

3. Бритвин С.Н., Коломенский В.Д., Болдырева М.М. и др. Никельфосфид (Ni,Fe)<sub>3</sub>P — никелевый аналог шрейберзита // Зап. ВМО. 1999. Вып. 3. С. 64—71.
4. Бочек Л.И., Виноградова Р.А., Кашипар П. и др. О связи оптических свойств герсдорфита с его составом // Докл. АН СССР. Т. 256. № 6. С. 1469—1472.
5. Бочек Л.И., Виноградова Р.А., Сандомирская С.М. Состав и оптические свойства сульфидов изоморфного ряда полидимит — грейгит // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1986. № 10. С. 141—144.
6. Виноградова Р.А. Диагностика минералов никеля и кобальта в проходящем свете // Новые данные о минералах / Тр. Минералог. музея им. А.Е. Ферсмана. М., 1983. Вып. 31. С. 13—31.
7. Виноградова Р.А. Георгий Алексеевич Крутов и минерал крутовит // Среди минералов. М., 1998. С. 28—32.
8. Виноградова Р.А., Крутов Г.А. О сульфоарсенидах кобальта, никеля и железа (состав, структурные особенности, свойства, номенклатура) // Новые данные о минералах СССР / Тр. Минералог. музея им. А.Е. Ферсмана. М., 1979. Вып. 28. С. 47—57.
9. Виноградова Р.А., Бочек Л.И. Состав и оптические свойства диарсенидов железа, кобальта и никеля // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1980. № 2. С. 87—100.
10. Виноградова Р.А., Боришанская С.С. Таблица для определения минералов никеля и кобальта в отраженном свете // Новые данные о минералах / Тр. Минералог. музея им. А.Е. Ферсмана. М., 1985. Вып. 32. С. 24—34.
11. Виноградова Р.А., Ульянов А.А., Образцов Б.В. и др. Селенсодержащие сульфоарсениды ряда кобальтин — герсдорфит из месторождений Бу-Аззер (Марокко) // Зап. ВМО. 1994. Вып. 5. С. 64—68.
12. Виноградова Р.А., Кононкова Н.Н., Бочек Л.И. и др. Находка селенсодержащего крутовита в мышьяково-никель-кобальтовых рудах месторождений района Бу-Аззер (Марокко) // Докл. РАН. 1999. Т. 365. № 1. С. 90—92.
13. Виноградова Р.А., Кононов О.В., Бородаев Ю.С. и др. Лапидит из Тырнаузского рудного поля // Зап. ВМО. 1999. Вып. 3. С. 88—92.
14. Виноградова Р.А., Образцов Б.В., Ульянов А.А. Месторождения арсенидных никель-кобальтовых руд района Бу-Аззер (Марокко): минералогия, кадастр минералов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2001. № 2. С. 29—38.
15. Годовиков А.А. Минералогия. М., 1983.
16. Годовиков А.А. Структурно-химическая систематика минералов. М., 1997.
17. Крутов Г.А. Месторождения кобальта. М., 1959.
18. Минералы. Справочник (слоистые силикаты). Т. IV. Вып. 1. М., 1992.
19. Минералы. Справочник (слоистые силикаты). Т. IV. Вып. 2. М., 1992.
20. Пеков И.В., Виноградова Р.А., Чуканов Н.В. и др. О магнезиальных и кобальтовых арсенатах групп файрфильдита и розелита // Зап. ВМО. 2001. Вып. 4. С. 10—23.
21. Семенов Е.И., Зарубеева Е.П. Минералогический словарь. М., 1998.
22. Спиридонов Э.М., Прокофьев В.Ю., Петров В.К. и др. Сейныйокит, нисбит, купростибит, орселит, маухерит, ульманит и сурьма месторождения Золотая Гора (Средний Урал) и условия их образования // Зап. ВМО. 1994. Вып. 3. С. 65—76.
23. Спиридонов Э.М., Чвилева Т.Н. О границе между герсдорфитом NiAsS и крутовитом NiAs<sub>2</sub> // Докл. РАН. 1995. Т. 341. № 6. С. 785—787.
24. Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. М., 1988.
25. Флейшер М. Словарь минеральных видов. М., 1990.
26. Dunn P.J., Sturman B.D., Nelen J.A. Wendwilsonite, the Mg analogue of roselite, from Morocco, New Jersey, and Mexico, and new data on roselite // Amer. Miner. 1987. Vol. 72. N 1—2. P. 217—221.
27. Schnorrer-Köhler G., Neumann U., Doering Th. Mückeite, CuNi<sub>3</sub>BiS<sub>3</sub>, new ore mineral from the Grüne Au mine, Schutzbach (Siegerland) // N. Jb. Miner. Mh. 1989. Hf. 5. S. 193—200.

Поступила в редакцию  
20.06.2001

УДК 556.33.62

Т.С. Строганова

## ФЛЮИДОДИНАМИКА МЕЛОВЫХ И ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СУРГУТСКОГО СВОДА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Цель наших исследований — изучение флюидодинамики глубоких нефтегазоносных горизонтов Сургутского свода Западной Сибири, а также подземных вод апт-сеноманского водоносного комплекса, которые широко используются на разрабатываемых месторождениях нефти в технологических целях.

На первом этапе исследований основной задачей было выявление гидродинамических условий глубоких горизонтов Сургутского свода: структуры потока, направления возможного движения подземных вод, затем анализировались геотермические особенности, гидрогеохимическая обстановка и свойства геофильтрационной среды. Объект исследования —



Рис. 1. Структурная карта по подошве баженовской свиты (горизонт "Б"): 1 — изогипсы отражающего горизонта "Б"; 2 — разломы; 3 — интрузии

глубокие горизонты меловых и юрских отложений Сургутского свода.

В ходе анализа гидрогеодинамических, гидрогеохимических и геотермических условий глубоких горизонтов юрско-неокомских отложений использовались данные по более чем двумстам скважинам на двадцати нефтяных месторождениях Сургутского свода на период до начала их эксплуатации. При исследовании гидрогеологических условий апт-сеноманского водоносного комплекса использована информация из отчетов по оценке эксплуатационных запасов подземных вод этого комплекса по площадям нефтяных месторождений. Кроме того, были привлечены геологические материалы — структурные и тектонические карты, карты разрывных нарушений фундамента и осадочного чехла, разрезы, схемы расположения скважин на месторождениях. При изучении гидрогеодинамики неокомских и юрских отложений замеренные на разных глубинах пластовые давления приводились к абсолютной отметке, из-за невысокой минерализации подземных вод изменения плотности не учитывались. При исследовании гидрогеохимии и геотермии подземных вод меловых и юрских отложений использовалась информация по скважинам каждого месторождения для анализа в плане и в разрезе. Таким образом, впервые осуществлен комплексный анализ гидрогеологических условий района исследований.

Исследуемая территория расположена во внутренней области Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, характеризующейся большими глубинами залегания поверхности фундамента (3—4 км), наиболее полным разрезом мезозойско-кайнозойских отложений и замкнутыми структурными элементами высшего порядка.

Сургутский свод (структура 1-го порядка) по кровле фундамента оконтуривается изогипсой 3100 м, имеет амплитуду более 300 м и площадь 120 × 340 км<sup>2</sup>. По отражающему верхнеюрскому горизонту “Б” свод оконтуривается изогипсой 2850 м, а амплитуда уменьшается до 250 м (рис. 1). Углы наклона по фундаменту составляют 5—7°, а по верхнеюрским отложениям не превышают 3—5°. Свод осложнен рядом структур 2-го порядка. Структуры 2-го порядка в свою очередь осложнены локальными поднятиями 3-го порядка, к которым приурочены месторождения нефти.

В геологическом строении Сургутского нефтегазоносного района принимают участие породы складчатого палеозойского фундамента и терригенные песчано-глинистые отложения мезозойско-кайнозойского чехла. В разрезе последнего выделяются отложения юрской, меловой, палеогеновой и четвертичной систем.

В работе рассмотрен второй гидрогеологический этаж Западно-Сибирского артезианского бассейна [1], отделенный от первого этажа глинистой толщей турон-олигоценевого возраста мощностью порядка

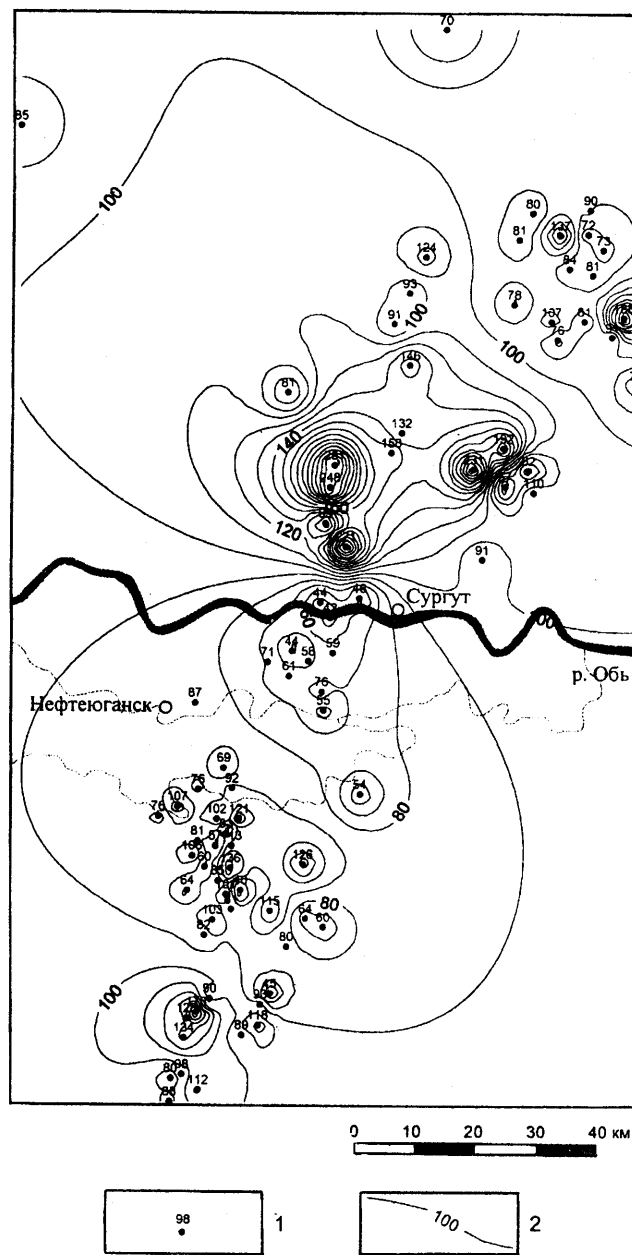


Рис. 2. Схема пьезометрической поверхности подземных вод валанжинских отложений: 1 — скважина со значением приведенного напора; 2 — гидроизоэпезы

600—700 м. Мощность пород второго этажа на данной территории составляет более 2000 м. Несмотря на сложный разрез (неравномерное чередование и выклинивание по площади и разрезу песчано-глинистых отложений) в нем можно выделить пять регионально выдержанных водоносных горизонтов и четыре разделяющие слабопроницаемые толщи. К проницаемым элементам разреза относятся покурская свита ( $K_{1-2}apt-sm$ ), верхнеартовская подсвита — пласты  $A_{4-12}$  ( $K_1h+b$ ), нижнеартовская подсвита — пласты  $B_{1-9}$  ( $K_1h+b$ ), верхняя часть мегнионской свиты — пласты  $B_{10-11}$  ( $K_1v$ ), васюганские и тюменская свиты — пласты  $Ю_{1-2}$  ( $J$ ), а к слабопроницае-

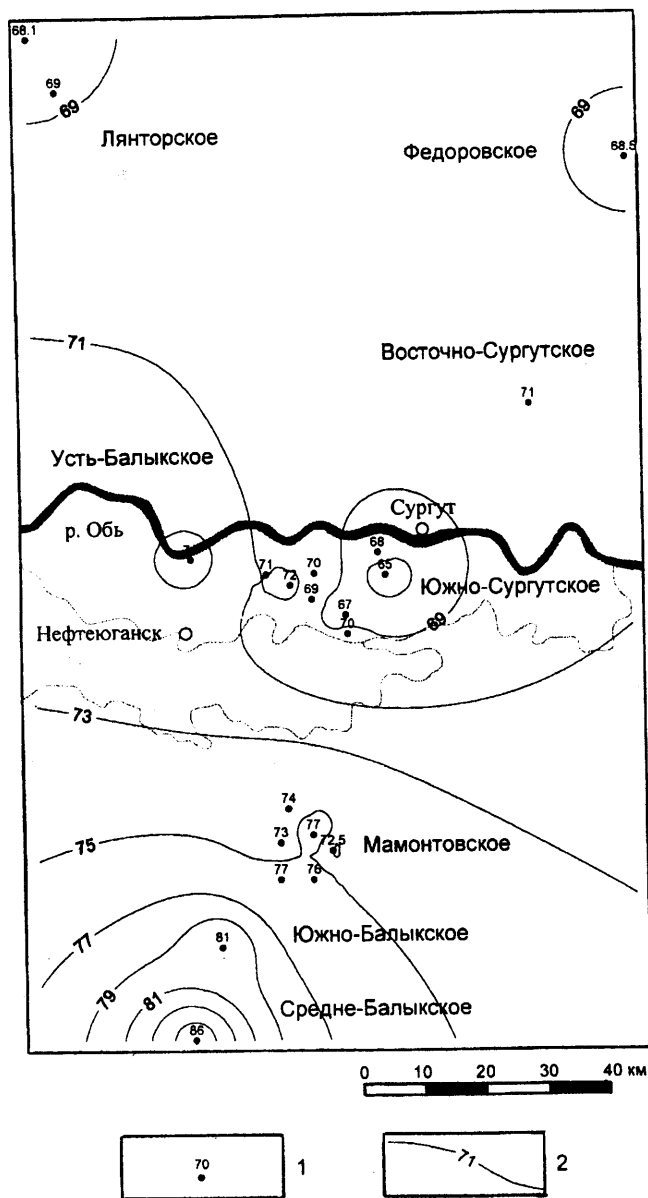


Рис. 3. Распределение в плане температуры подземных вод в неокомских отложениях: 1 — скважина с замеренной температурой; 2 — изотермы

мым — алымская свита ( $K_1apt_1$ ), пимская пачка ( $K_1h+b$ ), чеускинская пачка ( $K_1v$ ) и мегинская свита ( $K_1bg+v$ ).

Подземные воды апт-сеноманских отложений (типа межпластовых) характеризуются региональным характером движения (по данным Б.Ф. Маврицкого, В.А. Всеволожского и др.). Подземные воды неокомских и юрских отложений входят в область так называемых “неупорядоченных напоров” [3, 4], расположенную в центральной и северной частях Западно-Сибирского бассейна, и характеризуются высокой изменчивостью напоров — от нескольких десятков метров до нескольких сотен метров.

Воды апт-сеноманского комплекса имеют минерализацию 16—20 г/дм<sup>3</sup> и хлор-кальциевый состав

(по В.А. Сулину). Флюиды неокомских отложений имеют минерализацию 10—18 г/дм<sup>3</sup>, хлор-кальциевый и гидрокарбонатно-натриевый состав; воды юрских отложений характеризуются минерализацией около 10—25 г/дм<sup>3</sup> и гидрокарбонатно-натриевым составом. По данным [8], в центральной погруженной части Западно-Сибирского бассейна существуют районы как с прямой, так и с обратной гидрогеохимической зональностью.

Температурные условия глубоких вод неокомских и юрских отложений отличаются неоднородностью в распределении температур в плане и в разрезе. Температура меняется от 50°C в кровле неокома до 95°C в низах юры. Геотермический градиент меняется в пределах 3±4°C/100 м.

К гидрогеодинамическим особенностям изученной территории относятся мозаичное распределение напоров подземных вод, содержащихся в юрских и неокомских отложениях, высокая контрастность их значений (от нескольких десятков метров до нескольких сотен метров), резкая изменчивость латеральных градиентов (от 10<sup>-4</sup> до 10<sup>-2</sup> или их отсутствие) и замкнутая конфигурация гидроизопез, что свидетельствует о наличии гидродинамически обособленных участков — гидродинамических блоков (рис. 2). Протяженность блоков — от нескольких километров до нескольких десятков километров. Предполагаемые границы между блоками можно провести по зонам экстремальных значений напорных градиентов. В разрезе блоки с максимальными значениями напора встречаются в юрских отложениях и низах неокомских.

Анализ геотермических условий глубоких вод Сургутского свода показывает, что в распределении температуры подземных вод существует неоднородность. Неравномерность температурного поля в плане выражается в увеличении температуры в юго-юго-западном направлении (на 20°C) (рис. 3), а также в перепаде температуры в пределах 5—7°C на каждой локальной структуре (3-го, 4-го порядков). В разрезе на каждой локальной структуре по скважинам наблюдаются различные величины геотермического градиента — от 3 до 4°C/100 м. Региональное увеличение температуры в плане связано с геологическими причинами, по-видимому, с наличием в юго-западной и южной частях свода и рядом с его границами протяженных интрузий ранне-среднепалеозойского возраста (см. рис. 1). Локальные изменения температуры обусловлены в основном конвективным теплопереносом, неравномерным в плане и разрезе.

Гидрогеохимические особенности глубоких вод Сургутского свода выражаются в неоднородности распределения содержания компонентов и типов подземных вод. Минерализация подземных вод неокома меняется в пределах 10—20 г/дм<sup>3</sup> и в плане увеличивается в восточном направлении, в этом же направлении происходит смена типа вод — с гидрокарбонатно-натриевого на хлор-кальциевый (по

В.А. Сулину). В разрезе наблюдается незакономерное изменение минерализации и микрокомпонентов, т.е. поле точек, не аппроксимируемое какой-либо эмпирической функцией. Содержание гидрокарбонат-иона в подземных водах неокома и юры с глубиной увеличивается от нескольких сотен мг/дм<sup>3</sup> до 3000 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 4), в юрских оно достигает 5000 мг/дм<sup>3</sup>. Что касается редких элементов (Li, Rb и др.), то, по данным [7], их содержание в глубоких подземных водах Сургутского свода увеличивается с глубиной в разрезе, что авторы [7] связывают с возможностью субвертикальной восходящей миграции флюидов из фундамента. В плане содержание редких элементов максимально в восточной части свода, так как здесь фундамент представлен карбонатно-терригенными породами, в отличие от эффузивных пород, распространенных в западной части свода.

Наличие гидродинамически обособленных участков (блоков) однозначно свидетельствует о существовании границ, препятствующих релаксации пластовых давлений. Положение гидродинамических блоков контролируется структурным планом Сургутского свода. Границы между блоками имеют, по-видимому, различный генезис. Можно выделить три типа границ. *Первый тип границ* — тектонические границы разных подтипов. Линейные границы — региональные разломы, развитые по площади свода, и приразломные зоны (см. рис. 1); площадные границы — зоны тектонической трещиноватости, сформированные в результате роста поднятий 2-го и 3-го порядков и существенно различно ориентированные в зависимости от типа поднятия [9]. Эти границы могут быть как проницаемыми, так и непроницаемыми, что определяется обстановкой их формирования — сжатием или растяжением.

*Второй тип границ* — минералого-геохимические границы, которые представляют собой существенно преобразованные вторичными процессами участки осадочного чехла, разграничивающие слабо измененные этими процессами разновозрастные элементы разреза. Возникновение такого типа границ связано, видимо, с древней и современной гидротермальной деятельностью [5, 6]. При периодическом внедрении гидротерм, имеющих высокие давление и температу-

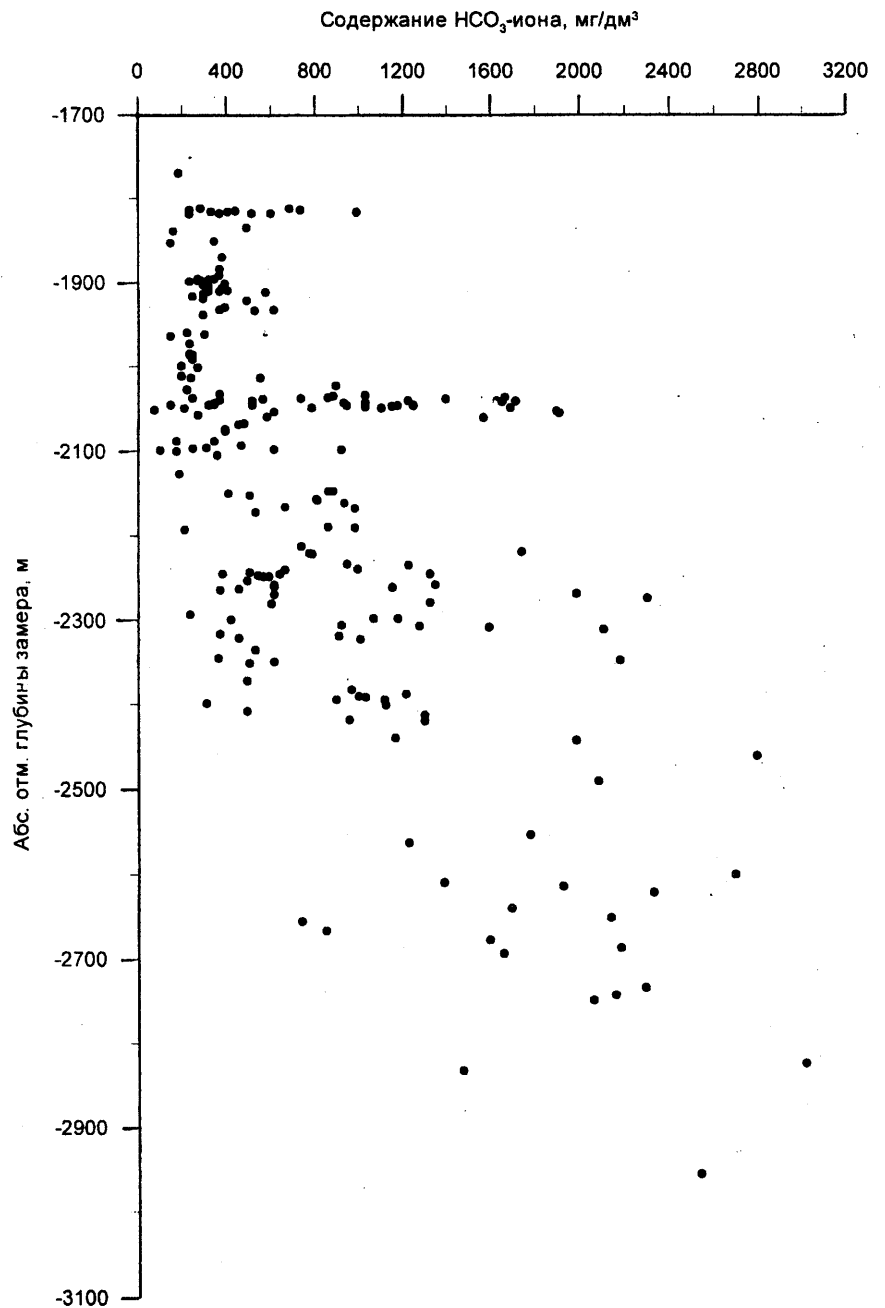


Рис. 4. Зависимость содержания гидрокарбонат-иона в подземных водах от глубины

ру, а также химический и газовый состав, который отличается от состава окружающих вод, нарушается равновесие в системе. Последующее восстановление равновесия сопровождается фазовыми переходами в системе газ—вода—порода и приводит к новоминаралообразованию в породе или к ее частичному растворению. Очевидно, что такие границы формируются на участках резкой смены проницаемости пород. Приуроченность к разломам определяет линейный подтип границ, а участкам повышенной трещиноватости отвечает площадной подтип. Отметим, что в последнем случае протяженность и ширина границ могут быть существенными, и тогда надо говорить о проницаемых или непроницаемых зонах.

Проницаемость или непроницаемость границ (по падению и простиранию) определяется залеченностью пород новоминералообразованиями. Такие явления наблюдаются в ряде скважин на локальных структурах.

*Третий тип границ* определяется литолого-фациальной изменчивостью отложений. Характерное уменьшение проницаемости пород от сводов поднятий к впадинам, неравномерное чередование и выклинивание пластов приводят к частичной или полной изолированности отдельных частей разреза.

Исходя из выявленных и изученных гидродинамических, гидрохимических и геотермических особенностей глубоких вод и опираясь на материалы по геологии и тектонике, можно сделать вывод, что глубокие горизонты Сургутского свода представляют собой *пластово-блоковую систему*. Таким образом, находят объяснение различные гидрогеологические "аномалии" в нижних частях осадочного чехла. Существование пластово-блоковой системы глубоких горизонтов определяется следующими факторами: отсутствием влияния экзогенных процессов, усложнением с глубиной структурного плана, а как следствие — возникает резкая дифференциация геофильтрационной среды, увеличивается влияние эндогенных процессов, периодически преобразующих систему газ—вода—порода.

*Апт-сеноманский водоносный комплекс* характеризуется слабоградиентным региональным потоком в север—северо-восточном направлении (значения латеральных градиентов  $10^{-4}$ – $10^{-5}$ ). Такая картина не противоречит результатам предыдущих исследований [1, 2, 4]. Формирование потока связано с установленной областью разгрузки в Обскую губу, а также с предполагаемыми областями разгрузки в Енисейскую губу и Карское море. Таким образом, наблюдаются различия в гидродинамике подземных вод юрско-неокомских и апт-сеноманских отложений, граница между которыми проходит по алымской

свите ( $K_{1art_1}$ ). Это свидетельствует о *вырождении блокового строения вверх по разрезу*.

Высокие значения напоров подземных вод юрских отложений при отсутствии латерального притока в них [2, 3], гидрохимические особенности глубоких вод (микроэлементный состав, увеличение содержания углекислоты вниз по разрезу), а также то, что центральная и северная части Западной Сибири являются областями древней и современной гидротермальной активности [5, 6], позволяют говорить о наличии нижней открытой границы, где осуществляется *взаимосвязь фундамента и осадочного чехла*. Основная задача дальнейших исследований — моделирование второго гидрогеологического этажа с целью оценки объемов флюидов, поступающих из фундамента.

**Выводы.** 1. Впервые для Сургутского свода на основе комплексного анализа гидрогеологического опробования глубоких скважин доказано пластово-блоковое строение нижних частей осадочного чехла, которое определяется наличием слабопроницаемых или непроницаемых границ различного генезиса.

2. Наличие пластово-блоковой системы глубоких горизонтов Сургутского свода с частично или полностью гидродинамически изолированными блоками свидетельствует об ограниченности латеральной миграции и преобладании субвертикального движения глубоких подземных вод.

3. Выявлено резкое различие гидродинамики подземных вод юрско-неокомских и апт-сеноманских отложений, что свидетельствует о вырождении блокового строения вверх по разрезу.

4. Установлена гидродинамическая связь осадочного чехла с фундаментом, являющимся источником вещества, привносимого в осадочные отложения бассейна.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Всеволожский В.А.* Подземный сток и водный баланс платформенных структур. М., 1983.
2. *Всеволожский В.А., Дюнин В.И.* Анализ закономерностей гидродинамики глубоких пластовых систем // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1996. № 3. С. 61–72.
3. *Дюнин В.И.* Гидрогеодинамика глубоких горизонтов нефтегазоносных бассейнов. М., 2000.
4. *Кругликов Н.М., Нелюбин В.В., Яковлев О.Н.* Гидрогеология Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна и особенности формирования углеводородов. Л., 1985.
5. *Лашнева З.В., Лашнев И.М., Яцканич Е.А.* Основные геологические структуры раннемезозойского вулканического плато центральных районов Западной Сибири и промышленная нефтегазоносность чехла // Научно-техничес-

кие проблемы Западно-Сибирского нефтегазоносного комплекса. 1995. № 1. С. 82–85.

6. *Лукин А.Е., Гарипов О.М.* Литогенез и нефтеносность юрских терригенных отложений Среднеширотного Приобья // Литология и полезные ископаемые. 1994. № 5. С. 65–85.

7. *Прокопьева Р.Г., Рыльков А.В.* Закономерности распределения редких элементов в подземных водах нефтегазоносных отложений Западной Сибири // Геохимия. 1995. № 10. С. 1480–1493.

8. *Розин А.А.* Подземные воды Западно-Сибирского артезианского бассейна и их формирование. Новосибирск, 1977.

9. *Смехов Е.М.* Теоретические и методические основы поисков трещинных коллекторов нефти и газа. Л., 1974.