

УДК 556.3

**СИСТЕМНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА
ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ПОЗИЦИЙ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО
РАЙОНИРОВАНИЯ**

Канд. геол.-мин. наук М.М. Бураков
Канд. техн. наук Л.М. Павличенко

Показано, что проблема оптимизации наблюдательной сети и переориентации ее для реализации системы современных целей государственного мониторинга подземных вод тесно увязана с проблемой систематизации схем гидрогеологического районирования. Рассматриваются системные принципы организации сети мониторинга подземных вод. Система целей гидрогеологического районирования и способы ее реализации сопоставляются с принципом проблемной организации экологического мониторинга, формализованного для самого простого варианта – сокращающаяся сеть при сохранении числа опробуемых параметров.

В условиях дефицита ресурсов поверхностных вод и обострения международных трансграничных проблем подземные воды для Казахстана становятся стратегическим ресурсом, определяющим социально-экономическое и экологическое развитие страны. Изучение и оценка ресурсов подземных вод, их рациональное использование и охрана становятся первостепенными, стратегическими задачами суверенной Республики, а потому актуальность проблемы оптимизации мониторинга подземных вод не уменьшается.

Система Государственного мониторинга подземных вод (ГМПВ) в Казахстане создается сравнительно недавно. Содержание, структура и порядок ведения ГМПВ на территории Республики Казахстан определены Положением о государственном мониторинге недр Республики Казахстан, утвержденном Постановлением Правительства Республики Казахстан № 106 от 27 января 1997 г. Существующая наблюдательная сеть ГМПВ создавалась и развивалась в соответствии с требованиями, разработанными еще в 60-70-е годы, для изучения различных гидрогеологических процессов. В 80-е годы эти требования были уточнены и расширены, в соот-

ветствии с ними начала создаваться наблюдательная сеть по охране подземных вод от загрязнения. За время эксплуатации часть наблюдательных пунктов вышла из строя, часть попала на территорию застройки или частных владений, на ряде пунктов поставленные при их организации конкретные гидрогеологические задачи оказались решенными. На настоящий момент объективно возникла серьезная необходимость оптимизации наблюдательной сети и переориентации ее для реализации системы современных целей ГМПВ.

Согласно упомянутым Положению и Постановлению принята концепция ГМПВ, в которой выделяются фоновая, региональная, локальная и специализированная наблюдательные сети с учетом частных наблюдательных сетей. С позиций этой концепции основными недостатками существующей наблюдательной сети ГМПВ являются: недостаточно обоснованная объектная привязка постов и пунктов наблюдения, так как выполненное районирование территорий не устраняет уникальности каждого выделенного района, а, следовательно, неясной остается репрезентативность наблюдательных постов применительно даже к гидрогеологическим структурам 3-его и 4-ого порядка (соответствующим схеме районирования территории СССР по [17]); наблюдательные пункты часто оборудованы на неэксплуатируемые водоносные горизонты и комплексы; в зависимости от задач всего поста и входящих в него наблюдательных пунктов последние должны иметь специализированные конструкции и оборудование; практически совсем не исследовалась достоверность получаемых по данным режимных наблюдений на существующей сети результатов.

Целью данной статьи является попытка выявления путей оптимизации сети мониторинга подземных вод, в качестве одного из которых мы видим сопоставление принципов организации мониторинга и гидрогеологического районирования с учетом рекомендаций системного анализа по исследованию сложных систем. В качестве модели оптимизации сети мониторинга подземных вод предлагается принцип проблемной организации экологического мониторинга, который может быть частично формализован.

Одним из наиболее ответственных элементов обоснования и оптимизации сети является: 1) назначение системы целей и 2) выбор согласованной с этой системой эвристической модели (рабочей гипотезы) условий формирования подземных вод и их режима [15]. Обоснование системы целей ГМПВ требует всестороннего анализа и обсуждения проблемы

объекта мониторинга. Сложившееся к настоящему времени представление об этой проблеме содержит ряд аспектов, довольно слабо увязанных друг с другом. Так, объектом мониторинга считаются подземные воды, а целью его – информационное обеспечение рационального использования и охраны подземных вод. При этом основными задачами ГМПВ ставятся: наблюдение состояния подземных вод; оценка состояния подземных вод; составление прогнозов изменения состояния подземных вод (в целом – осуществление цели ГМПВ).

Детализация целей обуславливает выделение на следующем иерархическом уровне двух объектов: а) режим и баланс подземных вод и б) охрана подземных вод от истощения и загрязнения. Эти объекты соответствуют следующим целям мониторинга: установление закономерностей режима подземных вод и оценка количественных характеристик процесса формирования последних; оценка состояния подземных вод в районах расположения объектов недр- и природопользования, являющихся действующими или потенциальными источниками загрязнения подземных вод и (или) причиной их истощения.

При таком подходе достаточно искусственным выглядит разделение наблюдательной сети ГМПВ (и соответственно задач ГМПВ) на фоновую, региональную и локальную. Если локальная цель фонового мониторинга – изучение естественного (фоновое) режима как исходного уровня (эталона) при оценке техногенных изменений состояния геологической среды – на первый взгляд вполне обоснована, то цели регионального и локального мониторинга реально разделить сложно: масштабная иерархия целей должна быть четко привязана к масштабному иерархическому районированию. Таким образом, задача выделения иерархической системы целей мониторинга легко решается, если гидрогеологическое районирование реализует системный подход. Проанализируем современную ситуацию с системным подходом в районировании, напомнив предварительно основные рекомендации системного анализа при анализе сложных систем.

Наиболее значительным общенаучным инструментом познания в последнее время становится системный анализ. Необходимо указать на то обстоятельство, что методология (в том числе, моделирование, объектами которого считаются и картографические модели территорий [10]) в гидрогеологии развивалась, вслед за системными представлениями в географии, где на первое место выдвигается задача выделения функции геосистемы. По аналогии с географической для гидрогеологической системы функция

устанавливается на основе изучения взаимосвязей компонентов системы, а изучение миграции вещественно-энергетических потоков дает территориальную приуроченность ее интенсивности – территориальную дифференциацию. С математической точки зрения, многие такие модели можно отнести к графовым, причем характер взаимосвязей и их количественное выражение в принципе можно задавать, в отличие от географических моделей, в которых они задаются на уровне экспертных оценок, исходя из параметров вещественных и энергетических потоков, как внутри гидрогеологической емкости¹, так и на ее границах (вход-выход в емкость и из нее). Привлечение алгоритмов таких моделей может оказаться очень полезным для общего гидрогеологического районирования, обеспечивая его логическую завершенность.

В региональных гидрогеологических исследованиях чрезвычайно широко (хотя и стихийно, во многом неосознанно) применяется системная парадигма, в соответствии с которой в качестве основных свойств природных гидрогеологических систем выделяются иерархичность, наличие взаимосвязей и самоорганизация [22, 26]. Такая формулировка справедлива в основном для природных систем, территориальная дифференциация которых предполагает иерархию. Общая же (формальная) формулировка системой считает совокупность элементов, обладающих связями (переходом по которым соединяются элементы совокупности) и свойством, или функцией, отличным от свойств отдельных элементов [25]. Это новое качество, которое появляется в системе благодаря взаимосвязям, часто называют эмерджентностью. С точки зрения модели структуры системы это новое свойство является выходом исследуемой системы.

Поскольку каждый объект можно рассматривать и как целое (как систему), и как состоящее из отдельных частей (элементов), выделение нижнего звена системы – элементов – определяется исключительно целевой установкой. Точно так же при огромном числе взаимосвязей между элементами и между элементами и окружающей средой выбирают лишь важнейшие для целей рассмотрения. При этом обратные связи выступают в роли важнейших регуляторов системы, определяющих ее самоорганизацию [24, 25].

Таким образом, системный анализ предусматривает возможность существования неограниченного количества систем, описывающих один и

¹ Здесь опускается определение термина "гидрогеологические емкости"; в настоящей работе, как и в [4, 8], он используется в том же смысле, что и в [17].

тот же объект или процесс, причем каждая из систем дает верное описание этого объекта или процесса и отражает исходную целевую установку. Таким образом, каждая из систем дает верное объективное описание какой-то стороны (особенности) сложного объекта или процесса и среди них принципиально не может быть лучшей или худшей [27]. Следовательно, может существовать и неограниченное количество моделей, соответствующих построенным системам.

Этот вывод, в частности, по отношению к геосистемам делает В.Б. Сочава, который подчеркивает, что построение модели сложного объекта или процесса принципиально невозможно с помощью одной модели вследствие большого числа исследуемых параметров и вероятностного характера динамических изменений в геосистеме, а, следовательно, должно осуществляться системами моделей [25].

Вместе с тем, многие проблемы общего гидрогеологического районирования возникают на игнорировании особенностей этого факта: приходится постоянно сталкиваться с тем, что автор той или иной схемы районирования за редким исключением обосновывает ее как лучшую, универсальную.

Необходимо обратить внимание на еще одну современную особенность общего или регионального гидрогеологического районирования – для него до настоящего момента не сформулирована четко система целей и их иерархия (соподчинение). В то же время многочисленные публикации по гидрогеологическому районированию, в которых отражена длительная и сложная история его развития, подтверждают научную и практическую актуальность общего гидрогеологического районирования.

Одной из важнейших задач регионального гидрогеологического районирования, во многом обуславливающей систему целей районирования, является определение объекта районирования. К последнему времени довольно четко определились два основных вида гидрогеологического районирования: специальное и общее, различающиеся системами целей. Специальное районирование проводится, как правило, при решении прикладных или научных задач, имеющих практическое значение в какой-либо отрасли народного хозяйства (водоснабжение, мелиорация, бальнеология и т.д.). Такое гидрогеологическое районирование, имеющее определенную практическую направленность, М.Р. Никитин предлагает считать отраслевым [17], выделяя еще и частное, которое учитывает какой-либо

один показатель гидрогеологических условий (гидрогеохимия, динамика подземных вод и т.п.).

С математической же точки зрения четко формулируется содержание общего гидрогеологического районирования. Последнее представляет собой попытку получения дискретного распределения какого-либо параметра по площади с целью введения весов выделенных территориальных фрагментов при оценках интегрального (суммарного) значения параметра на рассматриваемой площади. В свою очередь суммарные значения параметра в выделенном фрагменте являются следствием более крупномасштабного районирования внутри фрагмента и т.д. Таким образом, детальность районирования задается уровнем генерализации (масштабом), в котором районирование осуществляется. Предложенная формулировка содержания районирования четко предписывает последовательность районирования – от крупномасштабного к мелкомасштабному – что полностью соответствует очевидным подходам к генерализации в картографии.

Сюда тесно примыкает проблема прогностической роли районирования. В [5, 6] мы уже рассматривали прогностическую роль классификации (районирование принципиально может рассматриваться как некоторое выражение классификации) где показали, что отнесение какого-либо объекта к тому или иному таксону классификации (или районирования) возможно лишь на основе некоторого минимума информации об этом объекте. Соответственно классификация прямого прогностического значения (понимаемого таким образом, что соотнесение объекта с каким-то таксоном классификации обеспечивает получение новых сведений о параметрах, характеризующих объект) не имеет. Точно также необходимость генерализации параметров при районировании от крупного масштаба к мелкому исключает возможность априорного выделения объекта мелкомасштабного районирования и его привязки к территории. Именно здесь кроется причина попыток районирования по косвенным признакам – геологическим, геоморфологическим, климатическим и др. особенностям территории; использование последних в качестве основы районирования в принципе снимает проблему синергетического эффекта районирования, так как сходство территорий по косвенным признакам дает новую информацию о гидрогеологических условиях еще не изученных регионов. Степень совпадения районирования по таким косвенным признакам с гидрогеологическим и является предметом обсуждения при анализе подходов к

гидрогеологическому районированию, при обосновании схем такого районирования.

Необходимо отметить следующее. Имеющаяся на настоящий момент гидрогеологическая изученность территорий крупных регионов, тем не менее, не обеспечивает возможность установления четких прямых критериев районирования этих регионов. С другой стороны удалось эмпирически нащупать удачный подход к районированию напорных вод, например, на основе геолого-структурных (косвенных) признаков – геолого-структурные элементы, как оказалось, достаточно точно отождествляются с гидрогеологическими телами, имеющими законченный цикл формирования напорных вод. Точно так же использование в первую очередь геоморфологических параметров территории обеспечило объективное выделение границ гидрогеологических тел, для которых характерен законченный цикл формирования безнапорных (грунтовых) вод. Например, водораздельные линии (водораздельные для поверхностных вод) достаточно четко фиксируют также и дивергентные границы потоков подземных вод, а линии базисов эрозии – конвергентные границы этих потоков. Естественно, что практически все существующие схемы районирования строятся на аналогичном эмпирическом подходе.

Анализ многочисленных схем различных авторов, проделанный в работе [17], показывает, что объектами районирования могут быть как сами подземные воды, так и гидрогеологические тела, обладающие общностью или различиями условий формирования подземных вод. При этом если объектом районирования являются подземные воды, то районирование производится как по прямым, так и по косвенным признакам. В качестве прямых признаков для выделения районов используются показатели, отражающие свойства самих вод (например, их химический состав, минерализацию, тип формирования); косвенных признаков – природные факторы, определяющие закономерности формирования и распространения подземных вод (климат, рельеф, геологическое строение). Районирование по прямым признакам, как отмечает И.К. Зайцев, более совершенно, но требует единой классификации подземных вод, которая пока не разработана.

Надо отметить, что природные факторы, определяющие закономерности формирования и распространения подземных вод (климат, рельеф, геологическое строение), и отнесенные к косвенным признакам районирования подземных вод (как объекта районирования), полностью сов-

падают с набором признаков (особенно в части геологического строения) при выделении гидрогеологических тел, сходных или различающихся по условиям формирования подземных вод (см., например, [17]). Соответственно эти признаки и должны рассматриваться как критерии выделения гидрогеологических тел.

Использование в качестве объектов районирования гидрогеологических тел приводит к большому смысловому и терминологическому разнообразию схем районирования [17]. В работах [4, 7, 8] приводится сравнительный анализ существующих схем районирования с характеристикой существующего состояния системы целей регионального районирования. Оно часто приводит к ситуации, когда возникает вопрос, а зачем, с какой целью, собственно, выполняется региональное гидрогеологическое районирование, если существуют продукты специального гидрогеологического районирования – гидрогеологические карты различного масштаба (охватывающие, в том числе, крупные регионы, территорию всей страны и т.д.), на которых в принципе отражена вся необходимая гидрогеологическая информация.

В [17] как крупнейший недостаток современного регионального гидрогеологического районирования отмечается недостаточная разработанность теоретических и методических вопросов общего районирования, отсутствие общепризнанных принципов и схем и общепризнанной карты общего гидрогеологического районирования территории страны. Использование различных принципов и отличительных признаков районирования приводит к выделению на одной и той же территории несопоставимых таксономических единиц, что исключает возможность их последующего сравнительного анализа. А отсутствие четких критериев для выделения таксонов влечет за собой возможность разработки различных схем даже на основе одних и тех же принципов. Подобное игнорирование системной парадигмы, т.е. стремление к унифицированной схеме районирования демонстрирует большинство гидрогеологов. При этом одной из причин такого положения (не достигнутой до сих пор унификации) называется отсутствие общепринятого понятия "гидрогеологический район" [17]; в этой же книге дается довольно полный обзор существующих понятий, обозначаемых термином "гидрогеологический район", и содержания дискуссии относительно преимуществ и недостатков тех или иных из них.

С позиций системного анализа в существующем многообразии подходов к выделению гидрогеологических районов абсолютно нет про-

тиворечий, как и в обзоре [17]. Дело в том, что во всякой работе (пусть в неявной, скрытой форме) присутствует своя, отличная от других (пусть только какими-то нюансами – хотя бы территориальными), система целей. Именно она и определяет уникальность любой схемы и методики гидрогеологического районирования. Более того, следует признать, что именно эта методика и схема является наилучшей применительно к конкретной системе целей (разумеется, если верна теоретическая база построения и правильно обоснована система целей такого районирования).

Реализуется указанное противоречие наличием двух принципиально различных подходов к районированию грунтовых и артезианских подземных вод. Б.Л. Личков, О.К. Ланге; М.М. Васильевский, А.А. Козырев, У.М. Ахмедсафин и др., в принципе стихийно стоя на позициях системного анализа, были убеждены, что районировать эти воды следует только отдельно, поскольку условия их формирования и распространения определяются различными факторами, которые необходимо учитывать при районировании. Для грунтовых вод это в первую очередь климат, рельеф, геологическое строение (в основном литологические особенности водовмещающих пород), для артезианских вод главным фактором являются геоструктурные особенности территории. И.К. Зайцев, Н.И. Толстихин, А.М. Овчинников, М.И. Врублевский, Н.В. Роговская, Е.В. Пиннекер и др., основываясь на идее единства подземной гидрогеосферы (но отходя от системной парадигмы), приходят к выводу о необходимости совместного районирования грунтовых и артезианских вод.

Если принять во внимание то общее, что есть во всех схемах районирования, можно проследить двухуровневую системную иерархию (отвлекаясь от стратификации). На нижнем уровне осуществляется генерализация прямых признаков до выявления признаков, являющихся для обоих уровней косвенными, и именно эти признаки в верхнем уровне несут прогностическую нагрузку; выделяются новые, не исследованные ранее территориальные структуры со сходным набором косвенных признаков. С точки зрения прогноза ресурсов, такой прогноз вряд ли можно назвать полноценным – выявляется лишь вероятность обнаружения аналогичной схемы формирования подземных вод во вновь выявленных структурах.

В отличие от традиционного двухуровневого иерархического подхода к гидрогеологическому районированию основные принципы системного анализа (конечной цели, единства, связности, иерархии и функциональности), разработанные на основе обобщения опыта научных исследо-

ваний в различных научных и технических сферах, можно представить как рекомендацию рассмотрения любой системы в трех уровнях – сама система, над- и подсистема [23]. Поскольку выходы из надсистемы являются входами в систему, а сами выходы определяют функцию системы (то, что система "умет" делать) и являются входами в подсистему, наибольшего успеха при исследовании этой системы можно добиться лишь при условии ее рассмотрения со всеми входами и выходами. Чем выше иерархическая ступень системы, тем меньшее число параметров управляет ею. И наоборот, чем ниже иерархическая ступень, тем большее число параметров определяет состояние и устойчивость системы, соответственно выявление однородных по свойствам зон требует учета большего числа параметров. Именно поэтому традиционный подход к гидрогеологическому районированию предусматривает выход в надсистему, оперирующую меньшим количеством признаков.

Глобальная цель достигается лишь при площадной дифференциации новых территорий на уровне исследуемой системы, либо еще более детальном (на уровне подсистемы), иными словами, при традиционном двухуровневом иерархическом подходе к гидрогеологическому районированию количественный прогноз ресурсов невозможен. Таким образом, при генерализации на основе такого подхода для уровня надсистемы происходит фактически замена целевой установки: основной целью районирования становится само районирование, задача оценки и учета ресурсов подземных вод становится самостоятельной проблемой и зачастую рассматривается в отрыве от районирования. Поиск выхода из сложившейся ситуации снова приводит к рекомендациям системного анализа [24, 25].

Процедура генерализации с точки зрения системного анализа оказывается выявлением управляющих параметров системы – входов в исследуемую систему – выходов из надсистемы (схемы районирования, выполняемой в более мелком масштабе). С математической точки зрения эта процедура означает свертывание пространства признаков, существует достаточное количество математических моделей для ее осуществления (методы многомерной статистики – компонентный и факторный анализ, кластерный анализ, метод группового учета аргументов и т.д.) [1-3, 11, 13, 14, 16, 20 и др.]. Эти модели, работая только с исследуемой системой, позволяют автоматически (выборкой групп взаимосвязанных признаков) выделить управляющие параметры системы и районировать их по интенсивности проявления в рамках исследуемой системы [12, 18, 20, 22, 23, и др.].

В свете изложенного представляется целесообразным ввести следующую иерархию системы целей регионального гидрогеологического районирования. Основная, главная (глобальная по системной терминологии) цель выполняемого районирования – учет и оценка ресурсов подземных вод на основе систематизации и обобщения результатов всех предшествующих районированию гидрогеологических исследований. Учету и оценке ресурсов подземных вод должно предшествовать выделение гидрогеологических емкостей (в данном случае – это, в зависимости от уровня генерализации, водоносные горизонты и комплексы, системы водоносных горизонтов и комплексов и т.д.) с законченным в пределах этих емкостей циклом формирования подземных вод, с индивидуальными условиями залегания и циркуляции подземных вод. Выявление закономерностей формирования подземных вод и их химического состава представляет собой функцию системы следующего более низкого уровня. На базе этих закономерностей и выполняется собственно учет и оценка ресурсов подземных вод. И, наконец, целью или задачей третьего, самого низкого уровня является выделение гидрогеологических емкостей (рис.).

Мы не претендуем на исчерпывающее и законченное обобщение системы целей регионального гидрогеологического районирования. Однако, во-первых, предложенная схема позволяет впервые достаточно объективно и четко ответить на вопрос, с какой целью районирование выполняется, во-вторых, она дает представление о соподчинении целей в системе, и, в-третьих, не противоречит достаточно расплывчатым представлениям о целевых функциях регионального гидрогеологического районирования.

В приведенной системе целей общего гидрогеологического районирования четко прослеживается связь и соподчинение общего и частного районирования. Отраслевое же и общее по этому признаку не различаются, так как в качестве последнего выступает искусственно введенное отличие по объекту районирования. Как обратную связь от общего районирования к частному можно назвать то, что районирование по условиям формирования подземных вод на основе прямого показателя (например, по величине естественных и привлекаемых ресурсов подземных вод) возможно только в рамках выделенной гидрогеологической емкости с завершенным циклом их формирования. Естественные и привлекаемые ресурсы выступают также и как характеристика входа в выделенную гидрогеологическую систему (емкость) и выхода из нее, определяющая взаимосвязь емкостей.

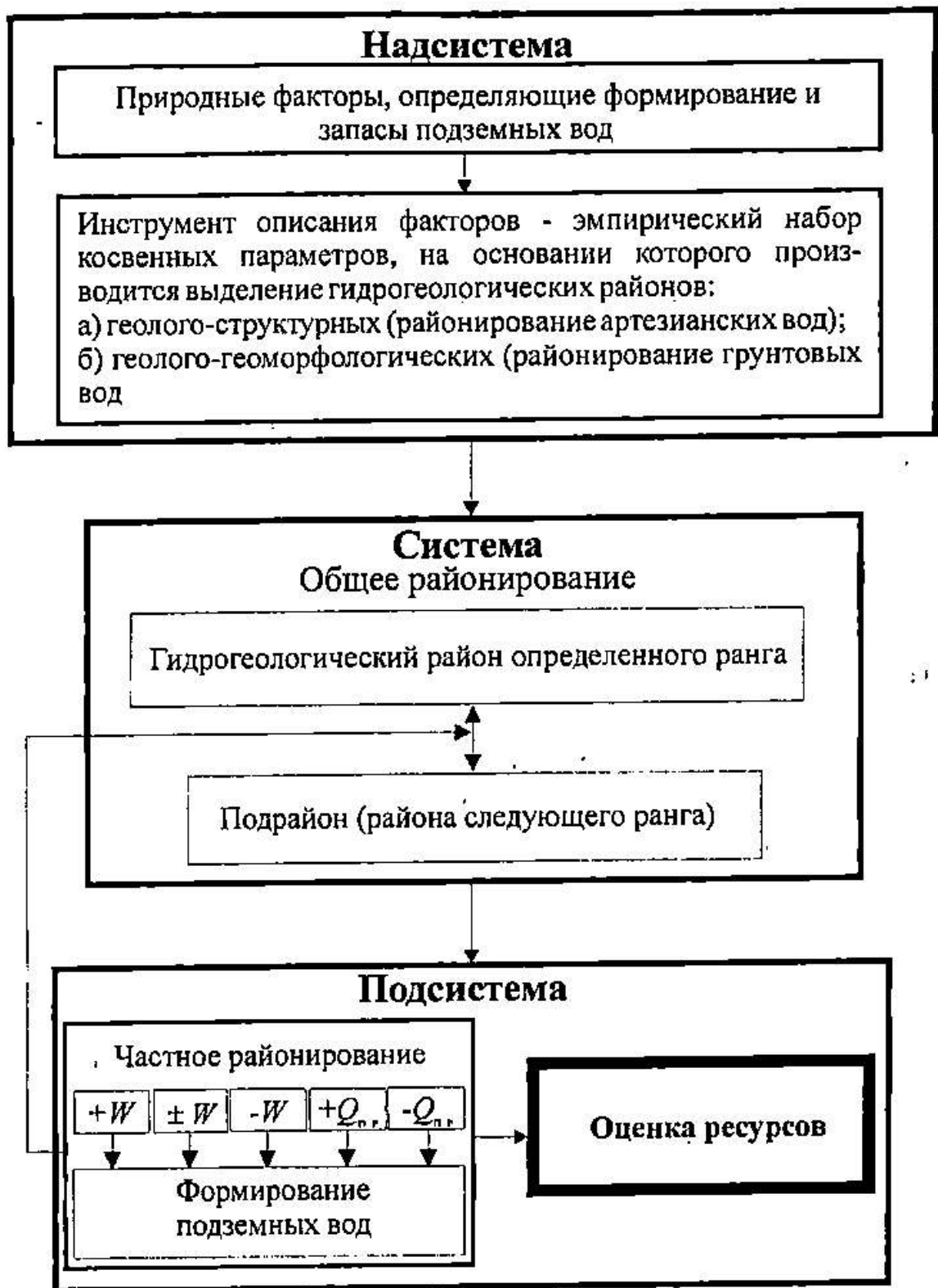


Рис. Общая технологическая схема гидрогеологического районирования (W – инфильтрация или испарение; $Q_{пр}$ – привлекаемые ресурсы)

При входе в исследуемую систему эти управляющие параметры претерпевают изменения в результате воздействия особенностей элементов этой системы. Для территориальных систем управляющие параметры пространственно дифференцируются при входе в систему. В рамках надсистемы такую дифференциацию получить невозможно, поскольку не известна "география" вещественно-энергетических и информационных потоков, преобразующих параметры в системе [27], т.е. основной цели построения исследуемой системы нельзя достичь в рамках надсистемы. Глобальная цель достигается при получении территориально дифференцированной функции (выходов) самой системы – ее подсистемы (см. рис).

Предложенная иерархия целей гидрогеологического районирования работает для всех масштабных иерархических уровней геосистем, для мониторинга и районирования которых как раз и наблюдается практически полное соответствие целей и задач.

Поскольку отсутствие четких критериев для выделения таксонов районирования влечет за собой возможность разработки различных схем даже на основе одних и тех же принципов, трудно выбрать схему районирования, которая полностью отвечала бы всем целевым установкам мониторинга. Тем более что мониторинг ведется, как правило, по достаточно жестко заданной программе, под определенную систему целей. Иными словами, множественность возможных схем гидрогеологического районирования противоречит самой идее мониторинга.

Необходимо принципиальное решение возникшего противоречия.

Сравним ситуацию с экологическим мониторингом [9], в рамках которого намечены пути разрешения противоречий такого рода. Не стоит при этом забывать, что мониторинг подземных вод выступает как подсистема экомониторинга, а подземные воды являются одним из важнейших компонент геозкосистемы. Поскольку окружающая среда – многокомпонентная система, характеризующаяся огромным количеством параметров и их взаимосвязей, экологический мониторинг главной целью ставит выявление функции геозкосистемы для успешного управления ею. Системный анализ определяет функцию системы как новое свойство, появляющееся в результате взаимосвязей элементов [24], и главная задача исследования системы как раз и состоит в поиске этих взаимосвязей. Эффективное решение этой задачи достигается методами математического моделирования и многомерными статистическими моделями. И поскольку прогноз в гидрогеологическом районировании достигается выявлением новых структур,

по которым отсутствуют прямые признаки наличия водных ресурсов, основное внимание должно уделяться моделям довосстановления информации и моделям, работающим в условиях неполной информации.

Комплексное определение большого числа параметров, определяющих функцию геозкосистемы, контролируется ограниченными финансовыми вложениями в систему мониторинга, для успешного изучения этой системы разработан ряд принципов экомониторинга. В качестве основного международного опыт изучения геозкосистем разного иерархического уровня рекомендует принцип проблемной организации, когда на короткое время разворачивается широкая программа наблюдений под определенную проблему (так же и в гидрогеологии при разведке месторождения). После детального изучения этой проблемы, заключающегося в выявлении взаимосвязей наблюдаемых параметров, программа сворачивается, а наблюдения продолжаются по сокращенной сети и/или ограниченному набору параметров [27].

Такую же ситуацию можно наблюдать и в гидрогеологии: при разведке месторождения детально изучаются все качественные и количественные характеристики водных ресурсов, и в то же время эти данные в мониторинговых программах практически не учитываются, хотя информационная и финансовая ее стоимость со временем только повышается. Следовательно, данные детальной разведки месторождений подземных вод можно считать проблемными исследованиями, а сам мониторинг осуществлять по разреженной сети, но при условии общности условий формирования, которые как раз и устанавливает гидрогеологическое районирование.

Такая постановка справедлива для сохраняющейся структуры взаимосвязей, однако, известно, что техногенная динамика геозкосистем по своей скоротечности на многие порядки превышает естественную, а потому является не просто системным процессом, но системно-динамическим, т.е. вполне возможны изменения в структуре взаимосвязей, установленных на момент детальной разведки месторождения. Следовательно, в целях оптимизации сети мониторинга необходимо привлекать информационные технологии не только для довосстановления данных, но и для учета возможных изменений структуры взаимосвязей. В последнее время появился ряд работ, где излагаются подходы и варианты решения такой задачи, доведенные до уровня алгоритмов. В частности, в работах [19-21] нами предложены несложные алгоритмы для решения мало разра-

ботанной проблемы учета изменения структуры взаимосвязей. Не останавливаясь на формальной постановке задачи, приведем лишь пример их практической реализации для мониторинга подземных вод в районе породных отвалов разреза "Восточный" Экибастузского угольного месторождения. Последний осуществлялся по полной сети опробования, созданной в 1995 г. В связи с выходом из строя большинства скважин гидрогеохимическое опробование 1999 г. осуществлялось по сокращенной более чем вдвое сети скважин.

Точность результатов восстановления можно оценить по точности восстановления значений минерализации подземных вод и концентраций макроэлементов в них по выборочным скважинам сохранившейся в 1999 г. режимной сети. Эти значения минерализации и концентраций моделью восстанавливаются тоже (см. табл.). Приходится восстанавливать более 130 % количества имеющихся объектов, поэтому большой точности восстановления ожидать, естественно, не приходится. Тем не менее, картина соотношений концентраций различных признаков в скважине и между скважинами в основном восстанавливается правильно.

Таблица

Восстановленные значения результатов макрокомпонентного гидрогеохимического опробования за 1999 г.

№№ скв.	Значения концентраций, мг/дм ³ (в знаменателе результаты фактических замеров)						
	<i>M</i>	<i>Ca</i> ²⁺	<i>Mg</i> ²⁺	<i>Na</i> ⁺ + <i>K</i> ⁺	<i>HCO</i> ³⁻	<i>Cl</i>	<i>SO</i> ₄ ²⁻
100	1049,6	27,4	14,6	277,7	351,1	187,3	221,6
101	<u>793,9</u>	<u>19,6</u>	<u>5,7</u>	<u>195,1</u>	<u>297</u>	<u>58</u>	<u>211,8</u>
	673,3	16,2	11,0	171,8	225,8	55,6	158,1
102	851,6	21,5	7,3	218,7	341,2	94,3	193,6
104	<u>1356,6</u>	<u>36,7</u>	<u>26</u>	<u>361,5</u>	<u>323,1</u>	<u>330,3</u>	<u>284,6</u>
	1108,1	30,4	18,4	301,5	311,2	114,7	301,7
105	<u>683,6</u>	<u>16,4</u>	<u>3</u>	<u>152</u>	<u>235,2</u>	<u>6,3</u>	<u>220,3</u>
	999	16,2	9,8	271,1	384,1	86,9	214,9
106	2449,5	68,3	60,9	682,5	324,2	798,6	503,7
107	<u>2404,8</u>	<u>66,9</u>	<u>59,4</u>	<u>668,2</u>	<u>315,5</u>	<u>776,8</u>	<u>500,9</u>
	1671,8	32,4	22,1	461,4	323,4	184,1	629,7
108	1187	31,7	19,3	324,6	395	258,2	219,1
109	<u>1214,3</u>	<u>32,5</u>	<u>20,2</u>	<u>332,6</u>	<u>394,9</u>	<u>270,4</u>	<u>224,2</u>
	636,9	8,1	7,4	167,5	311,2	45,2	83,1

№№ скв.	Значения концентраций, мг/дм ³ (в знаменателе результаты фактических замеров)						
	<i>M</i>	<i>Ca</i> ²⁺	<i>Mg</i> ²⁺	<i>Na</i> ⁺ + <i>K</i> ⁺	<i>HCO</i> ³⁻	<i>Cl</i>	<i>SO</i> ₄ ²⁻
110	6216,7	182	197,6	1756,8	251,7	2573,2	1142,1
111	<u>6142,4</u>	<u>179,8</u>	<u>195,2</u>	<u>1733,6</u>	<u>241,8</u>	<u>2538,7</u>	<u>1134</u>
	852,7	56,7	22,1	160,1	64,1	431,1	122,7
112	<u>6293,7</u>	<u>184,4</u>	<u>200,6</u>	<u>1778,9</u>	<u>252,2</u>	<u>2611,9</u>	<u>1152,1</u>
	4010	117,4	52,8	1207	256,3	1455,8	877,5
113	<u>2229,2</u>	<u>63,1</u>	<u>57,2</u>	<u>616,1</u>	<u>339,5</u>	<u>743,2</u>	<u>416,4</u>
	1314	12,1	9,8	381,1	396,6	201,5	307,9
114	2507,5	71,9	69,2	688,9	306,9	888,1	462,4
115	2191,9	61,9	55,8	605,6	340,7	725,2	410,4
116	2068,8	57,9	49,2	589,4	446,1	665,2	347,1
117	1845,4	51,8	41,2	544,6	572,4	588,5	230,2
118	2586,6	73,9	69,9	725,4	377,2	917,8	452,1
119	<u>14631,4</u>	<u>449,3</u>	<u>541,5</u>	<u>4123,6</u>	<u>185,5</u>	<u>6970,5</u>	<u>2122,2</u>
	14434	445,3	569,5	4006,1	244,1	7209,4	1958,4
121	401,9	16,1	34,5	171,2	184,7	50	62,3
122	1678,6	46,7	39,3	441,3	252,9	484,7	364
Сред.	<u>2855,5</u>	<u>81,6</u>	<u>80,3</u>	<u>791,9</u>	<u>319,3</u>	<u>1046,4</u>	<u>517,1</u>
знач.	2856,2	82,3	80,9	792,7	320,4	1047,0	517,9
Дис-	<u>4463,3</u>	<u>140,6</u>	<u>183,9</u>	<u>1248,3</u>	<u>69,9</u>	<u>2354,4</u>	<u>599,4</u>
перс.	3097,8	97,2	124,2	875,2	89,3	1584,3	481,0

В показанном примере реализован один из самых простых вариантов алгоритма организации мониторинга – сокращающаяся сеть при сохранении числа опробуемых параметров. Возможна реализация и других вариантов – сохранение числа объектов при уменьшении количества наблюдаемых параметров, одновременное уменьшение числа точек и параметров наблюдения, а также ретроспективный анализ (восстановление более полного набора объектов и параметров за прошедший период, что может оказаться полезным при восстановлении "ненарушенных" условий). Предложенный метод не уступает методам теории распознавания образов по возможности восстановления количества информации. Дополнительно к возможностям этой теории восстанавливает объекты целиком (по полному набору параметров) в условиях изменяющегося "обучающего об-

раза", а потому может оказаться весьма полезным при оптимизации сети мониторинга.

Основными результатами работы можно считать следующие:

- на всех масштабных иерархических уровнях гидрогеологических систем устанавливается соответствие целей и объектов исследования мониторинга подземных вод и гидрогеологического районирования.

- задача выделения иерархической системы целей мониторинга легко решается, если гидрогеологическое районирование реализует системный подход, обеспечиваемый учетом полного цикла формирования подземных вод геосистемы соответствующего иерархического уровня.

- использование различных принципов и отличительных признаков районирования приводит к выделению на одной и той же территории несопоставимых таксономических единиц, что исключает возможность их последующего сравнительного анализа. А отсутствие четких критериев для выделения таксонов влечет за собой возможность разработки различных схем даже на основе одних и тех же принципов.

- на данном этапе развития гидрогеологического районирования, в качестве рабочей модели оптимизации сети мониторинга подземных вод рекомендуется принцип проблемной организации экологического мониторинга, первый опыт алгоритмической реализации которого показал удовлетворительную точность при восстановлении неполного числа наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
2. Алгоритмы и программы восстановления зависимостей / В.Н. Вапник, Т.Г. Гладкова, В.А. Кашеев и др. – М.: Наука, 1984. – 815 с.
3. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. – М.: Мир, 1976. – 755 с.
4. Бураков М.М., Веселов В.В., Павличенко Л.М. Современные проблемы гидрогеологического районирования и возможные пути их преодоления // Вестник КазГУ. Серия географическая. – 2000. – № 2 (11). – С. 71-91.
5. Бураков М.М., Махмутов Т.Т. Районирование Центрального Казахстана по степени потенциальной обводненности месторождений по-

- лезных ископаемых // Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях: Вопросы осушения и экологии, специальные горные работы и геомеханика. Материалы Второго Международного симпозиума (Белгород, 24-28 мая 1993 г.). – Белгород: ВИОГЕМ, 1993. – С. 113-118.
6. Бураков М.М., Махмутов Т.Т., Ахметов Ж.А. О районировании территорий по потенциальной обводненности рудных месторождений // Геология и разведка недр Казахстана. – 1996. – № 1. – С. 31-36.
 7. Бураков М.М., Подольный О.В. К концепции оптимизации наблюдательной сети Государственного мониторинга подземных вод // Гидрометеорология и экология. – 1998. – № 3-4. С. – 127-137.
 8. Бураков М.М., Павличенко Л.М. Гидрогеологическое районирование с позиций системного анализа // Современные проблемы геоэкологии и созологии. Доклады к Международной научно-практической конференции (Алматы, 22-23 января 2001 г.). – Алматы: "Шартарап", 2001. – С. 70-76.
 9. Герасимов И.П. Научные основы современного мониторинга окружающей среды. // Известия АН СССР. Серия географическая. – 1975. – № 3. – С. 13-25.
 10. Веселов В.В. Методология гидрогеологического районирования и стратификации // Доклады АН РК. – 1992. – № 3. – С. 42-47.
 11. Джефферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии. – М.: Мир, 1981. – 213 с.
 12. Зальцберг Э.А., Деч В.Н. Исследование и прогноз режима подземных вод с помощью многомерного спектрального и компонентного анализов // Разведка и охрана недр. – 1979. – № 6. – С. 40-46.
 13. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными объектами. – Киев: Техника, 1975. – 311 с.
 14. Йереског К.Г., Клован Д.И., Реймент Р.А. Геологический факторный анализ. – М.: Недр, 1980. – 223 с.
 15. Ковалевский В.С., Семенов С.М. Оптимизация наблюдательных сетей мониторинга подземных вод // Вода: экология и технология. Тезисы докладов Третьего Международного конгресса (Москва, 25-30 мая 1998 г.). – М.: СИБИКО Интернэшнл, 1998. – С. 524-525.
 16. Многомерный статистический анализ и вероятностное моделирование реальных процессов. – М.: Наука, 1990. – 478 с.

17. Островский Л.А., Антыпко Б.Е., Конюхова Т.А. Методические основы гидрогеологического районирования территории СССР. – М.: Недра, 1990. – 240 с.
18. Павличенко Л.М. Исследование региональных гидрогеохимических процессов на основе компонентного анализа. Дис. канд. техн. наук. – Алма-Ата, 1984. – 189 с.
19. Павличенко Л.М. К проблеме организации и оптимизации геозкологического мониторинга // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2000. – № 5. – С. 95-108.
20. Павличенко Л.М. Система многомерных статистических моделей анализа неполных эколого-гидрогеологических данных // Вопросы изучения водных ресурсов Центральной Азии. – Алматы: Гылым, 1993. – С. 89-103.
21. Павличенко Л.М. К технологии построения моделей прогноза изменений экогеосистем // Гидрометеорология и экология. – 2000. – № 1. – С. 37-60.
22. Павличенко Л.М., Веселов В.В. Системный подход к построению моделей сложных природных процессов // Вестник КазГУ. Серия географическая. – 1997. – № 4. – С. 25-29.
23. Павличенко Л.М., Шапиро С.М. Применение методов многомерной статистики для прогноза процессов загрязнения подземных вод на основе оценки изменения их химического состава // Теоретические основы и методика гидрогеологического прогноза загрязнения подземных вод (Современные проблемы биосферы). – М.: Наука, 1990. – С. 137-141.
24. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. – М.: Наука, 1989. – 477 с.
25. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. – Новосибирск: Наука, 1978. – 319 с.
26. Чепурных Н.В., Новоселов А.Л. Планирование и прогнозирование природопользования: Учебное пособие. – М.: Интерпракс, 1995. – 288 с.
27. Экоинформатика: Теория. Практика. Методы и системы / Под ред. В.Е. Соколова. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 495 с.

Институт гидрогеологии и гидрофизики им. У.М. Ахмедсафина МОН РК
Казахский государственный национальный университет им. Аль-Фараби

Статья публикуется в порядке обсуждения

ЖЕР АСТЫ СУЛАРЫ МОНИТОРИНГІН ГИДРОГЕОЛОГИЯЛЫҚ АУДАНДАСТЫРУ ТҮРҒЫСЫНАН ҰЙЫМДАСТЫРУДЫҢ ЖҮЙЕЛІ ПРИНЦИПТЕРІ

Геол.-мин. ғылымдарының канд. М. Бураков
Техн. ғылымдарының канд. Л.М. Павличенко

Бақылау торабын оңтайландыру және оны жерасты сулары мемлекеттік мониторингі жүйесін іске асыру үшін қайта бағдарлау мәселелерінің гидрогеологиялық аудандастыру схемаларын жүйелендіру мәселесімен тығыз байланысы көрсетілген. Жерасты сулары мониторингі торабын ұйымдастырудың жүйелі принциптері қарастырылған. Гидрогеологиялық аудандастыру мақсаттары жүйесі мен оны іске асыру әдіс-тәсілдері ең қарапайым нұсқа үшін формализацияланған экологиялық мониторингі проблемалық ұйымдастыру принципімен салыстырылады, ол нұсқа — сынамаланатын көрсеткіштерді сақтай отырып торапты қысқарту.