

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД И ВОДОНОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ ФАНЕРОЗОЯ СТЕПНОГО АЛТАЯ. СВЯЗИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ С ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИМИ. ПРИМЕНИМОСТЬ РАЗНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГИДРОГЕОЛОГИИ.

В.М. Рычков, С.И. Рычкова*, С.В. Рычков**

Горно-Алтайское отделение Российского геологического общества, г. Горно-Алтайск

*Горно-Алтайский филиал ФБУ «ТФГИ по СФО», г. Горно-Алтайск

**ОАО «Сургутнефтегаз», г. Сургут

Введение. Просматривая наши отчеты 1990-х годов, мы с удивлением обнаружили актуальность рассмотренных в них вопросов и проблем и в настоящее время. И решили опубликовать некоторые результаты. В те годы было не до публикаций. Особенно информативен наш отчет «Результаты опытно-методических работ и переинтерпретации геофизических материалов для целей гидрогеологии по Степному Алтаю (Отчет Бийско-Барнаульской партии АГЭ за 1987-1992 годы. В 5 книгах. Книга 1. Текст отчета. Майма, 1992. 299с. Авторы: Рычков В.М., Власова Г.А., Рычкова С.И. и др.). Он и послужил основой статьи. Этот отчет помещен в список литературы. В статье имеются многочисленные ссылки на авторов других отчетов. Но сами отчеты мы в список не включили. Слишком их много. Более ста. С подробным списком желающие могут ознакомиться в названном выше отчете, где перечисление литературы по изученности Степного Алтая занимает целый том. Авторы мы, все-таки, упоминаем, чтобы отдать дань уважения исследователям Алтая.

К истории вопроса. Изучению физических свойств пород (петрофизике) в производственных и научных организациях геофизического профиля в СССР и за рубежом всегда (начиная с 1910-х годов) уделялось большое внимание. Так как это основа геологического истолкования геофизических полей. Упомянем некоторых авторов. Это Н.В. Дортман (1964), описавшая физические свойства горных пород и полезных ископаемых СССР; Г.М. Авчан и М.Л. Озерская (1985), издавшие справочник по «Петрофизическим характеристикам осадочного покрова нефтегазоносных провинций СССР». Вопросам физических свойств водоносных пород и методике их изучения при мелиоративных съемках посвящена работа Н.Н. Шарапанова, Г.Я. Черняка, В.А. Барона (1974). Из последних работ отметим «Петрофизику» авторов из ТПУ (Томск, 1997): Г.С. Вахромеев, Л.Я. Ерофеев, В.С. Канайкин, Г.Г. Номоконова. В Алтайском регионе наш отчет первый, содержащий достаточно полную сводку по физическим свойствам пород фанерозоя Степного Алтая. Хотя, надо сказать, что и во всех других наших отчетах (количество которых превышает сотню) вопросам физических свойств и их связи с гидрогеологическими параметрами мы уделяли пристальное внимание. Разумеется, в приложении к конкретным участкам. Итак, приступим к описанию.

Физические свойства характеризуются на основе систематизации имеющихся материалов съемки ВЭЗ масштаба 1:500 000 Степного Алтая на площади около 200 000 кв. км. (Кочетков, 1964; Ванюков, 1965-67; Загайнов, 1968, 1969), съемки ВЭЗ масштаба 1:200 000 на 10 листах, таких как М-44-XXVIII, М-45-XXVI (Рычков, 1975, 1977, 1979); по результатам геофизических работ в помощь мелиоративной съемке масштаба 1:50 000 на 20 участках (60 000 тыс. кв. км.), таких как Бурлинский, Барнаульский-I-III, Шелаболихинский, Шульгинский (Рычков, 1975, 1977, 1979, 1980, 1981); Ивановский, Зона Кулундинского канала (Черепанова, Рычков, 1984, 1986); в помощь поискам подземных пресных вод на участках Завьяловском, Мамонтовском, Родинском, Благовещенском (Рычков, 1974), Новичихинском (Кац, 1972), по геофизическим работам на подземные промышленные воды на участках Петуховском, Степном, Михайловском (Рычков, 1973, 1974; Ванюков, 1966); результатам работ на соду на площади 70 000 кв. км (Рычков, 1989, 1990); результатам геофизических работ по поискам трещинных вод на участках Правообском, Шалапском (Рычков,

Таблица 1. Зависимость сопротивления от минерализации подземных вод (Рычков, 1974)

№№ пп	Минерализация, в г/дм ³	Мел-палеоген К ₁₋₂ + Р	Неоген N ₁₋₂	Четвертичные отложения		Примечание
				Q _{I-II} krd	Верхи, Q _{I-II} Q _{II} , Q _{II-III}	
1	2	3	4	5	6	7
1	75 и >	-	1.5 и <	-		Для мела-палеогена M > 15 г/дм ³ не отмечено
2	50	-	3	2 и <	2 и <	
3	25	-	5	4	1	
4	10	5	10	7	7	
5	5	-	13	10	10	
6	4	7	-	-	-	
7	2	10	15	15	15	
8	1	15	20	20	>20	
9	0,6	17	30	35	-	
10	0,5	20	50	50	100	
11	<0,5	>20	>50	>50	>100	

1984, 1986), Загайновском (Сметанников, Рычков, 1986), Михайловском (Рычков, 1987), результатам параметрических измерений по отчету об опытно-методических работах по Степному Алтаю (Рычков, Рыčkова, Власова и др., 1992) и других работ. Всего проанализированы параметрические измерения более чем по 3000 скважин!

В данной статье достаточно подробно (т. к. это один из важных аспектов изучения фанерозоя Степного Алтая) остановимся на физических свойствах пород осадочного чехла, которые определяют применение тех или иных геофизических методов для решения задач гидрогеологии. Среди этих свойств — электрические (удельное сопротивление, поляризуемость вызванная, поляризуемость естественная); скорости упругих волн (продольных и поперечных); естественная температура; естественная гамма-активность; магнитные и плотностные свойства. Наибольший интерес представляют корреляционные связи этих свойств с литологическим составом как в зоне аэрации, так и в водоносных горизонтах и водоупорных породах, с засоленностью пород, с минерализацией подземных вод, с фильтрационными характеристиками (Кф, Км, пористость, емкостные запасы подземных вод). Ниже эти зависимости рассматриваются в наиболее общем виде (для всей площади Степного Алтая). Детальность определяется наличием параметрического материала — измерениями у скважины и в скважинах — и крайне неравномерна как по площади, так и по параметрам. Наиболее детально изучено удельное электрическое сопротивление (положенное в основу методов сопротивления — ВЭЗ, СЭП, КЭП и др.), а в отношении территории — участки мелиоративной съемки м-ба 1:50 000, расположенные, в основном, на западе Алтайского края.

1. Удельное электрическое сопротивление пород района изучено по интерпретации ВЭЗ у скважин и характеризуется следующими значениями:

- 1) Породы палеозойского фундамента монолитные — от 5000-10000 Омм и более;
- 2) То же, трещиноватые — от 100 Омм до 5000 Омм;
- 3) Кора выветривания палеозойских пород — 5-500 Омм;
- 4) Меловые и палеогеновые водоносные комплексы в Кулундинской низменности и

Таблица 2. Зависимость сопротивлений от фильтрационных свойств на участке Корбалихинском (Рычков, 1982)

№ п/п	Название пород	Возраст	Сопротивление, Омм	Кф м/сутки	Км м ² /сутки
1	Глины с дресвой	Q _{I-II} krd	<15	<0,001	<0,1
2	Суглинки с дресвой	->-	15-25	0,001-0.11	<1
3	Песок с галькой, дресвой и суглинками при содержании последних до 5%	a _{IV}	90 - 100	15 – 20	200 - 300
4	Песок с галькой, дресвой и суглинками при содержании последних до 10%	->-	70 - 90	10 – 18	150 - 200
5	->- до 20%	->-	60 -70	6 – 10	100 – 150
6	->- до 30%	->-	50 - 60	4 – 6	10 – 100
7	->- до 50%	->-	40 - 50	2 – 4	50 – 70
8	->- до 90%	->-	35 - 40	1 – 2	10 – 50
9	->- до 100%	->-	25 - 35	0,1 – 1	10
10	Грубообломочные отложения	P _{IV} ap _{IV}	100 - 200 и более	20 - 40 и более	200 — 300 и более
11	Гравийно-галечные отложения с дресвой и песком	a _{IV} a _{III-IV}	100 - 150	20 – 30	200 - 900
12	То же	->-	150 - 200	30 – 35	> 900
13	То же	->-	> 200	30 – 70 и более	1000

на Приобском плато (переслаивание песков и глин) — 5-20 Омм;

5) То же в прегорьях Алтая и Салаира — 10-100 Омм;

6) Неогеновый водоносный комплекс — 5-50 Омм;

7) Глины мел-палеогена и неогена — 5-20 Омм;

8) Песчаные водоносные горизонты четвертичных отложений — от 1-2 до 300 Омм;

9) Галечные водоносные горизонты четвертичных отложений — 300-1000 Омм;

10) Суглинки четвертичные ниже УГВ — 2-50 Омм;

11) Глины четвертичные — 60-20 Омм;

12) Пески боровые в зоне аэрации от 400 до 10000 Омм и более;

13) Галечники в зоне аэрации (с примесью песков) — 1000-10000 Омм и более;

14) Покровные суглинки слабовлажные незасоленные — 30-1250 Омм.

Из вышеприведенной характеристики видна зависимость сопротивления от литологического состава пород. Широкие пределы изменения сопротивления водоносных комплексов объясняются зависимостью сопротивления от минерализации подземных вод. Для песчаных водоносных горизонтов эта зависимость сравнительно хорошо изучена и приведена в таблице 1.

По сопротивлениям возможна дифференциация подземных вод по их минерализации, что широко применено на многих участках и лежит в основе поисков пресных или минерализованных вод. При минерализации менее 1 г/дм³ сопротивление пород зависит от пористости (коэффициента фильтрации или водопроницаемости).

Таблица 3. Сопротивление незасоленных пород зоны аэрации и ниже УГВ (Рычков, 1976-1981)

№ п/п	Название породы	Интервал глубин, м			
		0 — 1,5	1,5 - 10-15	от 10-15 до УГВ	ниже УГВ
1	Суглинки легкие	-	60 - 100	40 - 50	-
2	Суглинки средние	50 – 125	30- 60	30 - 50	30 – 40
3	Суглинки тяжелые	-	30 - 40	30 - 40	20 – 35
4	Супеси	-	100 - 150	50 - 60	40 – 50
5	Супеси с суглинками	125 – 200	50 - 60	30 - 40	30 – 40
6	Супеси с песками	-	150 - 200	50 - 70	30 – 50
7	Пески влажные	200 – 400	200 - 400	100 - 120	До 50 Q _{I-II} krd
8	Пески сухие	>400	-	-	80 – 100 Q _{II-III} ks
9	Глины влажные	20 – 30	20 - 30	20	15 – 20
10	Переслаивание суглинков и песков	-	-	-	20 – 30

Конкретные функциональные связи для каждого участка свои и изменяются в зависимости от того, выделяется ли водоносный горизонт отдельным слоем на кривых ВЭЗ или в комплексе с прослоями суглинков и глин. В качестве примера в таблице 2 показана зависимость сопротивлений от Кф и Km на участке Корбалихинском для водоносного горизонта аллювиальных четвертичных отложений (Рычков, 1982).

Подобные зависимости известны ещё по ряду участков - Майскому (Рычков, 1976), Барнаульскому-III (Рычков, 1980). Существенным недостатком их является малое количество опорных данных по Кф (Km) (10 - 15) и большой разброс точек на графиках зависимости. Последнее в большой степени обусловлено несовершенством методики определения Кф.

Сопротивление грунтов зоны аэрации зависит от литологического состава, засоленности и влажности. При условии, если влажность в каком-то слое постоянна и грунты

Таблица 4. Зависимость сопротивлений от фильтрационных свойств пород зоны аэрации

№ п/п	Наименование породы	Сопротивление верхнего метрового слоя (Омм)	Кф м/сутки	Примечание
1	Пески	>200	>3,5	Участки Барнаульский-I, Майский (Рычков, 1976, 1977)
2	Супеси	125 - 200	1,8 - 3,5	
3	- « -	100 - 125	1 - 1,8	
4	- « -	75 - 100	0,6 - 1,0	
5	- « -	40 - 75	0,1 - 0,6	
6	Илы (суглинки иловатые)	20 - 40	0,05 - 0,1	
7	Глины	<20	<0,05	

Таблица 5. Сопротивление пород зоны аэрации в зависимости от засоления

№№ пп	Сопротивление Омм	Засоленность в % (средние значения)			Литологический Состав
		Интервал 0-1 м	Интервал 1-3 м	Интервал от 3 м до УГВ	
1	2	3	4	5	6
1	5 и <	1,0 и >	1 и >	-	Не характеризуется
2	10	0,40	0,20	0,35	
3	15	0,23	0,15	0,30	
4	17	0,20	-	-	
5	20	0,17	0,13	0,20	
6	25	0,15	0,11	0,13	
7	30	0,12	0,10	0,10	
8	40	0,10	0,07	0,07	Суглинки
9	50	0,08	0,06	0,06	
10	30 - 100	0,08 - 0,06	0,06	0,05	
11	100 - 200	0,06	0,06	0,05	Супеси
12	200	<0,06	<0,06	<0,05	Пески

незасоленные, по сопротивлениям характеризуется литологический состав пород, а при благоприятных условиях — фильтрационные свойства.

Зависимость $\rho_n = F(K_f)$ для зоны аэрации приводится ниже (известна по ряду участков (Рычков, 1979, 1980, 1981)). Недостатки её те же, что и для водоносных горизонтов — слабая опорная база в отношении как количества определений K_f , так и их достоверности.

Если на изменение сопротивлений влияет засоление пород зоны аэрации, то литологический состав не характеризуется (хотя засоляются в основном суглинки и глины, что служит косвенным признаком разделения пород по литологии). Зависимость выражается в следующих конкретных величинах (табл. 5, участок Бурлинский (Рычков, 1976)).

Таким образом, по сопротивлениям можно характеризовать литологический состав и засоленность пород зоны аэрации, а в ряде благоприятных случаев (когда слои мощные) и их фильтрационные свойства. Первым слоем, обычно, выделяются покровные суглинки ($S_{a_{III}}$). Последующими слоями (К, Н) отмечается подошва прослоя песков в зоне аэрации, уровень грунтовых вод, кровля кочковской свиты, т.е. все основные элементы разреза. Не выделяются отдельные маломощные прослои песков в краснодубровской свите и нижележащий павлодарский водоупор. Дифференциация кривых ВЭЗ не всегда удовлетворительная. Связано это с засоленностью пород (что нивелирует сопротивление слоев) и маломощностью песчаных горизонтов. В этих местах на помощь приходит метод ВЭЗ-ВП. Поляризационные свойства пород приведены ниже.

2. Поляризационные свойства пород

Здесь рассматриваются следующие параметры: A_k — комплексный параметр (Шарапанов, 1974). Он аналогичен η_k , только исправлен на сползание нуля ВП, т.е.

$$A_k = \eta_k^I - \eta_k^{II} * 100\%$$

Параметр называется комплексным в силу того, что отражает как амплитудную характеристику процесса ВП, так и скорость его изменения во времени. Величина A_k берется в процентах.

$$A_k^* = A_k/P_k$$

A_k^* - относительный комплексный параметр, имеющий большое интерпретационное значение, т.к. не зависит от сопротивления пород, которое влияет на амплитудные и временные характеристики. Величина A_k^* измеряется в 10^{-4} См/м.

T – постоянная времени спада потенциала ВП (в с)

Следует обратить внимание на точность расчета параметров. Обобщение по нескольким десяткам участков мелиоративной съемки, где метод ВП широко применялся в 1975-90 гг., точность по $P_k = 1,5 - 2 \%$; по A_k — $4,5 - 5 \%$; по A_k^* — $6 - 7 \%$, по τ - $12-15 \%$ (при АВ = 560 м). При этом наблюдается падение точности с ростом величины разносов линии АВ:

до АВ/2 = 100 м все параметры укладываются в 5%, требуемые инструкцией;

при АВ/2 от 100 до 150 м, A_k - $5-7 \%$; A_k^* - $7-10 \%$, τ - $10 - 15 \%$;

при АВ/2 от 170 до 280 м точность A_k - $7-10 \%$, A_k^* - $10-12 \%$, τ - $15-25 \%$;

при АВ/2 >280 - 500 м точность A_k — $10-12 \%$, A_k^* - $12-15 \%$, τ - $25-50 \%$.

На основании этого целесообразно ограничивать разносы АВ/2 < 280 м, а параметр τ использовать только до АВ/2 = 100 м. Естественно, сказанное относится к измерениям со станциями ВПС-63, ВП-62, СВП-74, применяемых в 1970-80-х годах, при осциллографической записи на фотобумагу и использовании осциллографа ЭПО-9. Время зарядки 30 с, токи 3-5 А.

Дифференциация пород по параметрам A_k^* и τ хорошая. Отчетливо видно возрастание A_k^* от песков к глинам, как в зоне аэрации (от 0,2-1 до 2-5), так и в водоносных комплексах (от 0,3 - 1,5 до 4 и более), т.е. параметр A_k^* зависит от глинистости. Это свойство используется для характеристики литологического состава пород, а в благоприятных случаях, и для характеристики фильтрационных свойств горизонтов. Следует отметить, что последнее ранее не реализовывалось, и только в нашей работе 1992 года этому уделено

Таблица 6. Поляризационные свойства пород (Рычков, 1969)

№ п/п	Название породы	Зона аэрации								
		Интервал 0 — 5 м			Интервал 5 м — УГВ			Ниже УГВ		
		A_k	$A_k^* \cdot 10^4$ См/м	T	A_k	A_k^*	τ	A_k	A_k^*	T
1	Пески	0,05-1,5	0,03-1,2	1,8 - 3,6	01.03.14	0,1-1	3	0,5	0,8	3,5
2	Супеси	0,1-1,5	0,2- 1,5	1-2	1-3,5	0,1-1,5	4	0,3-3	0,3-9	1,5-2,5
3	Переслаивание песков, супесей и суглинков	-	-	-	0,2-1	1-5	2,5-3	3-5	1-2	1-3
4	Суглинки легкие	0,1 - 0,7	-	-	-	0,5-1	1-4	1-1,5	0,7-1,5	2-3
5	Суглинки средние	0,1 - 0,3	0,15-0,21	1,3-2,7	0,1-0,2	1-3	2-2,5	1-2	1,5-2,5	1-2
6	Суглинки тяжелые	-	0,3- 0,6	-	0,2-0,4	2-5	1,5-2	2-3	2,5-4	2-5
7	Глины	-	-	-	-	-	-	2-7	>5-7	2-10

внимание. В водоносном комплексе краснодубровской свиты, сложенном переслаиванием песков и супесей, Ak^* меняется от 1 до 5 (гр. 3), что обусловлено степенью глинистости — процентом песчаных прослоев в разрезе комплекса, и водопроницаемостью горизонта. Параметр Ak^* не зависит от засоления грунтов и степени минерализации подземных вод, что позволяет применять метод ВЭЗ-ВП при расчленении засоленного разреза в аномальных зонах низких сопротивлений.

3. Скорости сейсмических волн. Скорости продольных волн толщи рыхлых отложений до глубин 30 - 40 м выражаются в следующих величинах (Рычков, 1979).

Резкое различие в скоростях продольных волн выше и ниже УГВ позволяет применять сейсморазведку для определения глубин уровня грунтовых вод. Точность определения глубин при этом достигает 3-5 %.

Таблица 7. Скорости сейсмических волн

№№ Пп	Название породы Участки Барнаульский II – III	Скорости продольных волн (м/с)			Кол-во определен- ный	Геологичес- кий индекс
		Средняя	Min	max		
1	Суглинки выше УГВ	350	310	410	50	Q_{IV} , Q_{III}
2	Суглинки ниже УГВ	1600	1500	1900	50	-»-
3	Суглинки выше УГВ	350	300	400	500	Q_{I-II} krd
4	Суглинки ниже УГВ	1600	1300	2000	500	-»-
5	Пески выше УГВ	370	300	450	60	Q_{IV}
6	Пески ниже УГВ	1800	1500	2200	60	Q_{I-II} ks
7	Пески боровые выше УГВ	400	330	470	30	Q_{III-IV}

Скорости продольных волн в толще рыхлых отложений (для мел-палеогеновых горизонтов) и в фундаменте изучены слабо. По отдельным профилям МОВ и КМПВ, обработанным в конце 50-х годов (Ермаков, 1960; Бойко, Кельнер, 1957; Хесин, 1966 и др.) устанавливаются в толще рыхлых отложений 3-4 слоя. Первый - ЗМС со средними скоростями 300 - 400 м/с, второй - толща неогеновых отложений с граничной скоростью 1500-1700 м/с; мел-палеогеновый комплекс с граничной скоростью 1500-2200 м/с; палеозойский фундамент с граничной скоростью продольных волн 4000-5000 м/с. В отдельных местах Бийско-Барнаульской впадины (например, в Мамонтовской юрской мульде) по подошве юрских отложений граничные скорости - 6000-6500 м/с. По отдельным профилям ГСЗ (Крылов, 1970; профиль «Базальт», 1993) получены сведения о скоростях продольных волн на глубинах в 30-40 км. Там они достигают 8-10 км/с.

В предгорьях Салаира (участки Шалапский, Загайновский (Рычков, 1985)) и на севере Приобского Плато (участок Михайловский (Рычков, 1987)) есть примеры выделения по скоростям продольных волн ослабленных зон разломов в фундаменте (при глубинах залегания последнего до 30-50м). Скорости в зонах разломов пониженные (2500-4200 м/с) по сравнению с окружающими породами ($V_T = 4200-6000$ м/с).

Скорости поперечных волн в Алтайском регионе не изучались.

4. Гамма-активность рыхлых отложений и загрязнение радионуклидами.

Гамма-активность устанавливается в основном по гамма-каротажу скважин. В целом наблюдается определенная закономерность: у глин (суглинков) гамма-активность выше и составляет 15-20 мкр/ч (1,5-2,0 па/кг); у песков ниже (5-10 мкр/ч). Это позволяет расчленять разрез по литологическому составу (в комплексе с другими методами — КС, ПС). В

горизонтах неогена и палеогена иногда выделяются аномалии гамма-активности — до 100 - 300 и более мкр/ч, обусловленные скоплениями радиоактивных минералов. Но это вопрос специальный и его здесь рассматривать не будем. Что касается поверхностных отложений (четвертичных и частично неогеновых), то в большинстве случаев гамма-активность их не превышает фоновой (5-20 мкр/ч). При изучении оползней г. Барнаула (Бородавко, Рычков, 1991) отмечено, что оползневые трещины в краснодубровских суглинках имеют гамма-активность порядка 20-25 мкр/ч при фоновой 10-15 мкр/ч.

На западе Степного Алтая имеются радиоактивные аномалии, связанные с искусственным загрязнением радионуклидами. С 1990 г. они стали объектом специальных геоэкологических исследований.

Повышенное содержание урана в соленых озерах и окружающих их солончаках отмечено на западе Алтайского края в ходе поисков соды (Рычков, 1989, 1990). Аномальные содержания урана в таких озерах как Малиновое, Дунай, Горькое (Большое), Горькое-Перешеечное (Южное), Бычье, Селитренное и др. выше фоновой (кларкового) на 2-4 порядка. Среди причин повышенного содержания урана - процессы континентального соленакопления (выщелачивание из окружающих пород и перенос в низины), а также следствие осадков от ядерных взрывов в атмосфере на Семипалатинском полигоне (до 1960 г.) с последующим смывом с водоразделов в озерные котловины.

Долина р. Белокурихи ниже курорта загрязнена радоном от источников и скважин.

5. Естественная (самопроизвольная) поляризация пород (ПС). Этот параметр фиксируется в скважинах при комплексном (стандартном) каротаже (КС, ПС, ГК). Амплитуда аномалий ПС достигает 60 мв. За нуль принимаются значения ПС над глинами. Относительно линии глины пески обычно (при незасоленном разрезе) отмечаются минимумами («минусами»); при засоленном разрезе картина меняется - над песками максимум («плюсы»). Если снять несколько кривых ПС (до засолки и после засолки водоносного горизонта), то по динамике ПС можно судить о величине естественной минерализации подземных вод. Это так называемый метод повторных ПС. Примеры работ этим методом рассмотрены в нашем отчете по Степному Алтаю за 1992 год.

6. Естественное электрическое поле Земли (методы ЕП и ЕИЭМПЗ). Метод ЕП применялся в основном в рудных районах Алтайского региона: на юго-востоке Горного Алтая и на Синюхинском золоторудном поле. Широко практиковался в Рудном Алтае в 1930-50 годах. Аномалии ЕП над рудными объектами достигают 300-500 мв. По результатам применения открыт Западный участок Синюхинского золоторудного месторождения (Бакшт, 1958). Ряд полиметаллических месторождений открыт в Рудном Алтае. В региональном плане естественное поле не изучалось. Как в нем отражаются крупные структурные единицы, например, Кулундинская или Бийско-Барнаульская впадины, неизвестно. Зато известен пример применения метода ЕП при прослеживании оползневых трещин в г. Барнауле в масштабе 1:2000. Трещины отмечаются знакопеременными аномалиями ЕП в 15-20 мв (Рычков, 1991). На тех же объектах и в тот же период изучалось естественное импульсное электромагнитное поле Земли (ЕИЭМПЗ). Насыщенные водой оползнеопасные блоки картируются повышенным до 50-100 имп/мин импульсным полем ЕП на фоне 10-15 имп/мин.

7. Использование искусственных радиополей. Это относится к волновому полю мощных радиостанций, работавших в 1960-1990-х годах в сверхдлинноволновом диапазоне (длина волны 2-15 км). Они использовались в методе СДВ – радиокип. Понижениями поля до 1-2 единиц (мв/м) на фоне 20-30 единиц хорошо картировались зоны распространения минерализованных вод в неоген-четвертичных отложениях (до глубин 30-50 м). Подобные работы проведены нами на участке Степном (Рычков, Глазычев, 1974).

8. Использование биолокации. Биолокация – первый геофизический метод (БЛМ), который человечество использовало при поисках воды и полезных ископаемых. Упоминания о нем («поисковая лоза») содержатся в сочинениях древних авторов (Бируни, Плиний старший) еще в V-I веках до н.э. Особенно широко БЛМ применялся в средние века. При

поисках воды в пустынях и залежей серебряных руд в Центральной Европе. В XIX веке применялся старателями на Урале для поиска пегматитовых жил с самоцветами. В первую мировую войну в армиях нескольких государств существовали подразделения «лозоходцев» для поисков воды. Это Англия, Германия, Франция, Россия. В 1920-50-х годах наступил спад. Связан он с внедрением, для решения тех же задач, геофизических методов – ВЭЗ, СЭП, КЭП, магнитной съемки. Интерес возобновился в 1970-х годах. Не избежали его и авторы данной статьи. Так, Рычковым В.М. в 1984 году на участке Правообском методом БЛ найден под рыхлыми отложениями обводненный разлом, где в последующем скважиной на глубине 40 м вскрыты пресные воды с хорошим дебитом. Наличие разлома подтверждено и другими методами (КЭП). В дальнейшем метод опять заглох, ввиду неопределенности результатов в большей части случаев применения. Он субъективен. Нет и теоретической базы. Констатируется лишь то, что организм человека реагирует на изменение физических полей от объектов поиска. Психомоторная реакция рук, держащих «лозу», зависит от тренировки и опыта «лозоходца» и, вообще, от его «одаренности». Вращения лозы не предсказуемы. Несмотря на это, некоторыми авторами выпущены книги, посвященные применению БЛМ (Сочеванов и др., 1984).

9. Температура естественная. Измерение температуры подземных вод в скважинах в Алтайском крае проводилось гидрогеологической экспедицией (АГГЭ) как один из обязательных видов работ. До 1980-х годов для измерений применялись ртутные максимальные термометры с точностью отсчета $0,1^{\circ}\text{C}$. В 1980-х годах Повалихинский каротажный отряд ЦГЭ начал применять термисторы. Точность повысилась на порядок (до $0,01^{\circ}\text{C}$). Некоторые данные по измерениям температуры в скважинах содержатся в отчетах Кулундинского режимного отряда АГГЭ. В целом же измерения в отдельных скважинах расплывлены по многочисленным отчетам, как по съемке (м-ба 1:200 000 и 1:50 000 для целей мелиорации), так и по поискам подземных вод. В среднем подземные воды разных горизонтов (от мела до четвертичных) имеют температуру около $6-8^{\circ}\text{C}$ и она достаточно стабильна. В приповерхностных горизонтах температура увеличивается до $14-16^{\circ}\text{C}$. Графики годовых и сезонных изменений температуры приведены в отчете по Степному Алтаю (Рычков и др., 1992). Видно, что сезонные изменения незначительны (до $0,1^{\circ}\text{C}$) и только в приповерхностных горизонтах достигают $1-1,5^{\circ}\text{C}$. Годовые изменения больше — $0,2-1,5^{\circ}\text{C}$ по всему разрезу. В интервалах водоносных горизонтов иногда наблюдаются аномалии температуры (в основном повышения) до $0,5^{\circ}\text{C}$. По серии термограмм в разное время и в разных условиях (до и после откачки) можно судить о динамике подземных вод, о работающих и неработающих горизонтах и т. п.

В скважинах, вскрывших глубокие горизонты (мел или палеозой), наблюдается повышение температуры до $15-25^{\circ}\text{C}$ за счет естественного температурного градиента. Мощная толща рыхлых отложений с многочисленными водоносными горизонтами ослабляет его влияние и температура подземных вод не повышается до величин, позволяющих назвать их термальными, особенно в смысле пригодности для извлечения тепловой энергии. С другой стороны, сведения о температуре носят попутный характер — специальных поисков термальных вод не проводилось. Известны примеры наземной термометрии, когда аномалиями (минимум или знакопеременная) отмечаются оползневые трещины при измерениях в неглубоких «бурках» ($0,5-0,7$ м) с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$ (Бородавко, Рычков, 1991).

10. Плотностные свойства рыхлых отложений. Информация о плотности рыхлых образований Кулундинско-Барнаульского артезианского бассейна, а также Алтая и Салаира, носит разрозненный характер и получена попутно при определениях физико-механических свойств грунтов, в основном при мелиоративной съемке м-ба 1:50 000 (АГГЭ) и инженерно-геологических изысканиях (АлтайТИСИЗ). Есть и работы научного характера. Так, в 1988 г. Сибирским отделением издательства «Наука» выпущена книга «Географические и инженерно-геологические условия Степного Алтая». Авторы Черноусов С.И., Арефьев В.С., Осьмушкин В.С. и др., в которой, наряду с другими, приводятся и плотностные свойства.

Таблица 8. Плотность рыхлых образований по инженерно-геологическим районам
(по Черноусову С.И., Осьмушкину В.С., 1988)

Инженерно-геологический район	Порода	Возраст	Плотность (г/см ³)			Примечания
			минеральной части	естественная	Скелета	
Приобское плато	Суглинки	N2 кс	2,72	2,00	1,62	Водонасыщ.
	Глины	N2 кс	2,73	2,00	1,65	->-
	Суглинки лессовые просадочные	Q _{I-II} krd	2,70	1,65	1,45	Слабовлажные
	Супеси просадочн.	->-	2,70	1,70	1,53	->-
	Суглинки непросад	->-	2,71	1,62	1,57	->-
	Супеси непросад.	->-	2,69	1,79	1,61	->-
	Суглинки пластич.	->-	2,70	1,85	1,52	Водонасыщ.
	Супеси пластичн.	->-	2,69	1,79	1,61	->-
	Пески пылеватые	Q _{III-IV}	2,68	1,88	-	->-
Обь-Чумышское плато	Лессовидные суглинки просад.	Q _{I-II} krd	2,71	1,65	1,43	Слабовлажн
	Супеси просадочн	->-	2,70	1,60	1,43	->-
	Суглинки непросадочные	->-	2,70	1,77	1,51	Водонасыщ.
	Суглинки туго - и мягкопластичные	->-	2,70	1,88	1,52	->-
	Суглинки текучепластичные	->-	2,70	1,92	1,51	Водонасыщ.
Древние ложбины стока	Песок мелкий, средний	Q _{II-III} ks	2,67	1,67	1,58	Слабовлажн
	Песок пылеватый плотный	->-	2,66	1,86	1,86	Водонасыщ.
Древние ложбины стока	Песок пылеватый средней плотности	->-	2,68	1,72	1,63	Слабовлажн
	Песок средний, средней плотности	->-	2,65	1,68	1,64	->-
	Песок пылеватый средней плотности	V _{III-IV}	2,67	1,71	1,61	->-
	Песок пылеватый плотный	->-	2,67	1,85	1,72	Водонасыщ
	Песок мелкий средней плотности	->-	2,67	1,68	1,62	Слабовлажн
	Песок средний, средней плотности	->-	2,67	1,69	1,64	->-
	Супесь твердая	Q _{II-III} ks	2,68	1,86	1,66	Водонасыщ
	Суглинок туго- и мягкопластичный	->-	2,71	1,79	1,44	->-
Кулундинская низменность	Песок пылеватый плотный	Q _{II-III} ks	2,68	1,90	1,79	Водонасыщ

Продолжение таблицы 8.

Инженерно-геологический район	Порода	Возраст	Плотность (г/см ³)			Примечания
			минеральной части	естественная	Скелета	
Кулундинская низменность	Песок пылеватый средней плотности	Q _{II-III} ks	2,69	1,69	1,62	Сухой
	Супесь лессовая твердая просадочн.	->-	2,69	1,90	1,55	->-
	Суглинок лессовый твердый просадочн	->-	2,71	1,78	1,5y2	->-
	Супесь лессовая твердая непросадочная	->-	2,68	1,80	1,67	
	Суглинок лессовый твердый непросадочный	->-	2,71	1,86	1,61	
	Супесь пластичная	->-	2,68	1,96	1,69	
	Суглинок туго- и мягкопластичный	->-	2,70	1,88	1,58	
	Песок крупный средней плотности	N ₂ kln	2,66	1,68	1,60	
	Песок средний плотный	->-	2,67	1,81	1,75	
	Супесь твердая непросадочная	->-	2,68	1,74	1,63	
Объ-Чумышская аллювиальная равнина	Суглинок твердый непросадочный	N ₂ kln	2,72	1,92	1,62	
	Суглинок туго- и мягкопластичный	->-	2,71	1,88	1,56	
	Суглинок твердый	N ₁₋₂ pv	2,72	1,92	1,59	
	Глина твердая	->-	2,74	1,87	1,50	
	Суглинок твердый просадочный	4Q _{III} , 5Q _{III}	-	1,57	1,39	
	Суглинок твердый непросадочный	->-	-	1,78	1,51	
	Супесь твердая непросадочная	->-	-	1,68	1,47	
	Супесь пластичная	->-	-	1,83	1,50	
	Суглинок текучепластичный	->-	-	1,89	1,50	
	Песок пылеватый средней плотности	->-	-	1,68	-	
Долина р.Оби и её притоков	Песок мелкий	3Q _{III} , 2 Q _{III}	2,67	-	-	
	Суглинок	->-	2,74	1,90	1,65	

Окончание таблицы 8.

Инженерно-геологический район	Порода	Возраст	Плотность (г/см ³)			Примечания
			минеральной части	естественная	Скелета	
Долина р.Оби и её притоков	Глина туго- и мягкопластичная	Q _{IV}	2,74	1,65	1,19	
	Суглинок твердый	->-	2,7	1,75	1,48	
	Суглинок пластичный	->-	2,71	1,86	1,50	
	Песок мелкий средней плотности	->-	2,66	1,70	1,59	
Предгорья Алтая, Салаира и Ненинская равнина	Суглинок лессовый просадочный	Q _{I-II} krd, Q _{III}	2,65	1,74	1,44	
	Суглинки лессовые непросадочные	->-	2,64	1,83	1,60	
	Суглинки Ненинской равнины	->-	2,71	1,65	1,34	
Горный Алтай и Салаир	Суглинки аллювиальные	Q _{III}	2,71	1,80	1,40	
	Суглинки делювиальные	Q _{III-IV}	2,70	1,65	1,48	
	Суглинки лессовые	->-	2,72	1,69	1,45	

Свойства районированы по инженерно-геологическим районам. Согласно ему, выделяются области второго порядка: Южно-Обская, долина р. Оби, Салаир, Алтай, предгорья Алтая и Салаира, Чано-Кулундинская. В Южно-Обской области выделяются районы третьего порядка — Приобское плато, Обь-Чумышское плато, ложбины древнего стока. По этим областям изучены три параметра плотности — плотность минеральной части, плотность естественная и плотность скелета. Изучались в основном поверхностные отложения до глубины 10-15 м.

Рассмотрение таблицы 8 показывает некоторую дифференциацию рыхлых образований по всем параметрам плотности. Сравнительно стабильна плотность минеральной части как в разных районах, так и по литологическим разностям. Она варьирует от 2,65 г/дм³ у песков в древних ложбинах стока до 2,74 у суглинков и глин долины р.Оби при средних величинах около 2,70 г/дм³. Плотность скелета изменяется от 1,19 у глин долины р.Оби до 1,79 г/дм³ у песков Кулундинской низменности. Средние значения около 1,55 г/дм³. Наибольший интерес представляет плотность пород в естественном залегании. Она изменяется от 1,45 у лессовых современных суглинков Алтая и Салаира до 2,0 г/дм³ у супесей кочковской свиты на Приобском плато. Малые величины у слабовлажных поверхностных образований, большие - у водонасыщенных пород ниже УГВ. Средние величины плотности у водонасыщенных пород довольно стабильны и находятся в пределах 1,80-1,90 г/дм³. По этой причине, а также из-за горизонтального залегания слоев, применение гравиметрической съемки для решения задач гидрогеологии и инженерной геологии ограничено. В частности, известно применение гравиразведки при наблюдениях за оползнями г. Барнаула (Бородавко, Матвеев, Рычков, 1991). Это небольшие опытные работы по выявлению в приборочной части обрыва р. Оби устойчивых или неустойчивых блоков и границ между ними (оползневых трещин), являющихся активными разрывными нарушениями в суглинках крас-

Таблица 9. Магнитные свойства и плотность пород юго-западного Присалаирья
(Фатин, 1991)

№ п/п	Наименование пород	Кол-во образцов	Индекс возраста	σ г/дм ³	$\square \times 10^{-6}$ СГС	Jr $\times 10^{-6}$ СГС
1	Глины	367	Kz	1,96	82	9
2	Суглинки	179	->-	1,85	126	26
3	Пестроцветные глины	233	K - P	1,94	23	6
4	Бокситы рыхлые	59	->-	1,79	282	259
5	Бокситы каменистые	55	->-	2,27	3945	6950
6	Бокситовые глины	55	->-	1,77	84	49
7	Кора выветривания	1988	->-	1,8	19	2
8	Известняки	55	V - E	2,67	15	3
9	Сланцы	67	->-	2,67	321	1
10	Песчаники	21	->-	2,72	48	0
11	Алевролиты, аргиллиты	30	->-	2,66	32	0
12	Порфириты, андезиты, вулканиты	72	->-	2,73	392	9
13	Кварциты	81	->-	2,56	13	5
14	Конгломераты	8	->-	2,74	58	5
15	Брекчии	4	->-	2,68	132	45
16	Кварциты	47	PR ₂ - V	2,59	3	0
17	Известняки	21	->-	2,68	33	0
18	Базальты	3	->-	2,77	37	0
19	Амфиболиты	86	PR ₂	2,87	54	0
20	Кристаллические сланцы	81	PR ₂	2,74	3	0
21	Известняки, мраморы	22	->-	2,69	23	0
22	Кварциты	53	->-	2,69	3	0
23	Гранито-гнейсы, гнейсы	40	->-	2,6	13	0
24	Граниты	31	PR ₂	2,59	47	11
25	Плагиограниты		->-	2,62	58	9
26	Габбро-диориты		->-	2,82	188	10
27	Габбро-диабазы		->-	2,85	144	15
28	Диабазы		->-	2,8	130	10
29	Габбро	45	->-	2,94	77	3
30	Габбро	67	->-	2,94	1340	300
31	Серпентиниты	77	->-	2,5	4960	1840

нодубровской свиты. Задача решается по отдельным профилям при шаге 5 м и точности наблюдений не ниже 0,02 мгл. Над трещинами – знакопеременные аномалии в 5-10 мгл.

11. Магнитные свойства рыхлых образований. Обычно изучаются магнитная восприимчивость (χ) и остаточное намагничение (J_r) пород. Эти свойства достаточно представительно освещены только у коренных пород по таким районам как Салаир, Горный Алтай (преимущественно юго-восток), Рудный Алтай. По магнитным свойствам рыхлых образований равнинной части имеются только отрывочные сведения. Ниже для примера приводится таблица магнитных и плотностных свойств пород юго-западного Присалаирья (табл. 9). Изучение проводилось в рамках поисков бокситов платформенного типа и картирования масштаба 1:50 000. Поэтому освещаются свойства пород фундамента и коры выветривания, с которыми связаны бокситы. Свойства рыхлых отложений ограничены двумя разновидностями (глинами и суглинками) без разделения по свитам. Скорее всего они относятся к нижней части красnodубровской свиты, непосредственно залегающей на коре выветривания, и поэтому имеют несколько повышенную магнитность (χ до 10×10^{-6} ед. СГС, J_r до 30×10^{-6} ед. СГС). Применение магнитной съемки с измерением вертикального градиента (одно из измерений при положении датчика на земле) на участке Бочкаревском (Фатин, 1991) показало, что магнитность поверхностных образований (суглинки, почвы, глины) пестрая — от немагнитных ($\chi < 10 \times 10^{-6}$ ед. СГС) до слабomagнитных (χ до 100×10^{-6} ед. СГС). В других районах (Приобское плато в г.Барнауле; Бородавко, Рычков, 1991) суглинки красnodубровской свиты немагнитны ($\chi < 10 \times 10^{-6}$ ед. СГС). По большей части площади сведений о магнитности рыхлых отложений нет. Судя по спокойному магнитному полю на ряде участков, где была магнитная съемка на равнине (например, участок Ленковский (Журушин, 1971)), рыхлые отложения практически немагнитны. Поэтому применение магнитной съемки при решении задач гидрогеологии ограничено картированием пород фундамента (которые сравнительно хорошо дифференцируются по магнитным свойствам) при их неглубоком залегании (до 50-100 м), т.е. в предгорных и горных районах (Салаир, Горный Алтай, Рудный Алтай).

Заключение. Надеемся, что представленные выше физические свойства, их связь с гидрогелогическими параметрами и рекомендации по применению тех или иных методов геофизики пригодятся и современным исследователям при решении задач геологии и гидрогеологии в Алтайском регионе.

Литература

Вахромеев Г.С., Ерофеев Л.Я., Канайкин В.С., Номоконова Г.Г. Петрофизика. Изд-во ТГУ. Томск, 1997. 462 с.

Дортман Н.В. и др. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых СССР. М., Недра, 1964. 350 с.

Петрофизические характеристики осадочного покрова нефтегазоносных провинций СССР. Справочник. Под ред. Г.М. Авчан, М.Л. Озерской. М., Недра. 1985. 192 с.

Рычков В.М., Власова Г.А., Рычкова С.И. и др. Результаты опытно-методических работ и переинтерпретации геофизических материалов для целей гидрогеологии по Степному Алтаю (Отчет Бийско-Барнаульской партии АГЭ за 1987-92 годы). Майма. 1992. В 5 кн. кн. 1 – текст отчета, 299 с.

Сочеванов Н.Н., Стеценко В.С., Чекунов А.Я. Использование биолокационного метода при поисках месторождений и геологическом картировании. М., Радио и связь. 1984. 227с.

Шарапанов Н.Н., Черняк Г.Я., Барон В.А. Методика геофизических исследований при гидрогелогических съемках с целью мелиорации земель. М., Недра, 1974. 212 с.