



А.П. Белоусова
д-р геогр. наук
профессор
Институт водных проблем РАН
anabel@aqualaser.ru

Региональная оценка устойчивости ресурсов подземных вод России при антропогенном воздействии за 2005–2010 годы*

Рассмотрена динамика изменения устойчивости ресурсов подземных вод за 5 лет наблюдений при водоотборе из водоносных горизонтов с использованием специальных индикаторов и индексов устойчивости

Dynamics of groundwater sustainability change of five years monitoring by water withdrawal from aquifers with using specific indicators and indexes sustainability was consideration

Ключевые слова: прогнозные ресурсы подземных вод, запасы подземных вод, индикаторы воздействия и состояния, индексы устойчивости, водоотбор

Keywords: predicted groundwater resources, safe yield, pressure indicators, state indicator, sustainability indexes, water withdrawal

Критерии оценки устойчивости ресурсов подземных вод к антропогенному воздействию

Для оценки устойчивости ресурсов ПВ на национальном (государственном), региональном (федеральные округа, области, артезианские бассейны и др.) и локальном (водозаборы, месторождения ПВ и др.) уровнях автором разработана структура индикаторов устойчивости, опирающаяся на особенности форми-

рования и использования ресурсов ПВ в нашей стране в указанных масштабах оценок.

Общим при разработке индикаторов окружающей среды в ЮНЕП, Мировом банке, Институте мировых ресурсов и ОЭКР является выделение 3 типов индикаторов: воздействия – В (*Pressure indicators*), характеризующих воздействие на окружающую среду различных факторов и ее изменение под их влиянием; состояния – С (*State indicators*), описывающих

* Автор выражает благодарность студентам РХТУ им. Д.И. Менделеева К.А. Антонову и Е.А. Кирьяковой за помощь в обработке материалов к статье.

состояние различных элементов окружающей среды; отклика – О (*Response indicators*), обобщающих меры для оздоровления окружающей среды [1–3]. Эта система индикаторов получила краткое название – ВСО (*PSR*). Индикаторами устойчивости ресурсов ПВ занималась рабочая группа ЮНЕСКО, в состав которой входила и автор [4]. За основу при формировании структуры индикаторов устойчивости ресурсов ПВ взяты разработанные ранее подходы к формированию индикаторов устойчивости качества ПВ [1–3, 5].

Автором предложены следующие определения.

Индикатор – это атрибутивный показатель состояния окружающей среды или ее компонента, фиксирующий наличие воздействия (загрязнение, истощение и т.д.) на них и отклик на это воздействие.

Индекс – это количественная характеристика индикатора, описывающая степень устойчивости окружающей среды к негативному воздействию природных и антропогенных факторов и необходимые решения и меры по возвращению окружающей среды к устойчивому развитию. Индекс может выражаться простой безразмерной величиной, комплексным безразмерным параметром и многодисциплинарным соотношением.

Методика исследований

Понятие об устойчивости ресурсов ПВ введено комиссией ЮНЕСКО [4], для оценки устойчивости предложено использовать индикаторы с учетом специфики подходов, применяющихся в разных странах.

Устойчивость – внутренне присущая системе способность противостоять изменениям (в данном случае водоотбору из водоносных горизонтов) [1].

Сравнительная характеристика динамики изменения устойчивости ресурсов ПВ проведена за 5 лет наблюдения (2005–2010) по данным [6, 7]. За базовые приняты данные наблюдений за 2005 г. [7] и данные оценки устойчивости ПВ, изложенные в отчете [8].

Расчеты параметров (индикаторов и индексов), характеризующих степень воздействия и устойчивости ресурсов ПВ к антропогенной нагрузке, проводились по методике, изложенной в [1–3].

Существует два понятия, характеризующие количественное состояние ПВ, которые и будем использовать для оценки степени их устойчивости:

- под **прогноznыми ресурсами** понимается возможный максимальный отбор ПВ при

размещении водозаборных сооружений на всей площади распространения водоносных горизонтов при заданном расчетном сроке эксплуатации и величине понижения уровня;

- под **запасами** ПВ понимаются запасы, оцененные на месторождении ПВ и их участках, прошедшие государственную экспертизу, т.е. эксплуатационные запасы представляют собой разведанную и изученную часть прогнозных ресурсов ПВ территории [6–7].

Индикаторы и индексы количественной характеристики ресурсов ПВ:

Индикатор воздействия – эксплуатация водоносных горизонтов (водопотребление, водоотбор).

Индексы – количественные характеристики водоотбора и водопотребления:

- **Индекс водопотребления** ПВ – соотношение их добычи и запасов;

- **Индекс освоения** – соотношение степени использования ПВ и их запасов;

- **Индекс потерь** – разность между единицей и соотношением степени использования ПВ и их добычи;

- **Индекс удельного обеспечения запасами** – соотношение среднего обеспечения запасами по федеральным округам или другим объектам (соотношение запасов ПВ по федеральному округу, артезианскому бассейну, области и численности населения в этом объекте) к соотношению запасов на одного человека по РФ (соотношение эксплуатационных запасов ПВ по РФ и численности населения в РФ);

- **Индекс удельного водопотребления** – соотношение среднего водопотребления по федеральным округам или другим объектам (соотношение степени использования ПВ по федеральному округу, бассейну, области и численности населения в этом объекте) и среднего водопотребления воды на одного человека по РФ (соотношение степени использования ПВ по РФ и численности населения в РФ).

Два последних индекса рассчитывались для федеральных округов и областей страны, для артезианских бассейнов ПВ рассчитывался **индекс условного водопотребления**, характеризующий численность населения, которая может быть обеспечена запасами с учетом среднего обеспечения запасами одного человека в РФ, такой подход к формированию индексов обусловлен полнотой информации по объектам, представленной в [6, 7].

Индикатор состояния – водообеспеченность и использование ресурсов пресных ПВ;

- **Индекс освоения** (перспективного водообеспечения) – соотношение запасов ПВ и их прогнозных ресурсов;

Категории степени воздействия на ПВ, степени устойчивости их состояния и индекса их удельного водопотребления-водообеспечения на 1 человека

Таблица 1

Категория	Количественная характеристика индикатора и индекса	
	Индикатор воздействия – степень воздействия	Индикатор состояния – степень устойчивости состояния
Чрезвычайно высокая	>1	
Очень высокая	0,75 – 1,00	0,00 – 0,25 (0,75 – 1,00)
Высокая	0,50 – 0,75	0,25 – 0,50 (0,50 – 0,75)
Средняя	0,25 – 0,50 (0,50 – 0,75)	0,50 – 0,75
Низкая	0,00 – 0,25 (0,75 – 1,00)	0,75 – 1,00
Чрезвычайно низкая		>1

• **Индекс существующего водообеспечения** – соотношение добычи ПВ и их прогнозных ресурсов;

• **Индекс использования** – соотношение степени использования ПВ и прогнозных ресурсов;

• **Индекс удельного водообеспечения** – соотношение среднего обеспечения прогнозными ресурсами ПВ на одного человека по федеральным округам или другим объектам и обеспечением на одного человека по РФ.

Для артезианских бассейнов ПВ вместо последнего индекса введен **индекс условного водообеспечения** (количество населения, обеспеченное прогнозными ресурсами с учетом среднего обеспечения одного человека по РФ) из-за отсутствия информации для формирования вышеуказанного индекса в [6, 7].

Следует отметить, что для индексов, характеризующих индикатор воздействия, уменьшение их значений соответствует уменьшению

техногенной нагрузки на ПВ и улучшению их экологического состояния; а увеличение значений наоборот соответствует развитию негативных процессов. Для индексов, характеризующих индикатор состояния, уменьшение значений соответствует увеличению степени устойчивости ресурсов и, соответственно, улучшению экологического состояния ПВ, а увеличение значений дает обратную картину.

Для оценки степени воздействия на ПВ и степени устойчивости их состояния необходимо ввести категоризацию такой оценки. В **табл. 1** предложены категории такой оценки для индикаторов воздействия и состояния ПВ и индекса обобщенного удельного водопотребления-водообеспечения.

Динамика изменения ресурсов ПВ по федеральным округам за 2005–2010 гг. Индикатор воздействия (табл. 2)

Индекс водопотребления уменьшился от среднего до низкого в Северо-Кавказском и Дальневосточном ФО. Индекс освоения уменьшился от среднего до низкого в среднем по РФ и Приволжскому ФО. Индекс удельного обеспе-

Индексы, характеризующие индикатор воздействия по федеральным округам

Таблица 2

Федеральные округа	Индекс водопотребления ПВ		Индекс освоения		Индекс потерь ПВ		Индекс удельного обеспечения запасами		Индекс удельного водопотребления	
	2005	2010	2005	2010	2005	2010	2005	2010	2005	2010
РФ	0,33	0,29	0,27	0,22	0,20	0,22	1,00		1,00	
Центральный	0,33	0,30	0,32	0,27	0,07	0,09	1,14	1,12	1,39	1,35
Северо-Западный	0,39	0,34	0,20	0,17	0,48	0,49	0,53	0,57	0,41	0,44
Южный	0,26	0,28	0,21	0,23	0,21	0,20	1,08	0,86	0,84	0,85
Северо-Кавказский		0,19		0,14				0,86		
Приволжский	0,34	0,26	0,30	0,23	0,11	0,14	0,81	0,88	0,92	0,88
Уральский	0,49	0,41	0,32	0,26	0,35	0,37	0,72	0,78	0,86	0,88
Сибирский	0,35	0,37	0,25	0,24	0,29	0,35	1,19	1,13	1,12	1,19
Дальне-Восточный	0,25	0,19	0,14	0,14	0,30	0,26	1,67	1,66	0,90	1,00

Индексы, характеризующие индикатор состояния по федеральным округам

Таблица 3

Федеральные округа	Индекс освоения		Индекс существующего водообеспечения		Индекс использования		Индекс удельного водообеспечения	
	2005	2010	2005	2010	2005	2010	2005	2010
РФ	0,10(0,90)	0,11(0,89)	0,03	0,03	0,03	0,03	1,00	
Центральный	0,36(0,64)	0,38(0,62)	0,13	0,11	0,12	0,10	0,33	0,33
Северо-Западный	0,04(0,96)	0,04(0,96)	0,01	0,02	0,01	0,01	1,42	1,44
Южный	0,39(0,61)	0,47(0,53)	0,10	0,13	0,08	0,11	0,29	0,20
Северо-Кавказский		0,36(0,64)		0,07		0,05		0,40
Приволжский	0,19(0,81)	0,21(0,79)	0,06	0,06	0,06	0,05	0,46	0,45
Уральский	0,04(0,96)	0,04(0,96)	0,02	0,02	0,01	0,01	1,88	1,94
Сибирский	0,06(0,94)	0,06(0,94)	0,02	0,02	0,02	0,01	2,06	2,08
Дальне-Восточный	0,04(0,96)	0,04(0,96)	0,01	0,01	0,01	0,01	3,98	4,12

чения увеличился от высокого до очень высокого в Уральском ФО. Индекс удельного водопотребления увеличился от высокого до чрезвычайно высокого в Дальневосточном ФО.

Индикатор состояния (табл. 3) практически не изменился.

Суммарный индекс воздействия (табл. 4) в среднем по РФ уменьшился от среднего до низкого. Суммарный индекс водообеспечения увеличился от среднего до высокого в Северо-Западном ФО.

В целом значительных изменений состояния ресурсов ПВ за 5-летний период наблюдений не отмечено и степень устойчивости ресурсов ПВ к антропогенному воздействию соответствует приведенной на рис. 1.

Устойчивость ПВ к антропогенной нагрузке по артезианским бассейнам за 2005–2010 гг.

Табличный материал, отражающий расчетные значения оцениваемых индикаторов устойчивости ресурсов подземных вод, в настоящей статье не приводится по причине громозкости данных.

Индикатор воздействия

Индекс водопотребления уменьшился от среднего до низкого в Предкавказском, Ергенинском и Днепровском бассейнах; от высокого до среднего – в Амуро-Охотском бассейне. Индекс освоения уменьшился от среднего до низкого в Донецком, Балтийском и Большеуральском бассейнах.

Суммарная характеристика индикаторов воздействия и состояния по федеральным округам

Таблица 4

Федеральные округа	Суммарное значение индикатора воздействия (без индекса удельного водопотребления и обеспечения)		Суммарное значение индикатора состояния (без индекса удельного водообеспечения)		Суммарное значение индексов удельного обеспечения и водопотребления (воздействие)		Индекс удельного водообеспечения (состояние)	
	2005	2010	2005	2010	2005	2010	2005	2010
РФ	0,27	0,24	0,05	0,06	1,00		1,00	
Центральный	0,24	0,22	0,20	0,20	1,27	1,24	0,33	0,33
Северо-Западный	0,36	0,33	0,02	0,02	0,47	0,51	1,42	1,44
Южный	0,23	0,24	0,19	0,24	0,96	0,86	0,29	0,20
Северо-Кавказский		0,40		0,16		1,05		0,40
Приволжский	0,25	0,21	0,10	0,11	0,87	0,88	0,45	0,46
Уральский	0,39	0,35	0,02	0,02	0,79	0,83	1,88	1,94
Сибирский	0,30	0,32	0,03	0,03	1,15	1,16	2,06	2,08
Дальне-Восточный	0,23	0,20	0,02	0,02	1,29	1,33	3,98	4,12



Рис. 1.
Карта устойчивости ресурсов пресных подземных вод к антропогенному воздействию

Индикатор состояния

Индекс существующего водобеспечения уменьшился от среднего до чрезвычайно низкого в Донецком бассейне; от высокого до среднего – в Московском, Донецко-Донском бассейнах.

Суммарный индикатор воздействия уменьшился от среднего до низкого в Азово-Кубанском бассейне; от чрезвычайно высокого до очень высокого – в Донецком и Балтийском бассейнах.

Устойчивость ПВ к антропогенной нагрузке по областям РФ за 2005–2010 гг.

Табличный материал, отражающий расчетные значения оцениваемых индикаторов устойчивости ресурсов ПВ, не приводится из-за громоздкости данных.

Индикатор воздействия

Индекс водопотребления:

- уменьшился от очень высокого водопотребления к высокому в Республике Карелия; от высокого к среднему – в Вологодской области; от среднего к низкому – в Новгородской и Кировской областях и Ханты-Мансийском АО;
- увеличился от среднего к высокому в Красноярском крае и Рязанской области; от низкого к среднему – в Калужской области и Республиках Бурятия и Саха.

Индекс освоения:

- уменьшился от высокого к среднему в Ненецком АО; от среднего к низкому – в Вологодской области;
- увеличился от среднего к высокому в Красноярском крае; от низкого к среднему – в Тамбовской области.

Индекс потерь:

- уменьшился от высоких к средним в Республике Хакасия; от средних к низким – в Новгородской и Тюменской областях, в Республике Чувашия;
- увеличился от низких до высоких в Республике Бурятия, от средних до высоких – в Вологодской и Ростовской областях и Карачаево-Черкесской Республике.

Индекс удельного обеспечения эксплуатационными запасами:

- уменьшился от чрезвычайно высокого к высокому в Белгородской и Калужской областях; от очень высокого к высокому – в Красноярском крае; от высокого к среднему – в Рязанской области;
- увеличился от низкого к среднему в Курганской области.

Индекс удельного водобеспечения:

- уменьшился от среднего к низкому в Курской и Сахалинской областях;
- увеличился от среднего к высокому в Республике Северная Осетия-Алания и Еврей-

ской АО; от низкого к среднему – в Краснодарском крае.

В целом по 3 основным индексам, характеризующим индикатор воздействия, уменьшение степени воздействия на ресурсы ПВ (улучшение экологического состояния) наблюдается в 9 субъектах РФ, нарастание степени воздействия (ухудшение экологической ситуации) отмечается в 10 субъектах, в остальных субъектах РФ значительных изменений за 5-летний срок не наблюдается. По всем 5 индексам уменьшение степени нагрузки отмечается в 15 регионах, увеличение – в 13 субъектах РФ, в остальных изменениях не наблюдается.

Суммарное значение индикатора воздействия (по всем индексам, кроме удельных индексов):

- увеличилось от средних до высоких в Республике Бурятия и Ямало-Ненецком АО;
- уменьшилось от очень высоких до высоких в Республике Северная Осетия-Алания.

Суммарный индекс удельного водопотребления (воздействия) уменьшился от высокого до среднего в Красноярском крае.

Индикатор состояния

Индекс освоения увеличился от среднего до высокого в Калужской и Волгоградской областях.

Индекс использования увеличился от высокого до очень высокого в Муромской области (степень устойчивости увеличилась).

Индекс удельного водообеспечения уменьшился от высокого до среднего в Республике Ингушетия.

Суммарное значение индикатора состояния (по всем индексам, кроме удельных индексов) уменьшилось от среднего до низкого в Калужской области.

Суммарный индекс удельного водообеспечения (состояния) увеличился от среднего до высокого в Республике Ингушетия.

В целом индикатор состояния за 5-летний срок наблюдений за ресурсами ПВ на территории страны не претерпел значительных изменений, что свидетельствует об относительной устойчивости ресурсов ПВ к антропогенному воздействию.

В заключение следует отметить, что изменения условий устойчивости ресурсов ПВ к антропогенной нагрузке, выраженные через определенные индикаторы и индексы по различным федеральным округам, бассейнам ПВ и субъектам РФ, обусловлены по данным [6] следующими факторами: с 2000 по 2009 г. ежегодный прирост запасов ПВ изменился от 0,3 до 1,7 млн м³/сут., составляет в целом по РФ 6,3 млн м³/сут. (7%). В отдельных субъектах РФ (Москва и Московская обл., республики Калмыкия, Дагестан, Карачаево-Черкесия, Ставропольский край, Мурманская область) отмечается превышение утвержденных запасов над прогнозными ресурсами. Также продолжается наметившаяся с 2000 г. тенденция к снижению общего объема добычи и извлечения ПВ. Ежегодно сокращается использование ПВ на питьевое и хозяйственно-бытовое водоснабжение населения России в среднем на 3%. ❊

Литература

1. Белоусова А.П. Качество подземных вод: современные подходы к оценке. М. 2001. 340 с.
2. Белоусова А.П., Гавич И.К., Лисенков А.Б., Попов Е.В. Экологическая гидрогеология. Учебник для вузов. М. 2006. 397 с.
3. Белоусова А.П. Оценка рисков загрязнения подземных вод как одной из характеристик устойчивости их качества // Водные ресурсы. 2006. Том 33. № 2. С. 239–252.
4. Groundwater resources sustainability indicators. Groundwater Indicators Working Group (UNESCO, IAEA, IAH). Editors Jaroslav Vrba, Annukka Lipponen. IHP-VI, Series on groundwater № 14. UNESCO, Paris, 2007, 80 p.
5. Belousova A. Indicators and indexes of groundwater quality sustainability/ Proceedings of symposium S3 held during the Seven IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguacu, Brazil, April 2005). IAHS Publ. 302, 2006, p. 21-28.
6. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории РФ в 2010 г. Вып. 34. Федеральное агентство по недропользованию. М. 2011. 208 с.
7. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории РФ в 2005 г. Вып. 29. Федеральное агентство по недропользованию. М. 2006. 276 с.
8. Отчет «Изучение закономерностей формирования режима, ресурсов и качества подземных вод пограничных и урбанизированных территорий России, оценка и картирование их устойчивости к антропогенному воздействию». ИВП РАН, лаборатория региональных гидрогеологических проблем. 2009 г.