

И.Д. ДАНИЛОВ, Л.А. ЖИГАРЕВ

ИОННО-СОЛЕВОЙ СОСТАВ КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРА ЕВРАЗИИ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ

Исследование рыхлых кайнозойских отложений различного генезиса на равнинах севера Евразии (Печорская низменность, север Западной Сибири, Валькарайская низменность арктического побережья Чукотки) и в прибрежной части шельфа моря Лаптевых показало, что они имеют своеобразный ионно-солевой состав, который отражает условия седиментации и последующий диагенез осадков. Качественный и количественный состав легкорастворимых солей осадков меняется в результате смешения различных природных вод, выщелачивания пород, обменных реакций, процессов десульфатизации, промерзания отложений и т.д. Но основные закономерности ионно-солевого состава осадков, накапливающихся в различных палеофациальных условиях, сохраняются. Это обстоятельство позволяет успешно использовать изучение состава захороненных легкорастворимых солей для определения генезиса отложений. При этом закономерности изменения ионно-солевого состава осадков выявляются как в разрезах при чередовании толщ различного генезиса, так и на площади в единых литолого-стратиграфических горизонтах.

Ионно-солевой состав кайнозойских отложений определялся на основании анализа водных вытяжек. Метод водных вытяжек, несмотря на ряд его недостатков, остается единственно возможным способом химического изучения песчаных и алевритовых осадков, а также литифицированных и, следовательно, слабовлажных глинистых пород. При анализе водных вытяжек изучается распределение ионов, состав и содержание гипотетических солей, общая минерализация, концентрация водородных ионов. Рассмотрим основные закономерности и особенности изменения химического состава водных вытяжек из отложений в различных районах севера Евразии.

Валькарайская низменность расположена в пределах относительно опущенных блоков северо-восточной части Куульского антиклинального поднятия и протягивается узкой полосой вдоль пролива Лонга. Коренное ложе низменности сложено осадочными породами девона и карбона, которые представлены пачками глинистых и известковистых песчаников.

Осадочные породы несут следы регионального метаморфизма. На отдельных участках по юго-западной периферии низменности осадочные породы перекрыты нижнемеловыми эффузивами.

Тектоническая деятельность в районе исследования проявилась в образовании многочисленных разрывных нарушений, наиболее крупные из которых - субмеридианальный Рывеевский и субширотный Приморский глубинные разломы, контролирующие размещение нижнемелового магматизма. Более мелкие разломы образуют блоковые структуры. При анализе морфологии рельефа, мощности рыхлых

осадков, их литолого-фациального состава установлено, что на фоне общего опускания низменности в кайнозое проявлялись различные по интенсивности и характеру локальные новейшие тектонические движения [Толтегин, 1974].

В районе Валькарайской низменности выявлена россыпь. Источником ее являются рудные тела, размещающиеся на участках наибольшей дислоцированности пород в зоне пересечения отмеченных выше глубинных разломов. Рудопроявления связаны с кварцевыми, кварц-карбонатными жилами, окварцованными породами, рудными штокверками, и дайками диоритовых и кварцевых порфиров [Толтегин, 1974]. Для всех типов рудопоявлений характерна сульфидная минерализация. Наиболее высокой сульфидной минерализацией отличаются участки дробленых и перемятых пород.

Россыпь, являющаяся в основном приплотиковой, погребена под толщей рыхлых отложений разного возраста и генезиса. На основании литолого-фациальных, палеонтологических, палеофлористических и других данных толща кайнозойских отложений была стратифицирована [Архангелов и др., 1975]. Наиболее древние в районе исследования коры выветривания нижнепалеогенового возраста, представленные голубоватыми и беловатыми каолинизированными глинами. У подножия горного обрамления низменности кора выветривания переотложена. Здесь она представлена охристо-желтой глиной или суглинком с включениями гравия, гальки и щебня. Стратиграфически выше коры выветривания в северной части района залегают металлоносные галечники и лигнитизированные суглинки предположительно олигоцен-нижнемиоценового возраста.

В южной части района на коре выветривания залегают аллювиальные металлоносные галечники с суглинистым заполнителем. Они образуют два разновозрастных горизонта: нижний - верхнемиоценово-нижнеплиоценовый (al N₁²-N₂¹) и верхний - плиоцен-нижнеплейстоценовый (al N₂-Q_I). На севере района возрастным аналогом верхнего горизонта галечников являются прибрежно-морские металлоносные галечники с суглинистым заполнителем (m N₂-Q_I). На низменности широко распространены морские пески и алевриты с фауной моллюсков среднеплейстоценового возраста (m Q_{II}), а у подножия горного обрамления - прибрежно-морские галечники. Эти отложения на значительной части территории района перекрыты аллювиальными галечниками с песчаным или суглинистым заполнителем верхнеплейстоценового возраста (al Q_{III}¹⁻³). Выше залегают прибрежно-морские галечники с суглинистым заполнителем, лагунные илы и алевриты верхнеплейстоценово-нижнеголоценового возраста (m Q_{III}⁴-Q_{IV}¹). Разрез рыхлых отложений венчается прибрежно-морскими, лагунными, аллювиальными, озерно-болотными, солифлюкционно-делювиальными отложениями голоценового возраста.

Анализ водных вытяжек из рыхлых отложений подтвердил правильность определения их генезиса по геологическим признакам, а также позволил выявить некоторые особенности природной обстановки периодов осадконакопления. Средние значения содержаний гипотетических солей в целом по району показаны на рис. 1. Водные вытяжки озерно-болотных отложений голоценового возраста характеризуются крайне низкой общей минерализацией (0,02-0,08% от веса грунта) и сульфатно-гидрокарбонатным натриевым составом ионов. В составе гипотетических солей преобладают Ca(HCO₃)₂, NaCl, N₂SO₄, присутствуют CaSO₄, MgSO₄.

На одних участках в этих вытяжках полностью отсутствует сульфат-ион, но в большом количестве наблюдается гидрокарбонат натрия, что свидетельствует о процессах биогенной десульфатизации. Известно, что гидрокарбонаты натрия, образующиеся при десульфатизации, неустойчивы, так как натрий переходит в обменный комплекс отложений, сопровождаясь вытеснением в поровый раствор

обменного магния [Анисимова, 1974]. Поэтому, чем интенсивнее развиты процессы восстановления сульфатов, тем выше должно быть содержание гидрокарбонатов магния. Восстановлению сульфатов способствует образование ила в хорошо прогреваемых летом озерах. Однако полное отсутствие в водных вытяжках из отложений этих участков ионов магния, вероятно, может быть признаком полноводности и проточности существовавших озер, когда вытесняемый из донных осадков обменный магний выносился из озер. На других участках присутствуют сульфаты натрия, что свидетельствует о мелководности озер и быстром промерзании донных осадков, когда захороненное в них органическое вещество не успевало разлагаться. В этих условиях, крайне неблагоприятных для жизнедеятельности анаэробных десульфатирующих бактерий, сульфаты сохраняются в осадках [Анисимова, 1974]. На севере района вдоль берега лагуны залегают сильноопресненные отложения бара. Водные вытяжки имеют сульфатно-хлоридный натриевый состав ионов. Состав гипотетических солей: NaCl , Na_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

Залегающие под озерно-болотными осадками поздне-верхнеплейстоценово-

нижеголоценовые морские отложения ($mQ_{III}^4 - Q_{IV}^1$) имеют хлоридный натриевый состав водной вытяжки при минерализации 0,16-1,2%, которая увеличивается по направлению к берегу моря. В этих отложениях абсолютно преобладает NaCl и содержатся в меньшем количестве MgSO_4 , CaSO_4 , Na_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, а на отдельных участках вместо Na_2SO_4 появляется типично морская соль MgCl_2 . Эти отложения распространены на низменности на расстоянии 7-9 км от современной береговой линии. Сравнивая солевой состав морских отложений с современными донными осадками лагуны, следует отметить, что первые в большей степени опреснены в южной части района и имеют примерно такую же минерализацию на севере.

Присутствие соли Na_2SO_4 требует объяснения. В связи с этим прежде всего следует остановиться на особенностях методики определения легкорастворимых солей. При химическом анализе водной вытяжки обычно определяются анионы HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} и катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} и $\text{Na}^+ + \text{K}^+$. При этом $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ определяются по разности между суммой перечисленных анионов и суммой катионов $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$. Поэтому часто содержание ионов $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ оказывается завышенным, так как в отложениях могут присутствовать и другие катионы. Так, при окислении сульфидных минералов среди катионов появляются Fe^{2+} и Fe^{3+} . На присутствие этих катионов в осадках района исследования указывают полуторные окислы. Отсюда следует, что при подсчете гипотетических солей вместо FeSO_4 и $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ получается Na_2SO_4 . Но соль Na_2SO_4 может образоваться и при

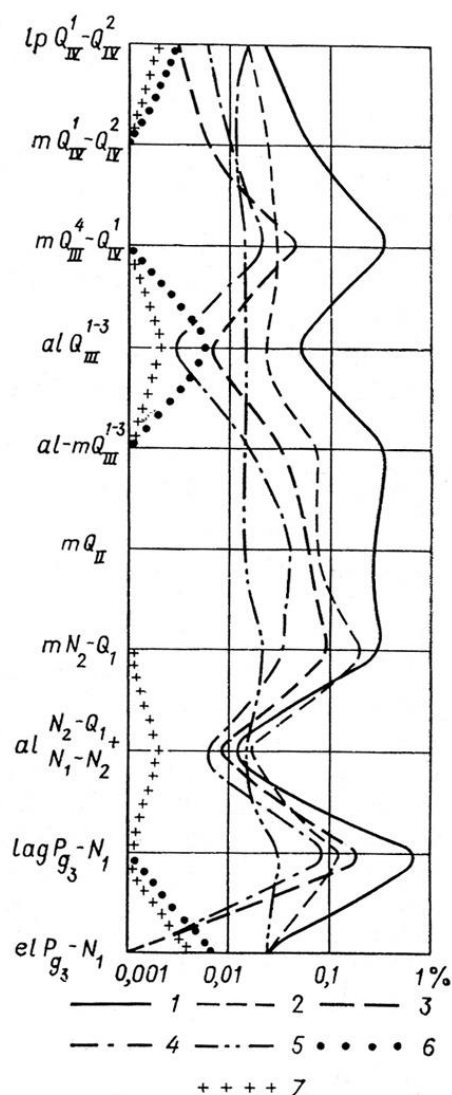


Рис. 1. Средний по району Валькарайской низменности солевой состав кайнозойских отложений: 1 — NaCl ; 2 — Na_2SO_4 ; 3 — MgSO_4 ; 4 — CaSO_4 ; 5 — $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$; 6 — NaHCO_3 ; 7 — $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$

промерзании морских отложений. Об этом свидетельствует анализ солевого состава морских льдов, проведенный на основании материалов А.А. Мусиной [1960]. Содержание Na_2SO_4 в морских льдах достигает иногда 20% от суммы солей. В образце морской воды, отобранной у кромки тающего льда вблизи берега Чукотского моря, оказалось Na_2SO_4 0,7 г/л или 2,9% (от суммы солей). Естественно, что содержание Na_2SO_4 во льду должно быть значительно выше. К этому, вероятно, приводит высокая миграционная способность сульфат-ионов к фронту промерзания воды и осадков. Нельзя также исключить кристаллизацию и выпадение в осадок мирабилита при температуре ниже -8° и последующее его растворение при повышении температур. По-видимому, содержание Na_2SO_4 в морских отложениях, не превышающее 10-20% от суммы солей, может быть показателем промерзания этих отложений, а большее количество указывает на присутствие солей FeSO_4 и $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$. Для континентальных условий осадкообразования обычно характерно некоторое количество Na_2SO_4 [Посохов, 1975], однако в районе исследования, вероятно, довольно часто вместо солей Na_2SO_4 , NaHCO_3 и NaCl присутствуют соли FeSO_4 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ и FeCl_3 .

Аллювиальные отложения (alQ_{III}^{1-3}), залегающие под морскими, отличаются низкой минерализацией (0,04-0,38%) и гидрокарбонатно-хлоридным натриевым составом водной вытяжки. В составе солей NaCl , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, Na_2SO_4 , NaHCO_3 , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Химический состав аллювиальных отложений на отдельных участках отражает пестроту фациальных условий и в этом отношении он близок к современным фациям. Среди них можно выделить русловые, пойменные, озерно-болотные фации. Озерные фации подразделяются на подфации проточных и застойных озер. На севере района исследования аллювиально-дельтовые отложения при минерализации 0,3-0,7% имеют морской состав водной вытяжки (в порядке убывания содержания - NaCl , MgSO_4 , CaSO_4 , Na_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$). Вероятно, накопление этих отложений происходило в море, где они сформировали подводную часть дельты.

Морские среднеплейстоценовые (mQ_{II}) пески и алевриты характеризуются значительным колебанием минерализации (0,1-1,5%), которая также увеличивается по направлению к берегу моря. Их водные вытяжки имеют сульфатно-хлоридный натриевый или хлоридный натриевый состав. На участке месторождения преобладают соли CaSO_4 , MgSO_4 , Na_2SO_4 а за его контуром - NaCl . В нижнем горизонте морских отложений отмечается довольно высокое содержание сульфат-иона, а в некоторых слоях появляется свободная серная кислота (1,0-2,5 мг-экв), в результате чего отложения имеют выраженную кислую реакцию ($\text{pH}=3,4-4,0$).

Водные вытяжки прибрежно-морских отложений ($\text{mN}_2 - \text{Q}_I$) отличаются также значительным колебанием общей минерализации (0,2-1,5%), которая растет в том же направлении (к побережью). Распределение солей по составу похоже на предыдущий тип отложений, но значительное количество $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ свидетельствует об опреснении, которое могло иметь место в береговой зоне моря. Эти отложения отличаются присутствием в них также большого количества сульфат-иона.

Древние аллювиальные отложения ($\text{N}_1^2 - \text{N}_2^1$)+(N₂-Q_I) характеризуются слабой минерализацией (0,05-0,08%), гидрокарбонатно-сульфатным натриево-кальциевым составом водной вытяжки. Пересчет на соли свидетельствует о преобладании Na_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, NaCl . Количественное соотношение солей и незначительная общая минерализация вытяжек позволяет говорить о континентальном происхождении отложений. Они в значительной степени сульфатизированы, но абсолютное содержание сульфат-иона сравнительно невелико (0,42-0,55 мг-экв).

Водные вытяжки залегающих в основании разреза кайнозойских отложений лигнитизированных суглинков имеют очень высокую минерализацию (0,5-2,2%) и хлоридный натриевый состав, а на некоторых участках - сульфатный магниевый-

натриевый состав. Среди солей соответственно преобладают NaCl или Na₂SO₄. Кроме этих солей присутствует MgSO₄. Состав солей, их количественные соотношения, общая минерализация со всей очевидностью свидетельствуют о морском происхождении этих отложений. Но высокая степень сульфатизации и многочисленные прослои обугленных растительных остатков на некоторых участках территории не характерны для собственно морских отложений. Вероятно, формирование их происходило в лагунах. Толща лигнитизированных суглинков залегает на песках и суглинках с галечным материалом, водные вытяжки которых характеризуются низкой минерализацией (0,1%) и хлоридным натриевым составом.

Кора выветривания распространена в районе спорадически; водные вытяжки имеют низкую минерализацию (0,06-0,1%) и хлоридно-сульфатный натриевый или сульфатно-гидрокарбонатный натриевый состав. Из гипотетических солей преобладают Na₂SO₄, NaCl или Ca(HCO₃)₂.

На участках размещения рудных проявлений перекрывающие их рыхлые отложения содержат в основании разреза минералы тяжелой фракции преимущественно сульфидного состава (пирит, галенит, халькопирит, блеклые руды и т.д.). Следы вторичных изменений сульфидов (гидроокислы железа и марганца, ковеллин), значительная сульфатизация поровых вод и водных вытяжек грунтов доказывают развитие окислительных процессов. При этом на таких участках сульфатизированы все горизонты рыхлых отложений вплоть до современных осадков. Известно, что в процессе окисления сульфидных руд сера может находиться в различных формах, которые однако неустойчивы и поэтому переходят в наиболее устойчивую сульфат-ионную форму. Процессы окисления сопровождаются резким обогащением поровых или других вод сульфат-ионом, ионами тяжелых металлов, образованием свободной серной кислоты и, естественно, снижением значения pH. Образование свободной серной кислоты приводит к очень интенсивному развитию химических процессов, в результате которых во взаимодействие вовлекаются не только рудные, но породообразующие минералы [Удодов и др., 1973].

Большим содержанием сульфидных минералов и высокой сульфатизацией в районе исследования отличаются приплотиковые отложения: кора выветривания, древние аллювиальные и прибрежно-морские галечники. Но наряду с этим в отложениях наблюдается значительное количество агрегатов гидроокислов железа и марганца. Это дает основание говорить о различных стадиях развития процессов окисления. Если высокое содержание сульфат-иона свидетельствует о начальной стадии развития окисления, то образование гидроокислов марганца и железа указывает на ее заключительную стадию. Гидроокислы марганца, а также железа, обладая большой поверхностной энергией, сорбируют наибольшее количество микрокомпонентов. Отложения, залегающие на коренных породах, на участках, находящихся за контуром месторождения, характеризуются незначительным содержанием сульфидных минералов и слабой абсолютной и относительной сульфатизацией при высокой общей минерализации. Поэтому сульфатизация рыхлых отложений может служить поисковым признаком зон сульфидной минерализации коренных пород.

Выше отмечалось, что водные вытяжки из отдельных прослоев, особенно содержащих органическое вещество, в морских и древних лагунных отложениях характеризуются чрезвычайно высокой сульфатизацией (до 42 мг·экв) и присутствием свободной серной кислоты. В этих же отложениях широко представлены гипергенные минералы (гидроокислы железа в форме гематита, гетита, лимонита, ожелезненного глинистого вещества) и незначительное количество рудных минералов. Морские воды сами по себе довольно агрессивны, в них значительно содержание кислорода и

углекислоты. Поэтому воздействие морских вод на сульфидные рудные тела может вызвать развитие окислительных процессов и привести к обогащению осадков сульфат-ионом. Однако нельзя исключить и роли промерзания - оттаивания морских осадков в их обогащении сульфат-ионом (см. выше), а также окисления сульфидных минералов, образовавшихся биохимическим путем в условиях восстановительной среды. В последнем случае в результате жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий сульфаты восстанавливаются до сульфидов, а поровые воды обедняются сульфат-ионом до его полного исчезновения. Обратный процесс окисления этих сульфидов может вновь привести к насыщению поровых вод сульфат-ионом.

Таким образом, в районе Валькарайской низменности солевой состав водных вытяжек отложений вполне соответствует их генезису. Вытяжки морских отложений этой территории имеют следующий состав легкорастворимых солей, расположенных по мере убывания их количества: NaCl , MgSO_4 , CaSO_4 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, и высокую минерализацию. Постоянное присутствие в вытяжках морских осадков соли Na_2SO_4 указывает на развитие процессов промерзания - оттаивания и окисление сульфидов. Для континентальных отложений в зависимости от их генезиса характерны: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, NaHCO_3 , Na_2SO_4 , NaCl и низкая минерализация.

Второй исследованный нами район расположен в прибрежной части шельфа моря Лаптевых (Ванькина губа).

В структурном отношении он находится в пределах Юкагирской синклинальной зоны и представляет собой северное крыло Полоусненского синклинория, протягивающегося в субширотном направлении. В строении докайнозойской толщи пород принимают участие морские терригенные осадки позднеюрского (оксфорд-киммериджского) возраста, перекрытые раннемеловыми эффузивами (туфы, лавы и лавобрекчии андезитового состава). Терригенные и эффузивные образования прорваны штоками и дайками гранодиорит-порфиров, диоритов, более молодыми дайками кварцевых порфиров и гранит-порфиров нижнемелового интрузивного комплекса. Тектоническая деятельность в районе исследования проявилась в образовании разломов, которые создают блоковые структуры.

В районе исследования выявлена россыпь олова. Рудопроявления олова связаны с кварц-турмалиновыми жилами и турмалинизированными зонами дробления. Россыпь не является приплотиковой. В толще рыхлых отложений она образует несколько ярусов. Геологическое строение толщи рыхлых отложений следующее: в нижней части разреза на раннемеловых эффузивах залегает кора выветривания, предположительно эоцен-олигоценного возраста, представленная глинами и суглинками, на ней расположена толща рыхлых кайнозойских отложений, имеющая континентальный и морской генезис. Континентальные, вероятно, аллювиальные отложения миоценового возраста (N_1) представлены песчано-суглинистым материалом с большим количеством обломков пород и включениями органического вещества и растительных остатков. Выше по разрезу эти отложения переходят в прибрежно-морские осадки плиоцен-нижнеплейстоценового возраста (N_2-Q_1), которые представлены крупными алевритами с большим количеством (до 50-60%) плохоокатанной гальки, щебня, гравия и дресвы. Завершается разрез толщей морских разновозрастных отложений (от Q_{II} до Q_{IV}^2), представленных мелкоалевритовым илом, алевритом и песком со значительным количеством щебнисто-галечного материала. Мощность их в 40 м от берега - 8 м и постепенно увеличивается по мере удаления от него: в 180 м составляя 16 м, в 300 м - 17 м, в 470 м - 23,5 м и, вероятно, возрастает далее.

Анализ водной вытяжки из отложений в пределах акватории Ванькиной губы позволяет выделить три типа засоления: хлоридное натриевое, хлоридное кальциевое и смешанное хлоридное кальциево-натриевое (см. таблицу).

Вытяжки из коры выветривания и континентальных отложений эоцен-олигоценового возраста имеют хлоридный кальциевый состав. Следует отметить, что их состав, количества и высокое значение минерализации не соответствуют отложениям континентального генезиса. До некоторой степени признаком континентального генезиса может служить сравнительно высокое содержание $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и низкое NaCl . В этих отложениях на границе с коренными породами залегают напорные минерализованные подземные воды также хлоридного кальциевого состава. Минерализация подземных вод, определенная на одном из участков, составила 14,6 г/л, а соли представлены CaCl_2 (10,11 г/л - 68,3%), NaCl (2,69 г/л - 19,4%); MgCl_2 (1,56 г/л - 10,6%), CaSO_4 (0,18 г/л - 1,2%). Можно предположить, что химический состав отложений формировался под влиянием подземных вод. Отсутствие в воде $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, небольшое количество CaSO_4 и в то же время значительная карбонатность вмещающих воды отложений, возможно, свидетельствуют о кристаллизации гидрокарбонатов и сульфатов кальция в процессе промерзания. Нельзя исключать и другие причины формирования подобного химического состава.

Т а б л и ц а

**Средний солевой состав водной вытяжки
из отложений Ванькиной губы**

Соли	Континентальные, N_1		Прибрежно-морские, $N_2 - Q_I$		Морские от Q_{II} до Q_{IV}^2	
	мг/100 г	%	мг/100 г	%	мг/100 г	%
NaCl	58	23,6	322	71,9	438	77,2
MgCl_2	40	15,6	32	8,1	—	—
Na_2SO_4	—	—	—	—	55	10,5
MgSO_4	—	—	13	2,6	28	5,3
CaCl_2	114	44,4	13	3,6	—	—
CaSO_4	32	9,5	30	9,3	18	3,2
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	20	8,1	19	4,6	19	3,4
Сумма солей	264	100	429	100	558	100

Прибрежно-морские плиоцен-нижнеплейстоценовые отложения имеют хлоридное кальциево-натриевое засоление. Высокая минерализация, абсолютное преобладание соли NaCl , присутствие MgCl_2 , MgSO_4 , CaSO_4 свидетельствуют о морском генезисе отложений. В то же время присутствие соли CaCl_2 говорит о влиянии подземных вод на формирование химического состава этих осадков.

Залегающие выше вплоть до поверхности дна морские отложения имеют хлоридное натриевое засоление и высокое значение общей минерализации. Для химического состава водных вытяжек из этих отложений характерно наличие соли Na_2SO_4 и отсутствие MgCl_2 . Появление соли Na_2SO_4 , как отмечалось выше, здесь, вероятно, связано с промерзанием морских отложений.

Таким образом, в районе Ванькиной губы только солевой состав морских отложений соответствует их генезису. Как и в районе Валькарайской низменности здесь для водных вытяжек из морских отложений характерны высокая минерализация и следующие легкорастворимые соли, расположенные в ряд по мере убывания их количества: NaCl , Na_2SO_4 , MgSO_4 , CaSO_4 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Химический состав континентальных отложений был в значительной степени преобразован под влиянием подземных вод.

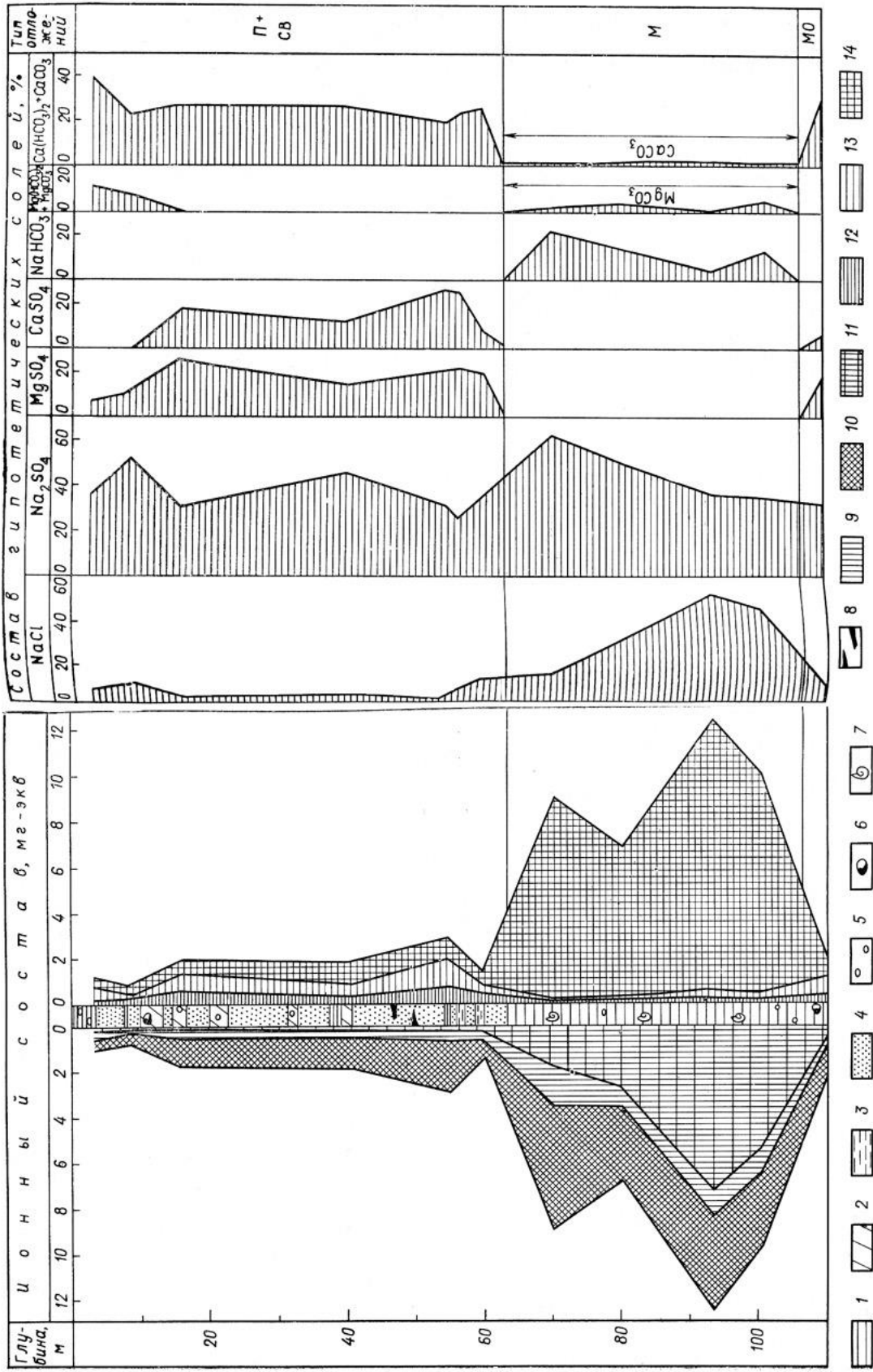


Рис. 2. Распределение ионов и солей в толще кайнозойских отложений в низовьях Печоры (обн. Вастьянский Конь):
 1 — глина; 2 — сулгнок; 3 — адврит; 4 — песок; 5 — галька; 6 — валуны; 7 — фаунг моллюсков и фораминифер; 8 — линии аллохтонного торфа; 9 — HCO₃⁻; 10 — SO₄²⁻; 11 — Cl⁻; 12 — Ca²⁺; 13 — Mg²⁺; 14 — Na⁺; К⁺; П — пресноводные; СВ — солоноватые; М — морские; МО — морские опресненные

Районы севера Западной Сибири (низовья Енисея) и Печорской низменности имеют довольно близкий состав водных вытяжек из отложений. Комплекс присутствующих в них солей свидетельствует о существенном преобразовании первичного солевого состава. На севере Западной Сибири район исследования расположен в верховьях р. Малая Хета (левый приток Енисея близ его устья). Толщу плейстоценовых отложений подстилают осадочные породы, представленные песками нижнего и верхнего мела. Скважинами в этом районе был вскрыт разрез плейстоценовых отложений мощностью свыше 150 м. Сверху залегают пресноводные пески, ленточно-слоистые алевриты и глины, которые ниже переходят в солончатоводные супеси с редкими раковинами фораминифер, а еще ниже сменяются толщей морских пород, содержащих микрофауну фораминифер и раковины моллюсков. Наиболее богатый в видовом и количественном отношении комплекс фораминифер в сочетании с морскими моллюсками характерен для суглинков, вскрывающихся в интервале глубин 60-120 м. Вниз по разрезу комплексы фораминифер обедняются, раковины морских моллюсков исчезают.

В целом в водных вытяжках из отложений этого района наблюдаются избыток гидрокарбонатов, сульфатов и натрия и дефицит хлора и магния. В вытяжках из континентальных отложений с минерализацией 0,1-0,2% присутствуют соли $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, NaCl , и Na_2SO_4 . В вытяжках из морских осадков, определенных по палеонтологическим данным, при более высокой минерализации (0,2-0,6%) присутствуют Na_2SO_4 , NaHCO_3 , NaCl , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Такое преобразование ионно-солевого состава отложений нельзя объяснить изначальным смешиванием пресных и морских вод. Например, воды Енисея содержат $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ до 78% от суммы солей $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, MgSO_4 , MgCl_2 , NaCl , а морские воды Енисейского залива имеют NaCl (72%), MgCl_2 (10%), MgSO_4 , CaSO_4 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. При смешивании этих вод в соотношении один объем морских и четыре объема речных солевой состав меняется следующим образом: NaCl (до 51%), $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (до 27%), MgCl_2 (до 8%), MgSO_4 , CaSO_4 , т.е. оно приводит к количественным изменениям при сохранении, в основном качественного состава солей.

Повышенное содержание гидрокарбонатов, образующих соли $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, NaHCO_3 , в низовьях Енисея: свойственно всем типам бассейновых плейстоценовых отложений этого региона и объясняется поступлением значительного количества тонкорассеянных карбонатов с прилегающей суши. В дальнейшем в процессе диагенеза осадков карбонаты насыщали поровые растворы и циркулировали вместе с ними. Выпадение карбонатов из насыщенных поровых растворов приводило к обогащению ими осадков и, в частности, формированию карбонатных конкреций, которые распространены во всех генетических типах бассейновых отложений низовьев Енисея, а также прилегающих территорий Западно-Сибирской и Таймырской низменностей, предгорий и межгорных долин плато Путорана. При химическом анализе воднорастворимая часть карбонатов из этих отложений, вероятно, перешла в водную вытяжку и обусловила их повышенное содержание. Поэтому такой тип минерализации следует иметь в виду при интерпретации гидрохимических данных.

Основными факторами преобразования солевого состава в этом районе можно считать поступление в отложения большого количества тонкорассеянных карбонатов, диагенез и адсорбционные процессы, а также промерзание - протаивание отложений, которое вызвало повышенное содержание в морских осадках сульфат-иона. Генезис отложений в этом случае можно определить приблизительно по соотношению NaCl и $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и общей величине минерализации.

Последний из рассматриваемых в настоящей статье районов расположен на севере Печорской низменности. Он входит в северную часть Печорской синеклизы.

Складчатый фундамент здесь погребен мощной толщей юрских, в основном глинистых, пород и меловых песков, перекрытых, в свою очередь, кайнозойскими отложениями. Наиболее показательный разрез последних расположен на правом берегу Печоры против с. Великовесочное.

Общая мощность вскрытых здесь плейстоценовых отложений превышает 100 м. Верхняя часть разреза примерно до глубины 60-65 м сложена толщей преимущественно песчаных осадков с прослоями слабо сортированных суглинков с грубообломочным материалом, глин, слоистых алевритов. В песках залегают линзы и линзовидные прослои аллохтонного торфа мощностью до 1,5-2,5 м. Здесь же обнаружены костные остатки мамонта позднего типа и моржа. Прослои алевритов содержат небогатую микрофауну фораминифер и обломки раковин морских моллюсков. Формирование толщи, вероятно, происходило в береговой зоне моря или в условиях дельты. Ниже вскрывается мощная толща темно-серых неслоистых глин с редкой галькой и многочисленными хорошо сохранившимися раковинами морских холодноводных моллюсков, а также микрофауной фораминифер.

Пресноводные (частично солоноватоводные) и морские I отложения этого района четко различаются по солевому составу (рис. 2). В верхней части разреза (до глубины 60-65 м) преобладают соли Na_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, а также присутствуют на фоне очень слабой минерализации (0,06-0,19%) NaCl , MgSO_4 , CaSO_4 . В нижней части разреза в морских глинах минерализация резко увеличивается до 0,46-0,80%, а в отложениях преобладают соли NaCl (0,15-0,42%) и Na_2SO_4 (0,23-0,39%), присутствует $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (0,005-0,016%). Кроме того, появляются в незначительном количестве соли CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, Na_2HCO_3 , которые, вероятно, можно объяснить изначальным обогащением осадков карбонатами. Значительное количество соли Na_2SO_4 , по-видимому, связано с промерзанием отложений. Во всяком случае за пределами области распространения многолетнемерзлых пород в морских отложениях этой соли не наблюдается. Например, по материалам Н.П. Затенацкой и И.А. Сафохинной [1968] в морских бакинских и апшеронских глинах полностью исчезает Na_2SO_4 , но появляется MgCl_2 .

Таким образом, проведенные на равнинах севера Евразии гидрогеохимические исследования кайнозойских отложений показывают, что анализ ионно-солевого состава может служить важным генетическим критерием и, хотя не соответствует прямо химическому составу наддонных вод бассейнов седиментации, дает положительные результаты при палеогидрохимических реконструкциях.

ЛИТЕРАТУРА

Анисимова Н.П. Химический состав иловых растворов озерных осадков центральной Якутии как палеогидрологический показатель. - В кн.: Озера криолитозоны Сибири. Новосибирск, 1974.

Архангелов А.А. и др. Стратиграфия и генезис раннекайнозойских отложений Валькарарайской низменности. - В кн.: Кайнозой Северо-Востока СССР. Магадан, 1975.

Затенацкая Н.П., Сафохина И.А. Диффузионное выщелачивание глин. М., Наука, 1968.

Мусина А.А. Солевой состав льда в проливе Б. Вилькицкого. - Труды ААНИИ, т. 218, 1960.

Посохов Е.В. Общая гидрогеохимия. Л. Недра, 1975.

Удодов П.А. и др. Методическое руководство по гидрогеохимическим поискам месторождений. М., Недра, 1973.

Ссылка на статью:



Данилов И.Д., Жигарев Л.А. Ионно-солевой состав кайнозойских отложений севера Евразии как показатель палеогеографических условий осадконакопления // Исследования прибрежных равнин и шельфа Арктических морей. М.: Изд-во МГУ. 1979. С. 33-46.