

Геология

УДК 551.491.4

Р. С. МИНАСЯН, В. П. ВАРДАНЯН

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ РЕШЕНИИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

В работе обобщены основные задачи и предпосылки применения современных геофизических методов для решения проблем гидрогеологии и инженерной геологии, в особенности в районах развития лавовых образований. В частности рассмотрены возможности и особенности применения указанных методов в целях обнаружения подземных вод, оползневых явлений в гидротехническом строительстве и т.д. Эффективность применения геофизических методов обусловлена выбором комплекса методов и их модификаций, физико-геологическими факторами, обработкой и интерпретацией полевых данных.

Введение. Возможности применения геофизических методов и их комплексирование при решении гидрогеологических и инженерно-геологических вопросов во многом зависят от поставленной задачи, физико-геологических условий и петрофизических свойств пород. На стадии проектирования работ и при оценке априорных возможностей отдельных полевых методов многое можно получить от обобщенной модели исследуемой области. Обычно объединение конкретных методов (их модификаций) в комплексы базируется на двух подходах, взаимно дополняющих друг друга: 1) отбор наиболее эффективных и достаточно экономичных геофизических методов с учетом многолетнего опыта и интуиции исполнителей; 2) количественный системный отбор, позволяющий решать вопрос о конкурентоспособности отдельных методов. На основании анализа особенностей гидрогеологического разреза, петрофизических свойств пород областей питания, стока и разгрузки подземных вод составляется сводная физико-гидрогеологическая модель (ФГГМ) территории [1].

Обобщенная физико-гидрогеологическая модель. Обычно обобщенная модель объединяет три частных.

ФГГМ-1 характеризует внешнюю область питания исследуемого региона. Так, например, в вулканических областях Армении это водораздельные высокогорные районы, где практически отсутствуют или маломощны наносные образования, и поэтому основная часть атмосферных осадков и конден-

сационная влага через трещиноватые и пористые лавы проникают вглубь, образуя глубинный сток. При изучении таких площадей целесообразно применение аэрогеофизических, аэрокосмических, ландшафтно-индикационных и палеогеоморфологических методов исследования. Решение основной гидрогеологической задачи сводится к определению направленности глубинного стока и соответствия современных и древних водоразделов. В методическом отношении геофизические исследования могут быть проведены маршрутными полетами и региональными наземными профилями в составе общей гидрогеологической съемки масштаба 1:200 000. В геологическом разрезе ФГГМ-1 некоторых регионов мощность основного комплекса лавовых пород превышает 500–1000 м.

ФГГМ-2 обобщает среднегорные и предгорные районы и в гидрогеологическом отношении характеризует область транзита (стока) подземных вод. Исследования в этой области направлены на выяснение возможного распределения глубинного стока с выделением меж- и подлавовых концентрированных водотоков; наземные геофизические работы как стадия общих и детальных поисков выполняются в масштабах 1:100 000–1:50 000. В случае необходимости могут быть проведены более детальные работы, связанные с перехватом подземных вод на относительно высоких гипсометрических отметках, для целей водоснабжения и орошения. В литологическом разрезе в ФГГМ-2 встречаются ранее рассмотренные три комплекса пород: покровные надлавовые, в основном рыхлообломочные и суглинистые образования; толща разновозрастных лавовых потоков и покровов; подстилающий подлавовый региональный водоупор.

Наконец, ФГГМ-3 характеризует область накопления и разгрузки подземных вод. Это, обычно, межгорные бассейны с напорными и грунтовыми водоносными горизонтами. Литологический разрез этой области более сложный – надлавовые породы имеют сравнительно большие мощности (иногда превышающие несколько сотен метров) и содержат один или несколько дополнительных водоносных слоев. Основной водоносный горизонт межгорных бассейнов представлен лавовыми породами и содержит напорные и слабоминерализованные воды. Здесь геофизические исследования выполняются на стадии разведочных гидрогеологических работ с целью уточнения строения регионального водоупора и оценки водно-физических свойств водоносных горизонтов.

Возможности практического использования геофизических методов. Возможности практического использования при решении инженерно-гидрогеологических задач таких геофизических методов, как грави-, магнито-, сейсмо- и электроразведка, рассматриваются на практическом примере ФГГМ палеодолин Армянского нагорья. Этот разрез по аналогии с обобщенной ФГГМ вулканических областей включает три комплекса пород: III – подлавовые водоупорные (нижний комплекс), II – лавовые водоносные (средний комплекс) и I – надлавовые (верхний комплекс) наносные образования. Эти комплексы по возрасту относятся соответственно к палеоген-неогеновому, палеоген-неогеново-четвертичному и четвертично-современному периодам.

Третичные водоупорные отложения III комплекса по средней плотности (σ_{cp}) разделены на два подкомплекса: 1) миоценовые осадочные глинисто-

песчанистые отложения имеют $\sigma_{cp}=2,27 \text{ г/см}^3$, из них гипсоносные глины – $2,21 \text{ г/см}^3$, а песчаники – $2,31 \text{ г/см}^3$; 2) эоценовые вулканогенно-осадочные образования с $\sigma_{cp}=2,58 \text{ г/см}^3$, из них песчаники, туфопесчаники – $2,54 \text{ г/см}^3$, порфириды и их туфы – $2,63 \text{ г/см}^3$. Плотность андезитов, андезитодацитов и липаритов палеоген-неогенового возраста, входящих как лавовые образования во II комплекс пород разреза ФГГМ, составляет в среднем $2,54 \text{ г/см}^3$, а долеритовых базальтов – $2,5 \text{ г/см}^3$, так что в целом лавы палеоген-неогенового периода имеют $\sigma_{cp}=2,52 \text{ г/см}^3$.

Лавовые породы II комплекса относят в основном к четвертичному возрасту, они представлены преимущественно базальтами и андезитобазальтами с $\sigma_{cp}=2,54 \text{ г/см}^3$, следовательно, средняя плотность лавовых образований II комплекса с учетом пород палеоген-неогенового и четвертичного возрастов составляет $2,53 \text{ г/см}^3$.

Надластовые образования I комплекса включают озерно-речные отложения, иногда туфы и туфолавы и характеризуются средней плотностью $1,9\text{--}2,0 \text{ г/см}^3$. На контактах трех комплексов пород разреза ФГГМ палеодолин наблюдаются следующие избыточные плотности: на границе II–III осадочного подкомплексов – $0,26 \text{ г/см}^3$; II–III вулканогенно-осадочного подкомплексов – $0,05 \text{ г/см}^3$; на границе II–I комплексов – $0,53 \text{ г/см}^3$.

Гравиразведка. Анализируя возможности применения гравиразведки для решения задачи по картированию рельефа подластовых водоупорных пород, необходимо отметить следующее. Наиболее контрастен контакт лавовых осадочных пород, когда разность плотностей между лавовыми и глинисто-песчанистыми образованиями составляет $0,26 \text{ г/см}^3$, что обуславливает аномалию примерно 10^{-5} м/с^2 на каждые 100 м мощности андезитобазальтовых лав. Ожидаемая аномалия от контакта между II и I комплексами составит почти $2,1 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$ на каждые 100 м мощности. Местами, особенно в пределах скопления подземных вод в межгорных впадинах, колебания мощности надластовых отложений имеют значительное влияние на суммарное аномальное поле силы тяжести. С учетом ожидаемой интенсивности аномалий от контакта между водоупорными и лавовыми образованиями, а также точности определения аномалий силы тяжести современными приборами (не ниже $+0,1 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$) и того, что в горных районах влияние рельефа превалирует над всеми остальными влияниями, применение гравиразведки для решения картировочных задач в ее традиционной форме затруднительно.

Магниторазведка. Намагниченность эоценовых вулканогенно-осадочных отложений колеблется в значительных пределах (от практически немагнитных до магнитных): подкомплекс песчано-глинистых образований относят к слабوماгнитным, а вулканогенных, как правило, – к среднемагнитным породам. Результаты определения намагниченности пород II комплекса разреза ФГГМ показывают, что эффузивные образования палеоген-неогенового (долеритовые базальты, базальты, дациты, андезитодациты) и четвертичного (базальты, андезитобазальты) возрастов характеризуются не только высокой магнитной восприимчивостью, но и высокой остаточной намагниченностью, значительно превышающей индуцированную намагниченность [2]. Наблюдается следующая закономерность в изменении намагниченности эффузивных пород II и III комплексов: 1) имеется согласие между значения-

ми намагниченности верхнечетвертичных, среднечетвертичных пород и иногда встречающихся вулканических туфов; 2) нижнечетвертичные и верхнеплиоценовые лавы характеризуются исключительно обратной намагниченностью, породы среднего плиоцена – нормальной, нижнего плиоцена-верхнего миоцена – обратной намагниченностью; 3) вулканогенные породы эоцена характеризуются нормальной намагниченностью. Изучение зависимости химического и петрографического состава эффузивных пород от их намагниченности показывает, что лавы с различными составами, но одного возраста характеризуются одинаковой намагниченностью, а породы одинакового состава, но разного возраста – различной. Магнитные аномалии, наблюдаемые над эффузивными образованиями, являются результатом интегрального поля, обусловленного комплексом разновозрастных лавовых потоков [3]. На аномальное магнитное поле свой отпечаток накладывают также подлавовые породы: в одном случае это относительно магнитные туфобрекчии, порфириты и их туфогены, а в другом – слабомагнитные глинистые и песчано-глинистые отложения. Обычно мощность лавовых образований в пределах палеодолин (на пути их простираения от областей питания и до разгрузки) изменяется в довольно широком диапазоне, в среднем от 500 до 25 м. В связи с этим установить причины магнитных аномалий в вулканических регионах часто бывает сложно. Это обусловлено либо разной остаточной намагниченностью разновозрастных лавовых образований, либо тем, что она связана с изменением мощности одновозрастного лавового комплекса. В обоих случаях определенное влияние оказывает также подлавовый субстрат. Указанные факторы совместными воздействиями создают определенные трудности при выделении и прослеживании меж- и подлавовых водотоков. Однако полностью исключить магнитоторазведку из комплекса геофизических методов при решении гидрогеологических задач в условиях широкого распространения лавовых образований нельзя. В некоторых благоприятных условиях можно получить положительные результаты по геокартированию территории исследований.

Сейсмоторазведка. О возможности использования сейсмоторазведки при геокартировании подлавового рельефа, в частности для выделения и прослеживания палеодолин, нужно сказать следующее. Опыт сейсмических исследований, выполненных для решения глубинных структурных задач в условиях Араратской котловины, показывает, что в неоднородной базальтовой толще формируется большое количество интенсивных регулярных и нерегулярных волн-помех, которые являются источниками возбуждения волн, распространяющихся в качестве самостоятельных колебаний (помимо прямой падающей волны) и соответствующим образом осложняющих всю волновую картину. Последнее приводит к тому, что иногда не удается регистрировать полезные сигналы от подларовой толщи, а наблюдаемые сейсмограммы характеризуются хаотичной записью. Сложности возникают и в результате фациальной изменчивости пород надларовой толщи как по вертикали, так и по площади. Упругие свойства пород обобщенного разреза ФГГМ палеодолин показывают, что относительно повышенные скорости продольных волн для эффузивной толщи (4–5 км/с) и их пониженные значения для подлавовых осадочных отложений (1–2 км/с) или вулканогенно-

осадочных пород (2–3 км/с) делают невозможным применение наиболее широко используемого в гидрогеологии и инженерной геологии сейсмического метода преломленных волн (МПВ) для подлавового картирования. В то же время, когда подлазовые породы представлены относительно плотными образованиями и скорость прохождения волны через них больше, чем через лавовые образования, МПВ с успехом может решить задачу по картированию рельефа подлавовых пород.

Электроразведка. Наконец, данные исследований ФГГМ показывают, что они сравнительно хорошо дифференцируются по электрическим свойствам и имеются благоприятные физико-геологические условия для подлавового картирования. Практически при решении некоторых инженерно-гидрогеологических задач широко используются такие электроразведочные методы и их модификации, как симметричное и дипольное электрзондирования, зондирования методами вычитания полей и вызванной поляризации, разные модификации электропрофилирования, методы естественного электрического поля, радиокип и т.д. [4].

В связи с решением задач водоснабжения и орошения ведется строительство различных водохозяйственных объектов: гидротехнических, мелиоративных (осушительных и оросительных), водозаборных, дренажных и др. Народнохозяйственное значение таких сооружений, как водохранилища и каналы, огромно. Регулирование многолетнего поверхностного стока водохранилищами повышает коэффициент полезного использования водных ресурсов. Однако их эксплуатация приводит к коренному изменению окружающей среды на значительных территориях. Накопление поверхностных вод в водохранилищах и длительная их эксплуатация нарушает режим подземного стока. В сфере их влияния нарушается взаимосвязь поверхностных и подземных вод, происходит подпор уровня подземных вод. При эксплуатации водохранилищ всегда имеют место фильтрационные потери поверхностных вод. Под воздействием техногенных процессов в зоне влияния водохранилищ происходит искусственное пополнение ресурсов и запасов пресных подземных вод. Все это создает весьма благоприятную инженерно-гидрогеологическую обстановку для улучшения условий водоснабжения большого числа населенных пунктов и сельскохозяйственных объектов, тяготеющих к районам водохранилищ.

Искусственное пополнение подземных вод имеет место и при эксплуатации таких сооружений, как крупные ирригационные или транспортные каналы. В результате инфильтрационных потерь формируются подканальные линзы пресных подземных вод, которые широко используются для постоянного водоснабжения населенных пунктов. Фильтрационные потери из гидротехнических (инженерно-геологических) объектов особенно значительны, если они сооружены на скальных вулканических образованиях. Сильная трещиноватость лавовых пород, контактные зоны отдельных лавовых потоков с переслаивающимися вулканическими шлаками, рыхлыми и различно уплотненными песками, пеплами и туфами создают условия для сосредоточенной фильтрации и значительных потерь воды. Такие сложные инженерно-геологические и гидрогеологические условия требуют проведения различного рода противофильтрационных мероприятий: осуществления фронталь-

ных и бортовых цементационных завес, грунтопленочных и других экранов. Потери на фильтрацию из водохранилищ имеют место в чаше, бортах и земляных плотинах. Фильтрационные потери через дно могут непосредственно поступить в нижележащие водоносные горизонты; бортовая фильтрация может растекаться в стороны от бортов: одна часть потока, обтекая береговые примыкания гидросооружений, поступает в нижний бьеф через бортовые склоны, а другая распространяется на значительные расстояния, питая подземные воды близлежащих гидрогеологических структур, находящихся ниже подпертого уровня воды в водохранилище. На стадиях проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений (водохранилища и каналы) в вулканических областях (и не только в них) при решении ряда инженерно-гидрогеологических задач, связанных с условиями формирования и распространения фильтрационных потоков, применяются различные геофизические методы.

При определении мест фильтрационных потерь со дна и через борта водохранилищ, установлении интенсивности их изменения во времени и при оценке общих фильтрационных потерь широко используется метод естественного электрического поля. Напряженность этого поля, образующегося при движении воды через горную породу, зависит от скорости фильтрации (перепада давления в фильтрующем пласте), электрического сопротивления фильтрующейся воды, глубины залегания водоносного горизонта, электрического сопротивления покрывающих и подстилающих фильтрующий горизонт пород, вязкости воды, температуры, а также от геометрии трещин (пор), в которых протекает процесс фильтрации.

В ходе строительства цементационных завес, сооружаемых в районах развития скальных образований, с помощью геофизических методов можно получить информацию о пространственном распространении инъецируемого цементно-суглинистого раствора, степени заполнения трещин и пород цементным материалом, а после завершения цементации отдельных интервалов – сведения об изменении их относительной плотности и о процессе упрочнения цементного раствора во времени. При этих исследованиях в условиях развития лавовых образований эффективными оказались методы электропрофилирования с несколькими разносами и электроразведки. Проверку водопроницаемости зацементированных участков можно проводить как общеизвестным в гидротехнике способом, так и методом заряженного тела.

Изучение оползневых явлений – один из самых ответственных и сложных видов инженерно-геологических исследований. Неслучайно широкое привлечение для этих целей геофизических методов. Обоснованная оценка оползневых процессов и оползневой опасности требует решения целого ряда инженерно-геологических и гидрогеологических вопросов. При этом геофизические методы используются: при изучении геолого-гидрогеологической обстановки, способствующей возникновению оползней, при создании физико-геологической модели оползневых массивов, при изучении свойств и состояния оползневых территорий, при изучении подземных вод как фактора оползнеобразования, для прогноза оползневых процессов и, наконец, при наблюдении за эффективностью противооползневых мероприятий.

Выводы. Эффективность использования геофизических методов при решении инженерно-гидрогеологических задач в районах широкого распространения эффузивных образований находится в прямой зависимости от полноты, своевременности и достоверности геофизической информации. Эффект от геофизических исследований выражается в том, что вместо дискретной оценки удается получить практически непрерывную оценку среды, уменьшается объем дорогостоящего бурения и опытно-фильтрационных работ за счет более обоснованного направления поисково-разведочных работ и их частичного сокращения.

К числу наиболее важных факторов, определяющих геолого-экономическую эффективность геофизических методов, относят стадийность работ, комплексирование методов, выбор сети, глубины и площади исследований, совершенство методики интерпретации и, наконец, общую стоимость самих геофизических работ. Накопленный к настоящему времени опыт геофизических работ свидетельствует об их высокой геолого-экономической эффективности и больших потенциальных возможностях. Основой количественных оценок многих инженерно-гидрогеологических характеристик является изучение корреляционных (в том числе многомерных) связей между геофизическими и гидрогеологическими параметрами. Особое внимание должно быть обращено на возможности использования комплексных параметров, отражающих одновременно инженерно-гидрогеологические и геофизические особенности разреза.

Кафедра геофизики

Поступила 19.01.2006

ЛИТЕРАТУРА

1. Минасян Р.С., Варданян В.П. Палеорельеф и распределение подземного стока Центрального вулканического нагорья Армении, Ер.: Асогик, 2003.
2. Геология Армянской ССР. Геофизика. Т. X. Ер.: Изд-во АН Арм. ССР, 1975.
3. Справочник физических констант горных пород. Под ред. С. Кларка. М.: Недра, 1969.
4. Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии. М.: Недра, 1985.

ՈՍՄԻԱՍՅԱՆ, Վ.Պ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

ԵՐԿՐԱՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵ-
ՏՈՒԹՅՈՒՆԸ ԶՐԱԵՐԿՐԱԲԱՆԱԿԱՆ ԵՎ ԻՆԺԵՆԵՐԱԵՐԿՐԱ-
ԲԱՆԱԿԱՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒՑՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Ամփոփում

Աշխատանքում ամփոփված է լուրջ դիտարկված են որոշ խնդիրներ ջրա-երկրաբանության և ինժեներաերկրաբանության բնագավառներում, որոնց արդյունավետ լուծման համար առաջարկվում է կիրառել երկրաֆիզիկական

մեթոդներ: Մասնավորապես այդ խնդիրների թվին են պատկանում՝ ստորերկրյա ջրերի հայտնաբերումը և նրանց տարածական բաշխվածության հարցերը, հիդրոտեխնիկական կառույցների տարածքներում ֆիլտրացիոն պրոցեսների ուսումնասիրությունը և նրանց անվտանգ շահագործումը, սողանքային երևույթների ուսումնասիրությունը և այլն: Երկրաֆիզիկական մեթոդների կիրառման արդյունավետությունը պայմանավորված է նրանց համալիրի ճիշտ ընտրությամբ, ֆիզիկաերկրաբանական գործոնների ազդեցության գնահատմամբ, աշխատանքների մեթոդիկայի դաշտային տվյալների մշակման և մեկնաբանման հիմնավորումով:

R. S. MINASYAN, V. P. VARDANYAN

EFFECTIVENESS OF APPLICATION OF GEOPHYSICAL METHODS IN TASK SOLUTION OF HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY

Summary

Some hydrogeological and engineering geological problems that effectively might be solved with the help of proposed geophysical methods have been briefly discussed in the paper. In particular, such problems related to ground water prospecting and definition of its spatial distribution, investigations of infiltration processes of hydrotechnical constructions and problems of their safe operation, investigations of landslides, etc. Effectiveness of geophysical methods depends on proper selection of the assemblage of various methods, evaluation of impacts of physical and geological factors, as well as basing on interpretation of obtained field data.