

*Куделина И.В.***ТҮШТҮК УРАЛ ЖАНЫНДАГЫ ЖЕР АСТЫНДАГЫ СУУЛАРДЫН ХИМИЯЛЫК КУРАМЫН ТҮЗҮҮ ЖӨНҮНДӨ ПРОЦЕССТЕР ТУУРАЛУУ***Куделина И.В.***О ПРОЦЕССАХ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЮЖНОМ ПРИУРАЛЬЕ***I. V. Kudelina***ON THE PROCESS OF THE FORMATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF UNDERGROUND WATER IN THE SOUTHERN URAL**

УДК: 556.3:502.175

Түштүк Урал негизги аймагында, талаа жана кургак шарттарда топтолуу суу эриген органикалык заттар негизинен гуминдик бирикмелер болуп саналат байкаларлык жогорулатуу, бирок, жалпысынан алганда, суу эриген органикалык нымдуу аймагын өлчөмүнө караганда майда келет. Бул өзгөчөлүктөрдүн чалгындоо мунай жана газ аймактарда изилдөө аймагы таандык чон практикалык мааниси бар. Түштүк Урал мунай жана газ гидрогеологиялык кесилишинде гидродинамикалык жана гидрогеологиялык кабат жана гидрогеохимиялык аймак белгиленген. Тик гидрогеохимиялык зоналардын түзүлүшүндө биогеохимиялык циклдин ролу айкын көрүнүп турат. Кабаттардын жана зоналардын стратиграфиялык слыштырыларынын негизинде алардын өз ара байланышын талдоо менен региондун гидрогеологиялык райондоштуруу схемасы сунушталган. Анын ар бир облусу тигинен гидрогеологиялык зоналарга анын түрү менен мүнөздөлөт. Деталдаштыруу жана талдоо схемасы алдын ала мунай жана газ аймактарга келечегин уруксат берет.

**Негизги сөздөр:** гидродинамика, гидрогеология, гидрогеохимика зоналар, гидрогеология райондоштуруу схемасы, аймак, чөлкөм

Взаимодействия в системе вода-порода определяются особенностями проявления биохимического цикла, под влиянием которого и протекает водная миграция химических элементов. Изучение этих особенностей имеет большое практическое значение в нефтегазоносных районах, к которым относится исследуемая территория. В гидрогеологическом разрезе нефтегазоносного Южного Приуралья выделены гидродинамические и гидрогеологические этажи и гидрогеохимические зоны. В формировании вертикальной гидрогеохимической зональности очевидна роль биогеохимического цикла. На основе стратиграфического сопоставления этажей и зон с анализом их взаимосвязи предложена схема гидрогеологического районирования региона. Каждая его провинция характеризуется своим типом вертикальной гидрогеологической зональности. Детализация и анализ схемы позволяют прогнозировать перспективы нефтегазоносности территории. На основе анализа их взаимосвязи предложена схема гидрогеологического районирования региона, каждая провинция которого характеризуется своим типом вертикальной гидрогеоло-

гической зональности. Схема позволяет прогнозировать перспективы нефтегазоносности.

**Ключевые слова:** гидродинамика, гидрогеология, этажи, гидрогеохимические зоны, схема гидрогеологического районирования, район, провинция.

The interactions in the water-rock system are determined by the peculiarities of the manifestation of the biochemical cycle, under the influence of which the water migration of chemical elements takes place. The study of these features is of great practical importance in the oil and gas regions, to which the territory under study belongs. Hydrodynamic and hydrogeological floors and hydrogeochemical zones are distinguished in the hydrogeological section of the oil and gas bearing area of the Southern Urals. The role of the biogeochemical cycle is evident in the formation of vertical hydrogeochemical zonality. Based on the stratigraphic comparison of floors and zones with an analysis of their interrelation, a scheme of hydrogeological zoning of the region is proposed. Each province is characterized by its type of vertical hydrogeological zonality. Detailing and analysis of the scheme allows to predict the prospects of oil and gas potential of the territory. Based on the analysis of their relationship, a scheme of hydrogeological zoning of the region is proposed, each province of which is characterized by its type of vertical hydrogeological zonality. The scheme allows to predict the prospects of petroleum potential.

**Key words:** hydrodynamic, hydrogeologic, floors, hydrogeochemical zones, hydrogeological zoning scheme, district, province.

**Введение.** В водах зоны активного водообмена концентрации растворенного органического вещества в вертикальном разрезе степей и сухих степей весьма отличается от лесостепной ландшафтно-климатической зоны. Изучение его поведения в водах зон аэрации, сезонных и многолетних колебаний уровня грунтовых вод и горизонтального стока показало, что в гумидных условиях лесостепной и более северных ландшафтно-климатических зон, концентрации водо-растворенного органического вещества, определенного по величине перманганатной окисляемости, представленные преимущественно фульвиновыми соединениями, в несколько раз снижаются. На основной территории Южного Приуралья, в степных и сухостепных условиях концентрации во-

до-растворенного органического вещества, представленного преимущественно гуминовыми соединениями, заметно возрастают, но в целом существенно уступают количеству водорастворенной органики гумидной зоны. Эти закономерности обусловлены особенностями проявления биогеохимического цикла в гумидной и аридной зонах. А.Я. Гаевым [1] установлено, что в степных и сухостепных районах концентрации водо-растворенных гуминовых соединений растут вниз по разрезу. Взаимодействия в системе вода-порода определяются особенностями проявления биохимического цикла, под влиянием которого и протекает водная миграция химических элементов. Изучение этих особенностей имеет большое практическое значение в нефтегазовых районах, к которым относится исследуемая территория. Здесь на первый план по значению выдвигаются вопросы закономерностей водной миграции химических элементов в вертикальном разрезе земной коры.

**Роль вертикальной гидрогеологической зональности при районировании гидросферы региона** в связи с взаимосвязью параметров водонапорной системы с нефтегазовосностью территории. В этом плане исследователи ищут закономерные связи водонапорных систем как с процессами нефтеобразования, так и в вопросах сохранения залежей углеводородов в различных геодинамических условиях. Вопрос о гидрогеологическом районировании Южного Приуралья в этой плоскости для указанной территории является пионерным. Существующие схемы районирования Урала и Приуралья по разным признакам используют бассейновый принцип или структурно-геологическую основу. Но преобладают плоские модели районирования, хотя преимущество объемных моделей с использованием особенностей вертикальной гидрогеологической зональности, хорошо обоснованы рядом отечественных ученых [2]. Принцип вертикальной зональности, в частности, использован при геохимическом картографировании территории бывшего СССР [1, 3].

Южное Предуралье, при этом, рассмотрено в составе поясов и районов осадочных толщ, в составе которых имеются пласты каменной соли, гипса и ангидрита. На юге регион примыкает к Северо-Каспийскому бассейну, и здесь в низах его разреза присутствуют рассолы с минерализацией до 350 г/кг, а тип вертикальной зональности является нормальным.

А.Я. Гаев [1] осуществил гидрогеохимическое районирование Урала и Приуралья, положив в основу объемную модель вертикальной зональности гидросферы. Он отметил, что эта зональность отражает самые существенные черты в истории формирования не только подземных вод, но и вмещающих их образований. Совокупность геохимических, фациальных

и гидролого-гидрогеологических условий формирования биосферы и природных вод отражает вертикальная гидрогеологическая зона. Для выделения гидрогеологических районов используют последовательную смену зон, смену химического типа вод, а также параметры пород, которые изменяются закономерно в разрезе и в плане. А.Я. Гаев, А.С. Хоментовский [4], детализировав вертикальную зональность Г.А. Максимовича, выделили в Предуралье четыре гидрогеохимические зоны гидрогенеза и три зоны гидрогалогенеза. Указанные авторы используют термины, введенные в науку А.Е. Ферсманом и Г.А. Максимовичем [5, 6].

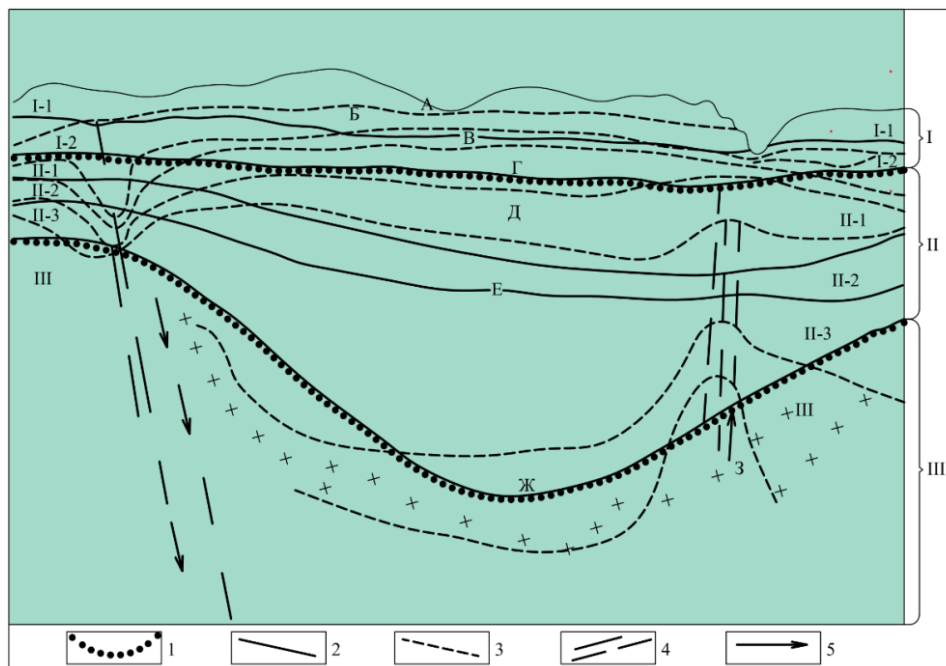
Зона гидрогенеза соответствует гидродинамическим зонам активного водообмена и регионального стока. В ней выделены следующие гидрогеохимические зоны по составу вод: гидрокарбонатные, сульфатные, сульфатно-хлоридные и хлоридно-сульфатные, хлоридные (рис. 1). В этих гидродинамических зонах преобладает латеральный характер перемещения флюидов и, в целом, обстановка неблагоприятная для сохранения залежей углеводородов из-за наличия водо-растворенного кислорода и относительно незначительного уровня метаморфизации химического состава вод.

Воды зон гидрогалогенеза глубоко метаморфизованы, но степень их метаморфизации в вертикальном разрезе проявляется весьма своеобразно. Воды верхней части зоны характеризуются максимально высокой минерализацией, что контрастно отличает ее от выше расположенных зон гидрогенеза. Поэтому она названа зоной максимального гидрогалогенеза. От ниже расположенных зон, воды этой зоны отличаются относительно слабой метаморфизацией химического состава рассолов ( $rNa/rCl > 0,7$ ), что обусловлено некоторой связью с выше расположенной зоной хлоридного гидрогенеза. В этой зоне происходит выщелачивание каменной соли практически до насыщения вод хлоридами. В нижней части осадочного чехла и в трещинных водах кристаллического фундамента степень метаморфизации рассолов достигает максимума ( $rNa/rCl < 0,5$ ), что обусловлено влиянием глубинных вод, переходящих в гравитационные из надкритического состояния [1, 7].

Среднюю (промежуточную) зону гидрогалогенеза принято называть зоной равновесного гидрогалогенеза. Ее отличие от соседних зон гидрогалогенеза заключается в максимальной изоляции от них. Поэтому в этой зоне очень хорошо сохраняются углеводороды (УВ), как в виде залежей, так и в рассевном (растворенном, эмульсированном и ином) состоянии в условиях резко-восстановительной обстановки. Именно здесь и в таком состоянии сосредоточена основная масса углеводородного сырья, которая на 2-3 порядка превосходит запасы УВ, сосредоточенные в залежах. Именно в условиях равновесного

гидрогалоге́неза формируются и хорошо сохраняются залежи УВ, поскольку в этой части осадочного чехла существует наиболее высокий уровень гидрогеологической закрытости недр. Результаты сверхглубокого бурения указывают на наличие зоны гидротермальных рассолов в кристаллическом фундаменте в трещинных тектонических системах. Эти зоны оказывают влияние на нижнюю часть осадочного чехла, что выражается в виде повышенных концентраций газов, в том числе гелия и водорода. Воды зоны максимального гидрогалоге́неза на участках

гидрогеологических окон взаимодействуют с водами зоны хлоридного гидрогалоге́неза. В результате, проявляются процессы, разрушающие залежи УВ, названные Н.Б. Вассоевичем криптогипергенезом. В средней зоне с равновесным гидрогалоге́незом для залежей УВ сохраняются оптимальные условия. Там, где эта зона имеет большую мощность, осадочный чехол гидрогеологически хорошо закрыт, а сама зона может охватывать значительные глубины, погружаясь в кристаллический фундамент.



**Рис. 1.** Схема гидрогеологического и гидрогеохимического расчленения разреза Южного Предуралья (выполнено автором по методике А.Я. Гаева, 1989).

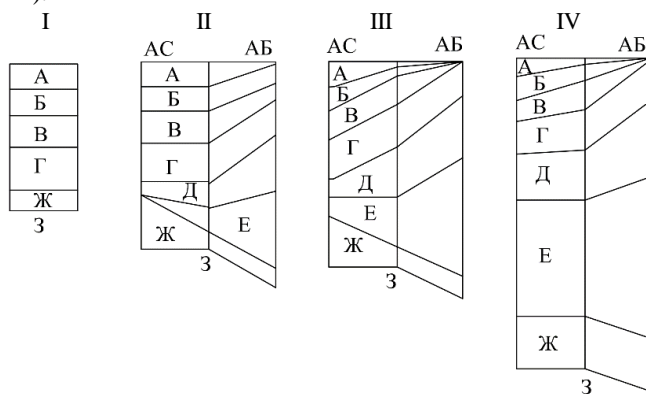
Границы: 1-этажей (гидродинамических), 2-этажей (гидрогеологических), 3-зон (гидрогеохимических), 4-зон нарушений (тектонических), 5-направление движения потоков. Гидродинамические этажи: I-верхний зоны активного водообмена с горизонтальным движением потоков; I-нижний зоны замедленного водообмена с вертикальным перемещением потоков; III-трещинно-жильных вод зоны кристаллического фундамента. Гидрогеологические этажи: I-1-местного подземного стока, дренируемого речной и овражно-балочной сетью; I-2-регионального подземного стока из пород верхнепермского отдела (с местным подземным стоком в областях питания). Глубокого местного стока, связанного с внутренним планом бассейна: II-1-московско-кунгурского комплекса пород; II-2-франско-верейского комплекса пород; II-3-протерозойско-кыновского комплекса пород; III-нестратифицированных пока гидрогеологически трещинно-жильных вод кристаллического фундамента. Гидрогеохимические зоны: А, Б, В, Г-гидрогалоге́неза (А-карбонатного, Б-сульфатного, В-сульфатно-хлоридного и хлоридно-сульфатного, Г-хлоридного); Д, Е, Ж-гидрогалоге́неза (Д-максимального, Е-равновесного, Ж-унаследованного), 3-гидрометагенеза

Взаимосвязь данных гидродинамических этажей и гидрогеохимических зон пока достаточно не обоснована. Изменяется в пространстве и времени, характер этой взаимосвязи зависит от знака и интенсивности тектонических движений за промежуток времени. Дать такую оценку позволяет расчленение гидрогеологического разреза с временной привязкой гидрогеологических этажей и гидрогеохимических зон в пределах гидрогеологических структур. Территория Южного При-

уралья по верхнему гидродинамическому этажу в объеме зон активного водообмена и регионального стока расчленяется нами и другими исследователями на макро-, мезо- и микробассейны стока. С учетом нижнего гидродинамического этажа рассматриваются Волго-Камский, Прикаспийский и др. артезианские бассейны, расположенные к западу от Уральской гидрогеологической складчатой области. В этой связи вся исследуемая территория районирована с выделением гидрогео-

логических структур в качестве гидрогеологических провинций и гидрогеохимических районов. Каждая провинция отличается своей историей гидрогеологического развития, что четко выражено в особенностях ее гидрогеологической зональности и в целом ряде признаков и параметров гидросферы. То есть, каждая провинция имеет свой, отличный от других тип вертикальной гидрогеологической и гидрогеохимической зональности. На хорошую гидрогеологическую закрытость недр указывает наличие мощной зоны равновесного гидрогалогеоза и высокую перспективность территории на залежи УВ. А если гидрогеологически территория открыта и зоны гидрогалогеоза отсутствуют, то нефть и газ там искать бесполезно.

На исследуемой территории с запада на восток к Предуральскому прогибу, с севера на юг к Прикаспийской впадине и от Урала к западу растут гидрогеологическая закрытость территории и выдержанность региональных водоупорных горизонтов. Примыкающий к исследуемой территории с востока горно-складчатый Урал характеризуется открытыми гидрогеологическими структурами с первым типом зональности. Для самого Южного Приуралья характерны 4 типа зональности соответствующих гидрогеологическим провинциям (рис. 2).

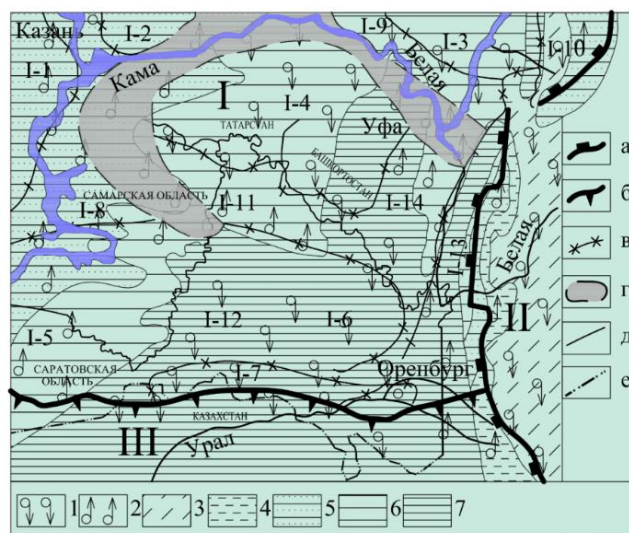


**Рис. 2.** Типы вертикальной гидрогеологической зональности Южного Приуралья по [1]: I-гидрогеологически полуоткрытые; II-полузакрытые; III-закрытые; IV-хорошо закрытые; АС-артезианские своды; АБ-артезианские бассейны; А-З-гидрогеологические зоны (см. рис. 1)

В пределах провинций на основе структурно-гидрогеологического принципа выделяются гидрогеологические районы, отличающиеся мощностью отдельных гидрогеологических этажей. На исследуемой территории по площади распространения преобладает гидрогеологическая провинция хорошо гидрогеологически закрытая (рис. 3). Существенно уступают ей по площади провинции закрытая и полузакрытая.

В пределах сводов кристаллического фундамента и на восточном борту Предуральского краевого прогиба местами выявлены небольшие площади гидрогеологически полуоткрытые.

На основной части исследуемой территории имеет место провинция хорошо закрытая гидрогеологически с развитием в осадочном чехле зон гидрогалогеоза. Зоны гидрогалогеоза здесь имеют наибольшую мощность и распространены не повсеместно.



**Рис. 3.** Схема гидрогеологического районирования территории Южного Приуралья по [1] с дополнениями автора. Степень закрытости водонапорной системы: 8-хорошо закрытая; 7-закрытая, 6-полузакрытая, 5-полуоткрытая, 4-открытая; границы и зоны: а-крупнейших над порядковых гидрогеологических структур Русской платформы с Волго-Камским (I), Прикаспийским артезианскими бассейнами (III) и Уральской гидрогеологической складчатой областью (II); б-Волго-Камского и Прикаспийского артезианских бассейнов; в-артезианских бассейнов, сводов и моноклиналей более высокого порядка; г-Камско-Кинельской системы палеоартезианских бассейнов; д-прогнозируемые неотектонические нарушения в осадочном чехле на продолжении Камско-Кинельской системы прогибов, сформировавшиеся в результате поднятия в области Общего сырта; е-границы Бузулукской впадины; ж-Оренбургской области и регионов России; з-России с Казахстаном. Артезианские своды: I-1-Токмовский, I-2-Кукморский, I-3-Башкирский, I-4-Альметьевско-Белебеевский, I-5-Жигулевско-Пугачевский, I-6-Оренбургский, I-7-Прибортовой Прикаспийский. Артезианские бассейны более высокого порядка: I-8-Мелекесский, I-9-Благовещенский, I-10-Юрюзано-Сылвенский, I-11-Серноводско-Абдуллинский, I-12-Бузулукский, I-13-Бельский. Артезианская моноклираль: I-14-Юго-Востока-Русской платформы.

Это имеет место в артезианском бассейне Бельской впадины в районе Соль Илецка, где зона хлоридного гидрогалогеоза начинается уже с поверхности, а зона гидрогалогеоза – с подошвы кунгурской соленосной толщи, занимая практически весь разрез осадочного чехла. Наличием в разрезе соленосной толщи обеспечивает хорошую гидрогеологическую закрытость водонапорной системы. Это и объясняет исключительно благо-

приятные условия для формирования и сохранения залежей нефти и газа, образование газовых шапок у нефтяных месторождений и наличие в водорастворенных газах подвижного гелия. Наиболее благоприятной для формирования и сохранения месторождений углеводородов является зона равновесного гидрогалогенеза, ее мощность в этом регионе достигает нескольких километров. Воды этой зоны представлены рассолами хлоридно-натриево-кальциевого состава с минерализацией в среднем 250–290 г/л.

Эти воды имеют средний уровень метаморфизации, который выражается пониженной сульфатностью и концентрациями кальция в 15-19 г/л, или 17-22 % экв. Эти рассолы по реакции среды слабокислые. Магния в них содержится в пределах 6-7,5 % экв. В результате унаследованных неотектонических поднятий в артезианских сводах территории увеличиваются мощности зон максимального гидрогалогенеза. Минерализация вод В зоне максимального гидрогалогенеза и хлоридного гидрогенеза за счет растворения солей, содержащих магний и калий, минерализация достигает здесь 340-400 г/л. Это характерно для Предуральского прогиба, Бельской впадины и обрамления Прикаспийской синеклизы, где формируются такие провинции.

Северо-западнее и западнее расположена провинция гидрогеологически закрытая (см. рис. 3). В этом случае толща солей и осадочный чехол имеют меньшие мощности. Сульфатно-карбонатные отложения частично сменяют галогенные отложения. Это приводит к уменьшению степени закрытости недр. В результате исчезают газовые залежи, снижаются насыщенность вод и нефтей газами, исчезают газовые шапки над нефтяными залежами. Увеличивается мощность зоны хлоридного гидрогенеза, и уменьшается мощность зоны равновесного гидрогалогенеза. Это отражается на вертикальной гидрогеохимической зональности. Минерализация рассолов составляет 280–300 г/л. Это связано с исчезновением солей калия и магния в галогенном водоупоре.

Провинция с полузакрытым гидрогеологическим режимом приурочена к сводовым поднятиям: Токмовскому и Кукморскому, а также к впадинам: Мелекеской и Казанско-Кажимского прогиба. Мощности зон гидрогенеза еще больше возрастают, зона равновесного гидрогалогенеза уменьшается по мощности вплоть до выклинивания в некоторых местах. Ранее существовавшие залежи нефти месторождений углеводородов в этой зоне подвержены окислению и разрушению.

Над выступами сводов кристаллического фундамента мощность пород осадочного чехла снижается до 1–1,5 км. Гидрогеохимическая зональность изменяется. Эти условия характерны для полукрытого гидрогеологического режима. В породах чехла в этом случае преобладают зоны гидрогенеза.

На схеме районирования (рис. 3) в Южном Предуралье в пределах провинций выделены гидрогеологические районы, соответствующие артезианским бассейнам, артезианским сводам и моноклиналам. Эти гидрогеологические районы отличаются не только по уровню закрытости, но и проточности, дренированности и проницаемости пород осадочного чехла.

Представленную схему районирования Южного Приуралья рекомендуется использовать и для оценки и прогноза перспектив нефтегазоносности. Наиболее благоприятными, в этом отношении районы с хорошо развитой зоной равновесного гидрогалогенеза. Наоборот, неперспективны на залежи нефти и газа площади с отсутствием зоны равновесного гидрогалогенеза. Мощная зона равновесного гидрогалогенеза развита на борту Прикаспийской синеклизы в Предуральском прогибе, в Казанско-Кажимском прогибе, в Бузулукской впадине, и других районах.

По результатам геолого-геофизических исследований и сверхглубокого бурения стало ясно, что и глубокие горизонты земной коры характеризуются широким распространением пород с хорошими коллекторскими свойствами и их высокой гидрогеологической активностью.

#### Выводы

1. Взаимодействия в системе вода – порода на нефтегазоносной территории Южного Приуралья определяют особенности проявления биогеохимического цикла формирования вертикальной гидрогеохимической зональности.

2. В геологическом разрезе региона выделено три гидродинамических этажа: верхний преимущественно с латеральным движением подземных вод, нижний в осадочном чехле с весьма затрудненным водообменом.

#### Литература:

1. Гаев, А.Я. Гидрогеохимия Урала и вопросы охраны подземных вод. [Текст] / Я.А. Гаев.– Свердловск: Урал. ун-т, 1989. –368 с.
2. Макаренко, Ф.А. Зональность подземных вод и ее значение в геологических процессах. [Текст]//Ф.А. Макаренко. Проблемы гидрогеологии. М., 1960. С. 155–156.
3. Гидрогеология СССР. М.: Недра, 1972. Т. 43. 272 с.
4. Гаев, А.Я. О глубинной гидродинамике (на примере востока Русской платформы). [Текст] //А.Я. Гаев, А.С.Хоментовский / Докл. АН СССР. 1982. Т. 263, № 4. С. 967–970.
5. Максимович, Г.А. Гидрохимические зоны платформ / Г.А. Максимович. Химическая география и гидрогеохимия. Вып. 3 (4). Пермь, 1964. С. 101-120.
6. Ферсман, А.Е. Избранные труды [Текст] /А.Е.Ферсман. М.: АН СССР, 1955. Т. 3. 798 с; Т. 4. 588 с
7. Гаев, А.Я. Фундаментальные и прикладные проблемы гидросферы. Ч. 2. Экологические проблемы. [Текст] / Гаев А.Я., Тихоненко М.А., Килин Ю.А. / под общ. ред. А.Я. Гаева. – М.: Университетская книга, 2018. – 197 с.

Рецензент: д.г.-м.н., профессор Панкратьев П.В.