

10. Lukhminskiy B. Ye. Intelktualnoe obustroystvo ekspluatatsionnykh skvazhin (Smart Wells 2003–2004) [Intellectual arrangement of operational wells (Smart Wells 2003–2004)]. *Karotazhnik* [Karotazhnik], 2006, no. 7, pp. 191–194.
11. Mangazeev P. V., Pankov M. V., Kulagina T. Ye., Kamartdinov M. R. *Gidrodinamicheskie issledovaniya ekspluatatsionnykh i nagnetatelnykh skvazhin* [Hydrodynamic researches of operational and injection wells], Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ. House, 2009. 243 p.
12. Polyakov I. O. Opisanie struktury geofizicheskikh paletok v formate XML-fayla [Geophysical chart structure description in the XML file format]. *Karotazhnik* [Karotazhnik], 2007, no. 7, pp. 90–93.
13. RD 153-39.0-072-01 *Tekhnicheskaya instruktsiya po provedeniyu geofizicheskikh issledovaniy i rabot priborami na kabele v neftyanykh i gazovykh skvazhinakh* [RD 153-39.0-072-01 Technical instruction on carrying out of geophysical researches and works with devices on a cable in oil and gas wells]. Introduced 2001–07–01. Moscow, Ministry of Energy of the Russian Federation Publ., 2001, no. 134.
14. Khmelevskoy V. K. *Geofizicheskie metody issledovaniya zemnoy kory* [Geophysical methods of research of earth crust], Dubna, Dubna International University for Nature, Society and Men, 1997, part 1. 276 p.
15. Shirokov V. N., Mityushin Ye. M., Neretin V. D. *Skvazhinnye geofizicheskie informatsionno-izmeritelnye sistemy* [Wells geophysical information and measuring systems], Moscow, Nedra Publ., 1996. 317 p.

ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД ПОКРОВНОГО ЧЕХЛА ПРИКАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ

Серебрякова Валентина Ивановна, старший преподаватель

Астраханский инженерно-строительный институт
414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 18б
E-mail: Geologi2007@yandex.ru

Серебряков Олег Иванович

доктор геолого-минералогических наук, профессор

Астраханский государственный университет
414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1
E-mail: Geologi2007@yandex.ru

Современные твердые, трещиноватые макропористые суглинки и супеси залегают на погребенной кровле морской хвалынской равнины и выходят на дневную поверхность. Суглинки и супеси в естественном состоянии характеризуются как просадочные. Наличие мощной толщи солей, разделяющей весь разрез на два структурных этажа надсолевой и подсолевой, является характерной особенностью геологического строения солеродного бассейна Прикаспийской впадины. Деформационные свойства солей характеризуются следующими показателями: модулем деформации, упругости, сдвига G , коэффициентами Пуассона. Каменная соль представлена галитом. Содержание хлористого натрия составляет до 96 %, нерастворимого остатка – до 10,14 %. Плотность соли составляет 2140–2280 кг/м³. Прочность на одноосное сжатие изменяется от 19,3 до 36,7 МПа. Коэффициент Пуассона – от 0,2147 до 0,307, модуль упругости – от 9,5 до 36,1 ГПа.

Ключевые слова: порода, состав, свойства, минералогия, фракция

DESCRIPTION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ROCKS CASPIAN DEPRESSION OF TOP COVER

Serebryakova Valentina I.

Senior Lecturer

Astrakhan Institute of Civil Engineering

18b Tatishchev st., Astrakhan, 414056, Russian Federation

E-mail: Geologi2007@yandex.ru

Serebryakov Oleg I.

D. Sc. in Geology and Mineralogy, Professor

Astrakhan State University

1 Shaumyan sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation

E-mail: Geologi2007@yandex.ru

Modern solid, fractured macroporous loam and sandy loam lie buried on the roof Khvalynsk sea plains and leaving on the day surface. Loam and sandy loam in their natural state are characterized as subsiding. A characteristic feature of the geological structure solidnogo basin of Caspian basin is the presence of powerful strata of salts, dividing the entire section on two structural floor above-salt and sub-salt. Deformation properties salts are characterized by indicators: the modulus of deformation, elastic modulus, shear G , Poisson's ratio. Rock salt is represented by halite, sodium chloride up to 96 %, and insoluble residue to 10,14 %. The density of salt is 2140–2280 kg/m³, the uniaxial compressive strength varies from 19,3 to 36,7 MPa, the Poisson ratio from 0,2147 to 0,307, the modulus from 9,5 to 36,1 HPa.

Key words: species, structure, properties, mineralogy, fraction

Характерной особенностью покровных пород является преобладание (до 45 %) в их гранулометрическом составе частиц крупной пыли. При общем содержании пылевой фракции 56 % (табл. 1).

Таблица 1

Экспериментальные исследования физико-механических свойств верхнехвалынского-современных пород

W, %	$\gamma_{\text{т/м}^3}$	$\gamma_{\text{ск}}, \text{т/м}^3$	γ_y	ϵ	G	Показатели пластичности			B
						W _T	W _P	W _П	
9	1,85	1,65	2,7	0,7	0,5	0,36	0,22	0,14	– 0,79

Песчаные частицы составляют 13 %, глинистые — 31 %. Породы содержат до 11 % карбонатов, незначительное количество сульфатов (до 0,6–0,7 %) и галита (0,2 %).

По физическим свойствам породы напоминают лессовые породы ательского горизонта. Но отличаются несколько большей пористостью и меньшей влажностью, влияющими на теплопроводность пород при образовании газогидратов (рис. 1).

Озерно-аллювиальные глины итильско-сингильского горизонта по минералогическому составу относятся к гидрослюдисто-монтмориллонитовой ассоциации с примесью каолинита и хлорита. Эта ассоциация является типичной для плиоценовых глин Прикаспия, Гранулометрический состав озерных глин (табл. 2). Но она грубее по сравнению с морскими хвалынскими глина-

ми: глинистых частиц содержится меньше 29 % против 56 % в морских, пылеватых частиц в озерных глинах содержится против 56 % в морских, пылеватых частиц в озерных глинах содержится больше – до 62 % по сравнению с 36 % в морских. В соответствии с этим снижаются показатели пластичности, влажности и пористости, а сопротивление сдвигу больше.

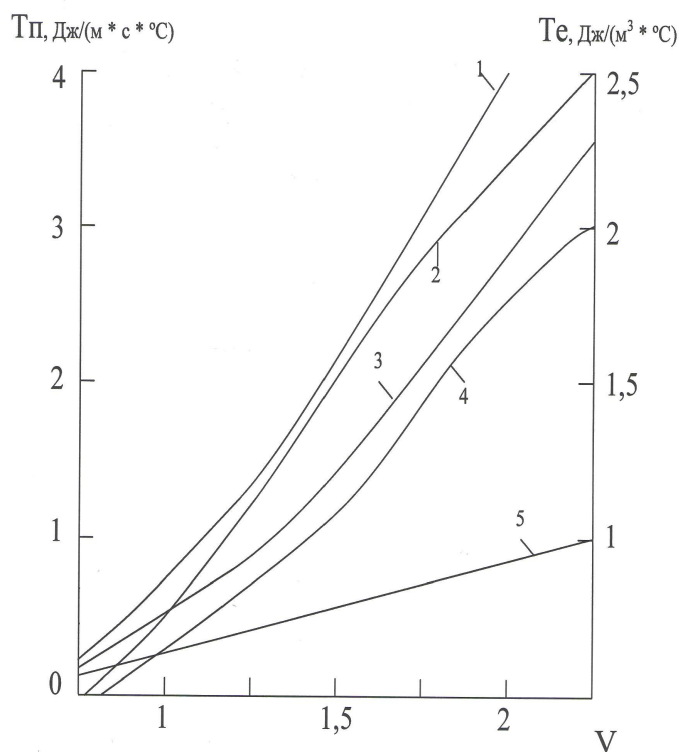


Рис. 1. Изменение теплопроводности и теплоемкости пород при образовании газогидратов (адаптировано на породах исследуемого региона); теплопроводность грунтов: песчаников (1), глин (3), сухого скелета пород (5); теплоемкость грунтов: песчаников (2), глин (4); Тп – теплопроводность грунтов; Те – теплоемкость; V – объем газогидратов в породах, мм/см³

Отложения ательского горизонта распространены в Прикаспийской низменности почти повсеместно и представлены лессовыми суглинками и супесями с прослоями и линзами песков. Суглинки и супеси взаимозамещаются в разрезе без какой-либо видимой закономерности. А в нижней части разреза они постепенно переходят в лессовидные мелкие и пылеватые пески, которые некоторыми исследователями выделены в самостоятельный ахтубинский горизонт. Эти пески характеризуются большим содержанием карбонатов, макропористостью и структурной прочностью. Это выражается в способности удерживать вертикальные стенки в технических выработках, скважинах и котлованах. Мощность суглинков и супесей достигает 12 м, общая мощность горизонта – до 20 м и более.

Хвалынские (шоколадные) глины являются важнейшим инженерно-геологическим элементом, являясь единственным водоупорным слоем в основании техногенных емкостей-накопителей и испарителей. От их наличия

или отсутствия, а также мощности зависят масштабы инфильтрации поверхностных вод и токсичных отходов в подземные воды. Окраска хвалынских глин варьирует от светло- и серо-коричневой до темно-коричневой (шоколадной), с пятнами ожелезнения. Светло-коричневая окраска относится, главным образом, к верхней части толщи, а темно-коричневая – к средней и нижней частям толщи. Местами встречаются гнезда гипса и извести.

Таблица 2

**Экспериментальные исследования гранулометрического состава
и свойств осадочных отложений**

Содержание фракций более 0,05 мм	8,3 %
0,05–0,005 мм	62 %
менее 0,005 мм	29,7 %
Влажность естественная	<u>0,26</u> 0,03
Объемная масса влажного грунта, т/м ³	<u>1,95</u> 0,05
Коэффициент пористости	<u>0,78</u> 0,09
Показатель водонасыщенности	<u>0,92</u> 0,06
Влажность на пределе текучести	<u>0,45</u> 0,07
Влажность на пределе раскатывания	<u>0,23</u> 0,04
Число пластичности	<u>0,22</u> 0,04
Показатель текучести	<u>0,25</u> 0,17
Модуль деформации, 10 ⁵ Па	<u>46</u> 32
Угол внутреннего трения, градус	19
Сцепление, 10 ⁵ Па	0,44

По текстуре глины являются тонкослоистыми. В них часто встречаются тонкие до 1–2 мм, нередко до 1–2 см, прослои тонкозернистого мучнистого палево-желтого песка. Слоистость и переслаивание с тонкими прослоями песка характерно для верхней части глинистой толщи. В нижней части толщи глины чаще всего скрыто-тонкослоистые. Прослои тонкозернистого мучнистого песка, если они встречаются в нижней части толщи, не превосходят 1–2 мм. В верхней части толщи встречаются и более мощные прослои до 2–3 см.

Поверхностные слои суглинков и супесей (верхняя зона до 1 м) захвачены действием почвообразовательных процессов, корневой системы растений и иссушающей инсоляцией. В результате этого слои разбиты системой многочисленных трещин на более или менее крупные отдельности размером от долей до 3–5 см. Отдельности имеют нередко плитчатую остроугольную форму, обусловленную горизонтальной слоистостью глин.

Вертикальные трещины шириной до 10 см усадочного или тектонического происхождения местами наблюдаются в средней и нижней части глинистой толщи. Хвалынские глины заполняют дохвалынскую депрессию. Поверхность этой депрессии в дохвалынское время была сложена лессовыми просадочными породами ательского горизонта.

Состав и физико-механические свойства хвалыньских глин характеризуются следующими показателями. Минералогический состав глинистой фракции, предопределяющей водоупорные свойства и набухаемость глин, представлен преимущественно смесью гидрослюда и каолинита, с подчиненными количествами галлуазита и монтмориллонита, гетита, кварца и плагиоклаза, глауконита, мусковита и биотита. Пылеватую фракцию составляют те же минералы, но соотношение их другое. Наиболее распространен кварц (от 30 до 60 %), за ним гидрослюда (10–30 %) и каолинит (10–30 %). Содержание минералов приведено в таблице 3.

Гранулометрический состав шоколадных глин характеризуется высоким содержанием глинистых частиц. Это содержание колеблется в широком диапазоне – от 20 до 90 %. При этом только 2,2 % всех образцов имеют содержание глинистых частиц менее 30 %. Подавляющее большинство исследованных образцов (85,8 %) имеют содержание глинистых частиц в пределах от 40 до 80 %. Среднее содержание глинистых частиц составляет 37,0 %. По содержанию глинистых частиц хвалыньские (шоколадные) глины являются высокодисперсными глинами.

Содержание пылеватой фракции (0,05–0,005 мм) колеблется в столь же широких пределах, как и содержание глинистых частиц. Но в отличие от глинистых частиц содержание пылеватой фракции для подавляющей части образцов (96,7 %) колеблется в интервале от 10 до 60 %, имея среднюю величину 37,3 %.

Таблица 3

**Экспериментальные исследования минералогического состава
четвертичных пород**

Минералы	Содержание минералов, % (пределы/среднее)					
	Морские хвалыньские глины	Морские хвалыньские суглинки	Аллювиальные современные глины	Аллювиальные современные суглинки	Лессовые породы ательского горизонта	Лессовые породы хвалыньского современного горизонта
Кварц	$\frac{9-22}{15}$	27	$\frac{32-35}{34}$	$\frac{42-66}{55}$	$\frac{34-50}{42}$	$\frac{36-45}{40}$
Плагиоклаз	$\frac{4-14}{9}$	7	$\frac{9-12}{10,5}$	$\frac{12-16}{13,5}$	$\frac{7-12}{9}$	$\frac{6-12}{10}$
Ортоклаз	$\frac{2-8}{6}$	5	$\frac{6-8}{7}$	$\frac{8-9}{8,5}$	$\frac{5-7}{6}$	$\frac{4-8}{6}$
Кальцит	$\frac{0-9,5}{4}$	4,2	–	–	$\frac{4-14}{9}$	$\frac{6-16}{10}$
Доломит	$\frac{0-2}{0,9}$	2	–	–	$\frac{0-2}{1}$	$\frac{0-5}{2}$
Гипс	$\frac{0,2-8}{4}$	0,2	$\frac{0-0,1}{0,1}$	$\frac{0,1-0,2}{0,1}$	$\frac{0-0,2}{0,1}$	$\frac{0-3,3}{1,7}$
Галит	$\frac{0-0,8}{0,4}$	–	$\frac{0-0,8}{0,4}$	–	$\frac{0-0,2}{0,1}$	$\frac{0-0,4}{0,2}$
Ильменит	$\frac{0-0,5}{0,2}$	–	$\frac{0-0,5}{0,2}$	$\frac{0,4-0,6}{0,5}$	$\frac{0-1}{0,5}$	$\frac{0-0,5}{0,2}$
Вивианит	$\frac{0,5-1}{0,6}$	0,8	$\frac{0,4-0,6}{0,4}$	$\frac{0,2-0,4}{0,3}$	$\frac{0,3-0,6}{0,5}$	$\frac{0-0,3}{0,2}$
Опал	$\frac{0,3-1,1}{0,7}$	0,3	$\frac{0,5-1,2}{0,9}$	$\frac{0,3-1,1}{1}$	$\frac{0,3-0,9}{0,6}$	$\frac{0,3-0,8}{0,6}$
Гиббсит	$\frac{0-4}{1,2}$	1	$\frac{0,5-1}{0,8}$	$\frac{0,1-1,1}{1}$	$\frac{0,5-1,7}{1}$	$\frac{0,5-1}{0,8}$
Гидрогетит	$\frac{0-3}{1,1}$	1	$\frac{0-1}{0,5}$	$\frac{0,1-1,0}{0,6}$	$\frac{0,3-1}{0,6}$	$\frac{0,3-1}{0,6}$

Мусковит	$\frac{0-1}{0,5}$	–	$\frac{0-0,5}{0,2}$	$\frac{0-0,5}{0,2}$	$\frac{0,5-4}{2}$	$\frac{0,5-1}{0,7}$
Биотит	$\frac{0-5}{1,1}$	–	–	–	–	$\frac{0,5-1}{0,8}$
Глауконит	$\frac{0-0,5}{0,2}$	1	$\frac{0-1}{0,5}$	$\frac{0-0,5}{0,2}$	$\frac{0-0,5}{0,3}$	$\frac{0-0,5}{0,2}$
Каолинит	$\frac{4-15}{10}$	7	$\frac{2-5}{3,5}$	$\frac{1-5}{3}$	$\frac{2-6}{4}$	$\frac{2,5}{1,2}$
Галлуазит	$\frac{1-3}{1,4}$	3	$\frac{1-2}{1,5}$	$\frac{0-1}{0,5}$	$\frac{0,5-1}{0,8}$	$\frac{0-1}{0,5}$
Гидрослюда	$\frac{10-60}{42}$	30	$\frac{10-12}{11}$	$\frac{3-10}{6}$	$\frac{5-15}{10}$	$\frac{5-25}{15}$
Монтмориллонит	$\frac{0-16}{7,5}$	8	$\frac{20-29}{24}$	$\frac{5-12}{9}$	$\frac{1-10}{5,0}$	$\frac{3-10}{6,5}$
Органические соединения	$\frac{0-1,3}{0,6}$	0,4	$\frac{0,4-1}{0,7}$	$\frac{0,2-0,6}{0,4}$	$\frac{0,2-0,5}{0,4}$	$\frac{0,5-3,7}{2}$
Нерасшифрованный остаток	–	1	4	1,7	–	1,8

В среднем 94,3 % всего состава шоколадных глин падает на долю глинистой и пылевой фракции. На долю песчаной фракции остается в среднем всего 5,7 %. Исследования песчаной фракции ($> 0,05$ мм) свидетельствуют, что ее общий диапазон довольно велик (от нуля до 35 %). Но 90 % всех образцов имеет содержание песчаной фракции от нуля до 10 % (табл. 4, 5).

Таблица 4

Экспериментальные исследования гранулометрического состава глин

Содержание фракций, %	более 0,25 мм	0,25–0,1 мм	0,1–0,05 мм	0,05–0,01 мм	0,01–0,005 мм	менее 0,005 мм
Среднее	0,1	0,2–0,5	5,5–7,5	12,8	24,5	55–57
Максимум	3,7	17,6	32,0	34–48	46,2	84–86
Минимум	0	0	0,5	0,2–0,6	0,5	20–25

Таблица 5

Экспериментальные исследования вертикальной зональности гранулометрического состава глин

Глубина зоны, м	Песчаные частицы < 0,05 мм	Пылевые частицы 0,05–0,005 мм	Глинистые частицы > 0,005 мм
3–7	6,06	41,78	52,16
8–10	5,12	35,66	59,22
11–15	2,67	29,83	67,50

Содержание пылевой фракции (0,05–0,005 мм) изменяется в столь же широких пределах, как и содержание глинистых частиц. Но в отличие от глинистых частиц содержание пылевой фракции для подавляющей части образцов (96,7 %) колеблется в интервале от 10 до 60 %, имея среднюю величину 37,3 %.

Физико-механические исследования подтверждают закономерное изменение гранулометрического состава глинистой толщи с увеличением глубины: содержание глинистых частиц увеличивается, а содержание в толще глин пылевых и песчаных частиц уменьшается.

Вторая зона (от 2 до 7 м) характеризуется наиболее легкими типами пород по содержанию глинистых частиц. Так как в ней заметно влияние гранулометрического состава суглинистых прослоев. В нижней наиболее глубокой зоне находятся наиболее тяжелые типы глин, обогащенные глинистыми частицами. Эти частицы содержатся здесь почти на 15 % больше, чем в глинах второй зо-

ны. Подобные закономерности в распределении содержания различных фракций в глинистой толще по вертикали позволяют сделать вывод об изменении условий отложения глинистой толщи во времени. Нижняя часть глинистой толщи накапливалась, по-видимому, при более высоком уровне Хвалынского моря. Море постепенно мелело при одновременном росте соляных куполов, с приподнятых участков которых происходил снос более грубого материала. Это и служило причиной уменьшения содержания глинистых частиц и обогащения осадка пылеватой и песчаной фракции в средней и верхней зонах.

Исследования распределения фракционных частиц по разрезу подтверждают, что изменение гранулометрического состава по глубине толщи хвалыньских глин происходит неравномерно. Так на глубинах около 5–7 м и 10–15 м наблюдается уменьшение содержания глинистых и увеличение содержания пылеватых частиц. Это отражает нестационарный характер условий осадконакопления. На участках, наиболее близких к растущим куполам, откладывался менее дисперсный материал. Этот материал соответствует прибрежной зоне, переходной от куполов к межкупольным депрессиям.

Содержание песчаной фракции практически одинаково и колеблется в пределах от 3,2 до 5,5 %. Пылеватая фракция в наибольшем количестве (43,7–45,7 %) содержится на участках, на которых наблюдается уменьшение содержания глинистых частиц.

Исследования гранулометрического состава позволяют сделать вывод, что наибольшее содержание глинистой и наименьшее содержание песчаной фракции имеет место в более глубоких зонах накопления пород. Менее глубокие зоны обогащены пылеватой фракцией за счет уменьшения глинистой. Это вполне объяснимо, если учесть увеличение глинистой фракции и уменьшение песчаной и пылеватой фракции в толще хвалыньских глин в направлении сверху вниз. Гранулометрический состав свидетельствует о высокой дисперсности хвалыньских глин, состоящих более чем на 90 % из глинистых и пылеватых.

Пластичность пород, находящаяся в тесной связи с гранулометрическим составом, характеризуется пределами и числом пластичности. Показатели пластичности являются функцией не только их гранулометрического состава (степени глинистости), но и ряда других факторов (минералогического состава и формы частиц, химического состава поглощающего комплекса и т.п.). Для толщи хвалыньских глин колебание нижнего предела пластичности (влажность на границе текучести) происходит в широких пределах - от 0,30 до 0,90. Средняя его величина составляет 0,66. При этом 94,3 % всех определений дают влажность на границе текучести в интервале от 0,45 до 0,85. А 71,6 % всех исследованных образцов имеют влажность на границе текучести в интервале от 0,60 до 0,80, т.е. в значительно суженном диапазоне. Колебание влажности на границе раскатывания происходит в более узком интервале – от 0,16 до 0,36. Средняя величина составляет 0,28. Число пластичности глин колеблется в диапазоне от 0,15 до 0,55. При этом 96,6 % всех образцов имеют число пластичности от 0,20 до 0,50. А у 91,3 % исследованных образцов число пластичности – от 0,25 до 0,50. Средняя величина пластичности (табл. 8) составляет 0,38, т.е. соответствует средней глине, весьма близкой к тяжелой глине.

Увеличение степени глинистости происходит в направлении сверху вниз. Первая самая верхняя зона имеет минимальные средние величины пределов и числа пластичности, соответствующие легкой глине. Вторая зона по величине

не числа пластичности соответствует средней глине. А третья и четвертая зоны включают в себе уже тяжелые глины (табл. 6).

Таблица 6

**Экспериментальные исследования вертикальной зональности
пластичности хвалыньских глин**

Глубина зоны, м	Показатели пластичности		
	W_L	W_p	J_p
0–2	0,52	0,23	0,29
3–7	0,65	0,27	0,38
8–10	0,69	0,29	0,40
11–15	0,72	0,30	0,42

Естественная влажность глин колеблется в весьма широких пределах – от величины гигроскопической влажности порядка 0,05–0,08 до 0,48. То есть до величины, которая соответствует мягкопластичному состоянию. При этом 95,6 % всех образцов имеют влажность в пределах от 0,15 до 0,45. А у 71,5 % всех образцов естественная влажность – в пределах от 0,25 до 0,40 %.

Средняя величина естественной влажности равняется 0,31. Это соответствует тугопластичному состоянию. Средние значения влажности и соответствующие им показатели текучести для вертикальных зон хвалыньских глин приведены в таблице 7.

Таблица 7

**Экспериментальные исследования влажности (W) и показателя текучести (J_L)
хвалыньских глин**

Глубина зоны, м	W_L	J_L
0–2	0,18	-0,20
3–7	0,30	0,07
8–10	0,34	0,12
11–15	0,37	0,19

Глины верхней зоны имеют минимальную влажность, которая меньше нижнего предела пластичности. Шоколадные глины в этой зоне обладают полутвердой консистенцией. Естественная влажность глин второй зоны значительно выше. Здесь она выше среднего значения нижнего предела пластичности. Глины в этой зоне приобретают тугопластичную консистенцию. Влажность глин третьей и четвертой зон увеличивается. Величина коэффициента консистенции растет, не переходя границу между тугопластичной и мягкопластичной консистенцией.

В тесной связи с влажностью и показателем текучести находится степень заполнения пор пород водой, называемая степенью влажности S_r . В таблице 8 сопоставлены по глубинам величины показателя текучести и степени влажности.

Исследования показателя текучести совместно с изменением степени влажности подтверждают, что для перехода пластичного состояния шоколадной глины в полутвердое необходимо, чтобы количество воздуха в порах составляло величину порядка 7–8 % всего объема пор. Средняя глубина, соответствующая нулевой величине показателя текучести, составляет 3 м. Однако эта величина не является неизменной.

Таблица 8

Экспериментальные исследования изменения степени влажности по глубине

Глубина зоны, м	J_L	Sr
0–2	– 0,14	0,78
3–7	0,10	0,98
8–10	0,12	0,99
11–15	0,19	0,99

Плотность пород характеризуется двумя показателями: плотностью влажного грунта (отношение веса твердой фазы и воды в ее порах к полному объему) и плотностью сухого образца (отношение веса твердой фазы к суммарному объему твердой фазы и пор). Значения этих показателей и коэффициента пористости по глубинному разрезу приведены в таблице 9. Прочностные и деформационные свойства хвалыньских глин (угол внутреннего трения, удельное сцепление, сопротивление конусу зонда и на боковой поверхности зонда при статическом зондировании) зависят в значительной степени от физических характеристик грунта, особенно от влажности.

Таблица 9

Экспериментальные исследования изменения плотности и пористости хвалыньских глин по глубинам

Глубина зоны, м	ρ	ρ_d	ε
0–2	1,94	1,61	0,705
3–7	1,93	1,48	0,867
8–10	1,90	1,42	0,950
11–15	1,85	1,35	1,064

Результаты исследований связей между влажностью и показателями механических свойств приведены в таблице 10.

Таблица 10

Экспериментальные исследования физико-механических свойств хвалыньских глин до замораживания

Показатели		Значение показателей при влажности					
		0,15	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65
Консолидированный сдвиг	Угол внутреннего трения, градус	21	18	14	12	10	10
		0,41	0,40	0,37	0,33	0,27	0,19
Неконсолидированный сдвиг	Угол внутреннего трения, градус	–	13	10	6	3	–
	Сцепление, 10^5 Па	–	0,84	0,61	0,44	0,24	–
Модуль деформации псамповый, 10^5 Па		–	270	85	51	–	–
Модуль деформации компрессионный, 10^5 Па		–	60	40	20	–	–
Сопротивление конусу зонда, 10^5 Па		48	38	23	17	7	–
Сопротивление на боковой поверхности зонда, 10^5 Па		13,6	8,5	4,6	1,7	–	–

Набухание является наиболее специфическим свойством (табл. 11) хвалынских глин. Оно проявляется в увеличении их объема при взаимодействии с водой. Как указано выше, хвалынские глины обладают трещиноватостью, особенно в верхней зоне. При взаимодействии с водой набухание глин способствует смыканию трещин и их залечиванию. Весьма важной особенностью процесса набухания является его обратимость, выражающаяся в усадке породы при подсушивании.

Таблица 11

Экспериментальные исследования относительного набухания хвалынских глин

Влажность на пределе текучести	Нагрузка на грунт, 10 ⁻³ Па	Коэффициент пористости						
		0,61–0,70	0,71–0,80	0,81–0,90	0,91–1,0	1,01–1,10	1,11–1,20	1,21–1,30
Относительное набухание								
0,40–0,45	0,0	0,098	0,070	0,042	0,014	–	–	–
	1,0	0,048	0,028	0,009				
	3,0	0,025	0,013	0,001				
0,45–0,50	0,0	0,111	0,083	0,055	0,028	–	–	–
	1,0	0,050	0,048	0,018				
	3,0	0,29	0,017	0,005				
0,50–0,55	0,0	0,124	0,096	0,068	0,040 0,006	0,012	–	–
	1,0	0,064	0,044	0,025				
	3,0	0,033	0,021	0,009				
0,55–0,60	0,0	0,138	0,110	0,082	0,054 0,014 0,001	0,026	–	–
	1,0	0,072	0,052	0,033				
	3,0	0,037	0,025	0,013				
0,60–0,65	0,0	0,150	0,122	0,094	0,066 0,022 0,005	0,038 0,004	0,010	
	1,0	0,080	0,060	0,042				
	3,0	0,041	0,029	0,017				
0,65–0,70	0,0	0,164	0,136	0,108	0,080 0,031 0,009	0,052 0,012	0,024	–
	1,0	0,088	0,068	0,050				
	3,0	0,045	0,033	0,021				

Набухание хвалынских глин зависит от их состояния и свойств. Результаты исследований этих зависимостей приведены в таблице 11. Отложения хазарского горизонта (преимущественно пески мощностью до 30 м) залегают в основании Покровного чехла и могут обнажаться на склоне долины Волги. В гранулометрическом отношении хазарские пески весьма разнообразны. В основании толщи залегает базальный слой (пески различной крупности с включением гальки и гравия) мощностью до 2–3 м. Выше залегают пески средней крупности, составляющие большую часть толщи. Венчает разрез слой мелких песков, содержащих линзы иловатых глин старичной формации средней мощностью около 2 м. Весьма характерной является высокая сортированность (монофракционность) мелких песков. 73 % частиц сосредоточено во фракции 0,25–0,1 мм. Пылеватые пески однородны по составу (табл. 12). 85 % частиц принадлежит фракциям 0,25–0,1 мм и 0,1–0,05 мм. Пески имеют плотное сложение, как и все плейстоценовые песчаные породы Прикаспия, и высокую прочность: угол внутреннего трения от 28 до 34° и сцепление от 0,05 до 0,10*105 Па.

Таблица 12

**Экспериментальные исследования гранулометрического состава
хазарских песков**

Типы пород	Содержание фракций (мм), %						d ₆₀	d ₁₀
	>2,0	2,0–0,5	0,50–0,25	0,25–0,10	0,10–0,05	<0,05		
Песок мелкий	1,4	8,2	36,8	51,8	1,8	–	0,13	0,28
Песок крупный (базальный слой)	9,7	45,1	32,4	11,7	0,7	–	0,21	0,81

Таблица 13

**Экспериментальные исследования физических свойств хазарских пород
до замораживания**

Показатели свойств	Среднее значение
Предел текучести	0,49
Предел раскатывания	0,24
Число пластичности	0,25
Плотность, г/см ³	1,96
Плотность «сухого» грунта, г/см ³	1,54
Коэффициент пористости	0,79
Природная влажность	0,27

Показатели механических свойств хазарских песков и глин даны в таблице 14.

Таблица 14

**Экспериментальные исследования механических свойств хазарских пород
до замораживания**

Показатели свойств	Песок мелкий	Песок крупный	Глина твердая и полутвердая
Удельное сцепление, МПа	0,02	0	0,039
Угол внутреннего трения, градус	28	30	21
Модуль деформации, МПа	30	34	18

Исследования физико-механических свойств пород Покровного чехла Прикаспия подтверждают аномальное уменьшение плотности и увеличение пористости глин с увеличением глубины их залегания. Обычно плотность грунтов возрастает с увеличением глубины. Так как нижележащие слои уплотняются под влиянием веса вышележащих слоев. Объяснение состоит в том, что шоколадные глины являются молодыми осадками, претерпевающими первые фазы диагенеза. В условиях поверхностного залегания и жаркого сухого климата поверхность этих глин, слегка прикрытая тонкой пленкой лессовых пород, высыхает и вместе с тем уплотняется. Высыхание не ограничивается только поверхностной коркой, а продолжаясь в течение длительного времени, вызывает капиллярное движение поровых вод снизу вверх и последующее уплотнение более глубоких слоев сверху вниз. Этими процессами объясняется увеличение в шоколадных глинах Прикаспия влажности и пористости. Уменьшение плотности происходит сверху вниз. Роль гравитационного уплотнения, в особенности при поверхностном залегании и сравнительно небольшой мощности этих

глин (до 20 м), невелика и не может преобладать внутренними силами, возникающими в глинах вследствие их высыхания.

Таким образом, изложенная инженерно-геологическая систематизация характеристики осадков самого верхнего покровного литологического чехла массива горных пород изменчивости по латерали и по глубинам физико-механических свойств современных, хвалынских и хазарских грунтов, наиболее подверженных техногенным процессам, является типичной для всех районов Прикаспия.

Список литературы

1. Бондарев Э. А. Механизм образования гидратов в газовых потоках / Э. А. Бондарев, Г. Д. Бабе, А. Г. Гройсман и другие. – Москва : Недра, 1976. – 157 с.
2. Истомин В. А. Взаимосвязь между точкой росы по влаге и газогидратной точкой / В. А. Истомин, В. Г. Квон // Природный газ в качестве моторного топлива. Подготовка, переработка и использование газа. – 1996. – № 1. – С. 95–100.
3. Истомин В. А. Перспективные направления в технологии предупреждения газовых гидратов / В. А. Истомин // Химия в интересах устойчивого развития. – 1998. – Т. 6, № 1. – С. 83–92.
4. Истомин В. А. Фазовые равновесия и физико-химические свойства газовых гидратов : анализ новых экспериментальных данных / В. А. Истомин. – Москва : Всесоюзный научно-исследовательский институт экономики, организации производства и технико-экономических исследований в газовой промышленности, 1992. – 41 с.
5. Кузнецов Ф. А. Газовые гидраты – неисчерпаемый источник углеводородного сырья / Ф. А. Кузнецов, Ю. А. Дядин, Т. В. Родионова // Российский химический журнал. – 1997. – № 6. – С. 28–34.
6. Ларионов В. Р. Перспективы практического использования газовых гидратов в горном деле / В. Р. Ларионов, С. М. Федосеев, Б. Д. Иванов. – Якутск : Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, 1993. – 224 с.
7. Макогон Ю. Ф. Определение радиуса возможного образования гидратов в призабойной зоне газовых скважин / Ю. Ф. Макогон, Г. Г. Жиденко // Труды Московского ордена Трудового Красного Знамени института нефтехимической и газовой промышленности имени академика И. М. Губкина, 1976. – Вып. 116. – 105 с.
8. Макогон Ю. Ф. Предупреждение образования гидратов при добыче и транспорте газов / Ю. Ф. Макогон, Г. А. Саркисянц. – Москва : Недра, 1966. – 86 с.
9. Мальшев А. Г. Об определении теплоемкости газовых гидратов / А. Г. Мальшев, Н. Д. Каптелигин, Г. Н. Мальшева // Труды Сибирский научно-исследовательский институт нефтяной промышленности. – 1976. – Вып. 6. – С. 143–149.
10. Мартинец В. Г. Равновесные и кинетические свойства метановых гидратов / В. Г. Мартинец, П. П. Безверхий и другие // Тепло- и массообмен в химической технологии : тезисы докладов конференции. – Казань : Казанский государственный университет, 2000. – С. 16–17.
11. Мельников В. П. Гидратообразование газов в присутствии добавок поверхностно-активных веществ / В. П. Мельников, А. Н. Нестеров, В. В. Феклистов // Химия в интересах устойчивого развития. – 1998. – Т. 6, № 1. – С. 97–102.
12. Расулов А. М. Борьба с гидратообразованием / А. М. Расулов // Газовая промышленность. – 2002. – № 2. – С. 50–53.
13. Родионова Т. В. Газовые гидраты в экосистеме Земли / Т. В. Родионова, Д. В. Солдатов, Ю. А. Дядин // Химия в интересах устойчивого развития. – 1998. – Т. 6, № 1. – С. 51–74.
14. Серебрякова В. И. Геолого-технические решения строительства нагнетательных скважин на полигонах закачки промышленных стоков / В. И. Серебрякова // Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. – 2006. – № 4. – С. 200–206.
15. Серебрякова В. И. Инженерно-геологические осложнения и аварийные ситуации при захоронении промстоков в подземные недра / В. И. Серебрякова // Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. – 2005. – № 1. – С. 130–133.

References

1. Bondarev E. A., Babe G. D., Groysman A. G., et al. *Mekhanizm obrazovaniya gidratov v gazovykh potokakh* [The mechanism of the formation of hydrates in gas flows], Moscow, Nedra Publ., 1976. 157 p.

2. Istomin V. A., Kvon V. G. Vzaimosvyaz mezhdu tochkoy rosy po vlage i gazogidratnoy tochkoy [The relationship between the water dew point and gas hydrate point]. *Prirodnyy gaz v kachestve motornogo topliva. Podgotovka, pererabotka i ispolzovanie gaza* [Natural Gas as a Motor Fuel. Preparation, Processing and Use of Gas], 1996, no. 1, pp. 95–100.
3. Istomin V. A. Perspektivnye napravleniya v tekhnologii preduprezhdeniya gazovykh gidratov [Promising directions in technology of prevent gas hydrates]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya* [Chemistry for Sustainable Development], 1998, vol. 6, no. 1, pp. 83–92.
4. Istomin V. A. *Fazovye ravnovesiya i fiziko-khimicheskie svoystva gazovykh gidratov : analiz novykh eksperimentalnykh dannykh* [Phase equilibria and physical and chemical properties of gas hydrates : analysis of new experimental data], Moscow, All-Union Research Institute of Economy, production and feasibility studies in the gas industry Publ. House, 1992. 41 p.
5. Kuznetsov F. A., Dyadin Yu. A., Rodionova T. V. Gazovye gidraty – neisчерpaemyy istochnik uglevodorodnogo syrya [Gas hydrates – an inexhaustible source of hydrocarbons]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal* [Russian Chemistry Journal], 1997, no. 6, pp. 28–34.
6. Larionov V. R., Fedoseev S. M., Ivanov B. D. *Perspektivy prakticheskogo ispolzovaniya gazovykh gidratov v gornom dele* [Prospects for the practical use of gas hydrates in mining], Yakutsk, Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ. House, 1993. 224 p.
7. Makogon Yu. F., Zhidenko G. G. Opreделение radiusa vozmozhnogo obrazovaniya gidratov v prizaboynoy zone gazovykh skvazhin [Determination of the radius of possible hydrate formation near the wellbore gas wells]. *Trudy Moskovskogo ordena Trudovogo Krasnogo Znameni instituta neftekhimicheskoy i gazovoy promyshlennosti imeni akademika I. M. Gubkina* [Proceedings of the Moscow Order of Labor Red Banner Institute of Petrochemical and Gas Industry Academician I. M. Gubkin], 1976, vol. 116. 105 p.
8. Makogon Yu. F., Sarkisyants G. A. *Preduprezhdenie obrazovaniya gidratov pri dobyche i transporte gazov* [Prevention of hydrate formation during the extraction and transport of gases], Moscow, Nedra Publ., 1966. 86 p.
9. Malyshev A. G., Kapteilin N. D., Malysheva G. N. Ob opredelenii teploemkosti gazovykh gidratov [On the determination of the specific heat of gas hydrates]. *Trudy Sibirskiy nauchno-issledovatel'skiy institut neftyanoy promyshlennosti* [Proceedings of the Siberian Research Institute of Petroleum Industry], 1976, vol. 6, pp. 143–149.
10. Martinets V. G., Bezverkhiiy P. P., et al. Ravnovesnye i kineticheskie svoystva metanovykh gidratov [Equilibrium and kinetic properties of methane hydrates]. *Tepla- i massoobmen v khimicheskoy tekhnologii : teziy dokladov konferentsii* [Heat and mass transfer in chemical technology. Proceedings of the conference], Kazan, Kazan State University, 2000, pp. 16–17.
11. Melnikov V. P., Nesterov A. N., Feklistov V. V. Gidratoobrazovanie gazov v prisutstvii dobavok poverkhnostno-aktivnykh aktivnykh veshchestv [Gas hydrate formation in the presence of additives of surfactant actives]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya* [Chemistry for Sustainable Development], 1998, vol. 6, no. 1, pp. 97–102.
12. Rasulov A. M. Borba s gidratoobrazovaniem [Fighting with hydrate formation]. *Gazovaya promyshlennost* [Gas Industry], 2002, no. 2, pp. 50–53.
13. Rodionova T. V., Soldatov D. V., Dyadin Yu. A. Gazovye gidraty v ekosisteme Zemli [Gas hydrates in the Earth's ecosystem]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya* [Chemistry for Sustainable Development], 1998, vol. 6, no. 1, pp. 51–74.
14. Serebryakova V. I. Geologo-tekhnicheskie resheniya stroitelstva nagnetatelnykh skvazhin na poligonakh zakachki promyshlennykh stokov [Geological and engineering solutions for construction of injection wells at landfills industrial wastewater injection]. *Yuzhno-Rossiyskiy vestnik geologii, geografii i globalnoy energii* [South-Russian Bulletin Geology, Geography and Global Energy], 2006, no. 4, pp. 200–206.
15. Serebryakova V. I. Inzhenerno-geologicheskie oslozhneniya i avariynye situatsii pri zakhoronении promstokov v podzemnye nedra [Engineering and geological complications and emergencies in the disposal of industrial wastes in the underground bowels]. *Yuzhno-Rossiyskiy vestnik geologii, geografii i globalnoy energii* [South-Russian Bulletin Geology, Geography and Global Energy], 2005, pp. 130–134.