

КОМПЛЕКС МЕТОДОВ ЭФФЕКТИВНОГО ПОИСКА ПОДВОДНЫХ КАРСТОВЫХ ИСТОЧНИКОВ

Батурин Е. Н.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь, Россия (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), e-mail: baturin@psu.ru

Объектом исследования являются подводные и подтапливаемые карстовые источники, приуроченные к поверхностным водотокам и водоемам с естественным или зарегулированным стоком. Подводные источники в течение всего года находятся под водой. Подтапливаемые в зависимости от сезона года или особенностей регулирования стока искусственных водоемов и водотоков могут относиться как к наземным, так и к подводным источникам. Целью данной работы является разработка методики эффективного поиска подводных и подтапливаемых карстовых источников. В процессе поиска подводных и подтапливаемых карстовых источников используется комплекс методов, одни из которых (геологические, геоморфологические, гидрогеологические, дистанционные) позволяют выделить и ограничить перспективные участки поиска, другие (геофизические, гидрогеохимические, гидрометрические, маршрутные наблюдения) – оконтурить. Разработанная методика опробована на территории Пермского края в пределах некоторых участков выхода сульфатных и карбонатных горных пород на земную поверхность.

Ключевые слова: подводный источник, подтапливаемый источник, методика поиска, карстовые воды.

METHODS FOR EFFECTIVE SEARCH OF UNDERWATER KARST SPRINGS

Baturin E. N.

Perm State University, Perm, Russia (614990, Perm, Bukireva st., 15), e-mail: baturin@psu.ru

The object of investigation are underwater and underflooded karst springs, which confined to surface watercourses and water bodies with natural or regulated flow. Submarine springs are under water all year. Under flooded springs can refer both to ground and underwater springs. According to the season of the year or the regulation of the flow characteristics of artificial reservoirs and streams. The aim of this work is to develop effective search methods of underwater and waterlogged karst springs. A range of methods are used in the search for underwater and waterlogged karst springs, some of those methods (geological, geomorphological, hydrogeological, remote) identify and limit the search for promising areas, others (geophysical, hydrogeochemical, hydrometric, route monitoring) – allow to delineate. The developed method was tested in the Perm region within a certain area of the exit of sulfate and carbonate rocks on the surface.

Keywords: underwater springs, waterlogged source, search methods, the karst water.

Методика поиска подводных карстовых источников разработана на основе обзора опубликованных литературных данных и методических рекомендаций, ряда выполненных инициативных экспедиционных работ (в период с 2002 г. по 2012 г.) с непосредственным участием автора. Экспедиционные исследования были направлены на поиск и исследование подводных (субаквальных) карстовых источников на территории Пермского края в бассейнах рек Вишеры, Березовой, Косьвы, Шаквы, Бабки и других, где имеются выходы сульфатных и карбонатных горных пород на земную поверхность.

Объектом исследования являются подводные и подтапливаемые карстовые источники, приуроченные к поверхностным водотокам и водоемам с естественным или зарегулированным стоком.

Г. А. Максимович выделял *наземные источники* – естественный выход карстовых вод на земную поверхность, и *подводные* – выход на дне водоемов и водотоков [2]. Автор данной

статьи предлагает ввести третий тип источников – *подтапливаемые*. Введение нового типа источников связано со спецификой некоторых родников (*подтапливаемых*), которые в зависимости от сезона года или особенностей регулирования стока искусственных водоемов и водотоков могут относиться как к наземным, так и к подводным источникам (рис. 1). Ранее в опубликованных работах они назывались наземно-подводными (прибрежными) [1].

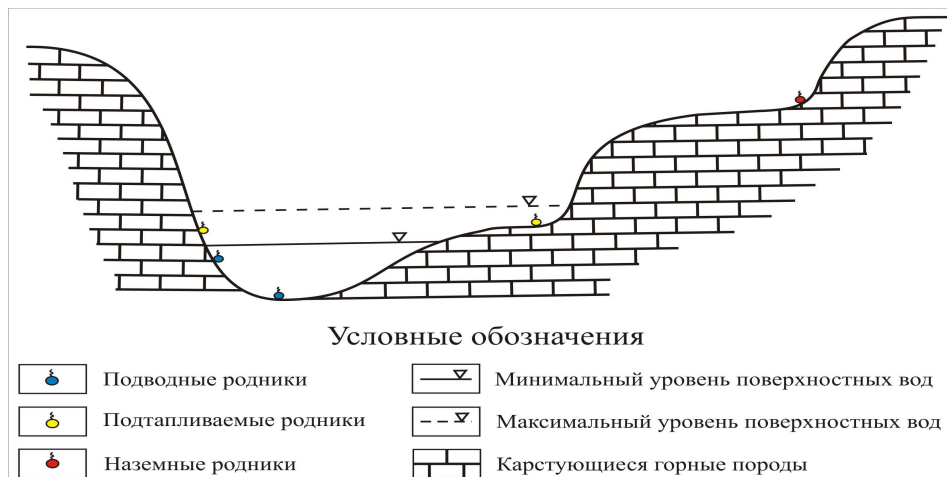


Рис. 1. Типы карстовых источников (родников)

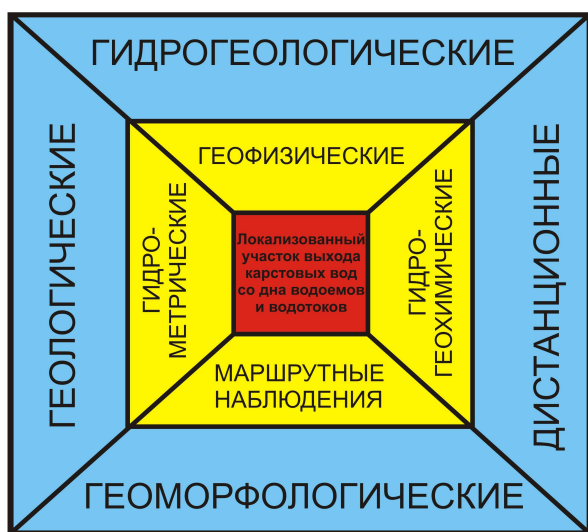


Рис. 2. Комплекс методов, применяемых для эффективного поиска субаквальных карстовых источников

Суть методики: в процессе поиска субаквальных карстовых источников используется комплекс методов, одни из которых (гидрогеологические, дистанционные, геоморфологические, геологические) позволяют выделить и ограничить перспективные участки поиска, другие (гидрогеохимические, маршрутные наблюдения, гидрометрические, геофизические) – оконтурить (рис. 2).

Предполевой (подготовительный) этап.

На начальном этапе проводится анализ картографического материала. Используя топографическую карту, можно выделить

крупные овраги и лога, примыкающие к исследуемому водному объекту (по изолиниям). Обнаружить на карте поверхностные карстовые формы, резко появляющиеся или исчезающие ручьи и реки, указывающие на наличие карстующихся горных пород.

В отчетах о гидрогеологической съемке одним из графических приложений является *гидрогеологическая карта*. С этой карты можно снять контуры распространения водоносных горизонтов, местоположение родников, приближенных к контуру изучаемого водного объекта, водообильные зоны. При помощи геоинформационных систем (ГИС) ArcGIS или ArcView

параллельно с анализом картографического материала должна создаваться карта «перспективных участков субаквальной разгрузки» (ПУСР), на которой намечают участки для постановки детальных полевых исследований. На карте фактического материала (из отчета о гидрогеологической съемке) обычно нанесено большее количество родников, чем на сводной гидрогеологической карте, в связи с ее более крупным масштабом. Поэтому необходимо тщательно проанализировать ее и добавить объекты, которые расположены на близком расстоянии к исследуемому водному объекту (в пойме, вблизи коренного склона), на карту ПУСР. Нередко на карту фактического материала наносят поверхностные карстовые формы, особое внимание следует уделять наличию цепей и полей карстовых воронок, что свидетельствует о наличии зон повышенной трещиноватости и возможности сосредоточения потока карстовых вод на этом участке.

Для некоторых районов и регионов РФ имеются карты карстующихся пород (КП). На таких картах, как правило, выделены границы карстовых районов, крапом показаны участки распространения различных по литологическому составу (известняки, гипсы, ангидриты и др.) карстующихся горных пород, их стратиграфическая принадлежность. Наиболее удобно использовать эту карту в ГИС, добавив к ней слой «водные объекты», можно выделить участки, где карстующиеся породы на близком расстоянии находятся к водным объектам. Если для территории исследований отсутствует карта КП, тогда используют геологическую карту, по которой можно примерно определить границы распространения в плане карстующихся горных пород.

Одной из самых важных является структурно-тектоническая карта, на которой отражены разрывные нарушения, границы положительных и отрицательных тектонических структур. К положительным локальным структурам, как правило, приурочены водообильные зоны. Наличие контакта карстующихся со слабокарстующимися (некарстующимися) породами как в плане, так и в разрезе, в пределах русла реки приводит к выходу карстовых вод под водой.

Изучение фондовых и опубликованных материалов должно быть ориентировано на поиск информации по степени изученности территории, гидрологическим, климатологическим, геологическим, гидрогеологическим, геоморфологическим условиям территории исследования. При работе с фондовыми материалами за основу рекомендуется брать отчеты о гидрогеологических съемках масштаба 1:500 000 и крупнее, хранящиеся в территориальных фондах геологической информации.

Степень изученности территории исследования определяется по картам фактического материала, главам – геологическая и гидрогеологическая изученность. Необходимо проанализировать карту фактического материала на предмет пробуренных геологических и гидрогеологических скважин, установленных гидрометрических створов на территории исследований. В главах о геологической и гидрогеологической изученности можно найти ссылки на исследователей, проводивших съемку территории разных масштабов.

Анализ *гидрологических условий территории исследования* проводится с целью выбора наиболее подходящего сезона года для проведения полевых работ, а также для оптимального подбора приборной базы. Для этого анализируются гидрографы, информация об основных фазах гидрологического режима, долях поверхностного и подземного стоков, характеристика основного водоема или водотока (минимальные и максимальные глубины, расходы, средняя ширина, химический состав). Ценными являются данные о расходах, которые могут указать на участки, где происходит значительный подток подземных вод или значительное поглощение поверхностных вод (путем сопоставления дебитов близлежащих створов).

Изучение *климатологических условий района работ* позволяет определить время появления устойчивого снегового покрова и его продолжительность сохранения. Информация необходима для планирования зимних аэровизуальных наблюдений и (или) лыжных маршрутов, ориентированных на поиск мест разгрузки подземных вод по полыньям.

Анализ *геологических условий* направлен на ознакомление с основными отрицательными и положительными тектоническими структурами, разрывными нарушениями, расположенными на территории исследования, видом залегания слоев горных пород. При отсутствии карты КП необходимо изучить геологические разрезы по скважинам. При недостаточности материалов используют отчеты о геологической съемке.

Анализ *гидрогеологических условий* сводится к поиску информации о водоносных горизонтах и комплексах. В отчетах необходимо внимательно проанализировать главу гидрогеологические условия, в которой все гидрогеологические подразделения стратифицированы и подробно описаны (с выявлением общих и частных закономерностей). Зачастую приводится информация о местах интенсивного поглощения поверхностных вод и, наоборот, подтока подземных вод. Делается акцент как на высокодебитных родниках и скважинах, так и на безводных участках. На основе анализа карты фактического материала, каталога и результатов химических анализов родников можно выделить участки, на которых возможен подток подземных вод с высокой минерализацией, узнать о химическом составе, температуре и значениях минерализации, присущих конкретным водоносным горизонтам и комплексам. Найденная информация позволит быть готовым к обнаружению и интерпретации аномалий в период проведения геофизических исследований на акватории.

Анализ *геоморфологических условий* района работ помогает выявить наличие зон повышенной трещиноватости, которые могут служить местами сосредоточения карстовых вод, примерное расположение карстующихся и некарстующихся пород в плане. В области распространения терригенных пород речная сеть более разветвлена и более равномерно развита по площади, чем в области распространения карстующихся пород. Колебания земной коры вызывают в толще осадков нарушения, которые проявляются в виде зон повышенной трещиноватости. Реки, используя трещинные зоны, разрабатывают их и

превращают в долины. Резкие повороты долин, параллельность отдельных участков, притоков и оврагов, направление притоков, часто составляющих угол близкий к прямому с главной долиной – все это говорит об использовании реками разломов или трещинных зон.

Дешифрирование космо- и аэрофотоснимков. На сегодняшний день доступный картографический сервис Google Earth позволяет самостоятельно проводить анализ космических снимков по интересующей территории. Цветные космоснимки, сделанные в летне-осенний период, позволяют выявить наличие поверхностных карстовых форм, закономерную их ориентировку или ее отсутствие, оценить плотность, зафиксировать округлые объекты в прибрежной части водотоков, указывающие на возможное наличие подводных родников, разгружающихся через воронкообразные углубления. Черно-белые космоснимки, сделанные в зимний период, позволяют зафиксировать наличие полыней в руслах рек, а также наличие стока из незамерзающих озер. Дешифрированием аэро- и космофотоснимков выделяются трещинно-разрывные структуры осадочного чехла в ландшафте земной поверхности. Выявление и трассирование прямолинейных линеаментов производится по комплексу геоморфологических и почвенно-геоботанических индикаторов.

Составление рабочей программы исследований производится на основе проанализированного картографического материала, изучения фондовых и опубликованных материалов, дешифрирования космо- и аэрофотоснимков. Карта ПУСР дополняется четкими границами карстующихся пород, местоположением поверхностных карстовых форм, наносятся выявленные линеаменты, водообильные зоны и другие перспективные участки. В рамках программы указывается подробный перечень работ и методов, направленных на изучение объекта исследования. Вычисляются координаты основных точек наблюдения: начальная, конечная, места детальных геофизических исследований на акватории и маршрутных наблюдений. Планируются сроки и последовательность исследований.

Подготовка приборной базы и снаряжения. Основными приборами для проведения геофизических исследований на акватории являются резистивиметры и кондуктометры. При использовании резистивиметров, собранных под заказ в конструкторских бюро, их калибровку следует делать перед каждым полевым выездом, готовя с собой эталонные смеси для ежедневной проверки. Для привязки точек наблюдения и выхода на ПУСР рекомендуется использовать спутниковые навигаторы, что облегчает создание цифровой основы для схем и карт отработанных участков. Измерение скорости течения водного потока осуществляется поверенными гидрометрическими вертушками. Отбор проб воды со дна производится глубинными пробоотборниками. Фотографирование подводных источников осуществляется с помощью водонепроницаемых фотоаппаратов. В качестве плавательных средств используются катамараны (резиновые лодки) с предусмотренной возможностью якорной остановки.

Полевой этап. Проведение аэрофото- и видеосъемки, аэровизуальных наблюдений.

Сравнительно редко проводят наблюдения с воздуха, так как обычно ограничиваются результатами дешифрирования космо- и аэрофотоснимков на предполевом этапе. В свою очередь с совершенствованием оптического и появлением цифрового фото и видеооборудования качество съемки с воздуха значительно улучшилось. В процессе летних полетов хорошо фиксируются отдельные карстовые воронки, поля воронок, карстовые овраги, места исчезновения и появления карстовых рек, направления цепей карстовых воронок, ориентировка полей воронок, котловин, оврагов. Пересекающиеся цепи карстовых воронок указывают на возможное слияние карстовых водотоков. Зимние полеты позволяют проследить подводные выходы крупных карстовых водотоков, которые устанавливаются по незамерзающим участкам рек и говорят о характере карстовых пустот в глубине массива. Кроме этого, в ясные морозные дни над пещерами и крупными карстовыми пустотами образуются небольшие облака тумана [5]. Для правильной интерпретации данных наблюдения с воздуха необходимо обязательное проведение наземных исследований (лыжных маршрутов). Так как некоторые полыньи образуются не только на выходах подземных вод, но и в местах сброса сточных промышленных вод, на крупных перекатах и резких поворотах рек, где скорость течения достаточно велика [4].

Проведение геофизических исследований на исследуемом водоеме или водотоке. Для установления мест подводной разгрузки карстовых вод следует использовать эффективные и экономичные геофизические методы: термометрию, резистивиметрию или кондуктометрию. Физической предпосылкой применения термометрии при акваториальной геофизике является разница температур поверхностных и подземных вод, для резистивиметрии и кондуктометрии – связь удельного электросопротивления (УЭС) и удельной электрической проводимости (УЭП) воды с содержанием водорастворимых солей (минерализацией). Перед началом исследований измеряется температура, УЭС (УЭП) поверхностных вод и родников, если позволяет их наличие в начальной точке маршрута (или используют информацию, собранную в период предполевого этапа). Разность между этими величинами позволяет оценить максимальный ожидаемый аномальный эффект. Применение термометрии для выделения участков субаквальной разгрузки наиболее эффективно в период времени, когда разница между температурой подземных и поверхностных вод максимальна (летняя межень). Перед ледоставом и после ледохода разница температур редко превышает 4–8 °С. Термометрия может выполняться в течение всего года, за исключением одной-двух недель весной и осенью, когда температуры подземных вод и поверхностных вод равны или слабо различимы [3]. Измерения температуры воды выполняют вблизи от дна. Расстояние между точками измерений определяется ожидаемым размером зоны субаквальной разгрузки. При выявлении температурной аномалии выполняются детализационные исследования,

позволяющие уточнить ее размер. В качестве дополнительного метода целесообразно использовать резистивиметрию (кондуктометрию). Их эффективность определяется разницей поверхностных и подземных вод по минерализации, а также относительной интенсивностью подводной разгрузки. Критерием оценки интенсивности разгрузки служит соотношение температуры, УЭС (УЭП) воды до и после участка подводной разгрузки.

Результатирующими документами для полевых измерений являются: схема расположения профилей, точек измерений и полевой журнал с результатами измерений в привязке к профилям и точкам, указанным на схеме. Выделение участков субаквальной разгрузки выполняется по участкам аномальных значений температуры и УЭС (УЭП).

Гидрогеохимическое опробование проводится на аномальных участках, выделенных с помощью геофизических методов, и является обязательным для их подтверждения. Отбор проб воды на химический анализ осуществляется со дна при помощи глубинных пробоотборников. При отсутствии возможности проведения геофизических исследований на акватории, но при наличии приборной базы, позволяющей в полевых условиях анализировать химический состав воды (минерализацию), отбирая пробы воды из придонного слоя, и производя анализ на месте, появляется возможность выделения участков подводной разгрузки.

Проведение маршрутных наблюдений. В зимний период с помощью лыжных маршрутов устанавливается истинная причина возникновения полыней. В летний период проводятся геоморфологические, геологические, гидрогеологические и гидрологические маршрутные наблюдения. При проведении геоморфологического маршрутного наблюдения уделяется большое внимание изучению долин рек, так как они имеют прямую связь с карстующимися породами и неотектоникой. Где река пересекает валы и купола, долина имеет большую высоту террас и меньшую мощность аллювия. В области распространения терригенных отложений долины, обычно, имеют пологие склоны и постепенно переходят в водоразделы. В области распространения известняков и гипсов долины имеют крутые склоны. В известняках и доломитах долины уже, а в гипсах и ангидритах значительно шире. При плохом качестве космо- и аэрофотоснимков необходимо проводить уточнение наличия поверхностных карстовых форм. Заводы округлой формы в прибрежной части водоемов и водотоков могут указывать на наличие подводных родников, образовавших воронкообразное устье.

При геологических наблюдениях внимание уделяется изучению обнажений, расположенных у берега, наличию трещиноватости в них, определению литологического состава.

Гидрогеологические наблюдения нацелены на обнаружение участков выхода наземных источников, которые зачастую могут указывать на наличие вблизи подводных источников. Визуально необходимо фиксировать проявление газовыделений в виде пузырьков на поверхности водоема и водотока, наличие водяного купола, ореола загрязнения различными

веществами (нефтепродуктами, железом и др.). Следует замечать признаки подъема уровня поверхностных вод (максимальные отметки) по сухим растительным остаткам на ветках кустарников, несомым в период паводков и половодий, наличие затопливаемых низких и высоких поим, следам боковой эрозии на склонах долин, изменению окраски горных пород.

При *гидрологических наблюдениях* визуально могут быть замечены участки, на которых происходит значительное увеличение расхода воды, связанное с подтоком подземных вод. Наличие поверхностного стока из водоема является прямым показателем подземного питания.

При поиске подводных родников на водных объектах, находящихся в близком расстоянии к населенным пунктам, следует провести опрос местного населения: старожилов, рыбаков и охотников, по интересующему объекту исследования.

Проведение гидрометрических работ целесообразно для поиска участков подводной разгрузки на естественных водотоках с небольшим расходом, методом вычисления разности расходов между ниже и выше заложенными створами. Для водных объектов с зарегулированным стоком этот метод неприменим (возможны суточные колебания дебита). Для водотоков с большим расходом, взяв во внимание погрешность гидрометрической вертушки, величину погрешности при проведении инструментальных работ, очевидно, что выявление локальных (небольших по расходу) подводных выходов слабо применимо, но для поиска водообильных участков может использоваться.

Список литературы

1. Батурин Е. Н., Корнилова Д. И., Катаева Е. П. К вопросу классификации подводных источников // Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр. (по материалам V науч.-практ. конф. студ., асп. и молодых ученых с междунар. участием): в 2 т. / Перм. гос. нац. иссл. ун-т. – Пермь, 2012. – Т.2. С. 103-105.
2. Максимович Г. А. Основы карстоведения. – Пермь, 1963. – Т.1. – 444 с.
3. Методические рекомендации по применению комплекса геофизических методов при гидрогеологических и геоэкологических исследованиях на акваториях. – Москва, Министерство природных ресурсов РФ, «ГИДЭК», 2002. – 55 с.
4. Шимановский Л. А. Опыт гидрогеологической съемки в зимних условиях // Разведка и охрана недр. – . №11. – С.59-60.
5. Шимановский Л. А. Применение аэровизуальных полетов и лыжных маршрутов при изучении карста // Материалы 6-го Всеурал. совещ. по вопр. географии и охраны природы. Физико-географическое районирование. – Уфа, 1961. – С.217-220.

Рецензенты:

Наумов Владимир Александрович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор, ЕНИ ПГНИУ, г. Пермь.

Наумова Оксана Борисовна, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующая кафедрой поисков и разведки полезных ископаемых, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь.