© А.В.Расулов, А.И.Туйчиев, Б.Р.Каюмов, 2026

А.В.Расулов, А.И.Туйчиев, Б.Р.Каюмов

ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ ГИДРОГЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ



Расулов Алишер Вахобжонович – старший научный сотрудник Института сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз. E-mail: alisher.rasulov 196208@qmail.com



Туйчиев Ахмаджан Исмаилович – заведующий лабораторией Института сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз, докт. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник.



Каюмов Бехзод Рахматкулович – младший научный сотрудник Института сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз.

Введение. Теоретические модели процессов подготовки землетрясений развиваются и совершенствуются с 1970-х годов. В их основе лежат представления о стадийном характере изменения скорости деформации и прочностных свойств геологической среды очага землетрясения, обусловленные процессами трещинообразования в горных породах при росте тектонических напряжений. В рамках этих моделей показано, что в процессе подготовки землетрясения возможны этапы резкого изменения скорости деформации среды и формирование различных типов предвестников, в т. ч. гидрогеологических [1, 2]. В настоящей работе проведён комплексный анализ степени отражения землетрясений с магнитудой $M \geq 5$ в гидрогеосейсмологических параметрах подземных вод, за период 2000-2024 гг. на территории Узбекистана. Подземные воды рассматриваются как часть двухфазной системы «горные породы – флюиды», в которой любые изменения напряжённо-деформированного состояния отражены в вариациях флюидного давления и могут быть зафиксированы в системе «скважина – водоносный горизонт» [3].

Цель и методы исследования. Исследование основано на материалах режимных наблюдений сети гидрогеосейсмологических станций, функционирующих в различных сейсмогенных зонах Республики Узбекистан. В таблице приведены данные по пунктам наблюдений, расположенным в различных структурно-геодинамических областях, включая глубину залегания подземных вод, их стратиграфическую приуроченность, литологический состав водовмещающих пород и сейсмотектонические условия. Химический состав подземных вод охарактеризован с использованием формулы Курлова.

Анализ информативности гидрогеосейсмологических параметров выполнен на основе изучения их физико-геодинамических и газохимических характеристик. Аномальные изменения параметров сопоставлялись с этапами подготовки и реализации землетрясений во временном и пространственном аспектах. **В качестве условной энергетической характеристики сейсмического воздействия на точку наблюдения берется величина K^1.**

$$K^1 = K - 2{,}5 \cdot \lg R,$$

где K – энергетический класс землетрясения; R – расстояние до точки наблюдения; 2,5 – коэффициент пропорциональности, полученный численным представлением номограмм Т.Г.Раутиана для районов Центральной Азии [4]. В качестве условной энергетической характеристики сейсмического воздействия на наблюдаемую точку также принимается величина K^1. Этот показатель определяется с учётом энергетического класса землетрясения (K) и расстояния от источника до точки наблюдения (R). Величина K^1 условно отражает, в какой сте-

Характеристики гидрогеосейсмологических станций, функционирующих в различных сейсмогенных зонах Республики Узбекистан

Структурное положение	Пункты наблюдения	Сейсмотектонические условия	Интервал залегания вод, горизонт, его стратиграфическая приуроченность	Литологический состав водовмещающих пород	Хим. состав подземных вод по формуле Курлова
Орогенная область, Ферганский геодинамический полигон	Чартак, скв. 2	Зона Северо-Ферганского глубинного разлома	N_1, 1248-1262	Песчаники и конгломераты	$M_{46}\frac{Cl_{100}}{Na_{45}Ca_{40}Mg_{15}}t48°$
	Чимион НП-1	Зона Южно-Ферганского глубинного разлома	N-Q, 220-295	Конгломераты, песчаники	$SO_4$48$HCO_3$40Cl12 M0.63----------19°C Mg44Na29 Ca27
Постплатформенная переходная область	Институт овощно-бахчевых культур (ИБК)	Зона Каржантауского глубинного разлома	$K_{2\ 1}$, 810-1940	Известняки и песчаники	$M_{1,0}\frac{HCO^3_{45}Cl_{35}SO^4_{20}}{(Na+K)_{94}}$
	Текстиль		K_1, 2300		$M_{1,0}\frac{Cl_{46}(CO^3+HCO^3)_{36}SO^4_{18}}{(Na+K)_{97}}$ t-34,0
Центральный Узбекистан	Жумабозор № 2		N_2-Q_2, 350	Песчаники и конгломераты	t-19,0
Южный Узбекистан	Шурчи № 8		N_2-Q_2, 427		t-20,3
Платформенная область КГП	Жонгельды, Туякочар		K_1+Pz, 1200	Известняки и песчаники	t-46,0

пени энергия землетрясения проявляется в точке наблюдения, и используется для проведения корреляционного анализа с гидрогеосейсмологическими и геохимическими параметрами. Землетрясения для каждого региона отбирались на основе номограмм Т.Г. Раутиана [4].

На рис. 1 представлены результаты анализа информативности геохимических показателей подземных вод скв. «Чартак № 2», в связи с проявлением сейсмической активности. Анализ показывает, что ряд компонентов (He, CH_4, CO_2, C_2H_6, pH, Eh) характеризуются повышенной информативностью и могут рассматриваться как чувствительные индикаторы сейсмотектонических процессов. В то же время для H_2, O_2, N_2, HCO_3^- и Cl^- отмечается преобладание неинформативных значений, что свидетельствует об их слабой реакции на сейсмические воздействия в рассматриваемых условиях.

Результаты оценки информативности гидрогеохимических и газогеохимических показателей подземных вод скв. «Текстиль» отражены на рис. 2. Полученные данные свидетельствуют о высокой информативности большинства исследованных параметров, в т. ч. He, O_2, N_2, pH, HCO_3^-, Cl^- и температуры, что указывает на их чувствительность к геодинамическим и сейсмотектоническим процессам в пределах постплатформенной переходной области. В то же время для H_2 и CO_2 отмечается преобладание неинформативных значений, а показатель Eh характеризуется пограничной информативностью. Результаты подтверждают возможность использования комплекса газохимических параметров скв. «Текстиль» в системе мониторинга сейсмической активности.

На рис. 3 представлены результаты обобщённого анализа информативности геохимических показателей подземных вод скв. «Институт овощных и бахчевых культур» (ИОБК) за период 2002-2024 гг. Так, что большинство газовых компонентов (He, H_2, O_2, N_2), а также показатели HCO_3^-, Cl^- и температуры характеризуются преобладанием неинформативных значений,

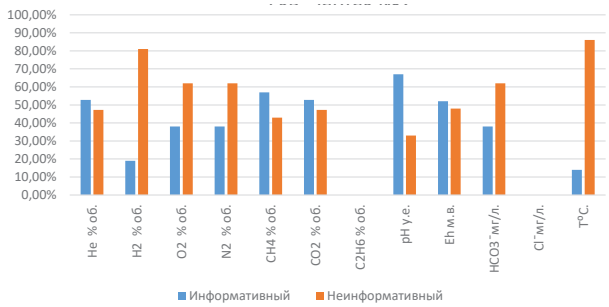


Рис. 1. Информативность геохимических показателей подземных вод скв. «Чартак № 2».

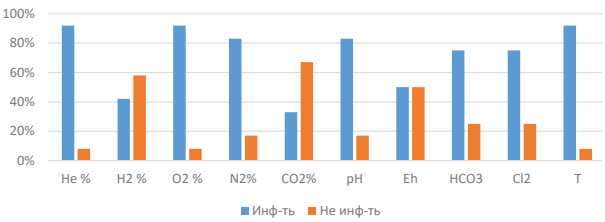


Рис. 2. Информативность геохимических показателей подземных вод скв. «Текстиль».

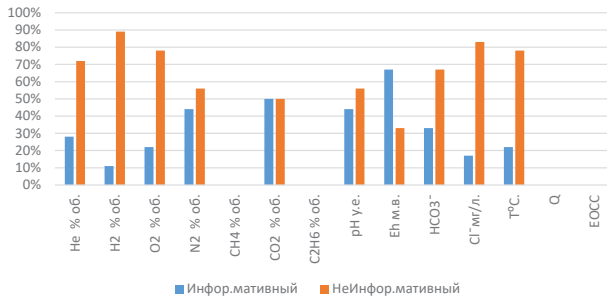


Рис. 3. Информативность геохимических показателей подземных вод скв. «Институт овощных и бахчевых культур» (ИОБК).

что указывает на их слабую или нестабильную реакцию на сейсмические воздействия в долгосрочном временном интервале. В то же время для показателей Eh и pH отмечается относительно более высокая информативность, что свидетельствует об их большей чувствительности к геодинамическим процессам в зоне Каржантауского глубинного разлома. Полученные данные подчёркивают неоднородность отклика гидрогеохимических параметров подземных вод на сейсмические события и указывают на необходимость дифференцированного подхода при выборе информативных индикаторов для регионального гидрогеосейсмологического мониторинга.

Результаты изучения информативности гидрогеосейсмологических параметров по скв. «Шурчи-8» за период 2000-2024 гг. (M ≥ 5,0, Lg (R) ≥ 2,5) представлены на рис. 4. Информативные параметры проявляют устойчивые и повторяющиеся аномальные изменения на стадиях подготовки и реализации землетрясений, тогда как неинформативные параметры не демонстрируют выраженной связи с сейсмическими процессами. Согласно результатам анализа, из газовых компонентов наиболее высокой информативностью обладают параметры O_2, N_2 и CO_2 (75-90%), что свидетельствует об их чувствительности к деформационным процессам в литосфере и миграции флюидов. Напротив, параметры He и H_2 в условиях данной скважины характеризуются

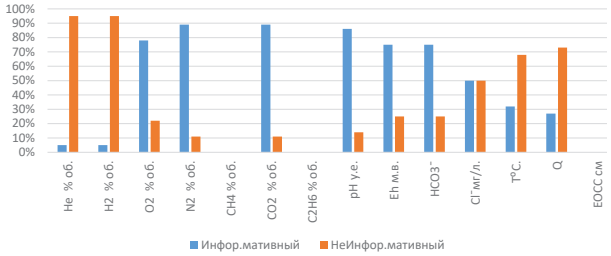


Рис. 4. Информативность гидрогеосейсмологических параметров по скв. «Шурчи-8» за 2000-2024 гг. (M ≥ 5,0, Lg (R) ≥ 2,5).

низкой информативностью, при этом в их вариациях преобладают фоновые изменения.

Среди гидрохимических показателей параметры pH, Eh и HCO_3^- демонстрируют заметные изменения, согласующиеся со стадиями накопления и высвобождения сейсмической энергии, и характеризуются средней и высокой информативностью. Параметр Cl^- имеет пограничную информативность (около 50%), что указывает на его ограниченную чувствительность к сейсмическим процессам. В то же время физические и геодинамические параметры – температура подземных вод (T°C) и дебит (Q) – в основном относятся к неинформативной группе, поскольку их вариации в большей степени обусловлены гидрогеологическими и сезонными факторами. Полученные результаты показывают, что газовый состав и отдельные геохимические параметры в скв. «Шурчи-8» могут использоваться в качестве надежных индикаторов процессов подготовки землетрясений, что подтверждает целесообразность их комплексного анализа в системе гидрогеосейсмологического мониторинга.

На рис. 5 представлена информативность гидрогеосейсмологических параметров по пункту наблюдений «Туякочар» за период 2014-2024 гг. при землетрясениях с M ≥ 4,0 и Lg (R) ≥ 2,5. Информативные параметры характеризуются устойчивыми и воспроизводимыми аномальными изменениями в периоды подготовки и реализации землетрясений, тогда как неинформативные параметры не проявляют выраженной связи с сейсмическими процессами.

Результаты анализа показывают, что газовые компоненты He, H_2, O_2, N_2 и CH_4 в условиях данного пункта наблюдений в основном относятся к неинформативной группе, что указывает на преобладание фоновых и локальных факторов в формировании их вариаций. Параметр CO_2 характеризуется пограничной информативностью, отражая ограниченную чувствительность к процессам подготовки землетрясений. В то же время геохимические параметры pH и Eh демонстриру-

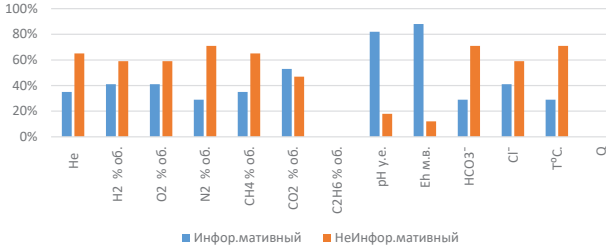


Рис. 5. Информативность гидрогеосейсмологических параметров по скв. «Туякочар» за период 2014-2024 гг. (M ≥ 4,0, Lg (R) ≥ 2,5).

ют высокую информативность (более 80%), что свидетельствует об их высокой чувствительности к напряжённо-деформационным изменениям в литосфере и динамике флюидного режима. Гидрогеодинамические параметры HCO_3^-, Cl^- и температура воды (T°C) в основном относятся к неинформативной группе, а их вариации преимущественно обусловлены сезонными и гидрогеологическими условиями. Для пункта «Туякочар» наиболее перспективными индикаторами процессов подготовки землетрясений являются геохимические параметры pH и Eh, тогда как газовый состав подземных вод обладает ограниченной прогностической информативностью.

Информативность гидрогеосейсмологических параметров по пункту наблюдений «Жумабозор-2» за период 2014-2024 гг. при землетрясениях с $M \geq 4,0$ и $Lg\,(R) \geq 2,5$ отражена на рис. 6. Отметим, что в период 2002-2023 гг. в скв. «Жумабозор-2» газовые анализы не проводились. Поэтому по компонентам He, H_2, O_2, N_2, CH_4, CO_2, C_2H_6 и другим газам невозможно делать выводы о их информативности.

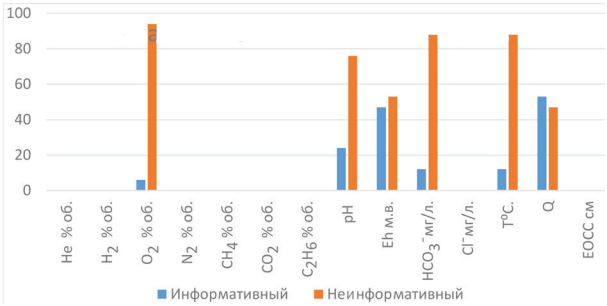


Рис. 6. Информативность гидрогеосейсмологических параметров по скв. «Жумабозор-2» за 2002-2024 гг. ($M \geq 4,0$, $Lg\,(R) \geq 2,5$).

Среди геохимических параметров относительно более высокой информативностью обладает параметр Eh, демонстрирующий умеренную чувствительность к деформационным процессам. Параметры pH, HCO_3^-, температура воды (T°C) характеризуются низкой информативностью, а их изменения в основном обусловлены несейсмическими факторами. Параметр дебита (Q) проявляет пограничную информативность, что может отражать косвенное влияние напряжённо-деформационного состояния на гидродинамический режим.

Заключение. Проведённая оценка информативности газохимических параметров подземных вод по пяти пунктам наблюдений за длительные временные интервалы (2000-2024 гг.) при землетрясениях с $M \geq 4,0$-5,0 и различными эпицентральными расстояниями показала выраженную пространственную и параметрическую неоднородность отклика подземных вод на сейсмические процессы. Установлено, что информативность отдельных показателей существенно варьирует в зависимости от геодинамического положения пункта наблюдений, глубинной тектонической приуроченности и гидрогеологических условий. Наиболее устойчивыми и информативными индикаторами процессов подготовки землетрясений в ряде пунктов (в т. ч. в зонах глубинных разломов и активных тектонических структур) являются параметры pH и Eh, а также отдельные компоненты газового состава (O_2, N_2, CO_2), что отражает их высокую чувствительность к изменениям напряжённо-деформационного состояния и флюидного режима литосферы. В то же время такие параметры, как He, H_2, температура воды и дебит, в большинстве пунктов характеризуются преобладанием неинформативных значений, что указывает на доминирующее влияние фоновых, гидрогеологических и сезонных факторов на их вариации. Полученные результаты подтверждают избирательный характер отклика гидрогеохимических параметров подземных вод на сейсмические события и указывают на целесообразность использования наиболее информативных компонентов при мониторинге землетрясений, а их диагностическая значимость определяется локальными геодинамическими условиями. В этой связи для повышения эффективности регионального гидрогеосейсмологического мониторинга целесообразно применять дифференцированный и комплексный подход, основанный на отборе наиболее чувствительных параметров для каждого конкретного пункта наблюдений с учётом его тектонической и гидрогеологической специфики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллабеков К.Н., Туйчиев А.И. Особенности проявления предвестников землетрясений с расстоянием // Геология и минеральные ресурсы. - 2015. - № 6. - С. 36-40.

2. *Абдуллабеков К.Н., Туйчиев А.И.* Особенности проявления предвестников землетрясений с расстоянием и размеры геотектонических блоков // ДАН РУз. - 2016. - № 3. - С. 59-61.

3. *Киссин И.Г.* Землетрясение и подземные воды. - М., 1982.

4. *Раутиан Т.Г.* Изучение сейсмических волн над слоями землетрясений. - Душанбе: Дониш, 1971.

Статья представлена членом редколлегии докт. физ.-мат. наук К.Н.Абдуллабековым.