

УДК 556.332.62

**К КОНЦЕПЦИИ ОПТИМИЗАЦИИ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СЕТИ  
ГОСУДАРСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

Канд. геол.-минер. наук

М. М. Бураков

Доктор. геол.-минер. наук

О. В. Подольный

*Предлагаются подходы к новой концепции организации наблюдательной сети в системе Государственного мониторинга подземных вод, имеющей целью обоснование минимальной, но достаточной для решения задач мониторинга наблюдательной сети.*

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. В соответствии с Положением, ГМПВ представляет собой систему, предназначенную для информационного обеспечения управленческих решений по рациональному использованию и охране подземных вод. Состоит ГМПВ из подсистем наблюдения за параметрами состояния, оценки состояния, прогноза состояния. Подсистемы тесно взаимосвязаны (системно), функционирование и развитие их взаимообусловлено.

Таким образом, основой ГМПВ являются наблюдения, представляющие собой натурное изучение по определенному регламенту динамики параметров подземных вод: водоотбора, уровня, химического состава, температуры подземных вод в пунктах наблюдений, параметров сопряженных сред (поверхностные воды, атмосферные воды, породы зоны аэрации).

Существующая наблюдательная сеть ГМПВ создавалась и развивалась в соответствии с требованиями, разработанными еще в 60-е

70-е годы, для изучения различных гидрогеологических процессов. В 80-е годы эти требования были уточнены и расширены, в соответствии с ними начала создаваться наблюдательная сеть по охране подземных вод от загрязнения. За время эксплуатации часть наблюдательных пунктов сети вышла из строя, часть попала на территорию застройки или частных владений, на ряде пунктов поставленные при их организации конкретные гидрогеологические задачи оказались решенными. То есть, на настоящий момент объективно возникла серьезная необходимость оптимизации наблюдательной сети и переориентации ее для реализации системы современных целей ГМПВ.

Согласно Положению о Государственном мониторинге недр Республики Казахстан, утвержденному упомянутым выше Постановлением Правительства, принята и новая концепция формирования и развития наблюдательной сети в системе ГМПВ; выделяются фоновая, региональная, локальная и специализированная наблюдательные сети. Предлагается учитывать также и частные (или private) наблюдательные сети. Недостатками уже существующей наблюдательной сети с позиций новой концепции ее формирования и развития являются следующие:

- недостаточно обоснована 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 третьего и четвертого порядка (соответствующим схеме гидрогеологического районирования территории СССР по Л. А. Островскому и др. [6]);

- 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.

Рассмотрим здесь основные положения концепции оптимизации наблюдательной сети в системе ГМПВ, соответствующей современным требованиям к такой сети.

Под оптимизацией наблюдательной сети в системе ГМПВ понимается обоснование минимальной, но достаточной для решения задач мониторинга наблюдательной сети, а также оптимальных программ наблюдений по ней. Наиболее ответственными элементами такого обоснования являются назначение системы целей и выбор согласованной с этой системой эвристической модели (рабочей гипотезы) условий формирования подземных вод и их режима [4]. Весь процесс мониторинга по существу сводится к насыщению этой модели недостающей информацией, необходимой для решения поставленных задач, органически следующих из сформулированных целей (в их иерархическом соподчинении) при заданных ограничениях. Получаемая в результате режимных наблюдений информация может привести не только к детализации отдельных компонент модели мониторинга, но и к ее коренной перестройке, связанной с несоответствием исходной рабочей гипотезы и реальной природной ситуации.

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 за состоянием подземных вод; оценка состояния подземных вод; составление прогнозов изменения состояния подземных вод, что в целом дает возможность осуществления 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 целевым функциям мониторинга:

- установлению закономерностей режима подземных вод и оценке количественных характеристик процесса формирования последних;

- оценке состояния подземных вод в районах расположения объектов недро- 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 соответ-

венно задач ГМПВ) на фоновую, региональную и локальную. Если локальная цель фонового мониторинга - изучение естественного (фоновое) режима как исходного уровня (эталоны) при оценке техногенных изменений состояния геологической среды - на первый взгляд вполне обоснована, то цели регионального и локального мониторинга реально разделить сложно. Использование гидрогеологического районирования как реализацию системного подхода в гидрогеологических исследованиях должно снять эти трудности. Задачей регионального мониторинга становится изучение особенностей формирования подземных вод и негативных проявлений техногенеза в пределах всей выделенной гидрогеологической структуры (1, 2, 3, 4, а возможно и 5 порядка).

Локальный же мониторинг предназначен для оперативного выявления техногенных изменений состояния подземных вод на типовых участках, приуроченных к объектам недр- и природопользования. Напомним здесь, что в конце 80-х годов во ВСЕГИНГЕО была разработана и внедрена на всей территории бывшего Советского Союза схема такого районирования [6].

Дискретность наблюдательной сети, невозможность (техническая и экономическая) охватить наблюдательной сетью всю площадь гидрогеологической структуры требует районирования последней по условиям формирования режима подземных вод; в пределах таких районов и устраиваются наблюдательные посты.

Как видно из изложенного, при постановке объектом мониторинга подземных вод отчетливо прослеживается тенденция совмещения его с пространственно выделенной гидрогеологической структурой. Отметим при этом, что теряются сами понятия фонового и регионального мониторинга без привязки их к таким структурам. Со всей очевидностью также ясно, что необходим системный подход к обоснованию объекта мониторинга подземных вод, который обеспечил бы учет приуроченности их к определенной территориально выделенной структуре, причем в увязке последней с другими составляющими геосистем соответствующего ранга.

В наше время в географии широкое развитие получило ландшафтоведение - наука о природно-территориальных комплексах, под которыми понимается закономерное сочетание природных, географических компонентов (земной коры, рельефа, воды, воздушных масс,

сообщества живых организмов), образующих целостную материальную систему - комплекс [1]. Подземные воды выступают компонентом природно-территориального комплекса, поэтому ничего нет удивительного в том, что выделенные в процессе гидрогеологического картирования и районирования структуры всех порядков (от водоносного горизонта или комплекса до гидрогеологической структуры I порядка) прекрасно увязываются с природно-территориальными комплексами соответствующих рангов. Зависимости между отдельными процессами и явлениями в природно-территориальных комплексах, их изменения во времени носят очень сложный характер, соответственно для объяснения этих зависимостей применяется предварительный синтез временных изменений, который позволяет обнаружить некоторые целостные объекты - состояния природно-территориальных комплексов [1].

Точно так же чрезвычайно сложны сочетания всех факторов, определяющих особенности режима подземных вод в пределах гидрогеологических структур даже 5 и 6 порядков, изменения таких сочетаний во времени. Поэтому по аналогии с природно-территориальными комплексами естественным представляется считать объектом мониторинга состояние подземных вод гидрогеологической системы (структуры), а целью - оценку и прогноз состояния.

Такая концепция объекта и цели мониторинга обеспечивает достаточно обоснованную и непротиворечивую увязку системы объектов и целей мониторинга всех уровней и рангов. В соответствии с ней, объектом фоновых мониторинга становится естественное (фоновое) состояние подземных вод гидрогеологической системы (структуры) от 1 до 4 порядка, а задачей - оценка закономерностей естественного (фоновое) состояния подземных вод (их режима) как исходного уровня (эталона) при оценке техногенных изменений состояния геологической среды. Объектом регионального мониторинга должно стать состояние подземных вод гидрогеологической системы от 1 до 4 порядка, целью - оценка особенностей формирования подземных вод и негативных проявлений техногенеза применительно к системе целиком. Аналогично объектом локального мониторинга является состояние подземных вод гидрогеологической системы 5 и 6 (а также 7 и 8) порядка (и типовые участки), которые являются объектом недро- и природопользования; целью локального мониторинга - опе-

ративное выявление изменений состояния подземных вод в таких системах при комплексном техногенном воздействии.

Последнюю задачу следует четко отграничивать от задач, решаемых так называемой сетью недро- и природопользователей. Такая сеть создается, как правило, в пределах горного и земельного отвода объекта недро- и природопользования и предназначена для оценки состояния подземных вод в его границах [5]. Часто площадь горного отвода, например, водозабора, пространственно не совпадает с площадью эксплуатируемого месторождения подземных вод. В таких случаях локальная сеть должна быть сориентирована, в том числе и на охват территории месторождения вне пределов горного отвода.

В рамках действующей концепции мониторинга не получили удовлетворительного решения некоторые его проблемы. В первую очередь это относится к проблеме соотношения регионального и локального мониторинга в горно-складчатых областях. Последние представляют собой целые группы бассейнов регионального стока безнапорных и безнапорно-субнапорных вод.

Создание региональной наблюдательной сети, способной охарактеризовать состояние подземных вод таких областей, - процесс очень длительный и дорогостоящий. Вместе с тем уже сейчас необходима общая концепция, под которую такая сеть здесь будет создаваться, и эта концепция должна исходить из долговременной перспективы развития ГМПВ.

Предлагаемая нами концепция в принципе обеспечивает эту перспективу. Согласно ей, на настоящем этапе развития ГМПВ региональная, как и локальная, сеть в пределах горно-складчатых областей должна ориентироваться на полный охват гидрогеологических структур 5 и даже 6 порядка, то есть бассейна местного стока безнапорных и безнапорно - субнапорных вод или группы бассейнов местного стока таких вод. Задачей дальнейшего развития наблюдательной сети в этом случае становится все более широкий охват таких бассейнов в увязке с районированием по условиям формирования режима подземных вод (см. таблицу). Такая увязка уже и сейчас служит основой решения задачи регионального мониторинга, то есть оценки, разумеется вероятностной, состояния гидрогеологических систем любого назначенного порядка, однако определение достоверности подобной оценки крайне затруднено.

Схема гидрогеологического районирования  
по условиям формирования режима грунтовых вод

Таксономическая схема режима подземных вод		Таксономическая схема гидрогеологического районирования	
Наименование таксона	Наименование режима	Наименование таксона	Гидрогеологическая характеристика
Тип	Сезонного питания	Провинция	С неустойчивым сезонным промерзанием зоны аэрации
Подтип	Обильного питания	Зона	Избыточного увлажнения
	Умеренного питания		Умеренного увлажнения
	Скудного питания		Недостаточного увлажнения
Класс	Сильно дренированных областей	Область	Сильно дренированная
	Дренированных областей		Дренированная
	Слабо дренированных областей		Слабо дренированная
Подкласс	Литологический состав водоносного горизонта и зоны аэрации	Район	Литологический состав водоносного горизонта и зоны аэрации
Вид	Междуречный	Участок	Междуречье
	Склоновый		Склон
	Террасовый		Терраса
Разновидность	УГВ до 1 м	Подучасток	УГВ до 1 м
	УГВ 1-4 м		УГВ 1-4 м
	УГВ более 4 м		УГВ более 4 м

В качестве инструмента, основы эвристической модели мониторинга подземных вод предлагается ключевой участок - типовой район, репрезентативный бассейн, со своими индивидуальными закономерностями формирования подземных вод, их уровенного и химического режимов, масштаб и детальность назначения которых определяется решаемыми задачами [7]. Ключевой участок должен, вместе с тем, характеризовать объект мониторинга либо целиком, либо какую-то его часть с характерными (и выделенными) особенностями.

При оптимизации существующей и развитии сети мониторинга подземных вод целесообразно придерживаться определенной последовательности и комплексности. На первом этапе для обоснования выбора ключевых участков необходимо использовать районирование территории по условиям формирования подземных вод. Оно позволит пространственно и с необходимой детальностью выделить гидрогеологические структуры с полным для них циклом формирования подземных вод. Районирование основных режимобразующих факторов и условий (величины и периодов преимущественного питания, интенсивности дренирования подземных вод, глубины до их поверхности) обеспечивает возможность размещения сети наблюдений в различных гидрогеологических районах с ненарушенным или слабо нарушенным режимом подземных вод. Такие районы и выступают ключевыми участками выделенных гидрогеологических структур, на которых размещаются наблюдательные пункты фоновой и региональной сетей мониторинга.

На втором этапе необходимо осуществить эколого-гидрогеологическое районирование территории, которое отражает как степень и характер техногенной нарушенности режима подземных вод (загрязнение и истощение подземных вод в результате их эксплуатации и других мероприятий при недро- и природопользовании, сельскохозяйственном освоении земель и т.п.), так и потенциальную подверженность территории к возникновению или активизации негативных экзогенных геологических процессов, либо вызываемых подземными водами, либо оказывающих заметное влияние на режим подземных вод (карст, оползни, просадки, нарушения условий поверхностного стока, подтопление, заболачивание земель и т.п.). Такое районирование обеспечивает выбор ключевых участков для изучения нарушенного режима подземных вод. Такие ключевые уча-



стки представляют собой, с одной стороны, объекты размещения наблюдательных пунктов, а с другой, – объекты оптимизации наблюдательной сети локального мониторинга подземных вод. Естественно, что размещение наблюдательной сети целесообразно там, где негативные экзогенные и техногенные процессы могут иметь наибольшие отрицательные последствия.

Следующим, третьим, этапом оптимизации сети мониторинга подземных вод является исследование пространственно-временной синхронности режима подземных вод, базирующееся на кросскорреляционном анализе временных рядов по разноудаленным наблюдательным пунктам (скважинам) в пределах ключевых участков [4]. Выделение радиуса статистически значимых корреляционных связей позволяет оптимизировать количество наблюдательных пунктов, заложенных на основе предыдущих процедур, то есть сократить дублирующие пункты или запланировать дополнительные, не предусмотренные ранее. Одним из важнейших принципов, на базе которых строится система ГМПВ, является принцип методологической, технической и технологической обоснованности режимных наблюдений. Методологическая обоснованность предполагает использование в программе режимных наблюдений только тех исследований, результаты которых будут использованы для решения задач изучения конкретного объекта мониторинга. Разумеется, они должны быть обеспечены соответствующими технологиями и техническими средствами. К последней проблеме тесно примыкает еще одна – это достижение заданной степени достоверности режимных наблюдений и прогнозных оценок, выполняемых на их основе.

Поэтому задача оптимизации наблюдательной сети на следующем, четвертом, завершающем этапе распадается, в свою очередь, на несколько локальных задач. Во-первых, исследование достоверности получаемых по результатам режимных наблюдений результатов (например, объемов инфильтрационного питания подземных вод, бокового притока и оттока подземных вод к наблюдательному посту) способно оптимизировать конструкцию каждого конкретного наблюдательного поста, то есть обосновать возможность и целесообразность организовать пост в виде "конверта" наблюдательных скважин или ограничиться одиночной скважиной и т.д. Кроме того, исследования подобного рода обеспечивают выбор необходимой (нормативной)

обеспеченности точности результатов режимных наблюдений (пример такого рода исследований можно найти в [2, 3]). Важным следствием оптимизации сети мониторинга подземных вод на этом этапе, напрямую связанным с обеспечением необходимой точности режимных наблюдений, является минимизация частоты наблюдений, критерием которой служит точность интерполяции данных замеров при различной степени их дискретизации. Функцией цели подобной оптимизации может служить разность относительной точности замеров и относительных затрат на их производство. По экстремуму кривой этой разности появляется возможность оценки оптимальной дискретности режимных наблюдений (замеров по программе наблюдений), удовлетворяющую требуемой точности конечных, изучаемых по данным режимных наблюдений, характеристик условий формирования подземных вод при минимальных затратах на проведение режимных наблюдений [4].

Во-вторых, завершающая оценка степени достаточности, недостаточности или избыточности наблюдательной сети целесообразна на основе одного из видов геостатистического анализа результатов наблюдений, получившего название крайгинг [4]. Целью такого анализа является, с одной стороны, минимизация плотности наблюдательной сети в пределах зон синхронного режима, а с другой стороны, - обоснование необходимой и достаточной плотности этой сети для построения достоверных региональных и локальных математических моделей, картирования режима и его прогнозов. Иными словами, процедура крайгинга позволяет как сократить дублирующую сеть, так и дополнить ее там, где экстраполяция данных с соседних наблюдательных постов и пунктов не обеспечивает необходимой точности оценок изучаемых характеристик формирования подземных вод и точности гидрогеологических прогнозов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беруцашвили Н. Л. Геофизика ландшафта. - М.: Высшая школа, 1990. - 288 с.
2. Бураков М. М. О случайных погрешностях оценок питания грунтовых вод по режимным данным методом Н.Н. Биндемана // Геология и разведка недр Казахстана. - 1996. - № 4. - С. 26 - 30.

3. Бураков М. М. Об оценке достоверности фильтрационных параметров // Водные ресурсы. - 1996. - Т. 23. - № 5. - С. 539 - 547.
4. 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.
5. Мониторинг месторождений и участков водозаборов питьевых подземных вод / Б. В. Боровский, Л. С. Язвин, В. П. Закутин и др. // Вода: экология и технология. Тезисы докладов Третьего Международного конгресса (Москва, 25 - 30 мая 1998 г.). - М.: СИБИКО Интернэшнл, 1998. - С. 503.
6. Островский Л. А., Антышко Б. Е., Конохова Т. А. Методические основы гидрогеологического районирования территории СССР. - М.: Недра, 1990. - 240 с.
7. Шапиро С. М., Павличенко Л. М., Подольный О. В. Гидрогеологические прогнозы подземного стока в озеро Балхаш. - Алма-Ата: Наука, 1982. - 128 с.

Институт гидрогеологии и гидрофизики  
им. У.М. Ахмедсафина МНВО РК

**ЖЕРАСТЫ СУЛАРЫНЫҢ МЕМЛЕКЕТТІК  
МОНИТОРИНГІНІҢ БАҚЫЛАУ ОҢТАЙЛАНДЫРУ  
ТҮЖЫРЫМДАМАСЫ ЖАЙЫНДА**

Геол. – минер. г. канд.                    М. М. Бураков  
Геол. – минер. г. докторы            О. В. Подольный

Мониторинг мәселелерін шешу үшін ең аз, бірақ жеткілікті бақылау торабын негіздеу мақсатымен, жерасты суларының мемлекеттік мониторинг жүйесінде бақылау торабын ұйымдастырудың жаңа тұжырымдамасы ұсынылады.