

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ ВЫДЕЛЕНИЯ  
ПОРОВОЙ ВОДЫ ИЗ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ  
И МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД ГУБЫ БУОР-ХАЯ (МОРЕ ЛАПТЕВЫХ)**

© 2021 г. А. С. Ульянцев<sup>1, \*</sup>, Н. В. Полякова<sup>2, \*\*</sup>, И. С. Трухин<sup>1, 2</sup>, Ю. А. Паротькина<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт химии ДВО РАН, Владивосток, Россия

\*e-mail: uleg85@gmail.com

\*\*e-mail: nvpolyakova@mail.ru

Поступила в редакцию 26.11.2020 г.

После доработки 25.02.2021 г.

Принята к публикации 08.04.2021 г.

На примере донных отложений и многолетнемерзлых пород из губы Буор-Хая (море Лаптевых) проведен сравнительный анализ состава поровой воды при разных способах ее пробоотбора. Показаны принципиальные различия в концентрации макроионов ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ ) в отжатой прессованием воде по сравнению с водной вытяжкой из интактных и прессованных отложений, достигающие порядковых значений. Было установлено, что при прессовании значительное количество растворенных в поровой воде солей остается в остаточной влаге. В большей степени это основные минеральные компоненты морской воды ( $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ ), а также  $\text{K}^+$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ . Концентрация  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  при различных способах выделения поровой воды весьма разнообразна, и общая закономерность в распределении этих катионов не прослеживается. Вариабельность концентрации макрокомпонентов в поровой воде при различных способах пробоотбора определяется, по-видимому, различиями в литологическом составе исследованных отложений и мерзлых грунтов, гидрологическом режиме и обстановках осадконакопления в исследованной части губы Буор-Хая.

**Ключевые слова:** Арктика, донные отложения, многолетнемерзлые породы, поровая вода, водные вытяжки, ионный состав

**DOI:** 10.31857/S0030157421050130

## ВВЕДЕНИЕ

Поровая (интерстициальная) вода и донные осадки представляют собой целостную систему, химический состав которой формируется под действием природных факторов окружающей среды, зависит от свойств пород и отложений, а также отвечает за миграцию органических и неорганических компонентов, возникновение повышенных рудных концентраций рассеянных элементов и фильтрационные характеристики осадочных толщ [1, 2, 17, 19, 22]. Взаимодействие поровой воды с осадком определяет потоки и преобразование вещества в системе “вода–осадок”, а в совокупности – диагенез и формирование осадочных пород.

В прибрежной зоне моря Лаптевых широко распространены подводные многолетнемерзлые породы [9–11, 23], деградация которых в большей степени связана с эндогенными процессами: дегазацией дна, сейсмической активностью на

шельфе, потоками геотермальной энергии [4–7, 25]. В качестве основного экзогенного механизма таяния подводной мерзлоты и формирования таликов рассматривается поступление в пресные толщи морской воды (“солевой эффект”) [3, 7, 14, 15, 18]. Количественная оценка ионного состава поровых вод является информативным параметром для характеристики геологических и геохимических процессов, таяния подводной мерзлоты в рассматриваемой системе шельфа Арктики.

Метод прессования, заключающийся в выделении воды под высоким давлением с использованием металлической поршневой конструкции, широко применяется для выделения поровых вод из широкого спектра типов осадков и пород, в том числе с низким содержанием влаги [20, 21]. Однако прессование приводит к деформации твердой фазы и механическому разрушению клеток биоты, населяющей донные осадки. Это способствует переходу отдельных элементов и органического вещества в водную фазу, что может

значительно исказить результаты анализов. Методы центрифугирования и вакуумной экстракции пригодны для выделения поровой воды из тонкодисперсных осадков с высоким содержанием влаги, поэтому их применение весьма ограничено. Широкое применение в практике нашел метод прямого сбора воды из осадков шприцем с фильтром (Rhizon sampling), который отличается простотой работы [24]. Тем не менее, такой подход не дает объективной картины количественного состава растворенных в поровой воде компонентов и также пригоден для работы только с осадками высокой влажности. Как и в случае прессования, здесь отсутствует контроль давления, и количественный выход поровой влаги зависит от литологического состава и исходной влажности осадков. Целью настоящей работы является сравнительная характеристика методов прессования и водной экстракции по изменению концентрации катионов ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ ) и анионов ( $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ ) в поровой воде донных отложений прибрежно-шельфовой зоны моря Лаптевых для оценки влияния криогенных процессов на состав и свойства толщ отложений, установления закономерностей вертикального распределения макроионов в поровой воде при различных способах ее выделения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для исследования послужили пробы донных отложений и многолетнемерзлых пород из кернов скважин 2D-13 и 1D-14, пробуренных в полярно-ледовых экспедициях в западной части губы Буор-Хая в 2013 и 2014 гг. соответственно [16]. Анализ концентрации катионов и анионов выполнен в образцах поровой воды, выделенной прессованием, а также в водных вытяжках. Поровую воду из осадков отжимали в экспедиционных условиях на титановом прессе с помощью гидравлического домкрата. Мерзлые отложения перед прессованием размораживались при комнатной температуре. Каждую пробу отжатой воды переносили в светонепроницаемую емкость, маркировали, помещали в холодильник и транспортировали в лабораторию для выполнения анализов. Пробы донных отложений для водных вытяжек отбирали в пластиковые пакеты с застежкой, замораживали и транспортировали в лабораторию в замороженном виде. Водные вытяжки получали в соответствии с РД 52.18.572-96 в отжатых на прессе и интактных пробах. Высушенную до постоянной массы пробу осадка (примерно 15 г) помещали в колбу и добавляли 150 мл деионизованной воды. Содержимое колбы перемешивали в течение 15 мин на аппарате для встряхивания Vortex Genius 3 (КА, Германия) и центрифугировали в течение 15 мин при скорости вращения 5500 об./мин на центрифуге 5702R (Eppendorf, Германия).

Анализ концентрации  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  выполнен методом ионообменной хроматографии на анализаторе DIONEX ICS-5000 (Termo Scientific, США) с использованием колонки и предколонки PAX-100. Элюент — раствор карбонатного буфера  $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{NaHCO}_3$  (3.1/3.9 ммоль/л) в смеси с ацетонитрилом в концентрации 5%, детектирование кондуктометрическое. Концентрацию  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  определяли методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии на анализаторе Solaar M (Termo Scientific, США) в смеси ацетилен—воздух. Аналитические длины волн составили 766.5; 589.0; 422.7 и 285.2 нм для  $\text{K}^+$ ;  $\text{Na}^+$ ;  $\text{Ca}^{2+}$ ; и  $\text{Mg}^{2+}$  соответственно. В случае водных вытяжек конечные результаты пересчитывали с учетом разведения проб и естественной влажности. Анализ влажности выполнен на приборе МОС-120Н (Shimadzu, Япония).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследованные талые и многолетнемерзлые отложения представлены мелко- и среднезернистыми песками и алевролитами с низким вкладом тонкодисперсной фракции (табл. 1). Обнаруженные в составе буровых кернов включения растительных остатков, грубообломочного материала и мхов наряду с выраженной литолого-фациальной дифференциацией толщ указывают на разнообразие природных обстановок и механизмов осадконакопления в губе Буор-Хая, что подтверждено геологическими, литологическими и органо-химическими данными [8, 12, 13, 16]. Ранее было установлено, что вертикальный профиль концентрации макроионов в отложениях губы Буор-Хая весьма неоднороден, сформировался под влиянием таяния подводной мерзлоты, гидродинамических условий и связан с литологическим составом толщ [15]. По сравнению с практически пресными мерзлыми толщами талые отложения характеризуются наличием неоднородных областей высокой солености, свидетельствующих об изменчивости поступления морской воды и распределения ионов.

Сравнительный анализ состава поровой воды показал заметные расхождения в концентрации макроионов в отжатой прессованием воде по сравнению с водной вытяжкой из интактных и прессованных проб, достигающие порядковых значений на отдельных горизонтах (табл. 2–3). Для большинства вытяжек талых образцов, характеризующихся высокой соленостью, измерены более высокие по сравнению с прессованием концентрации  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Cl}^-$  в пересчете абсолютное содержание воды в осадке (исключение — горизонт 190 см скважины 1D-14). Для  $\text{SO}_4^{2-}$  эта разница достигает порядковых значений. Мерзлые

**Таблица 1.** Литологическое описание проанализированных проб из скважин 1D-14 и 2D-13

<b>Скважина 1D-14</b>		
Горизонт, см	Криогенное состояние	Описание
0	Талое	Алевритово-пелитовый ил с примесью песка
190	Талое	Песок алевритовый
448	Талое	Алеврит песчанисто-пелитовый
546	Талое	Песок пелитово-алевритовый
878	Талое	Песок пелитово-алевритовый
1142	Талое	Песок
1218	Мерзлое	Песок пелитово-алевритовый
1358	Мерзлое	Песок пелитово-алевритовый
1631	Мерзлое	Алеврит песчанисто-пелитовый
1796	Мерзлое	Песок пелитовый
2087	Мерзлое	Песок алевритовый
2366	Мерзлое	Песок
2460	Мерзлое	Песок
2701	Мерзлое	Песок
3597	Мерзлое	Песок алевритовый
3782	Мерзлое	Алеврит песчано-пелитовый
<b>Скважина 2D-13</b>		
Горизонт, см	Кригенное состояние	Описание
50	Талое	Алеврит пелито-песчаный
480	Талое	Алеврит пелито-песчаный
810	Талое	Алеврит пелитовый
920	Талое	Песок пелитово-алевритовый
1500	Талое	Песок пелитово-алевритовый
1725	Мерзлое	Алеврит песчано-пелитовый
1840	Мерзлое	Алеврит пелитовый
1960	Мерзлое	Алеврит песчано-пелитовый
2410	Мерзлое	Алеврит пелитовый

отложения, в свою очередь, накапливались в пресноводных и/или субэвральных условиях и характеризуются низкой соленостью интерстициальной воды. Концентрация макроионов в них на несколько порядков ниже по сравнению с тальными горизонтами и не позволяет надежно судить об изменениях в химическом составе поровой воды при разных способах выделения. Надежно оценить влияние дисперсности отложений на концентрацию ионов в поровой воде также затруднительно, поскольку при гидрохалинном таянии мерзлоты заметно меняется соленость интерстициальной воды при постоянстве литологического состава отложений. Тем не менее, общий тренд пониженной концентрации макроионов в отжатой на прессе из многолетнемерзлых пород воде сохраняется.

Подобные расхождения наблюдаются по ряду причин. Во-первых, это разница в исходных навесках проб. Для анализа водной вытяжки берется около 25 г влажного осадка, тогда как для выделения достаточного для анализа объема поровой воды на прессе требуется 100–200 г, из-за чего возникают погрешности при анализе. Во-вторых, при работе на прессе не учитывается давление, от которого зависит объем выделенной воды. Прессование позволяет выделить лишь подвижную слабосвязанную часть поровой воды, тогда как значительная часть ионов концентрируется в прочно связанной с поверхностью частиц отложений влаге. Поскольку вода отжимается при различном давлении, ее объем зависит от литологического типа осадка и естественной влажности,

**Таблица 2.** Концентрация ионов поровой воды в образцах скважины 1D-14 (пресс – прессованная вода; вытяжка – водная вытяжка из интактной пробы)

Горизонт, см	[Na <sup>+</sup> ], г/л		[K <sup>+</sup> ], г/л		[Cl <sup>-</sup> ], г/л		[Ca <sup>2+</sup> ], г/л		[Mg <sup>2+</sup> ], г/л		[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ], г/л	
	пресс	вытяжка	пресс	вытяжка	пресс	вытяжка	пресс	вытяжка	пресс	вытяжка	пресс	вытяжка
0	5.049	14.87	0.222	0.814	10.79	22.28	0.223	0.552	1.556	1.318	0.871	6.766
190	7.554	7.255	0.208	0.741	14.90	10.33	0.493	0.663	1.289	0.830	0.903	1.242
448	5.676	11.05	0.046	0.905	13.17	16.78	0.685	1.649	0.831	0.842	0.080	4.244
546	5.508	10.06	0.053	0.889	11.96	15.18	0.604	0.146	0.844	0.288	0.103	1.190
878	6.888	12.13	0.185	0.631	13.54	18.47	0.431	0.869	1.019	0.103	0.109	1.009
1142	6.801	12.00	0.177	0.509	13.17	11.95	1.075	0.784	0.952	0.700	0.007	0.061
1218	0.132	0.893	0.031	0.190	0.168	1.021	0.437	1.071	0.172	0.368	0.008	0.145
1358	0.145	1.421	0.013	0.478	0.253	1.598	0.019	0.895	0.018	0.479	0.018	0.333
1631	0.215	0.360	0.013	0.102	0.748	0.889	0.141	0.627	0.075	0.307	0.020	0.278
1796	0.026	0.159	0.005	0.102	0.033	0.076	0.013	0.284	0.008	0.207	0.015	0.153
2087	0.085	0.428	0.011	0.101	0.334	0.430	0.075	0.151	0.076	0.066	0.007	0.045
2366	0.162	0.155	0.009	0.059	0.363	0.198	0.081	0.434	0.063	0.122	0.013	0.151
2460	0.014	0.645	0.004	0.229	0.016	0.806	0.021	0.558	0.006	0.153	0.002	0.124
2701	0.028	0.015	0.003	0.020	0.067	0.028	0.058	1.024	0.010	0.104	0.003	0.043
3597	0.036	0.121	0.008	0.095	0.119	0.469	0.062	0.401	0.046	0.228	0.002	0.051
3782	0.039	0.248	0.004	0.100	0.047	0.301	0.016	0.732	0.012	0.329	0.003	0.161

**Таблица 3.** Концентрация ионов поровой воды в образцах скважины 2D-13 (пресс – прессованная вода; вытяж. (инт.) – водная вытяжка из интактной пробы; вытяж. (отж.) – водная вытяжка из отжатой пробы)

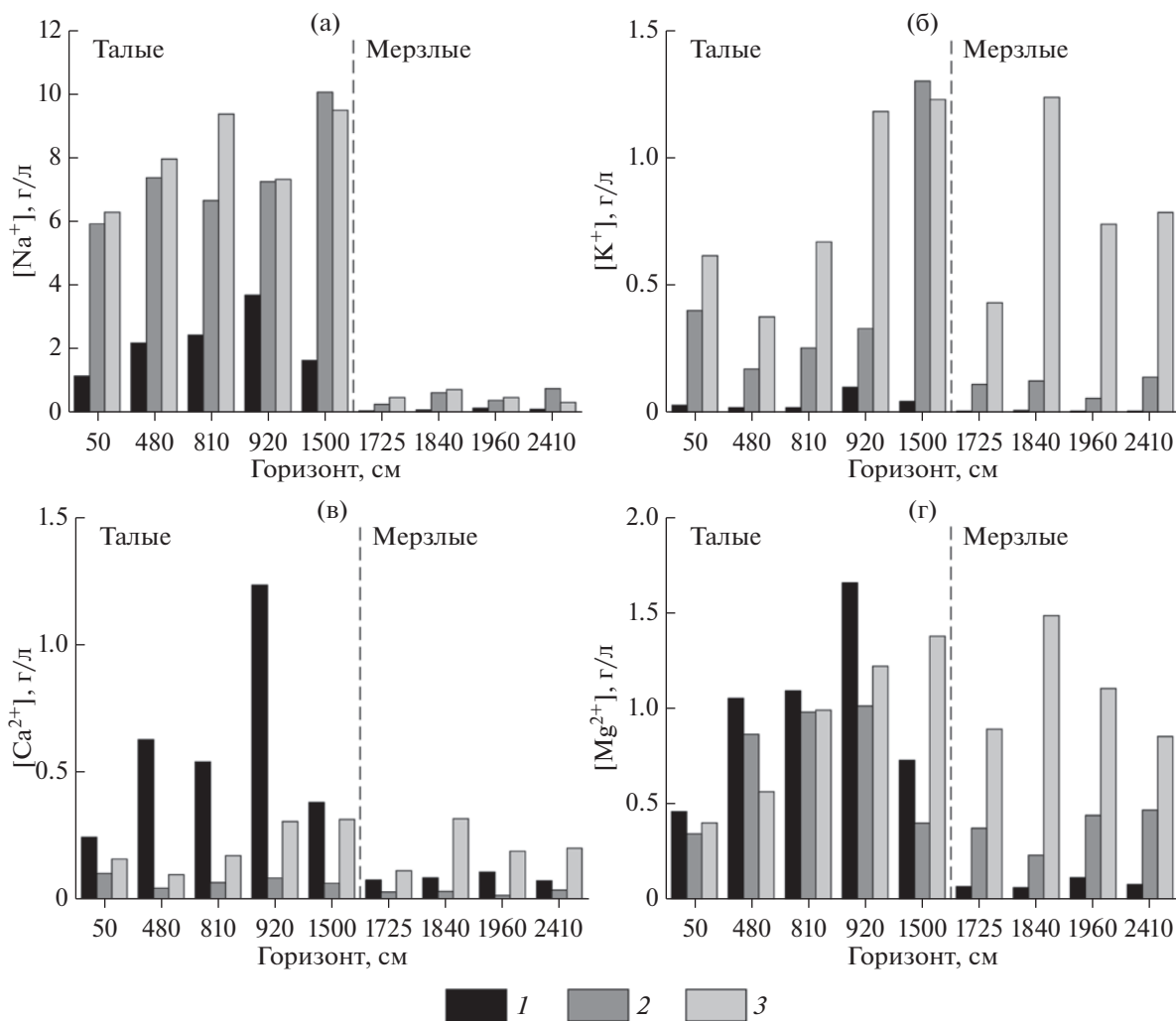
Горизонт, см	W <sub>1</sub> , %	W <sub>2</sub> , %	[Na <sup>+</sup> ], г/л			[K <sup>+</sup> ], г/л			[Ca <sup>2+</sup> ], г/л			[Mg <sup>2+</sup> ], г/л		
			пресс	вытяж. (инт.)	вытяж. (отж.)	пресс	вытяж. (инт.)	вытяж. (отж.)	пресс	вытяж. (инт.)	вытяж. (отж.)	пресс	вытяж. (инт.)	вытяж. (отж.)
50	22.4	13.4	1.159	5.945	6.312	0.031	0.404	0.620	0.244	0.102	0.158	0.462	0.346	0.403
480	27.5	14.8	2.200	7.401	7.984	0.023	0.174	0.380	0.629	0.044	0.097	1.055	0.866	0.566
810	17.0	8.88	2.442	6.682	9.403	0.023	0.257	0.674	0.541	0.066	0.172	1.094	0.983	0.993
920	14.9	8.13	3.706	7.275	7.349	0.102	0.333	1.188	1.238	0.083	0.306	1.660	1.015	1.223
1500	10.0	9.48	1.648	10.09	9.523	0.047	1.307	1.235	0.381	0.063	0.315	0.731	0.402	1.381
1725	23.3	8.53	0.062	0.272	0.485	0.008	0.114	0.435	0.076	0.029	0.113	0.068	0.375	0.893
1840	12.9	6.95	0.094	0.630	0.731	0.012	0.127	1.243	0.084	0.031	0.317	0.063	0.233	1.488
1960	46.1	14.0	0.145	0.389	0.485	0.008	0.059	0.744	0.108	0.015	0.189	0.117	0.442	1.107
2410	22.1	9.75	0.106	0.759	0.330	0.008	0.142	0.790	0.072	0.036	0.201	0.08	0.470	0.855

и концентрирование ионов в воде носит случайный характер.

Концентрация двухвалентных катионов Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> при различных способах выделения поровой воды весьма переменна и не позволяет выделить общий тренд в расхождениях значений. Подобную переменность можно объяснить различными от однозарядных катионов характеристиками, в частности величиной диаметра и аффинитетом к твердой матрице отложений. Более крупные двухзарядные катионы концентрируются

преимущественно в крупных порах, и, в отличие от однозарядных, их проникновение в мелкие поры затруднено. Кроме того, катионы Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> склонны к образованию комплексных соединений с участием лигандов органической и неорганической природы, содержащихся в поровой воде, что затрудняет их миграцию в поры малого размера.

Сравнение концентрации макроионов в отжатой поровой воде с водными вытяжками из отжатых и интактных образцов на примере сква-



**Рис. 1.** Диаграммы концентрации макрокатионов в поровой воде при различных методах пробоотбора. (а) – катионы Na<sup>+</sup>; (б) – катионы K<sup>+</sup>; (в) – катионы Ca<sup>2+</sup>; (г) – катионы Mg<sup>2+</sup>. 1 – вода, отжатая прессом; 2 – водная вытяжка из интактной пробы; 3 – водная вытяжка из отжатой пробы.

жины 2D-13 также выявило заметные расхождения в результатах анализа (рис. 1, табл. 3). Для Na<sup>+</sup> измерены наивысшие по сравнению с остальными катионами концентрации в талых образцах, что объясняется талассогенным протаиванием подводной мерзлоты [15]. Отжатая поровая вода отличается заниженной в разы концентрацией Na<sup>+</sup> и K<sup>+</sup> по сравнению с вытяжками. Если для Na<sup>+</sup> разница между вытяжками из отжатых и интактных проб незначительная, то катионами K<sup>+</sup> более обогащенными оказались отжатые осадки. Подобное концентрирование K<sup>+</sup> в отжатых пробах, вероятно, связано с отличной от Na<sup>+</sup> химической подвижностью катионов в воде.

Иная картина выявлена при анализе двухзарядных катионов. Для талых образцов концентрация Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> в отжатой прессом воде замет-

но выше по сравнению с водными вытяжками как из интактных, так и отжатых проб (рис. 1), что не согласуется с результатами анализа образцов из скважины 1D-14. При этом в мерзлых пробах поведение двухвалентных катионов различается: для Mg<sup>2+</sup> характерны гораздо более высокие концентрации в водных вытяжках из отжатых на прессе проб по сравнению с интактными образцами и прессованной водой, чем для Ca<sup>2+</sup>. Можно предположить, что подобная вариабельность в образцах из двух разных скважин связана с различиями литологического состава отложений, а также определяется гидрологическим режимом и выраженной сезонностью литодинамики в исследованной части моря Лаптевых [10]. В целом, среди основных факторов, от которых зависит ионный состав поровых вод, следует выделить литологический тип осадков, размерность частиц,

естественную влажность, которые, в свою очередь, определяются региональной литодинамикой и гидрологическим режимом акватории.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в настоящем исследовании данные выявили заметные расхождения в концентрации макроионов в поровой воде при различных методах ее выделения из донных осадков и многолетнемерзлых пород различного генезиса, заметно различающихся по литологическому составу. Установлено, что при прессовании донных осадков значительное количество растворенных в поровой воде солей остается в остаточной влаге. В большей степени это основные минеральные компоненты морской воды —  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ , концентрирование которых в талых отложениях связано с гидрохалинной деградацией подводной мерзлоты. Подобная закономерность прослеживается и для  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ . Вариабельность концентраций  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в поровой воде при различных методах ее выделения весьма разнообразна, и общая закономерность в распределении этих катионов не прослеживается. Следует предполагать, что эта вариабельность связана с различиями в литологическом составе исследованных отложений и мерзлых грунтов, гидрологическом режиме и обстановках литогенеза в исследованной части губы Буор-Хая, а также связана с особенностями свойств и строения двухвалентных катионов.

Метод водных вытяжек по сравнению с прессованием, центрифугированием, вакуумной экстракцией отличается простотой отбора проб, количественно учитывает содержание естественной влаги в пробе. Универсальность такого подхода заключается в объективной оценке концентрации растворенных в поровой воде минеральных компонентов независимо от генезиса, литологического состава, содержания влаги и криогенного состояния исследуемых отложений. Используемая в настоящей работе методика водных вытяжек пригодна для количественной оценки ионного состава поровой воды в дисперсных отложениях и многолетнемерзлых пород при изучении “солевого эффекта” таяния субаквальной криолитозоны.

**Источники финансирования.** Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-77-10044) в рамках темы госзадания ИО РАН № 0128-2021-0005. Методики анализа проб разработаны в рамках темы госзадания ИХ ДВО РАН № 0205-2021-0002.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурский Ю.Н. Геохимия литогидросферы внутренних морей. Т. 1. М.: ГЕОС, 2003. 332 с.

2. Гурский Ю.Н. Геохимия литогидросферы внутренних морей. Т. 2. М.: ГЕОС, 2007. 450 с.
3. Касымская М.В. Субмаринные талики восточной части шельфа моря Лаптевых // Планета Земля. 2012. № 1(7). С. 133–140.
4. Лобковский Л.И., Никифоров С.Л., Дмитревский Н.Н. и др. О процессах газовыделения и деградации подводных многолетнемерзлых пород на шельфе моря Лаптевых // Океанология. 2015. Т. 55. № 2. С. 312–320.
5. Лобковский Л.И., Никифоров С.Л., Шахова Н.Е. и др. О механизмах деградации подводных многолетнемерзлых пород на восточном арктическом шельфе России // Докл. РАН. 2013. Т. 449. № 2. С. 185–188.
6. Никифоров С.Л., Лобковский Л.И., Дмитревский Н.Н. и др. Ожидаемые геолого-геоморфологические риски по трассе Северного морского пути // Докл. РАН. 2016. Т. 466. № 2. С. 218–220.
7. Перльштейн Г.З., Сергеев Д.О., Тупенко Г.С. и др. Углеводородные газы и криолитозона шельфа Арктики // Арктика: экология и экономика. 2015. Т. 18. № 2. С. 35–44.
8. Погодаева Т.В., Ходжер Т.В., Жученко Н.А. и др. Поступление органического вещества в залив Буор-Хая (море Лаптевых) // Геология и геофизика. 2017. Т. 58. № 5. С. 739–752.
9. Романовский Н.Н., Гаврилов А.В., Тумской В.Е. и др. Криолитозона Восточно-Сибирского арктического шельфа // Вестник МГУ. 2003. № 4. С. 51–56.
10. Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики: современное состояние и история развития / Под ред. Кассенс Х. и др. М.: Изд-во МГУ, 2009. 608 с.
11. Слагода Е.А. Криолитогенные отложения Приморской равнины моря Лаптевых: литология и микроморфология. Тюмень: Экспресс, 2004. 119 с.
12. Ульянцев А.С., Братская С.Ю., Дударев О.В. и др. Литолого-геохимическая характеристика морфолитогенеза в губе Буор-Хая // Океанология. 2020. Т. 60. № 3. С. 407–417.
13. Ульянцев А.С., Братская С.Ю., Привар Ю.О. Гранулометрические характеристики донных отложений губы Буор-Хая // Океанология. 2020. Т. 60. № 3. С. 452–465.
14. Ульянцев А.С., Полякова Н.В., Братская С.Ю. и др. Таяние подводных многолетнемерзлых отложений как фактор изменения их элементного состава // Докл. РАН. 2018. Т. 483. № 3. С. 326–330.
15. Ульянцев А.С., Полякова Н.В., Романкевич Е.А. и др. Ионный состав поровой воды мелководных шельфовых моря Лаптевых // Докл. РАН. 2016. Т. 467. № 3. С. 329–335.
16. Ульянцев А.С., Романкевич Е.А., Пересыткин В.И. и др. Лигнин как индикатор среды осадконакопления на арктическом шельфе // Докл. РАН. 2016. Т. 467. № 1. С. 75–80.
17. Шишкина О.В. Геохимия морских и океанических иловых вод. М.: Наука, 1972. 228 с.

18. *Chuvilin E., Ekimova V., Grebenkin S. et al.* Role of Salt Migration in Destabilization of Intra Permafrost Hydrates in the Arctic Shelf: Experimental Modeling // *Geosciences*. 2019. V. 9(188). P. 1–18.
19. *Environmental Geochemistry. Site Characterization, Data Analysis and Case Histories* / Eds. De Vivo B., Belkin H.E., Lima A. Elsevier, 2008. 429 p.
20. *Fernández A.M., Sánchez-Ledesma D.M., Tournassat C. et al.* Applying the squeezing technique to highly consolidated clayrocks for pore water characterization: lessons learned from experiments at the Mont Terri rock laboratory // *Appl. Geochem.* 2014. V. 49. P. 2–21.
21. *Mazurek M., Oyama T., Wersin P. et al.* Pore-water squeezing from indurated shales // *Chem. Geol.* 2015. V. 400. P. 106–121.
22. *Romankevich E.A.* Geochemistry of organic matter in the ocean. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1984. 336 p.
23. *Romanovskii N.N., Hubberten H.-W., Gavrilov A.V. et al.* Permafrost of the east Siberian Arctic shelf and coastal lowlands // *Quat. Sci. Rev.* 2004. V. 23. P. 1359–1369.
24. *Seeberg-Elverfeldt J., Schlüter M., Feseker T. et al.* A Rhizon in situ sampler (RISS) for pore water sampling from aquatic sediments // *Limnol. Oceanogr. Meth.* 2005. V. 3. P. 361–371.
25. *Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O. et al.* Current rates and mechanisms of subsea permafrost degradation in the East Siberian Arctic Shelf // *Nat. Commun.* 2017. V. 8: 15872. P. 1–13.

## Comparative Characterization of Techniques for Pore Water Sampling from the Bottom Sediments and Permafrost Rocks from the Buor-Khaya Bay (Laptev Sea)

A. S. Ulyantsev<sup>a, #</sup>, N. V. Polyakova<sup>b, ##</sup>, I. S. Trukhin<sup>a, b</sup>, and Yu. A. Parotkina<sup>a, b</sup>

<sup>a</sup>*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>b</sup>*Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia*

<sup>#</sup>*e-mail: uleg85@gmail.com*

<sup>##</sup>*e-mail: nvpolyakova@mail.ru*

A comparative analysis of the composition of pore water with different methods of sampling from the bottom sediments and permafrost rocks from the Buor-Khaya Bay (Laptev Sea) was carried out. The principal differences in the concentration of macroions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ ) in the pressed water compared to the aqueous extract from intact and pressed samples are shown. During pressing, a significant amount of salts dissolved in pore water remains in the residual moisture. These ones are the main mineral components of seawater ( $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$ ), as well as  $\text{K}^+$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ . The concentration of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  in different methods of pore water sampling is very diverse, and the general pattern in the distribution of these cations is suspicious. The variability in the concentration of macrocomponents in pore water under different sampling methods is determined, apparently, by differences in the lithological composition of the studied sediments and frozen rocks, the hydrological regime and the sedimentation regime in the studied part of the Buor-Khaya Bay.

**Keywords:** Arctic, bottom sediments, subsea permafrost, pore water, aqueous extraction, ionic composition