

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ДВИЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ВУЛКАНИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ

© В.П. Варданян

Ереванский государственный университет, г. Ереван, Армения

HYDRODYNAMIC CONDITIONS OF GROUNDWATER FORMATION AND MOVEMENT OF VOLCANIC REGIONS

© V.P. Vardanyan

Yerevan State University, Yerevan, Armenia

Вулканические сооружения характеризуются чрезвычайным разнообразием физико-географических условий и сложным геолого-тектоническим строением, определяющими весьма неравномерное распределение естественных ресурсов подземных вод. В зоне активного водообмена питание подземных вод осуществляется главным образом за счёт инфильтрации атмосферных осадков. Вулканические сооружения, как гидрогеологические резервуары подземных вод, характеризуются специфическими структурно-гидрогеологическими признаками. Как показывает опыт работ в вулканических областях особенно эффективно комплексирование гидрогеологических и гидрогеофизических методов с палеогеоморфологическими и аэрокосмическими методами исследований. Комплексирование этих методов, основанных на различных физических и геологических принципах, позволяет получить более надёжное и объективное решение поставленной задачи. Этот комплекс особенно эффективен при общих и детальных поисках подземных вод.

Ключевые слова: подземные воды, вулканические сооружения, инфильтрация, атмосферные осадки, физико-гидрогеологическая модель (ФГГМ), гидрогеологический, палеогеоморфологический, гидрогеофизический, аэрокосмический, аэрогеофизический.

Volcanic structures are characterized by an extraordinary variety of physical and geographical conditions and complex geological and tectonic structure, defining a very uneven distribution of groundwater natural resources. In the active water exchange zone groundwater recharge is carried out mainly by infiltration of precipitation. Volcanic structures as hydrogeological groundwater reservoirs are characterized by specific structural and hydrogeological features. The experience of the works in volcanic fields shows that the complexation of hydrogeological and hydrogeophysical methods with paleogeomorphological and aerospace research methods is particularly effective. The integration of these methods, based on different physical and geological principles, provides a more reliable and objective solution of the problem. This complex is particularly effective in the general and detailed groundwater search.

Keywords: groundwater, volcanic structures, infiltration, precipitation, physical and hydrogeological model (FGGM), hydrogeological, paleogeomorphological, hydrogeophysical, aerospace, arogeophysical.

Введение. Вопросы формирования ресурсов пресных подземных вод вулканических сооружений и установление закономерностей их распространения имеет не только теоретическое, но и большое практическое значение. Вулканические сооружения характеризуются чрезвычайным разнообразием физико-географических условий и сложным геолого-тектоническим строением, определяющими весьма неравномерное распределение естественных ресурсов подземных вод, пестроту их состава и минерализации, значительные различия режима в разных регионах вулканизма. Считается, что подземный сток вулканических сооружений ориентирован от центра к периферии. Питание происходит практически

на всей площади массива, а сильная расчленённость рельефа является причиной их глубокой дренированности. В вулканических областях часто встречаются наложенные резервуары подземных вод, которые могут быть седиментогенными и вулканогенными. В рассматриваемых вулканических регионах к наложенным резервуарам подземных вод отнесены многие молодые покровы вулканического происхождения. Они широко развиты в Закавказье, Забайкалье, на Камчатке и т.д.

В зоне активного водообмена питание подземных вод осуществляется главным образом за счёт инфильтрации атмосферных осадков, конденсации влаги из воздуха, поглощения поверх-

ностного стока, подтока воды со стороны внешних областей питания. Относительная роль этих элементов в их балансе неодинакова. Например, осадки имеют большое значение в питании подземных вод супербассейнов, расположенных в зоне умеренного и высокого увлажнения, и совсем незначительную роль играют в аридных и семиаридных районах, где вследствие большой сухости и высокой температуры воздуха они часто испаряются, не достигнув поверхности земли. В таких бассейнах большое значение в восполнении ресурсов пресных подземных вод имеет влага, конденсирующаяся из воздуха, потери поверхностного стока и подток воды со стороны соседних областей питания.

Совместное использование гидрогеолого-геофизических данных показывает, что движение и химический состав подземных вод вулканических сооружений подчиняются закономерным изменениям как по глубине, так и от гребней водоразделов к подошвам склонов. Эти изменения прослеживаются не вглубь вулканического сооружения, а по ступеням высот.

Высокая интенсивная трещиноватость и водопроницаемость лавовых образований изменяются в зависимости от мощности и количества потоков. По существу в вулканических массивах происходит только свободный водообмен с поверхностью. Некоторое замедление водообмена имеет место на участках транзита и разгрузки подземных вод. В зависимости от отметок рельефа различаются три гидрогеодинамические и гидрогеохимические пояса [2, 5, 11].

В высокогорном поясе (включая и водораздельную часть) из-за большой крутизны склонов и хороших фильтрационных свойств лавовых пород скорость движения (в том числе и инфильтрации) подземных вод превышает десятки и сотни метров в сутки. На водораздельных пространствах нагорий ресурсы подземных вод формируются главным образом путём инфильтрации атмосферных осадков и конденсирующейся влаги. Вследствие коротких путей фильтрации и слабой растворимости вулканических пород подземные воды на этих участках имеют незначительную минерализацию (до 0,1–0,15 г/л).

В среднегорных и низкогорных районах подземные воды характеризуются значительной минерализацией и иным составом по сравнению с высокогорными районами, так как, кроме атмосферных осадков, на их формирование влияют породы зоны аэрации, через которые фильтруются атмосферные осадки, прежде чем достигнут зеркала подземных вод. Минерализация воды

здесь 0,3–0,5 г/л, иногда до 0,8 г/л, состав гидрокарбонатный кальциево-натриево-магниевый и гидрокарбонатно-сульфатный натриево-кальциево-магниевый.

Как показывают результаты наших исследований, изменение химического состава подземных вод по высотным поясам наблюдается и для погребённых речных долин, так как иногда амплитуды высот, на которых расположены их устья и истоки, превышают несколько сот метров при протяжённости долин до нескольких десятков километров. В некоторых районах установлено не только повышение минерализации лавовых вод от областей питания к участкам разгрузки, но и аналогичные изменения модулей подземного стока и температуры вод.

В целом зональность подземных вод вулканических нагорий наблюдается повсюду. Отклонение от этой зональности возникает под влиянием отдельных локальных факторов, как, например, фильтрационных потерь из высокогорных водохранилищ и орошения, в особенности предгорных массивов. Причиной появления аномалий в вертикальной зональности может являться наличие тектонических нарушений, по которым происходит поступление напорных, часто высокоминерализованных и термальных вод более глубоких горизонтов.

Фильтрационные и петрофизические свойства вулканических пород. **Водно-физические свойства пород.** Вулканические сооружения, как гидрогеологические резервуары подземных вод, характеризуются специфическими структурно-гидрогеологическими признаками: размером и строением сооружения; вещественным составом пород, определяющим характер распределения подземного стока; особенностями питания, транзита и разгрузки подземных вод.

Рассмотрим некоторые основные фильтрационные (водно-физические) характеристики гидрогеологического разреза вулканических сооружений, определяющие условия формирования и движения подземных вод. В первую очередь это ёмкостные свойства пород, т.е. их способность содержать, поглощать и отдавать свободные подземные воды [4, 5]. Сравнительная характеристика ёмкостных свойств лавовых пород или частей разреза обусловлены: 1) величиной и формой пустот (поры, микро- и макротрещины, каверны, каналы, полости), способных содержать подземную воду и служить путями её фильтрации и флюации; 2) общим объёмом этих пустот; 3) пространственным распределением пустот в породе, наличием связей между ними.

Фильтрационные или коллекторские свойства вулканических пород характеризуются их проницаемостью (коэффициентом проницаемости или водопроницаемостью $K_{пр}$). Лавовые породы в основном проницаемы по трещинам и порам (в ошлакованных разновидностях), причём тем больше, чем больше их размеры. Следовательно, водопроницаемость лав вулканических сооружений зависит от степени (скважности и размеров пустот), гидрогеологических условий (действующий напор) и свойств воды (вязкость). Известно, что водопроницаемость пород определяется коэффициентом фильтрации K_f , который является показателем их способности пропускать через себя воду в единицу времени при определённых напорных градиентах. В соответствии с этим используют два различных значения для выражения коэффициента фильтрации – объёмное (Q) и скоростное (V) [7].

Эффузивные породы по ёмкостным и фильтрационным свойствам разделены на две группы: 1) это молодые плиоцен-четвертичные (кайнотипные) и 2) более древние (палеотипные) эффузивы. Проницаемость пород первой группы различна – пористость в отдельных литологических разностях может совсем отсутствовать, а в других достигать десятков процентов. Так, например пористость кайнотипных базальтов, по В.Н. Кобрановой, колеблется от 0,6 до 19%, а их проницаемость, по Г. Войгту, определяется величинами от 1 до 10 м/с. По степени пористости лавы разделены на две большие группы: ошлакованные базальты и чистые шлаки. У ошлакованных базальтов по сравнению с базальтами пористость намного выше, но ниже, чем у чистых шлаков. В зависимости от условий образования изменяется и трещиноватость лавовых пород. Наиболее характерной формой первичной отдельности большинства маломощных, а также верхних и краевых частей более мощных потоков и покровов лав является глыбовидная отдельность. Рассеченный многочисленными трещинами на блоки различной полигональной формы поток лавы часто имеет вид разборной скалы. В особенности это свойственно молодым андезитобазальтам, которые при резком остывании и интенсивном выветривании зачастую превращаются в скопления каменных глыб – россыпей.

Распространённой формой первичной отдельности, характерной для всех лав, и особенно для четвертичных базальтов и андезитобазальтов, является столбчатая отдельность. Она наблюдается в нижних и средних частях базальтовых потоков, так как формировалась в результате растрески-

вания лав под воздействием внутренних сил растяжения, возникших при остывании и объёмном сжатии, а также давления от собственной массы [8, 12]. К. Бирд измерил 1420 столбов отдельности в семи различных месторождениях базальтов Европы и Америки. Оказалось, что наиболее распространены пяти- и шестигранные столбчатые отдельности эффузивных пород. Правда, в одних районах, например, в базальтах Айдахо в США и Оверни во Франции, преобладает пентагональная отдельность, в других, как, например, в базальтах Ирландии и Калифорнии, – гексагональная. В базальтах Оверни ширина столбов достигает 5–7 м, высота – 15 м. Обнажения базальтов вблизи Мельбурна в Австралии характеризуются преобладанием шестигранной отдельности с высотой столбов до 36 м. Следует отметить, что трещины отдельности отличаются от тектонических тем, что при малейшем изменении однородности или плотности материала они прерываются или изменяют направление; поэтому трещины отдельности сравнительно небольшой длины и не создают больших непрерывных плоскостей разрыва, которые могли бы ослабить эффузивный массив.

Изучение трещиноватости предполагает наряду с выяснением генезиса структурных особенностей, морфологии и направления трещин и количественную оценку параметров, определяющих ёмкостные и фильтрационные свойства. К таким параметрам относятся густота, ширина (раскрытие) и протяжённость трещин, азимут и угол падения плоскостей трещин и их заполнитель. В настоящее время наиболее часто используются такие количественные характеристики, как трещинная порозность m_T (в %) и коэффициент трещиноватости K_T или трещинная проницаемость.

Коэффициенты проницаемости и фильтрации для ряда эффузивных разрезов, особенно в областях разгрузки подземных вод, численно близки друг к другу, а при температуре пресных вод 25–26°C они равны.

Основной закономерностью для большинства трещиноватых лавовых образований является, как правило, уменьшение их проницаемости с глубиной; причём это уменьшение происходит неравномерно, скачкообразно – участки с более высокой проницаемостью сменяются малопроницаемыми и относительно плотными разностями пород. Как показывают результаты исследований, выполненных в различных вулканических регионах, глубина залегания практически непроницаемых пород может изменяться в основном от 10 до 250 м. Именно на эти глубины ориен-

тировано основное число буровых скважин, заложенных в вулканических областях для целей водоснабжения.

На Камчатке, где мощность лавовых покровов достигает 2500 м, трещиноватость в центральных частях покровов проникает на 100–200 м, а в краевых частях, где мощность эффузивов меньше и остывание, по-видимому, шло интенсивнее, трещины достигают их подошвы [10]. На массиве Арагац, в Армении, где мощность лавовых покровов в среднем не превышает 250 м, зияющие трещины пронизывают всю толщу массива.

В отдельных шлаковых разностях базальтов пористость может достигать 50%, даже 70%. Туфы и туфобрекчии значительно менее трещиноваты, причём трещины их часто закольмати-

рованы продуктами выветривания, что их иногда превращают в локальные водоупоры.

Петрофизические свойства вулканических пород. Обобщённая модель вулканических сооружений, как водовмещающая ёмкость подземных вод, по аналогии с известными физико-геологическими моделями (ФГМ) нами названа физико-гидрогеологической моделью (ФГГМ). В основу формирования таких гидрогеологических моделей нами положены водно-физические и петрофизические свойства пород (рис. 1). Учёт геолого-гидрогеологических, морфологических и петрофизических особенностей отдельных частных моделей вулканических сооружений, связанных с областями формирования, стока и разгрузки, позволит более обоснованно формировать обобщённую ФГГМ [9].

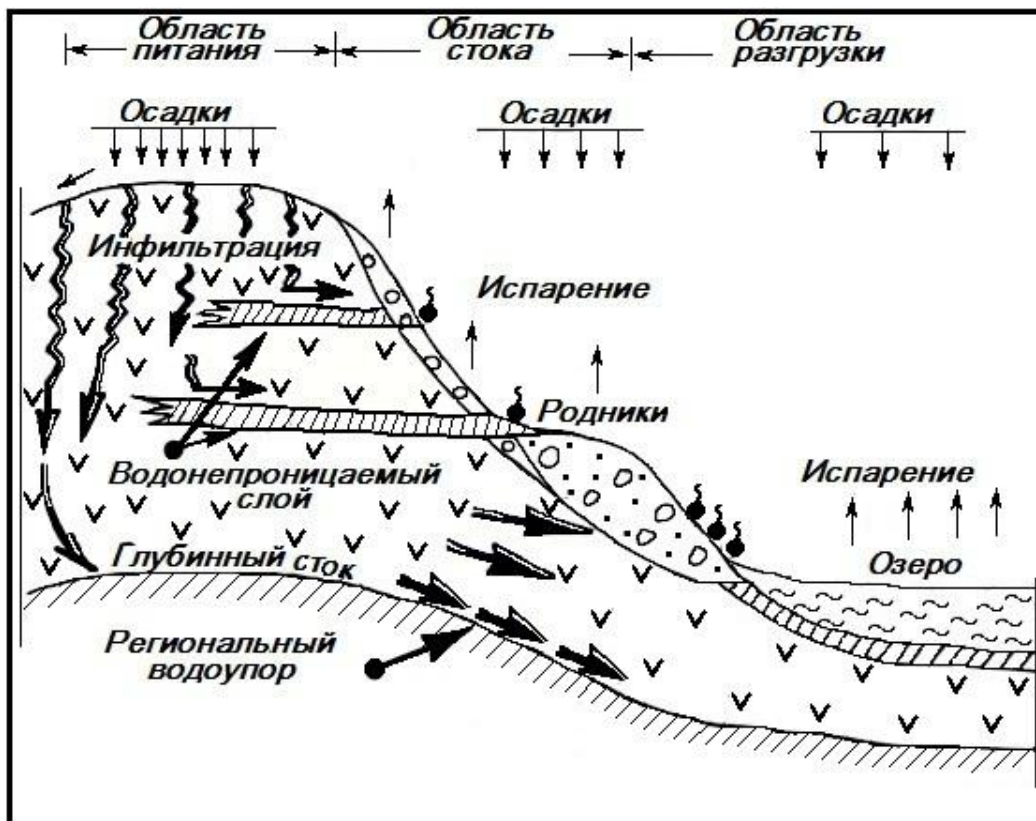


Рис. 1. Схема ФГГМ вулканического сооружения

Сводный геолого-гидрогеологический разрез вулканических сооружений, включая области формирования, стока и разгрузки подземных вод, можно представить в основном тремя комплексами пород, различающихся по петрофизическим и водно-физическим свойствам.

Нижний комплекс – к нему отнесены все подлазовые отложения, в основном палеоген-неогенового возраста, кровля которых служит региональным водоупором для подземных вод (рис. 1). Это осадочные и вулканогенно-осадочные образования (глины, песчаники, туфопесчаники, туфобрекчии и т.п.).

Средний комплекс – породы представлены вулканическими образованиями, главным образом палеоген-неогенового и четвертичного возраста. Этот комплекс является основным водоносным комплексом вулканических сооружений.

Верхний комплекс – как правило, это современные озёрно-речные, элювиально-делювиальные и другие рыхлообломочные и полусвязанные образования (разнозернистые пески, галечники, суглинки и т.д.). Мощность пород рассмотренных комплексов изменяется от областей питания к участкам разгрузки. В высокогорных частях внешних областей питания во многих случаях

наблюдается оголённость лавовых образований, здесь в разрезе верхний комплекс пород почти отсутствует, и атмосферные осадки инфильтруются в глубь вулканического сооружения по трещиноватым и пористым разностям лав. Инфильтрация происходит или до регионального подлавого водоупора, или до локальных водоупорных пород, представленных межлавовыми относительно водоупорными прослойками или относительно плотными менее пористыми разностями лав. В областях транзита (среднегорная часть) и в особенности разгрузки и накопления (равнинная часть) подземных вод встречаются все три комплекса пород.

При рассмотрении гидрогеологических условий отдельных, частных моделей областей формирования, стока и разгрузки эффективность и разрешающая способность применения того или иного гидрогеофизического метода во многом зависит от петрофизических свойств пород и возможностей дифференцированного изучения искусственных или естественных физических полей, обусловленных гидрогеологическими особенностями разрезов.

Анализ данных минералогического состава отдельных лавовых образований показывает, что в процентном отношении основным компонентом является кремнекислота SiO_2 [8, 13]. Наиболее богатые кремнекислотой кислые разновидности (риолиты и дациты) в основном стекловатые и часто высокопористые. Риолиты содержат около 70% кремнекислоты и представляют собой стекло с вкрапленниками кварца, щелочного полевого шпата и иногда кальциевого плагиоклаза. Дацинты ($\text{SiO}_2 \approx 65\%$) более кислые и содержат больше кальция, чем риолиты, вкрапленники в стекле обычно представлены пироксеном. Базальты и андезиты ($\text{SiO}_2 \approx 52\%$) уже значительно основные и содержат меньшее количество кремнекислоты по сравнению с дацитами и, по-видимому, они изливались при значительно более высоких температурах, поэтому расплав их более подвижен и проявляет тенденцию к более полной раскристаллизации. Базальты содержат кальциевый плагиоклаз и пироксен, часто также оливин, нефелин или незначительные количества кварца. Андезиты кислее базальтов, и обычно в их состав входят амфиболы. Стёкла в андезитах и базальтах обычно довольно мало.

Основные факторы, определяющие закономерные изменения таких физических свойств, как плотностные, магнитные, упругие (сейсмические) и электрические, обусловлены их минеральным и химическим составами, структурно-

текстурными особенностями и теми изменениями, которые происходили в породах под действием высоких температур и давления. Для некоторых физических параметров лав определяющими являются также их возраст и водно-физические характеристики.

Особенности, методы и задачи исследования подземных вод вулканических областей. При изучении подземного стока вулканических областей широко используются такие методы, как гидрогеологические, палеогеоморфологические и гидрогеофизические. Привлекает внимание вопрос сочетания этих методов с такими методами, как аэрогеофизические, геохимические, ядерно-физические, ландшафтно-индикационные и аэрокосмические. Для большинства аэрокосмических методов характерна возможность быстрого гидрогеологического изучения сравнительно больших труднодоступных территорий при меньших затратах. Однако они, как правило, обладают малой глубиной и ограниченными возможностями при расчленении разреза вулканических областей на водоносные и водоупорные участки и для количественной оценки водоносности пород.

Как показывает опыт работ в вулканических областях особенно эффективно комплексирование гидрогеологических и гидрогеофизических методов с палеогеоморфологическими и аэрокосмическими методами исследований. Комплексирование этих методов, основанных на различных физических и геологических принципах, позволяет получить более надёжное и объективное решение поставленной задачи. Этот комплекс особенно эффективен при общих и детальном поисках подземных вод. На начальной стадии изучаются более крупные гидрогеологические регионы и исследования выполняются с целью получения обобщённых характеристик разреза. Перед исследователями стоят задачи изучения региональных закономерностей, требующих одновременного охвата значительных территорий. Эти работы завершаются выделением площадей и участков, перспективных для постановки детальных работ, когда уже решаются гидрогеологические задачи поисково-разведочного характера. Обычно изучение палеорельефа требует знания морфологии фундамента. Форма вулканического сооружения и его строение являются отражением состава лавы и типа вулканической деятельности. В самых общих чертах различают вулканические сооружения центрального и трещинного типов. В зависимости от этого площади распространения и мощности лавовых потоков могут значительно

изменяться. Иногда лавы изливаются от центра во всех направлениях, образуя широкие покровы, и поэтому лавовый поток имеет ограниченное площадное развитие, но большую мощность (например, Арагацкий массив) [9]. Исходя из типа излияния лав вулканическая деятельность обуславливает появление двух основных форм рельефа: плато, образующееся при трещинной, базальтовой и игнимбритовой деятельности, но включают и лавовые покровы, и пирокластические отложения с горизонтальным залеганием вокруг аппаратов центрального типа, и конуса – более простые или сложные (стратовулканы, щитовидные вулканы и т.д.) [8]. Морфоструктура лавовых покровов платоизлияний отражает как первичную форму и структуру поверхности подлавого рельефа, так и последующие вулканотектонические и неотектонические процессы платформенных областей.

Определённое влияние на строение современного рельефа вулканических сооружений оказывают состав и физико-механические свойства пород. Рельеф и текстура лавовых потоков определяются как физико-механическими свойствами затвердевшей лавовой массы, так и внешними условиями её течения. Одним из важных свойств считается вязкость лавы, которая зависит от химического состава и первоначальной температуры. Лавы кислого (дацит-риолитового) состава,

имеющие большую вязкость, растекаются медленнее. Они образуют мощные потоки с относительно небольшой площадью распространения. Базальтовые лавы обладают очень низкой вязкостью, т.е. являются преимущественно легкоподвижными, вследствие относительно малого содержания кремнекислоты и высоких температур на выходах. Считается, что именно по этой причине они легко отдают содержащиеся в них газы и способны за короткое время распространяться на большие расстояния в виде потоков.

Для исследования подземных вод вулканических областей в настоящее время накоплен определённый опыт по использованию материалов аэрофото- и космических снимков (АФС, КС) [1, 9]. Сравнительно меньше таких данных по горно-складчатым областям. В целом гидрогеофизические и аэрокосмические методы помогают успешно решить следующие гидрогеологические задачи: 1) выявление районов распространения и определение глубин залегания и примерной минерализации подземных вод; 2) оконтуривание областей питания, стока и разгрузки подземных вод; 3) определение взаимосвязей подземных и поверхностных вод; 4) оценка воздействия искусственных и естественных факторов на режим подземных вод; 5) установление коллекторских свойств и проницаемости пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Викторов А.С.* Использование индикационных географических исследований в инженерной геологии. Москва, Недра, 1960.
2. Геология Армянской ССР. Гидрогеология. Ереван: Изд-во АН Арм ССР, 1974. Т. VIII.
3. *Дортман Н.Б., Васильева В.И. Вейнберг. А. К.* Физические свойства горных пород и полезных ископаемых СССР. Москва, Недра, 1964. 326 с.
4. *Зайцев И.К., Толстихин Н.И.* Классификация подземных вод и горных пород – основа гидрогеологического картирования и районирования // Проблемы гидрогеологического картирования и районирования. Л., 1971. С. 4–16.
5. *Зекцер И.С.* Закономерности формирования подземного стока и научно-методические основы его изучения. Москва, Наука, 1977. 173 с.
6. Изучение подземных вод вулканических областей геофизическими методами / Авт. *Р.С. Минасян*. М.: Недра, 1989. 197 с.
7. *Керкис Е.Е.* Методы изучения фильтрационных свойств горных пород. М.: Недра, 1975. 231 с.
8. *Мархинин Е.К.* Вулканизм. Москва, Недра, 1985. 288 с.
9. *Минасян Р.С., Варданян В.П.* Палеорельеф и распределение подземного стока центрального вулканического нагорья Армении, Ереван: Асогик, 2003. 152 с.
10. Основы гидрогеологии. Методы гидрогеологических исследований / *Н.И. Плотников, Г.В. Варданян, С.С. Бондаренко и др.* Новосибирск: Наука, 1984. 214 с.
11. *Пиннекер Е.В.* Проблемы региональной гидрогеологии (закономерности распространения и формирования подземных вод). Москва, Наука, 1977. 186 с.
12. *Святковский Л.Е.* Региональная вулканология. М.: Недра, 1975.
13. Справочник физических констант горных пород / Под ред. С. Кларка. М.: Недра, 1969. 544 с.

REFERENCES

1. *Viktorov A.S.* (1960) *Ispol'zovanie indikatsionnykh geograficheskikh issledovaniy v inzhenernoy geologii* [The use of the indicative geographical research in engineering geology]. Moscow: Nedra Publ.
2. *Geologiya Armyanskoy SSR. Gidrogeologiya* (1974) [Geology of the Armenian SSR. Hydrogeology]. Yerevan: AS of the Armenian SSR Publ., v. 8.
3. *Dortman N.B., Vasilyeva V.I. and Veynberg A.K.* (1964) *Fizicheskie svoystva gornyx porod i poleznykh iskopaemykh SSSR* [Physical properties of rocks and minerals of the USSR]. Moscow: Nedra Publ., 326 p.
4. *Zaytsev I.K. and Tolstikhin N.I.* (1971) 'Klassifikatsiya podzemnykh vod i gornyx porod – osnova gidrogeologicheskogo kartirovaniya i rayonirovaniya' [Classification of groundwater and rocks - the basis of hydrogeological mapping and zoning], in *Problemy gidrogeologicheskogo kartirovaniya i rayonirovaniya* [Problems of hydrogeological mapping and zoning]. Leningrad, pp. 4–16.
5. *Zektser I.S.* (1977) *Zakonomernosti formirovaniya podzemnogo stoka i nauchno-metodicheskie osnovy ego izucheniya* [Patterns of groundwater flow formation and methodological bases of its study]. Moscow: Nauka Publ., 173 p.
6. *Minasyan R.S. (ed.)* (1989) *Izuchenie podzemnykh vod vulkanicheskikh oblastey geofizicheskimi metodami* [A study of groundwater volcanic areas by geophysical methods] Moscow: Nedra Publ., 197 p.
7. *Kerkis E.E.* (1975) *Metody izucheniya fil'tratsionnykh svoystv gornyx porod* [Methods for studying the filtration properties of rocks]. Moscow: Nedra Publ., 231 p.
8. *Markhinin, E.K.* (1985) *Vulkanizm* [Volcanism]. Moscow: Nedra Publ., 288 p.
9. *Minasyan R.S. and Vardanyan V.P.* (2003) *Paleorel'ef i raspredelenie podzemnogo stoka tsentral'nogo vulkanicheskogo nagor'ya Armenii* [The paleorelief and groundwater flow distribution in the central volcanic uplands of Armenia]. Erevan: Asogik Publ., 152 p.
10. *Plotnikov N.I., Vartanyan G.V. and Bondarenko S.S.* (1984) *Osnovy gidrogeologii. Metody gidrogeologicheskikh issledovaniy* [Fundamentals of hydrogeology. Methods of hydrogeological research]. Novosibirsk: Nauka Publ., 214 p.
11. *Pinneker E.V.* (1977) *Problemy regional'noy gidrogeologii (zakonomernosti rasprostraneniya i formirovaniya podzemnykh vod)* [Problems of regional hydrogeology (the patterns of groundwater distribution and formation)]. Moscow: Nauka Publ., 186 p.
12. *Svyatkovskiy L.E.* (1975) *Regional'naya vulkanologiya* [Regional Volcanology]. Moscow: Nedra Publ.
13. *Clark S.* (1969) *Spravochnik fizicheskikh konstant gornyx porod* [Handbook of Physical Constants of Rocks]. Moscow: Nedra Publ., 544 p.