае нужно учитывать суть самого процесса. Согласно работам А.А. Богданова основными процессами, происходящими в мире, являются организационные процессы. При этом наблюдаются два противоположных процесса: созидание (организационный процесс) и разрушение порядка (дезорганизационный процесс).

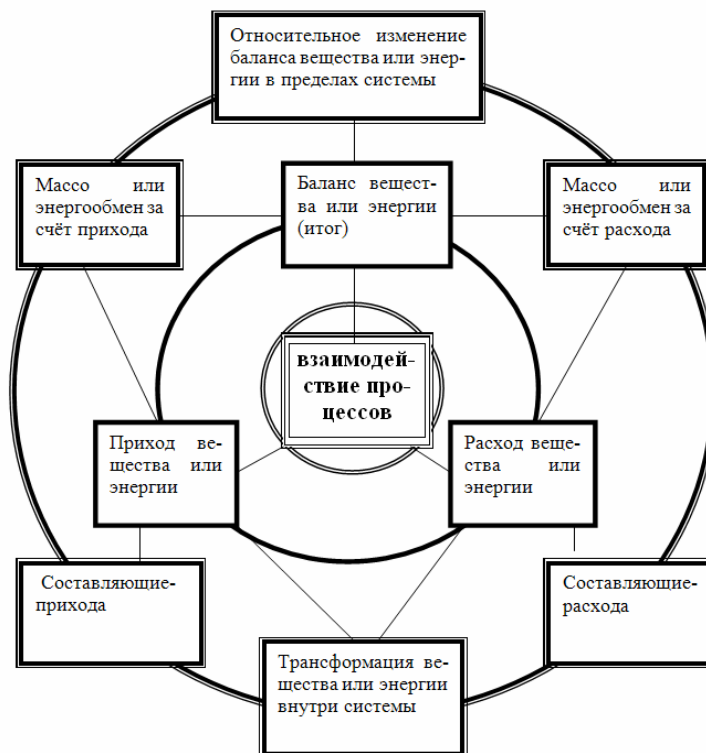


Рис. 2. Схема функционирования элементов водной системы

Подобную организацию в природе можно увидеть в формировании береговой зоны водохранилищ, где процессы развития в геологическом масштабе времени происходят мгновенно и отражают принципы системного подхода: цикличность, характеризующуюся возрастными стадиями развития; однонаправленность — развитие от прошлого к будущему; неравномерность — одновременное наличие прогрессивных (упорядоченных), стабильных (антиупорядоченных) и регрессивных (разупорядоченных) элементов или подсистем [2].

Формирование чаши водохранилища представляет сложный процесс, включающий переработку берегов, развитие мелководий и перестройку рельефа глубоководной части. Его можно разделить на прогрессивный (создание новых форм рельефа), регрессивный (разрушение старых) и стагнационный / нейтральный процесс (формирования рельефа не происходит) (рис. 3).

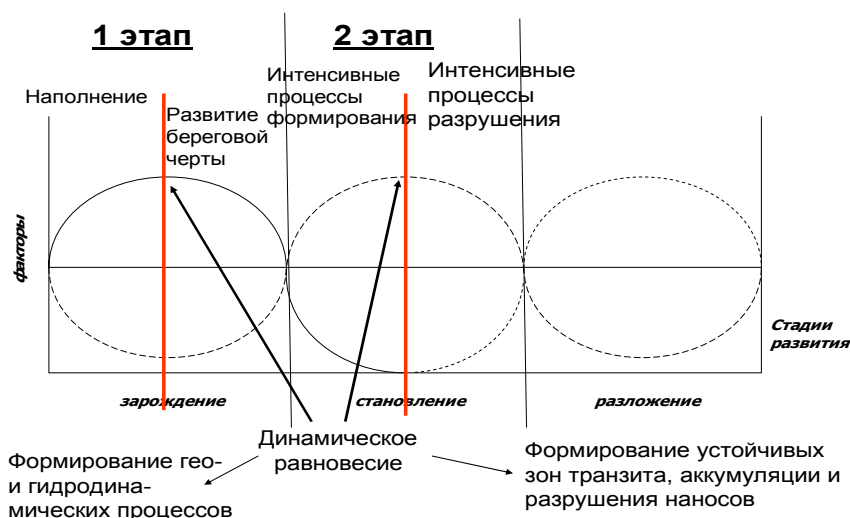


Рис. 3. Схема развития геосистемы: процессы прогрессивные ---, регрессивные .... и нейтральные \_\_\_ [2]

Первый этап включает две части. Первая — наполнение водохранилища. Преобладают нейтральные факторы, процесс формирования не определен. При поднятии уровня, занимающего

несколько лет, формируется «облик» водохранилища, при НПУ формирование новых форм рельефа становится ощутимым.

Во второй части периода волнение оказывает энергетическое воздействие на берега, усиливая деструктивные эффекты, связанные с заполнением водоема, наблюдаются повышенные скорости переработки берегов. Первая часть этапа характеризуется интенсивными процессами формирования. Начинается коренная «перестройка» рельефа исходных речных долин. Особенность этапа — формирование гидрологического режима в условиях активно формирующейся чаши.

В первые годы существования водохранилищ оба процесса (прогрессивный и регрессивный) интенсивно развиваются, береговая зона стремится к состоянию динамического равновесия. Ему соответствует четкая определенность в формировании абразионных, аккумулятивных и нейтральных берегов (стадия становления). На этой стадии действует механизм саморегулирования и дальнейшей самоорганизации береговых систем, приводящий к увеличению протяженности абразионных и аккумулятивных берегов, формированию устойчивых зон разрушений, транзита и аккумуляции наносов.

Третья и четвертая стадии характеризуются усилением механизма саморегулирования и завершением процесса самоорганизации береговых систем, которые теоретически должны быть устойчивы в определенном интервале внешних воздействий. Изменение этих воздействий приводит к новому циклу развития берегоформирующих процессов по охарактеризованной выше схеме.

Изучение динамики мелководий позволило сделать вывод, что показателем их развития является изменение изрезанности береговой линии (рис. 4).

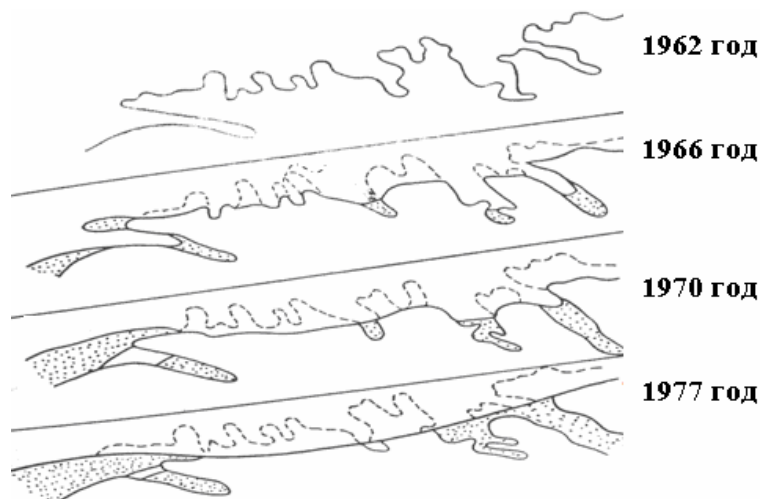


Рис.4. Изменение изрезанности береговой линии во времени (с. Бабка, Воткинское водохранилище) [2; 3]

Коэффициент изрезанности мы предлагаем определять как отношение длины прямолинейного берега  $L$  (к которому стремятся все берега) к длине береговой линии  $L'$ :

$$K = \frac{L}{L'}. \quad (1)$$

Значения этого коэффициента не превышают 1 и приведены в таблице.

#### Значения коэффициента изрезанности береговой линии

Значение $K$	Характеристика берега
$K \leq 0,25$	Берег сильно изрезанный (идет интенсивная переработка берега, его профиль не определен)
$K = 0,50-0,25$	Берег среднеизрезанный (интенсивность переработки берега уменьшается, начинают формироваться зоны абразии и аккумуляции)
$K = 0,75-0,50$	Берег изрезанный (сформированы зоны абразии и аккумуляции; выработан устойчивый профиль берега)
$K = 1-0,75$	Берег малоизрезанный (процессы абразии затухают, переработка берега незначительна и определяется уровнем режимом)
$K = 1$	Берег прямолинейный, переработка практически прекращена

Изучение роли изрезанности в процессе берегоразрушения и формирования мелководий проводилось на мелководьях сел Частые, Елово и Бабка (Воткинское водохранилище). Исследования показали, что между объемами разрушения ( $W$ ) и величиной ветроволновой энергии ( $E$ ) существует тесная связь:

$$W = B \sum E^a, \quad (2)$$

где  $a$  и  $B$  — эмпирические коэффициенты. Нами установлено, что коэффициент  $B$  изменяется идентично объему обрушения и определяется морфометрическими особенностями участка. Для ровного и малоизрезанного берега он колеблется от 0,1 до 1, при сильной изрезанности превышает 2. Коэффициент « $a$ » имеет ход, обратный « $B$ ». Он характеризует диссипацию волновой энергии и не может превышать 1. Между коэффициентом изрезанности и коэффициентами « $a$ » и « $B$ » существуют следующие зависимости:  $a = 0,31 \text{ Кизр}$ ,  $B = 0,96 \text{ Кизр}$ .

Таким образом, использование системного подхода позволяет изучить как состояние водного объекта в целом, так и отдельные протекающие в нем процессы.

Системный подход можно использовать при разработке схемы управления водными ресурсами. В современном мире «устойчивое развитие» признано главным направлением, на которое следует ориентироваться в развитии как отдельных стран, так и планеты в целом. Одна из проблем, решаемая в рамках этого направления, связана с использованием водных ресурсов. В странах ЕС она нашла своё отражение в Водной рамочной директиве (была одобрена Европейским Парламентом и Европейским Советом 23 октября 2000 г.), которая является основным документом Сообщества в сфере водной политики, а Интегрированное управление водными ресурсами (ИУВР) — основным инструментом в достижении её целей. К ним относятся предотвращение дальнейшего ухудшения качества вод, продвижение устойчивого использования воды, основываясь на долговременной охране доступных водных ресурсов, обеспечение постоянного снижения загрязнения подземных вод и предотвращение их дальнейшего загрязнения [5].

Функции, подобные функциям ИУВР, в России выполняют Схемы комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО), которые разрабатываются в рамках Водной стратегии Российской Федерации на 2010–2020 г. На данный момент СКИОВО разработаны или почти разработаны для большинства основных речных бассейнов.

Для бассейна р. Камы в 2010 г. Камским водным бассейновым управлением проводилась разработка СКИОВО в пределах двух водохозяйственных участков, выделенных с учетом расположения основных водопользователей и водопотребителей. Сотрудниками управления был собран большой фактический материал, это позволило рассчитать водохозяйственные балансы, определить величину существующих и допустимых техногенных нагрузок, степень загрязнения воды и состояние экосистем. Кроме того, изучено негативное действие вод (переработка берегов, наводнения и пр.) и определены основные направления деятельности по его предотвращению, предложены мероприятия по охране водных ресурсов с учетом перспектив развития территории. Как показал анализ полученных результатов, разработка СКИОВО не обеспечена в полном объеме информацией, не разработан порядок согласования и утверждения (а значит, и претворения в жизнь) выходной документации и пр. Схема не имеет «прямого действия», не является планом, а служит лишь основой для разработки и принятия планов на федеральном и региональном уровнях в соответствии с действующей компетенцией. Целевые показатели состояния бассейна являются не нормативами, а лишь целями по улучшению состояния бассейна реки. Схема не определяет допустимой антропогенной нагрузки, а служит основой для её определения. Указанные недостатки, по нашему мнению, связаны с отсутствием единой методологии, которая могла бы послужить основой СКИОВО. Правда, в настоящее время в водохозяйственном комплексе России проведены серьезные структурные и институциональные преобразования, создана новая система регулирования водохозяйственной деятельности. В федеральном законодательстве указаны цели, задачи и принципы государственной политики в области водопользования. Однако действующие законодательные и нормативно-правовые акты не всегда соответствуют экологическим и социально-политическим реалиям. Основная проблема здесь, на наш взгляд, — отсутствие научно обоснованной методологии. Такой методологией может служить системно-методологический подход (СМП). Он позволяет при принятии надежных управленческих решений учесть сложность и разнообразие водных объектов, процессов формирования и возобновления водных ресурсов, при этом рассматривает как единое целое элементы системы, имеющие разный генезис: природные и техногенные элементы,

общественные отношения, социальные условия. Основные этапы управления водными ресурсами речных бассейнов приведены на рис. 5.

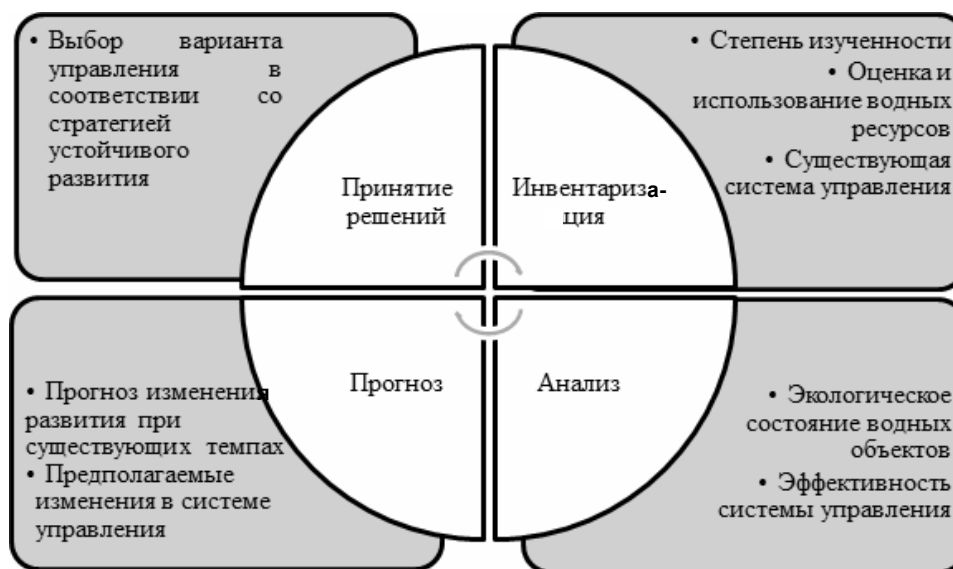


Рис. 5. Основные этапы управления водными ресурсами речных бассейнов [5]

*I-й этап (инвентаризация)* включает сбор данных об изученности водных ресурсов; о природных, техногенных и социальных условиях формирования экологического состояния речного бассейна; существующей системы управления. Основные методы исследований — описательный, статистический, экспедиционный.

*II-й этап (анализ)* содержит характеристику экологического состояния изучаемого объекта и оценку эффективности системы управления водными ресурсами бассейна, показателем которого является состояние самого водного объекта. На этом этапе используются системный анализ и метод экспертной оценки.

*III-й этап (прогноз)* включает в себя прогноз изменения экологического состояния речного бассейна при условии, что его социально-экономическое использование в последующие годы не изменится. Учитывая, что в этом случае обязательно будет происходить изменение экологического состояния (количественные изменения перейдут в качественные), необходимо внести изменения и в систему управления.

*IV-й этап (принятие решений)* предполагает выбор такого варианта управления водными ресурсами речного бассейна, который обеспечит его устойчивое развитие, направленное на стабилизацию (начальное состояние), а впоследствии — на улучшение экологического состояния речного бассейна. Основные методы — системный анализ и экспертная оценка.

На всех этапах необходимо проводить мониторинг, который позволит подтверждать или опровергать результаты этапа. Необходимость его проведения объясняется тем, что интенсификация социально-экономического развития связана с использованием водных объектов и водных ресурсов хотя и относящихся к возобновимым, однако имеющим, как и другие ресурсы, пределы возможного использования. Относясь к региональным, водные ресурсы в то же время обеспечивают возможность жизни современного и будущих поколений людей и развитие многих других регионов.

Водные ресурсы Пермского края количественно не относятся к числу дефицитных, однако развитие водопотребляющих отраслей экономики, в том числе энергетики, химической промышленности и других, увеличивает рост интенсивности потребления воды и усиливает техногенное воздействие на водные объекты и их бассейны.

В настоящее время водные объекты Камского бассейна испытывают различные виды воздействий: регулирование стока, техногенные и рекреационные нагрузки. Последствия этих нагрузок изучены недостаточно хорошо и контроль над ними ведется не на всех водных объектах. Одной из важных проблем техногенного воздействия является загрязнение рек и водохранилищ промышленными сточными водами. На сегодняшний день отсутствует общая схема сброса сточных вод в поверхностные водные объекты бассейна р. Камы. Существующая государственная сеть мониторинга не в полной мере охватывает и контролирует химический состав вод рек бассейна,

а мониторинг состояния побережий водных объектов вообще отсутствует. В связи с этим сложно представить общую картину возможного использования и загрязнения рек. Научно обоснованный подход к рациональному управлению водными ресурсами невозможен без проведения мониторинга. Для целесообразной его организации также может быть использован системный подход (рис. 6).

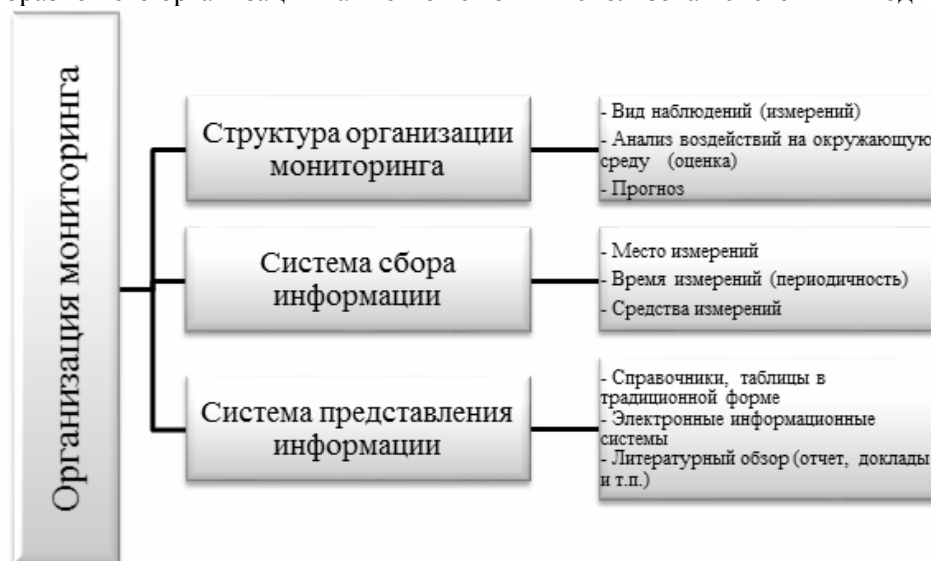


Рис.6. Структурно-функциональная схема организации экомониторинга

Использование предлагаемой схемы управления требует четко определенной стратегии социально-экополитического развития региона. Однако решения (политические, управленческие, хозяйственные) в настоящее время часто принимаются вне зависимости от проблем экологического характера, а иногда носят противоречивый характер. Что касается использования системно-методологического подхода на управленческом уровне, то оно требует обучения, доброй воли и понимания необходимости принятия СМП, что при современном состоянии экополитики, политики, образования, науки и просто существования субъективных амбиций становится весьма проблематичным. Но это не означает, что использование СМП невозможно и неэффективно. Невыполнение вышеперечисленных условий ограничивает эффект от применения СМП, но в то же время даже ограниченное применение системного метода позволяет упорядочить деятельность, представить перспективы ее развития в существующих несистемных условиях. Нами этот подход уже использован при изучении экологического состояния наиболее крупных городов (Березники, Соликамск, Пермь), а также для изучения роли водных объектов в формировании экологической обстановки Пермского края.

#### Библиографический список

1. Двинских С.А., Бельтюков Г.В. Возможности использования системного подхода в изучении географических пространственно-временных образований. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1972. 245 с.
2. Dvinskikh S., Kitaev A., Noskov V., Larchenko O. Formation of Ecological Risk on Plain Reservoirs // Handbook of Engineering Hydrology. Environmental Hydrology and Water Management. London: Taylor&Francis, 2014. Chapter 7. P. 119–144.
3. Двинских С.А., Ларченко О.В. Особенности процессов формирования береговой линии водохранилищ / Фізична географія та геоморфологія. Киев: Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, 2012. С. 35–41.
4. Девяткова Т.П. Исследование водного режима крупных долинных водохранилищ (на примере Камских) на основе системно-диалектической методологии: дис. в виде науч. доклада ... д-ра геогр. наук. Пермь, 1997. 47 с.
5. Тереханова Т.А., Блюмензаат Ф., Двинских С.А., Ларченко О.В. Современные концепции управления ресурсами речных бассейнов // Географический вестник. Пермь, 2012. С. 20–25.
6. Харвей Д. Научное объяснение в географии. М.: Прогресс, 1974.

S.A. Dvinskih, T.P. Devyatkova, O.V. Larchenko

### EXPERIENCE USING THE SYSTEM APPROACH IN HYDROLOGICAL RESEARCH

Showing possible applications of system approach in hydrology. Explains how to use the system approach in studying the processes occurring in the reservoir and in the development of water management schemes.

Keywords: System approach, water resources, the scheme, pedal system.

**Svetlana A. Dvinskih**, doctor of geographical sciences, Professor of the Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State National Research University, Russia, 614990. Perm, Bukireva st., 15. hydrology@psu.ru

**Tamara P. Devyatkova**, doctor of geographical sciences, Professor

**Olga V. Larchenko**, candidate of geographical sciences, Associate Professor of the Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State National Research University, Russia, 614990. Perm, Bukireva st., 15. larchenko@yandex.ru

УДК 551.579

А.Б. Китаев

### КАЧЕСТВО ВОДЫ РЕК ИНЬВА И КУВА В РАЙОНЕ ГОРОДА КУДЫМКАРА ПО МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Рассмотрены и изучены микробиологические показатели качества воды рек Иньва и Кува в пределах центра Коми-Пермяцкого автономного округа г. Кудымкар за десятилетний период наблюдений (2002–2012 гг.). Дан сравнительный анализ качества воды по этим показателям в Коми-Пермяцком округе, Пермском крае, Приволжском федеральном округе и в целом по России.

Ключевые слова: река, качество воды, микробиологические показатели.

Вода — естественная среда обитания для разнообразных микроорганизмов. В воде рек, открытых водоёмов, морей, океанов обнаруживают представителей всех таксономических групп бактерий, а также грибы, водоросли и простейшие. Совокупность всех микроорганизмов, заселяющих водоёмы, обозначают термином «микробиальный планктон». Микрофлора природных вод в значительной степени зависит от их происхождения.

В настоящем исследовании практически впервые рассмотрены и изучены микробиологические показатели качества воды рек Иньва и Кува в пределах центра Коми-Пермяцкого автономного округа г. Кудымкар.

Исследование воды поверхностных водотоков г. Кудымкар проводилось по общим колиформным бактериям (ОКБ не должны превышать 500 КОЕ/100 мл), термотолерантным колиформным бактериям (ТКБ не должны превышать 100 КОЕ/100 мл), колифагам (норма колифагов — не более 10 БОЕ/100 мл) и по возбудителям кишечных инфекций (они должны отсутствовать).

#### Исходные данные

В Коми-Пермяцком округе насчитывается около 260 рек, 170 прудов и озёр. Исследованиями охвачена территория г. Кудымкар, через которую протекают реки Иньва и Кува. Вода данных водотоков является естественной средой обитания многих видов микроорганизмов, которые составляют постоянную водную микрофлору, способную жить и размножаться в воде, участвовать в превращении азотистых веществ, серы, железа, самоочищении водотоков.

© Китаев А.Б., 2015

**Китаев Александр Борисович**, кандидат географических наук, профессор кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов Пермского государственного национального исследовательского университета, Россия, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15, E-mail: hydrology@psu.ru