

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ЦИРКОНИЕВОМ КОМПЛЕКСЕ, ПАЖАЙЯКАЯЛ (Тутукуди, Индия)**

**А.А. Равиндран**

*Department of Geology, V.O.Chidambaram College, Manonmaniam Sundaranar University, Thoothukudi, Pin-628008, India*

Подземные воды являются очень важным компонентом водных ресурсов в прибрежных водоносных пластах в Тутукуди. Установлено, что подземные воды в прибрежной зоне циркониевого комплекса (Пажайякаял, район Тутукуди, штат Тамилнад, Индия) подвергаются волновому и приливно-отливному воздействию. На исследуемой территории качество подземной воды изучалось с использованием гидрогеологических методов, было пройдено шесть профилей с построением 2-мерных изображений удельного электрического сопротивления (ИУЭС), 11 профилей вертикального электрического зондирования по схеме Веннера (ВЭЗ), проанализированы каротажные данные и отобраны девять геохимических проб воды. 2-мерные ИУЭС и ВЭЗ измерения были выполнены с помощью измерителя удельного сопротивления WGMD-4 Ltd, с применением многожильного кабеля и многоэлектродной установки Веннера. Собранные данные с использованием метода сопротивлений проинтерпретированы при помощи компьютерной программы Res2DINV. Проведенные исследования показали, что подземные воды образовались вследствие протекания палеореки по каналу Тамирабарани в западной части и поступления морской воды в восточной части изученной территории. В данном районе пресная вода характеризуется значениями удельного сопротивления около 10—100 Ом·м. Полученные значения удельного сопротивления 10—50 Ом·м свидетельствуют о том, что разрез сложен песками, глинами и мергелями. Приповерхностные высокие значения удельного сопротивления более 200 Ом·м типичны для песчаных дюн. Слой с очень низким удельным сопротивлением (менее 5 Ом·м) может быть обусловлен вторжением морской воды. Проанализированы шесть проб воды из скважины, пробуренной в прибрежной зоне участка, по которым установлены концентрации главных и редких элементов в подземных водах. Они использовались для выявления вторжения морской воды и характеристик окружающей среды в пределах изученной площади.

*Прибрежный водоносный горизонт, вторжение морской воды, удельное сопротивление, циркониевый комплекс, Тутукуди.*

**STUDY OF CHARACTERISTICS OF THE COASTAL-ZONE SHALLOW AQUIFER IN THE ZIRCONIUM COMPLEX, PAZHAYAKAYAL (Thoothukudi, India), USING GEOELECTRICAL AND GEOCHEMICAL METHODS**

**A.A. Ravindran**

Groundwater is a very important component of water resources in coastal aquifers in Thoothukudi. It has been established that the groundwaters in the coastal zone of the Zirconium Complex, Pzhayakayal, Thoothukudi district, Tamilnadu, India, are subjected to wave and tidal impact. The groundwater quality was studied by hydrogeological methods, 2D electrical resistivity imaging (ERI) techniques (six profiles), 11 Wenner vertical electrical sounding (VES), and well log analysis. Also, nine geochemical water samples were taken from the study area. The 2D ERI and VES surveys were carried out using WGMD-4 Ltd, Chennai, resistivity meter, multicore cable, and multielectrodes with Wenner array. The collected resistivity data were interpreted using the Res2DINV software. The research shows that the groundwaters are the result of the palaeoriver flow along the Tamirabarani Channel in the western area and of the seawater intrusion in the eastern area. The fresh water is characterized by resistivity of about 10–100 Ohm·m in the study area. The resistivity of 10–50 Ohm·m indicates that the subsurface section is made up of sand, clay, and caliche. Resistivity values of more than 200 Ohm·m are specific for sand dunes. The very low resistivity (<5 Ohm·m) layer might be due to the seawater intrusion in the study area. Six water samples from the well drilled in the coastal area were analyzed, which made it possible to determine the concentrations of major and trace elements in the groundwaters. These data were used to establish the seawater intrusion and coastal environment characteristics in the study area.

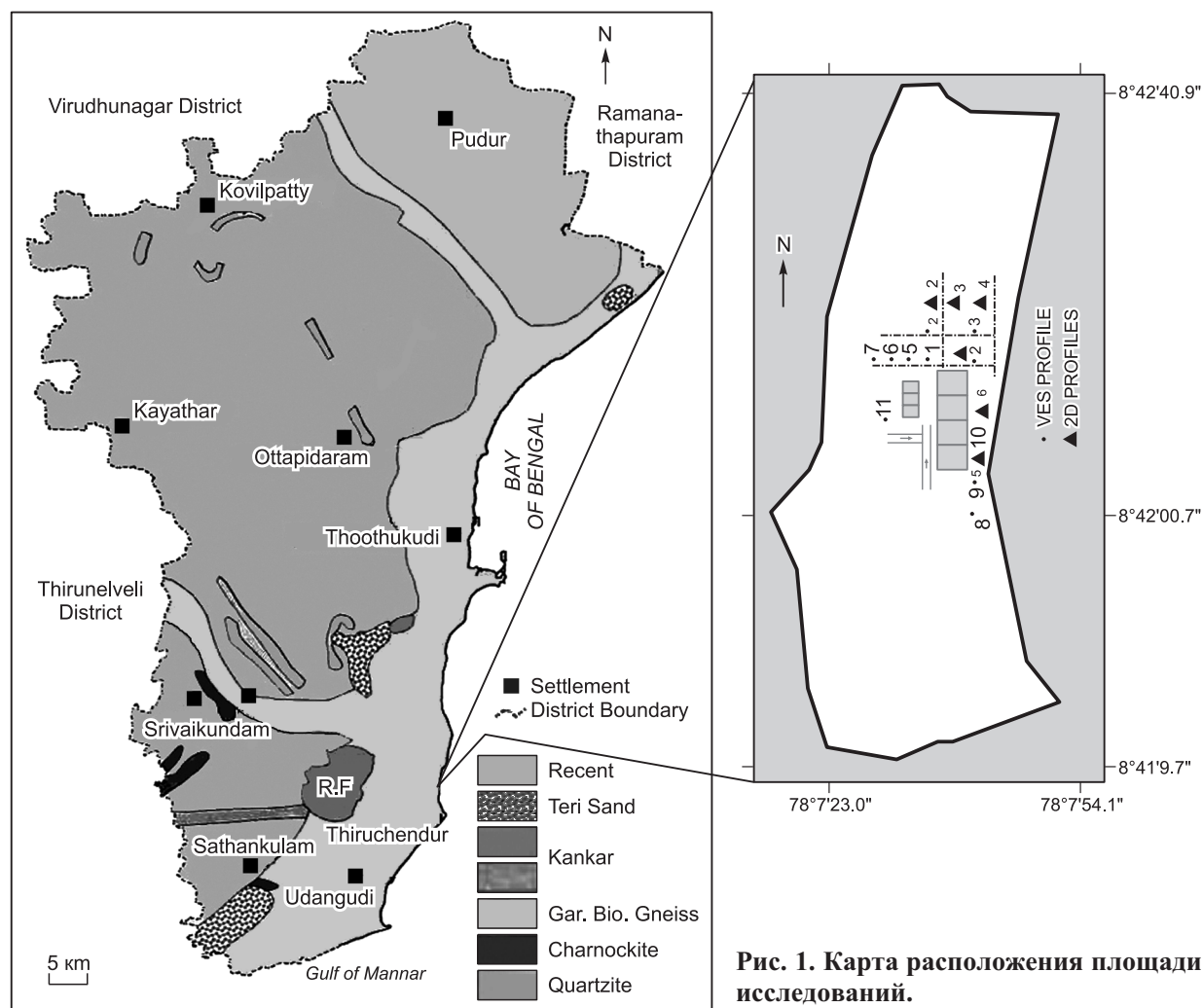
*Coastal aquifer, seawater intrusion, resistivity, Zirconium Complex, Thoothukudi*

## ВВЕДЕНИЕ

**Геологическая ситуация.** Изучаемый район расположен в прибрежной зоне Манарского залива (Пажайякал, район Тутукуди, штат Тамилнад, Индия) и находится поблизости от циркониевого комплекса (Департамент атомной энергии). Площадь исследования залегает между  $8^{\circ}41'58''$  и  $8^{\circ}41'51.6''$  с.ш.,  $78^{\circ}8'08.5''$  и  $78^{\circ}8'07.1''$  в.д. и приурочена непосредственно к береговой линии (рис. 1). Относительное превышение района составляет около 1—5 м выше среднего уровня моря. В летний период (с апреля по август) климат очень жаркий со средними температурами более  $30^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовое количество атмосферных осадков составляет 600 мм. Прибрежный водоносный пласт является составной частью водных ресурсов для жителей побережья и представляет собой зону взаимодействия пресной и соленой воды [Lawtence, Balasubramanian, 1994]. Эта зона возникла вследствие различий физических и химических свойств этих двух водных масс, а также под воздействием внешнего процесса [Abdul, 2002; Atsunao, 2003]. Влияние океанических осцилляций (приливно-отливных и волновых) на обменные процессы происходит в зоне океанических отмелей. Проникновение соленой воды в прибрежные водоносные горизонты детально изучалось с использованием разведочных скважин и анализов проб воды.

Литология участка в основном представлена прибрежными песками, глинами и содержащими окаменелости известковистыми песчаниками. Площадь исследований располагается на удалении 400 м от моря, при этом в расчет принимались также такие характеристики прилегающих геологических структур, как ширина бухт, лагун, эстуариев, дюн, пляжей, верхних береговых террас и илистых банок [Ramanujam et al., 1996].

**Метод полевых исследований и аппаратура.** Применение геофизического метода измерения геоэлектрического сопротивления для изучения прибрежных водоносных пластов, дюн, минерализованной и пресной вод, вторжения морской воды, а также в гидрогеохимических исследованиях требует его дальнейшего совершенствования для выявления будущих трендов в области исследования. Для сбора данных и геологической интерпретации 2-мерных ИУЭС использовалось оборудование с высокой



**Рис. 1. Карта расположения площади исследований.**



Рис. 2. Фото полевых работ по сбору 2-мерных ИУЭС.

разрешающей способностью [Barker, 1990; Griffiths, Barker, 1993; Ravindran, 2010]. Для изучения условий подземного вторжения морской воды в прибрежные водоносные горизонты [Abdul, 2008; Агеенков и др., 2012] использовался метод построения 2-мерного изображения удельного электрического сопротивления с применением многожильного кабеля и массива Веннера [Dahlin, Loke, 1988]. Было построено шесть разведочных 2-мерных ИУЭС с помощью универсального измерителя WDJ-4, многоэлектродных кабелей, передатчика мощности и массива электродов. Система автоматически выбирает токовые и потенциальные электроды в соответствии с заданным массивом электродов и обеспечивает измерение удельного сопротивления во всех точках разреза (рис. 2). Для определения абсолютных отметок использовалось все оборудование станции. Собранные информация о превышениях вводилась в программу Res2DINV. Применение массива Веннера в построении 2D ИУЭС является обычной практикой в изучении горизонтальных и вертикальных изменений удельного сопротивления среды в условиях приповерхностного залегания водоносного горизонта [Ravindran, 2012; Деев и др., 2012; Могилатов, 2012]. Для изучения качества воды с помощью анализа главных и редких элементов из буровой скважины было отобрано девять проб подземной воды. На базе проведенных 2-мерных ИУЭС и ВЭЗ исследований мы рекомендуем девять буровых скважин. Полученные по керну буровых скважин литологические и геохимические данные коррелируют с данными измерения удельного геоэлектрического сопротивления [Swarts, 1937; Balasubramanian et al., 1985; Edet, Okereke, 2001].

Геохимические исследования были сосредоточены на определении таких физико-химических параметров, как электропроводность, pH, жесткость воды, общее количество растворенного твердого вещества и концентраций редких элементов Li, Be, B, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Co, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, Sb, Ba и Pb [Alagusamy, Zhang, 2010]. Геохимические характеристики образцов подземной воды были проанализированы с использованием оборудования ICP-MS в Национальной геофизической исследовательской лаборатории в г. Хайдарабад, Индия.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Профили 2-мерных ИУЭС.** Профиль 1 протягивается с запада на восток на расстояние 180 м и фиксирует зону высокого удельного сопротивления со значениями 130—700 Ом·м, которую окружают известковистые песчаники (рис. 3). В зоне низкого удельного сопротивления значения опускаются ниже 1 Ом·м, что свидетельствует о вторжении морской воды на глубину 16 м от поверхности. Профиль 2 протягивается в направлении с юга на север на расстояние 180 м в северной части области исследования. Эти слои с низким удельным сопротивлением были поглощены соленой водой в 6 м от поверхности. Наличие таких зон с низким удельным сопротивлением можно объяснить распространением богатых глинами почв до глубины 2.5 м. Профиль 3 пройден в 40 м от профиля 2 в СВ части изучаемого района и протягивается на расстояние 150 м. В этой части непроводящие зоны со значениями удельного сопротивления от 140 до 700 Ом·м указывают на выход на поверхность и расширение с глубиной толщи твердых и плотных песчаников. Профиль 4 протягивается с запада на восток на расстояние 170 м. Установлено нисходящее движение потока воды в направлении с запада на восток. В верхнем слое, отвечающем глубинам 3.5—7.5 м, низкие значения удельного сопротивления от 0.1 до 4.21 Ом·м говорят о

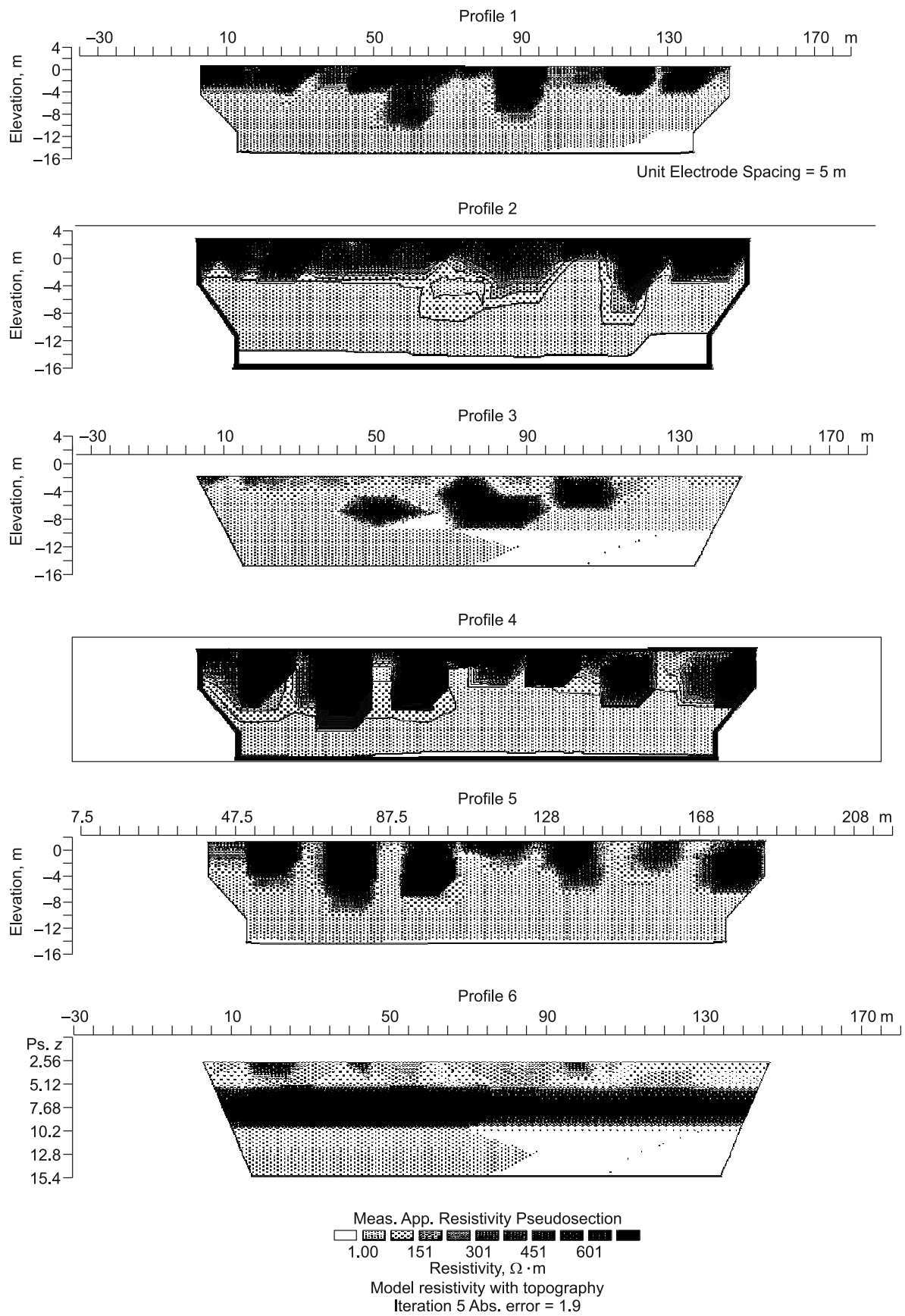


Рис. 3. 2-мерные ИУЭС по профилям 1—6.

**Рис. 4. Профиль ВЭЗ в сравнении со стратиграфической колонкой, построенной по данным каротажа на площади исследований.**

вторжении морской воды. Инверсионный 2-мерный псевдоразрез удельных сопротивлений по профилю 5 протягивается в меридиональном направлении на расстояние 170 м. Более низкие значения удельного сопротивления от 0.1 до 5 Ом·м свидетельствуют о вторжении морской воды. Профиль 6 протягивается с юга на север на расстояние 170 м. Диапазон значений удельного сопротивления для горизонта, в который поступала морская вода, составляет от 0.716 до 4.770 Ом·м.

**Вертикальное электрическое зондирование.** В методе электросопротивлений ток подается в землю с помощью двух или нескольких электродов, а разность потенциалов измеряется между двумя точками (с помощью электродов-измерителей потенциалов), расположенными соответствующим образом относительно электродов [Senosy, Dahab, 1997; Acworth, 1999; Дмитриев, 2012].

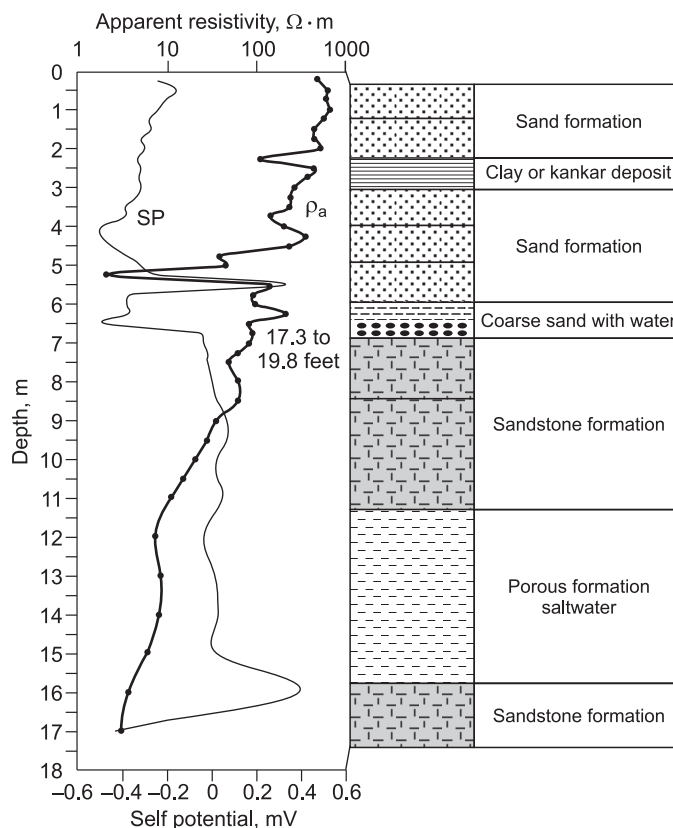
В районе исследований при сравнении каротажных данных (рис. 4) с данными ВЭЗ и 2-мерными ИУЭС установлены прослой глины и рыхлой почвы на глубине 2 м. Однако на глубине от 7 до 8 м встречен прослой сцементированного песка, для которого установлено относительно высокое значение удельного сопротивления (200 Ом·м). Приповерхностная литология на этой площади представлена в основном рыхлыми песками и ракушками, достаточно высокая пористость которых обеспечила проникновение морской воды, что подтверждают данные исследования методом сопротивлений и каротажа естественных электрических потенциалов (рис. 5).

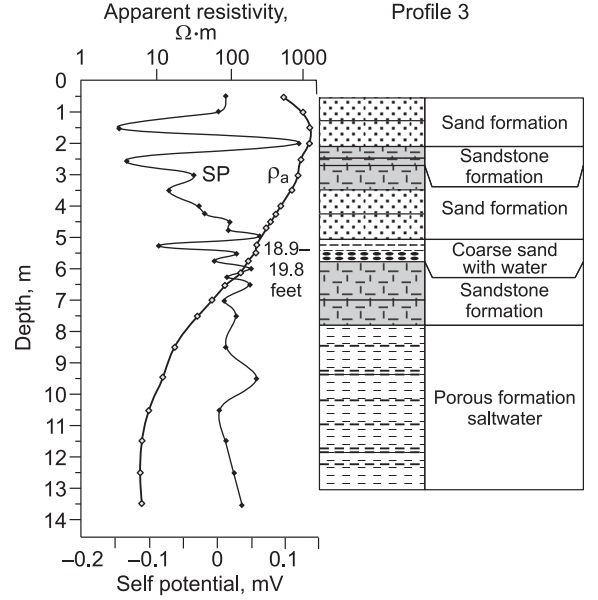
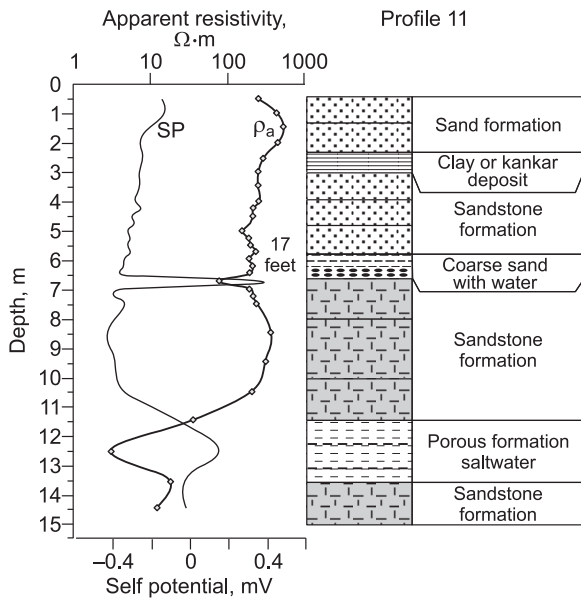
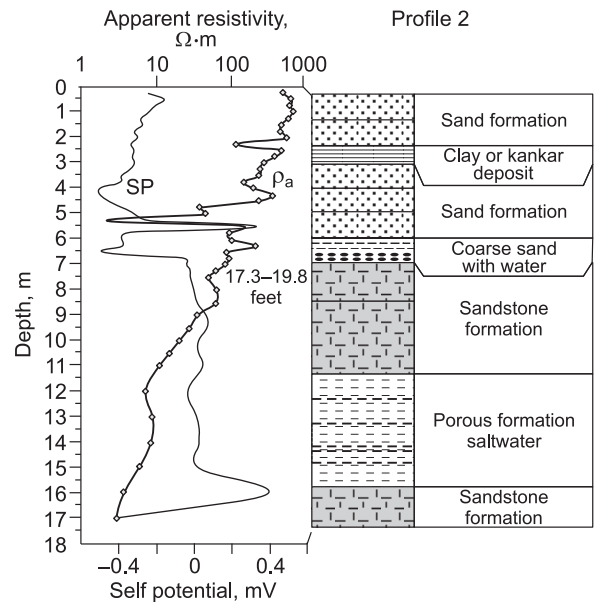
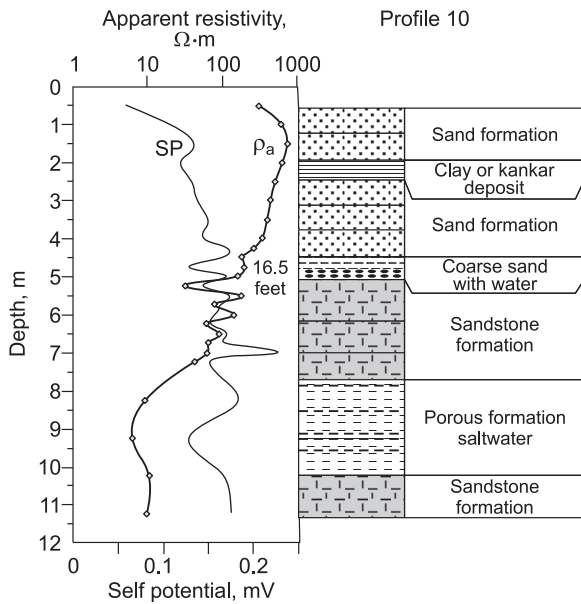
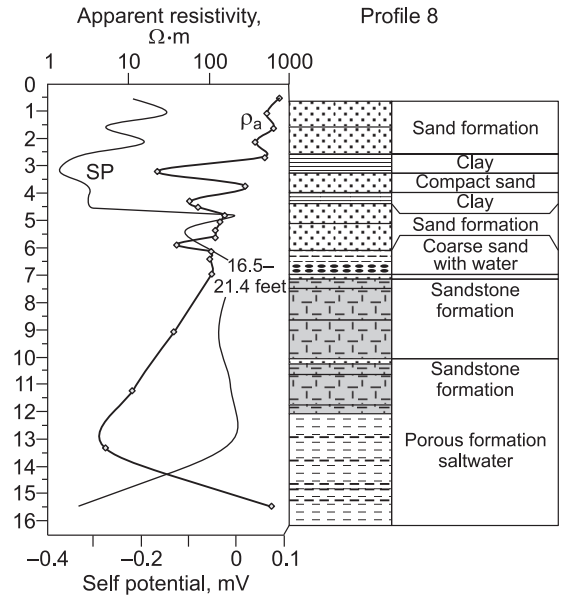
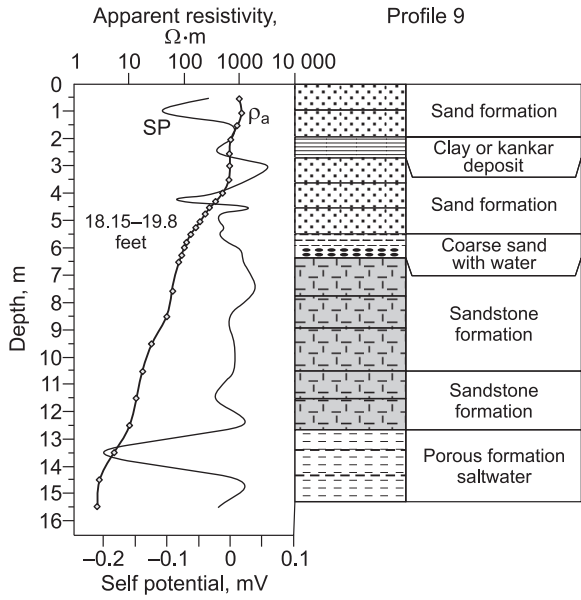
### ГЕОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРОБ ВОДЫ ИЗ БУРОВЫХ СКВАЖИН

**Главные элементы.** Сбор и анализ проб воды является очень ответственной операцией при любых исследованиях качества воды на наличие вторжения морской воды. Пробы подземной воды отбирались в полиэтиленовые бутылки емкостью 1 л после их споласкивания отбираемой водой и плотно запечатывались. Пробы отбирались из существующих буровых скважин и открытых колодцев на девяти участках исследуемой площади. Анализ проб проводился на основные катионы (рис. 6): Ca, Mg, Na и K и анионы:  $\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$  и Cl, также определялись такие параметры, как pH и общее содержание солей [Laluraj et al., 2005].

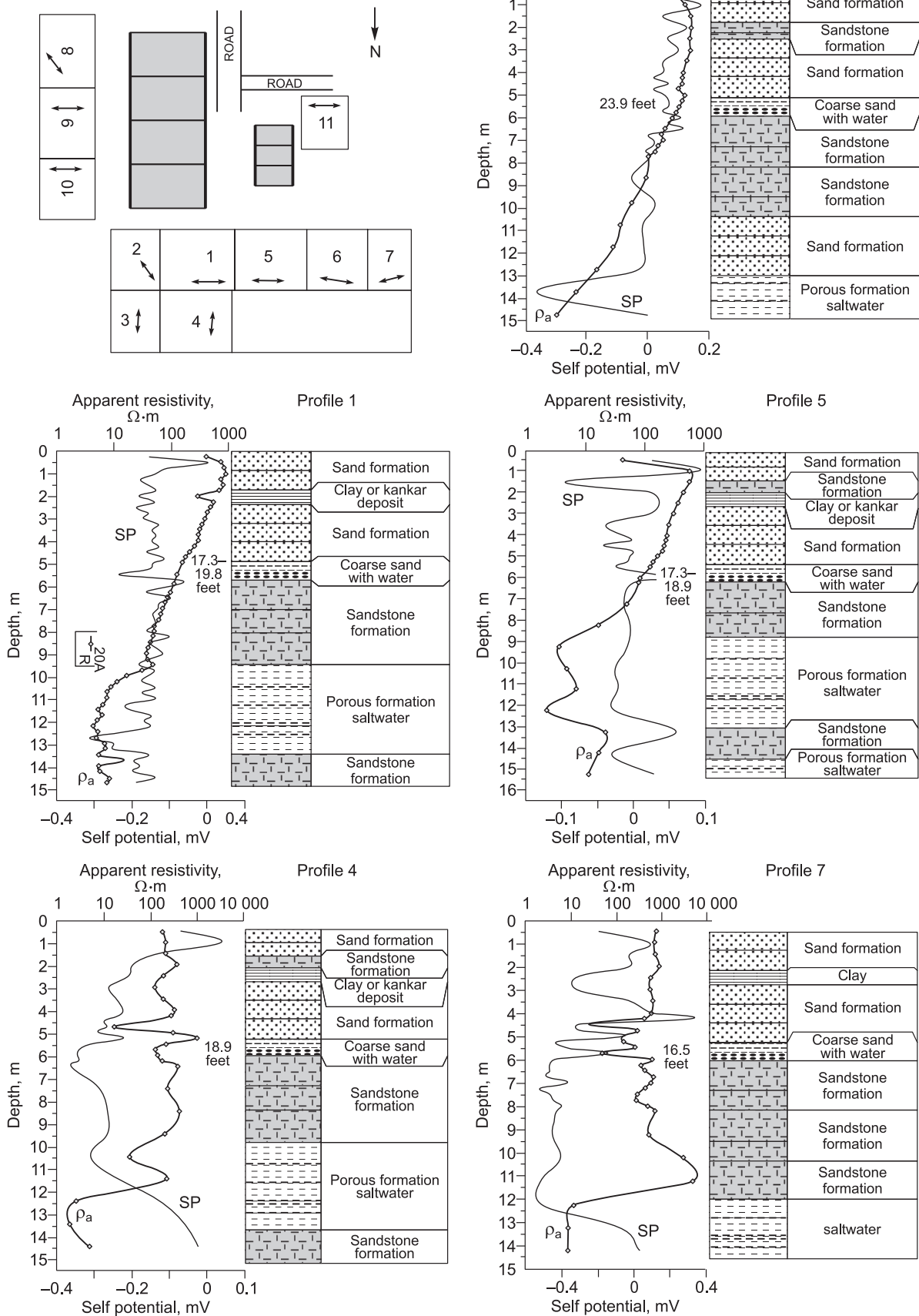
Качество подземной воды изменяется ввиду окончания русла палеореки Тамирапарани, особенно в прибрежных водоносных горизонтах при специфических условиях образования прибрежных бассейнов в области исследования. При залегании в осадочных породах (песчаники, пески и существенно глинистые осадки) подземные воды характеризуются повышенной жесткостью (высокая концентрация Ca и Mg), а значения pH превышают те, которые могли быть обусловлены вторжением морской воды. В большинстве водоносных горизонтов в пределах осадочных бассейнов подземная вода имеет относительно повышенную соленость [Ahmed, 1987] (см. рис. 6). Электропроводность проб воды на изученной площади составляет < 1200 мкСм/см, при этом преобладающими компонентами являются карбонат- и бикарбонат-ионы. Подземная вода из песчаников, подстилающих осадки, имеет концентрацию хлоридов до 14000 мг/л [Basak, Nazimudin, 1983]. Ионная концентрация высокая во всех пробах и варьирует от 0.2 до 1.2 г/т (табл. 1).

**Концентрация редких элементов.** Одна из задач исследования состояла в определении концентраций некоторых редких элементов в прибрежной среде по девяти пробам воды, отобранных из буровых скважин в пределах площади исследования. Содержания редких элементов определялись с исполь-





**Рис. 5. Зона вторжения морской воды и зона пресноводного приповерхностного прибрежного водоносного горизонта по данным ВЭЗ профилирования.**



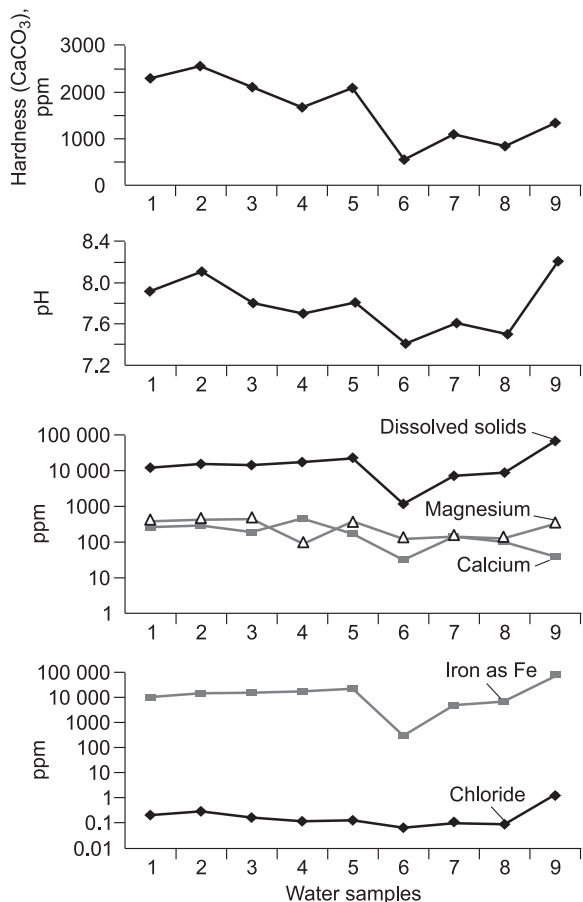


Рис. 6. Жесткость воды, pH, количество растворенного твердого вещества, содержания кальция, железа и хлора в пробах воды буровых скважин.

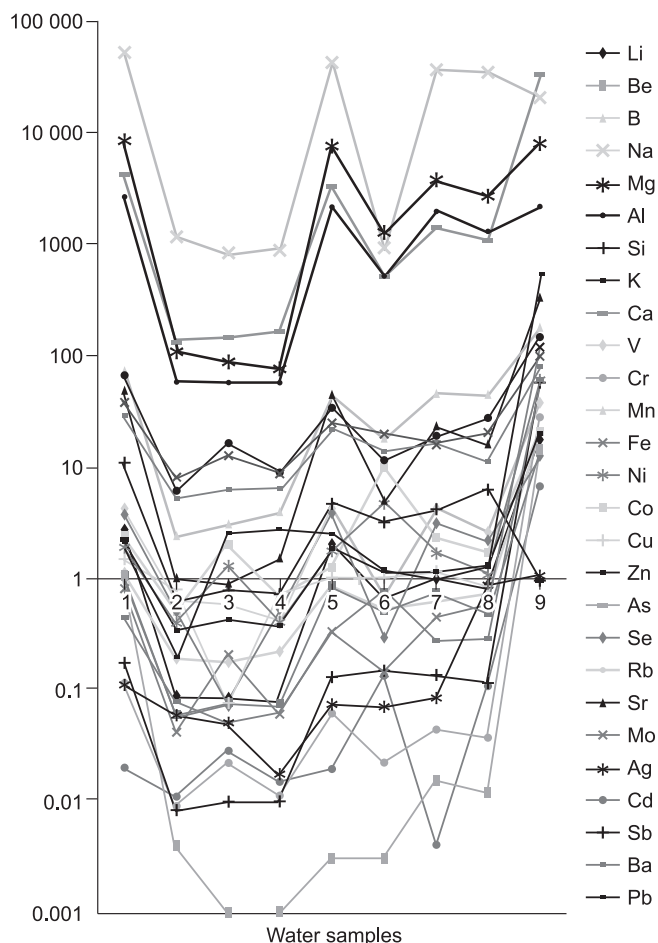


Рис. 7. Концентрации 27 редких элементов (г/т) в пробах воды из скважин, пробуренных на площади исследования.

зованием масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). Концентрации циркония варьируют от 5 до 80 мг/т. Исследования однозначно свидетельствуют о вторжении морской воды в пределах изученной площади. В число основных задач исследования входило выявление факторов, контролирующих содержания редких элементов в воде буровых скважин, и установление их природных источников в прибрежной обстановке (табл. 2). Наблюдаемое на восточном фланге изученной площади обогащение воды Cu и Fe связывается с деятельностью промышленных предприятий (рис. 7).

### ВЫВОДЫ

На основе построенных по 2-мерным изображениям электрического сопротивления контурных карт кажущегося удельного сопротивления были выявлены зоны вторжения морской воды, пресной и солоноватой вод, а также установлено положение береговых прибойных валов. Использование полученных при выборочном бурении скважин 2-мерных ИУЭС и данных ВЭС для выявления эмпирической зависимости между резистивностью и величиной электропроводности на границах раздела подземных вод позволило выявить протяженность по простиранию зоны вторжения морской воды, обусловленной волновой и приливно-отливной деятельностью на изученной площади. Общепринятой практикой при выделении пресных, солоноватых и соленых вод в пределах прибрежных водоносных горизонтов является использование соотношений между удельным сопротивлением поровой воды и общей концентрацией растворенных твердых веществ в подземной воде. В пределах изученной площади распространены как кремнеземистые, так и карбонатные породы, однако береговые породы имеют преимущественно карбонатный состав. Установлены следующие диапазоны значений удельного электрического сопротив-



Таблица 1. Различные параметры проб воды из буровой скважины в области исследования

Номер пробы	рН	Электропроводность, мкСм/см	Соленость	Общее содержание солей	Жесткость	Na	K	Ca	Mg	HCO <sub>3</sub>	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2</sup>	Fe
						г/т								
1	7.9	1425	255	11400	2300	3400	1200	280	389	80	8013	721	1223	0.2
2	8.1	1900	310	15200	2550	3500	1300	290	457	67	15389	710	1223	0.3
3	7.8	1455	245	15200	2100	3500	1259	200	462	79	12411	705	1228	0.15
4	7.7	1350	225	17850	1655	3400	1200	480	98	70	14539	695	1200	0.1
5	7.8	1375	227	23010	2110	3200	1255	180	401	65	18181	555	1185	0.12
6	7.4	1267	210	1150	550	3600	1260	32	114	60	267	655	1226	0.06
7	7.6	1350	255	7100	1080	3500	1266	140	158	85	4277	700	1234	0.1
8	7.5	1287	245	8300	820	3600	1255	100	133	90	6028	721	1230	0.08
9	8.2	1925	324	68010	1350	3800	1300	40	304	110	61494	670	1255	1.2

Таблица 2. Концентрации редких элементов в пробах воды из различных буровых скважин (BW)

Компонент	BW1	BW2	BW3	BW4	BW5	BW6	BW7	BW8	BW9
Li, г/т	2.612	0.087	0.083	0.077	2.048	0.644	1.022	0.796	18.128
Be	1.018	0.004	0.001	0.001	0.003	0.003	0.015	0.012	14.64
B	71.667	2.388	3.026	4.02	45.255	18.324	43.367	44.543	163.046
Na	53070.6	1151.096	813.698	902.383	43243.48	899.476	38022.2	34662.83	21188.74
Mg	8561.056	106.798	88.438	73.687	7639.789	1255.28	3816.401	2667.803	8212.311
Al	64.0988	6.07	16.122	8.733	35.016	11.469	18.53	26.673	141.61
Si	10.958	0.638	0.811	0.726	4.74	3.191	4.173	6.537	0.958
K	2634.513	58.371	55.758	58.283	2138.341	545.341	1961.462	1281.096	2070.949
Ca	4081.463	131.295	141.754	161.515	3296.3	508.238	1378.091	1056.927	32887.01
V	1.1	0.194	0.177	0.221	0.817	0.536	0.611	0.758	38.417
Cr	2.368	0.488	1.987	0.666	1.28	9.983	2.312	1.661	20.617
Mn	4.63	0.64	0.593	0.446	4.287	0.684	4.612	2.605	39.957
Fe	41.59	7.785	12.823	8.853	25.142	19.528	16.604	20.12	100.534
Ni	1.925	0.394	1.308	0.418	1.868	4.836	1.707	1.124	63.004
Co	0.114	0.009	0.022	0.011	0.062	-0.022	0.045	0.037	27.514
Cu	1.5	0.796	0.074	0.738	1.025	1.026	1.159	0.83	22.824
Zn	28.451	5.173	6.241	6.552	21.805	14.139	16.189	11.378	80.432
As	0.44	0.079	0.051	0.064	0.321	0.795	0.276	0.282	60.746
Se	3.803	0.506	0.072	0.527	4.023	0.29	3.082	2.223	12.421
Rb	1.076	0.056	0.076	0.073	0.825	0.493	0.717	0.49	14.256
Sr	48.179	1.029	0.864	1.464	43.594	4.963	22.738	16.191	328.34
Mo	0.807	0.041	0.213	0.062	0.341	0.142	0.466	0.584	122.336
Ag	0.114	0.059	0.049	0.017	0.076	0.073	0.086	0.887	1.062
Cd	0.02	0.011	0.028	0.015	0.019	-0.131	0.004	0.007	6.65
Sb	0.181	0.009	0.01	0.01	0.133	0.148	0.137	0.116	58.862
Ba	2.098	0.352	0.432	0.378	1.809	1.154	1.117	1.226	543.326
Pb	1.845	20105	2.584	2.761	2.561	1.161	0.99	1.306	19.672

ления: для береговых пород и скалистых гребней более 250 Ом·м, для зоны пресных вод от 25 до 100 Ом·м, для солоноватых — от 5 до 25 Ом·м и для соленых — от 1 до 5 Ом·м. Исследования ВЭЗ, проведенные в пределах территории циркониевого комплекса (Пажайякаял, район Тутукуди), однозначно свидетельствуют о постоянстве подземных геологических условий. На всех буровых площадках преимущественно наблюдается прибрежно-морской песок. На глубине около 6 м встречается твердый

уплотненный известковистый песчаник с раковинами и железосодержащим веществом. В сезоны дождей море становится бурным и затопляет прибрежную зону, а в летний период соленая вода проникает в глубь суши по приливно-отливным каналам и смешивается с подземными водами приповерхностных прибрежных водоносных горизонтов. Поэтому исследование качества воды сводится к прослеживанию смены пресных подземных вод на приповерхностных горизонтах солоноватыми и солеными водами более глубинных зон. Изучение концентрации, распределения и возможных источников ряда редких элементов (Ba, Co, Cr, Cu, N, P, V, Zn), выполненное по девяти пробам подземной воды из прибрежного водоносного горизонта, позволило выявить важный геохимический процесс и экологические последствия заражения водоносного пласта морской водой. Результаты анализа главных и редких тяжелых элементов в пробах подземной воды были использованы при проведении экологического исследования на площади циркониевого комплекса (Пажайякал, район Тутукуди).

Автор благодарит рецензентов за их полезные комментарии.

#### ЛИТЕРАТУРА

**Агеенков Е.В., Давыденко Ю.А., Фомицкий В.А.** Влияние неосевого расположения приемной и питающей электрических линий на результаты дифференциально-нормированного метода электроразведки // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (1), с. 150—157.

**Деев Е.В., Неведрова Н.Н., Зольников И.Д., Русанов Г.Г., Пономарев П.В.** Геоэлектрические исследования отложений Чуйской котловины (Горный Алтай) // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (1), с. 120—139.

**Дмитриев А.Н.** Решение прямой и обратной задач метода ЕЭП на основе уточненной модели природы естественного электрического поля // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (6), с. 797—812.

**Могилатов В.С.** Формирование макроанизотропных геоэлектрических параметров тонкослоистой геологической среды и разрешающая способность электроразведки // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (5), с. 633—640.

**Abdul N.S.S., Loke M.H., Lee C.Y., Nawawi M.N.M.** Salt water intrusion mapping by geoelectrical imaging surveys // Geophys. Prosp., 2000, v. 48, p. 647—661.

**Abdul R.S., Abdul G.R., Ali R.Z., Latif M.T., Lihan T.** An integrated approach for managing salt-water intrusion in coastal area // Proceedings of the Regional Symposium on Environment and Natural Resources, Hotel Renaissance Kuala Lumpur, Malaysia. 2002, v. 1.

**Acworth R.I.** Investigation of dryland salinity using the electrical image method // Austr. J. Soil Res., 1999, v. 37, p. 623—636.

**Ahmed A.K., James E.J., Nambudiripad K.D.** Salinity intrusion in the Chettuva-Kottapuram sound of the Trichur kole land // Proc. Natn. Sem. Estuarine Management, Tiruvandrum, 1987, p. 83—87.

**Alagusamy R., Zhang J.** Geochemical characterization of major and trace elements in the coastal sediments of India // Environ. Monit. Assess., 2010, v. 16, p. 161—176.

**Atsunao M.A.** Groundwater conditions along the seawater/freshwater interface on a volcanic island and a depositional area in Japan // Geol. Quart., 2003, v. 47, № 4, p. 381—388.

**Balasubramanian A., Sharma K.K., Sastri J.C.V.** Geoelectrical and hydrogeochemical evaluation of coastal aquifers of Tambraparani river basin, Tamilnadu // Geophys. Res. Bull., 1985, v. 23, № 4, p. 203—209.

**Barker R.D.** Improving the quality of resistivity sounding data in landfill studies // Geotech. Environ. Geophys., 1990, v. 2, p. 245—251.

**Basak P., Nazimudin M.** Salt water intrusion in coastal unconfined aquifers of the southwestern peninsula case study // Jal Vigyan Sameeksha, a publication of High Level Technical Committee on Hydrology, 1987, v. 2, № 1, p. 72—80.

**Dahlin T., Loke M.H.** Resolution of 2D Wenner resistivity imaging as assessed by numerical modeling // J. Appl. Geophys., 1998, v. 38, p. 237—249.

**Edet A.E., Okereke C.S.** A regional study of saltwater intrusion in southeastern Nigeria based on the analysis of geoelectrical and hydrochemical data // Environ. Geol., 2001, v. 40, p. 1278—1289.

**Griffiths D.H., Barker R.D.** Two-dimensional resistivity imaging and modeling in areas of complex geology // J. Appl. Geophys., 1993, v. 29, p. 211—226.

**Laluraj C.M., Gopinath G., Dineshkumar P.K.** Groundwater chemistry of shallow aquifer in the coastal zones of cochin, India // Appl. Ecol. Environ. Res., 2005, v. 3, № 1, p. 133—139.

**Lawrence J.F., Balasubramanian A.** Groundwater conditions and disposition of saltwater interface in the Rameswaram Island, Tamilnadu // Reg. workshop on environmental aspects of groundwater Dev. Kuru Kshetra, India, 1994, v. 111, p. 21—25.

**Nielson P.** Tidal dynamics of the water table in beaches // *Water Resources Research*, 1990, v. 26, p. 2127—2134.

**Ramanujam N., Radhakrishnan V., Sabeen M.H., Mukesh M.V.** Morphodynamic state of beaches between Vaipar and Tiruchendur, Tamil Nadu // *J. Geol. Soc. India*, 1996, v. 47, p. 741—746.

**Ravindran A.A.** Characterization of the geology of subsurface shallow conglomerate using 2D electrical resistivity imaging at Baragadi, Panna District, Madhya Pradesh, India // *J. Appl. Sci. Environ. Man.*, 2010, v. 14, № 3, p. 33—36.

**Ravindran A.A.** A beach groundwater impact due to wave and tidal study using 2D ERI technique in Van Island, Gulf of Mannar, Tamilnadu, India // *Archives Appl. Sci. Res.*, 2012, v. 4, № 1, p. 669—674.

**Senosy A.M., Dahab K.A.** Geo-electrical and hydrogeochemical studies for delineating ground-water contamination due to salt-water intrusion in the northern part of the Nile Delta, Egypt // *Ground Water*, 1997, v. 35, p. 216—222.

**Swartz J.H.** Resistivity studies of some saltwater boundaries in the Hawaiian Islands // *Amer. Geophys. Union., Trans.*, 1937, v. 18, p. 387—393.

*Рекомендована к печати 26 декабря 2012 г.  
М.И. Эповым*

*Поступила в редакцию 17 января 2012 г.,  
после доработки — 12 июля 2012 г.*