

ВОДОРАСТВОРЕННЫЙ ГАЗ КАК НЕТРАДИЦИОННЫЙ ИСТОЧНИК УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

Л.А. Абукова, Б.П. Акулинчев, О.П. Абрамова, Г.Ю. Исаева
ИПНГ РАН, e-mail: abukova@ipng.ru

Обоснование вопроса. Исследование возможностей извлечения из подземных вод растворенных газов – одна из важнейших научно-практических задач нефтегазовой геологии в области изучения нетрадиционных источников углеводородного сырья. К настоящему времени по многим нефтегазоносным бассейнам мира проведена оценка ресурсов водорастворенных газов (ВРГ) и установлено, что таковые превышают запасы свободного газа примерно в 115 раз (Абукова, 1990, Корценштейн, 1990; Якуцени, 1990 и др.). Вовлечение этой составляющей углеводородного потенциала литосферы в промышленное потребление приведет к экономии традиционных энергоисточников, снижению экологического ущерба недрам, большой экономической прибыли.

Опыт и проблемы промышленного использования. Несмотря на кажущуюся доступность, этот вид УВ в мире используется мало. Замечено, что интерес к изучению возможностей использования нетрадиционных источников УВ возрастает в периоды мировых экономических кризисов (Akibayashi, Zhou, 1985). Применительно к ВРГ это полностью подтверждается: вопросы извлечения из подземной гидросферы метана активно исследовались в 40–50-е и позже – в 70–80-е годы. Например, в Италии разработка ВРГ была начата с 1939 года в Полезано-Феррарском газоносном бассейне, но в 1959 году прекращена в Полезанской части, а в 1965 году – в Феррарской по экологическим причинам. В 80-х годах проводились исследования по возобновлению добычи ВРГ (Borgia, Brighenti, Vitali, 1983). Месторождения водорастворенного метана на малых глубинах успешно разрабатываются в Японии, Италии и Непале (Doherty, Rogers, Roopawala, 1982 и др.). В Японии добыча метана из подземных вод ведется с 20-х годов и в середине 60-х достигла 30% общего потребления газа в стране. Месторождение Мобара, расположенное недалеко от Токио, имеет важное промышленное значение (Igarí, Sakata, 1989). Интересно заметить, что соотношение газ/вода со временем не убывает, а возрастает (Каплан, 1990).

В США в двух штатах (Техас, Луизиана) в 70–80-х годах проводились научные и опытно-промышленные работы по добыче газа из подземных вод в зонах распространения сверхвысоких пластовых давлений на сравнительно больших глубинах. Апробировались

различные схемы извлечения метана из подземных вод, но промышленная разработка ВРГ была признана нерентабельной (Price, 1978; Wallace, 1969; Каплан, 1990). В настоящее время в США добыча ВРГ рассматривается как необходимый технологический блок при получении геотермального тепла.

В Китае ведутся оценочные работы сразу в 40 нефтегазоносных бассейнах. Особо значимы запасы ВРГ в мезозойских отложениях Таримского бассейна, пермских и верхнетриасовых отложениях бассейна Сычуань, верхнепалеозойских отложениях бассейна Ордос (Li Wei, Qin Shengfei, Hu Guoyi, 2011; Hou Dujie, Li Xianqing, Tang Youjun, 2002 и др.).

В России проблема использования ВРГ в качестве нетрадиционного углеводородного сырья изучалась в различные периоды, наиболее активно в 70–80-х годах прошлого столетия (В.Н. Корценштейн, Л.М. Зорькин, Е.В. Стадник и др.). Особую роль сыграли исследования ВНИГРИ (В.П. Якуцени, Е.М. Каплан, И.А. Лагунова, И.В. Волков и др.). В частности, была разработана методика оценки ресурсов ВРГ, определены основные параметры оценки перспективных земель. В соответствии с этими методическими рекомендациями оценены ресурсы ВРГ в Туркменистане (Л.А. Абукова), Предкавказье (Б.П. Акулинчев, А.С. Панченко), Западной Сибири (Н.М. Кругликов, В.В. Нелюбин и др.), Тихоокеанском подвижном поясе (Е.И. Кудрявцева) и т. д. Но, несмотря на достаточно высокую степень изученности ВРГ, этот вид энергетического сырья в России до настоящего времени не разрабатывается (несмотря на то, что многие регионы испытывают дефицит в традиционных источниках углеводородного сырья).

Основные проблемы, связанные с добычей водорастворенного газа. Выполненные оценочные работы на большей части РФ (и сопредельных стран – бывших союзных республик) охватывали главным образом нефтегазодобывающие регионы. На других территориях, где существует реальный дефицит УВ-источников, анализ не проводился из-за отсутствия надежной информации о составе и содержании ВРГ.

Основным параметром при подсчетах ресурсов ВРГ приняты значения газонасыщенности вод, полученные при опробовании скважин, пробуренных для нефтегазопроисковых и разведочных целей, как правило, в сводовых частях антиклинальных структур, т. е. без учета истинных значений газового фактора в неблагоприятных структурных условиях. Известно и то, что упругость ВРГ резко снижена за контуром газоносности; газовые залежи могут существовать даже в таких условиях,

когда воды значительно недонасыщены газами. В то же время некоторый опыт мониторинга водорастворенных газов в подземных водах свидетельствует о том, что содержание метана в водорастворенном состоянии может изменяться в достаточно широких пределах, в частности под воздействием геофизических и геодинамических факторов, как частный пример – колебания значений метана в водах наблюдательных скважин в провинции Альберта в Канаде (рис. 1). Это должно быть учтено при совершенствовании методики выполнения оценочных работ.

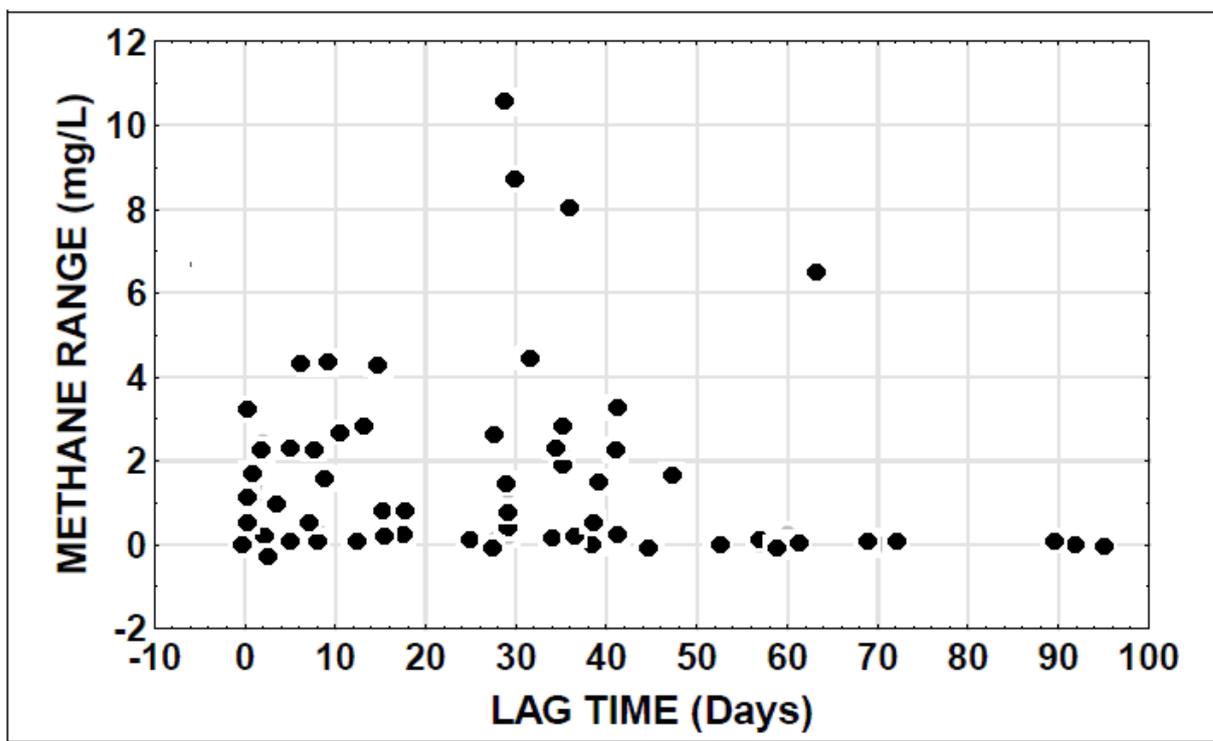


Таблица 1

Изменения газовых факторов и газонасыщенности вод при гидродинамических исследованиях скважин (Технология..., 1997)

№ скважины и название площади.	Пластовое давление, МПа	Депрессия, МПа	Дебит, м ³ /сут	Время работы, сут	Газосодержание, м ³ /м ³ , коэф. газонасыщения	
					перелив	покой
30, Мирненская	25,49	0,1	150	1,6	3,0/1,3	1,6/0,5
2, Малороссийская	33,86	0,7	48	3,0	7,3/≥1	1,8/0,3
1, Прибрежная	60,99	4,8	700	0,5	2,0/0,2	0,1/0,06
5, Ново-Алексеевская	42,93	5,6	115	2,2	2,7/0,4	1,8/0,2
3, Черкесская	18,12	1,3	427	2,1	0,3/0,3	0,3/0,3
25, Веселовская	27,16	2,1	3	1,8	1,9/0,6	1,8/0,6

Изменение газового фактора и, что не менее важно, состава газа подземных вод также может зависеть от условий отбора проб воды (табл. 2 и 3). Так, в случае упруговодонапорного режима, когда пластовое и забойное давления превышают давления насыщения, газонасыщенность забойных проб будет соответствовать пластовым

Таблица 2

Изменения газосодержания растворенных газов в глубинных пробах скв. 2 Малороссийской (инт. 3532–3522 м) в зависимости от режима работы (Технология..., 1997)

Глубина отбора, м	Во время свободного самоизлива с дебитом 48 м ³ /сут			После прекращения самоизлива					
	Т, °С	Рпл., МПа	V _г , м ³ /м ³	через 16 ч при уровне +1,75 м от поверхности Земли			через 39 ч при уровне -31,3 м от поверхности Земли		
				Т, °С	Рпл., МПа	V _г , м ³ /м ³	Т, °С	Рпл., МПа	V _г , м ³ /м ³
500	64	-	0,78	39,5	7,75	1,31	38	-	1,44
1500	103	-	3,28	87,5	11,83	1,45	86	-	0,83
2500	128	-	4,74	111,5	-	3,72	115	-	1,64
3500	144	33,17	7,32	142,5	33,85	3,09	142,5	33,86	1,82

условиям. При упруговодонапорном режиме, когда пластовое давление превышает давление насыщения, которое, в свою очередь, выше забойного, на забой поступает двухфазная смесь, но газ выделяется только в призабойной зоне пласта. При режиме растворенного газа, когда забойное и текущее пластовые давления ниже начального давления насыщения, газ будет выделяться не только в призабойной зоне, но и в более удаленных от скважины частях пласта. Большинство исследователей считают, что отбор достоверных проб в этом случае исключен.

Таблица 3

Изменения состава растворенного в воде газа при исследованиях скв. 2 Малороссийской (инт. 3532–3522 м) в зависимости от режима работы (Технология..., 1997)

Состав растворенного в воде газа (% по объему)	При самоизливе		Забойная проба через 39 часов после прекращения самоизлива при уровне – 31,3 м от поверхности Земли
	забойная проба	устьевая проба	
Метан	81,64	66,39	62,45
Этан	4,30	2,80	5,46
Пропан	0,62	0,37	0,53
Бутан	0,04	0,03	0,03
Бутан-н	0,06	0,05	0,05
Пентан-н	0,01	0,01	0,01
Азот + ред.	3,06	1,23	2,67
Диоксид углерода	9,99	29,01	26,59
Водород	0,25	0,08	2,21
Гелий	0,03	0,03	следы
Относительный уд. вес по составу	0,6926	0,8610	0,8479

Газонасыщенность вод зависит также от минерализации вод и термобарических условий. В природной среде эти факторы воздействуют одновременно, но не всегда однонаправленно (рис. 2). Таким образом, представления о том, что снижение пластового

давления ведет только к сокращению дефицита насыщения и выделению газов из растворенного состояния в свободное недостаточно корректны.

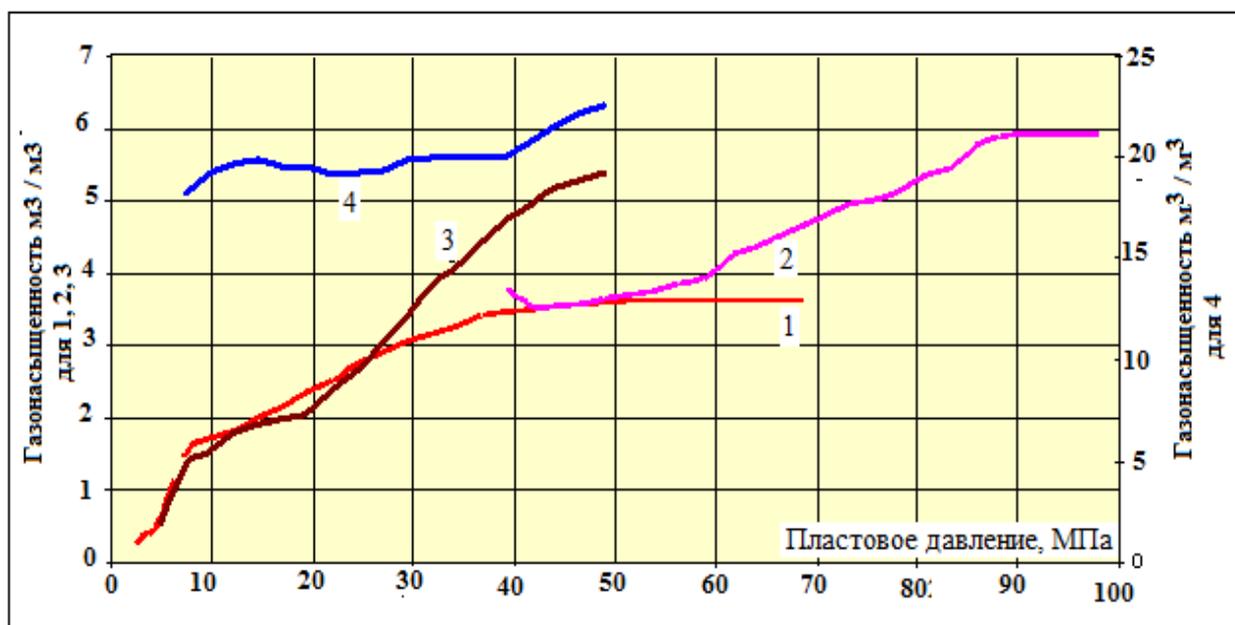


Рис. 2. Зависимость предельного газонасыщения вод от термобарических условий 1 – скв. № 1 (Бойчаровская), 2 – скв. № 2 (Бойчаровская), 3 – скв. № 5 (Отказненская), 4 – скв. № 3 (Каясулинская)

Для обоснования рентабельности разработки ВРГ решающее значение имеет положение зоны формирования диспергированных газов, что возможно только в условиях сверхвысоких пластовых давлений и высокой минерализации вод.

Необходимы дальнейшие исследования устойчивости водогазовых эмульсий. Н.М. Кругликов и Н.Г. Жузе (1992 г.) считают, что такие газовые эмульсии неустойчивы и быстро разрушаются вследствие гравитационного расслоения и коалесценции газовых пузырьков, а поэтому в геологических условиях время их существования непродолжительно. Однако наши полевые наблюдения говорят об обратном: отобранная на Кошехабельской площади (скв. 10) водогазовая эмульсия сохраняла свойства геля при атмосферных условиях в течение 12 суток (Б.П. Акулинчев., 2007 г.).

Не вызывает сомнения, что обязательным условием выделения газов из растворенного состояния должно быть снижение пластового давления ниже давления насыщения. Но при этом нельзя исключать, что смешение вод из различных водоносных комплексов может привести к разнонаправленным геохимическим процессам (растворение одних солей и выпадение других), что, в свою очередь, будет

способствовать повышению геофлюидодинамической неоднородности коллектора (С.Н. Попов, 2013 г.).

Особая – ключевая – проблема разработки ВРГ – утилизация огромных масс воды, сопутствующая добыче ВРГ. Предложены технические решения для обеспечения внутрислоистой дегазации вод, однако масштабы дегазации в данном случае снижаются, исключается возможность одновременного извлечения из подземных вод промышленно ценных микроэлементов.

Экономические оценки добычи ВРГ, выполненные на сегодняшний день, доказали, что прямая добыча ВРГ с больших глубин не рентабельна без сопутствующего извлечения ценных микроэлементов и использования подземных вод в качестве теплоносителя. Но такие условия, как правило, существуют только в пределах нефтегазоносных осадочных бассейнов, где (за редким исключением) не существует большой заинтересованности в разработке нетрадиционных источников углеводородного сырья, в том числе и ВРГ. В районах с дефицитом традиционных УВ представляется рентабельным производить внутрислоистую дегазацию вод (без подъема вод на поверхность) с последующим накоплением газа в одной из подходящих для этих целей неглубокозалегающих структур.

Таким образом, на основании вышеизложенного очевидно, что практический интерес могут представлять: а) глубокие водоносные горизонты с АВПД, предельно насыщенные растворенным и (или) диспергированным газом метанового состава, при высоких дебитах термальных вод и наличии достаточно емких коллекторов для закачки отработанных вод; б) относительно обогащенные метаном водоносные горизонты на территориях с дефицитом традиционных ресурсов УВ, пригодные для частичного разгазирования подземных вод и перепуска высвободившегося газа ловушки.

Предложения по постановке опытно-методических работ для извлечения ВРГ. На территории России наибольший интерес для постановки опытно-методических работ по извлечению ВРГ представляют кумская свита Западно-Кубанского прогиба, майкопские отложения Чернолесской впадины и верхнемеловые отложения Тамани (Акулинчев Б.П., Панченко А.С., Терновой Ю.В., 1992 и др.). Однако предпочтение должно быть отдано Тамани, где известны наиболее высокие газовые факторы и наибольшие дебиты термальных вод. Очень важно, что пробуренные здесь ранее скважины ликвидированы с сохранением обсадных колонн, что делает возможным их

восстановление для проведения опытно-экспериментальных работ (Акулинчев Б.П., 2007 и др.).

К настоящему времени в СевКавНИПИгазе определены прогнозные технико-экономические показатели опытно-промышленной добычи растворенного газа в условиях Тамани. В расчетах предусмотрено использование подземного тепла для отопления и теплично-парникового хозяйства. Расчеты показали, что при комплексной добыче газа и тепла производство станет рентабельным при суточных дебитах газа более 27 тыс. м³ и захоронении (возврате) отработанных вод в пласт через вторую скважину. Однако, как уже указывалось выше, оценка ресурсов ВРГ давалась по методике, ранее предложенной во ВНИГРИ (И.А. Лагунова и др., 1989 г.), которая не учитывала технологию извлечения ВРГ. На наш взгляд, методика оценки порога рентабельности должна быть усовершенствована с учетом технологического фактора, соответственно пересчитаны извлекаемые запасы ВРГ на данном объекте. В настоящее время авторами предложено техническое решение добычи ВРГ, которое позволит сделать добычу газа из подземных вод Тамани экономически более выгодной и экологически более безопасной (рис. 3).

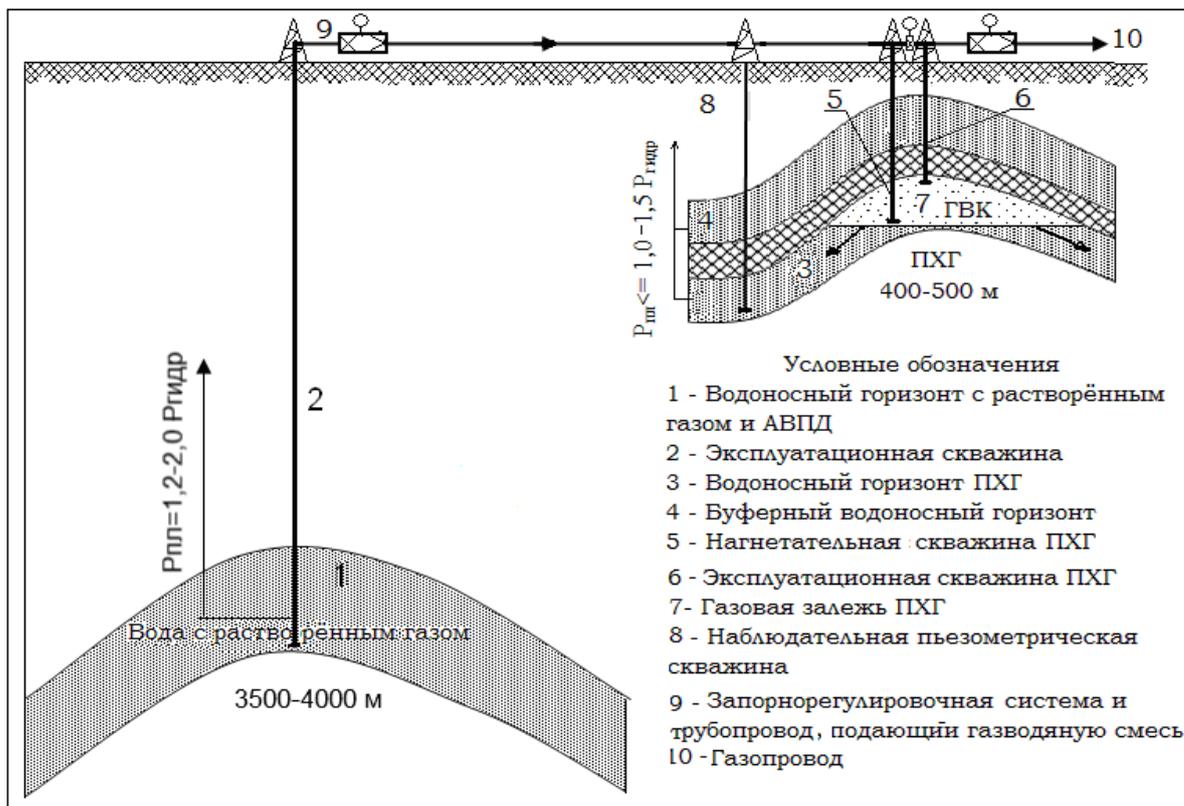


Рис. 3. Способ создания и эксплуатации подземного хранилища природного газа

Кроме того, необходимо применение современного 3D моделирования геофлюидодинамических условий извлечения ВРГ с учетом блочности строения территории, развития флюидодинамической неоднородности на макро- и микроуровнях.

Для условий слабонасыщенных вод применимы способы ультразвукового воздействия на пласты с последующим перепуском газа в вышележащие полости.

Задачи дальнейшего изучения проблемы добычи ВРГ. Важными задачами для решения проблемы использования ВРГ в качестве нетрадиционного углеводородного сырья в России являются следующие.

1. Переоценка ресурсов ВРГ с учетом реальных значений газонасыщенности подземных вод на конкретных территориях России и динамики их изменений во времени;
2. Обоснование современных технических решений по добыче ВРГ в районах с высокой перспективностью;
3. Обоснование технологических решений по созданию искусственных месторождений газа путем длительного извлечения газа из подземных вод;
4. Объективная оценка роли ВРГ в восполнении дренированных запасов газа на традиционных газовых месторождениях с длительной историей эксплуатации.

Выводы

1. Запасы ВРГ существенно (на математические порядки) превышают запасы традиционных УВ, однако их добыча, за редким исключением, в мире не производится.
2. Решение проблемы требует совершенствования *методики подсчета* ресурсов и извлекаемых запасов УВ с учетом:
 - а) динамического характера газового фактора подземных вод;
 - б) наращивания отношения «газ/вода» в процессе извлечения ВРГ;
 - в) неоднозначной зависимости газового фактора и состава ВРГ от термобарических условий;
 - г) учета сопутствующих разгазированию процессов солеотложений, как следствие – проницаемости флюидовмещающих пород.
3. *Технологически* проблема разработки ВРГ должна решаться главным образом для районов с дефицитом традиционных ресурсов УВ.
4. *Практически* целесообразно проведение опытно-методических работ по извлечению ВРГ из верхнемеловых водоносных комплексов Тамани, однако проектные

решения должны быть обоснованы с учетом современных и эффективных технических решений. Одно из них предложено авторами раздела в виде заявки на изобретение.

ЛИТЕРАТУРА

- Абукова Л.А.* Водорастворенные газы Туркменистана как перспективный источник углеводородного сырья // Ресурсы нетрадиционного газового сырья и проблемы его освоения: сб. науч. тр. Л., 1990. С. 150–156.
- Акулинчев Б.П., Панченко А.С., Терновой Ю.В.* Водорастворенные газы Предкавказья, их ресурсы, прогноз и возможности использования // Нетрадиционные источники углеводородного сырья и проблемы его освоения: материалы Междунар. симпоз.. С-Пб., 1992. Т. 2. С. 83–84.
- Акулинчев Б.П.* Роль диспергированных газов в формировании залежей // Геология, бурение, разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений: науч.-техн. сб. М., 2007. № 3. С. 3–8.
- Каплан Е.М.* Современное состояние промышленного освоения газонасыщенных вод за рубежом // Ресурсы нетрадиционного газового сырья и проблемы его освоения: сб. науч. тр. Л., 1990. С. 138–144.
- Корценштейн В.Н.* Принципы районирования перспективных территорий, представляющих интерес для утилизации растворенных газов пластовых вод // Ресурсы нетрадиционного газового сырья и проблемы его освоения: сб. науч. тр. Л., 1990. С. 116–123.
- Попов С.Н.* Численное моделирование техногенного солеотложения при закачке морской воды в продуктивный пласт на примере месторождения Жетыбай (Казахстан) // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2012. № 2. С. 48–53.
- Технология газопромысловых гидрогеологических исследований / В.П. Ильченко, Б.П. Акулинчев, Ю.Г. Гирин и др. М.: Недра, 1997. 300 с.
- Рахбари Н.Ю.* Экспериментальная модель разгазирования предельно насыщенных вод в пористой среде при пластовом давлении ниже давления насыщения // Современные проблемы науки и образования. М., 2011. № 4.
- Якуцени В.П.* Нетрадиционные ресурсы природных углеводородов – дополнительный сырьевой резерв народного хозяйства СССР // Ресурсы нетрадиционного газового сырья и проблемы его освоения: сб. науч. тр. Л., 1990. С. 12–20.

- Akibayashi S., Zhou P.* Simulation of production behavior in the water-dissolved gas field // J. Jar. Assoc. Groundwater Hydrol. 1985. Vol. 24. P. 183–190.
- Borgia G., Brighenti G., Vitali A.* Iglaciment di gas del deita Poicrititeri perunanueta valorissazione // Ind. miner. 1983. № 4. P. 9–18.
- Doherty M.G., Rogers L.A., Poonawala N.A.* Methane production from geopressed aquifers // J. Petrol. Technol. 1982. Vol. 34, № 7. P. 1591–1599.
- Hou Dujie, Li Xianqing, Tang Youjun.* New evidence for natural gas origin from water-soluble hydrocarbon in Ordos Basin // Chinese Sci. Bull. 2002. 47(10): 853–856.
- Igari S.I., Sakata S.* Origin of natural gas of dissolved-in-water type in Japan inferred from chemical and isotopic compositions: occurrence of dissolved gas of thermogenic origin // Geochem J. 1989. № 23. P. 139–142.