

РАЗЛОМНО-БЛОКОВЫЕ СТРУКТУРЫ ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЫ АМУРСКОЙ ЛИТОСФЕРНОЙ ПЛИТЫ, ИХ СЕЙСМИЧНОСТЬ И ФЛЮИДНЫЙ РЕЖИМ

А.Т. Сорокина, А.П. Сорокин, М.А. Серов, А.А. Попов

*Институт геологии и природопользования ДВО РАН, пер. Релочный 1, г. Благовещенск, 675000,
e-mail: orgig@ascnet.ru*

Поступила в редакцию 18 мая 2010 г.

Обобщены результаты многолетних исследований по изучению неотектонических процессов и связанных с ними явлений, в частности дегазации недр, разгрузки флюидов, повышенной сейсмичности, в пределах пограничной территории Верхнего и Среднего Приамурья в зоне взаимодействия Амурской и Охотской литосферных плит. Выделены блоки, рассмотрены их геодинамические особенности, связь с сейсмическими явлениями, установлены годы сейсмической активизации и затишья блоков. На основе гелиеметрических и атмосферических исследований в пределах Зейско-Буреинского бассейна выявлены зоны повышенной проницаемости. Приведены результаты многолетних наблюдений по изучению динамики флюидов на Константиновском месторождении минеральных вод и показана связь вариаций концентраций водорастворенного гелия с изменением напряженно-деформированного состояния блоков, удаленных от пункта режимных наблюдений на расстояние до 220 км.

Ключевые слова: неотектоника, сейсмичность, дегазация, гелий, флюидный режим, разломно-блоковые структуры, Амурская плита, Зейско-Буреинский бассейн.

ВВЕДЕНИЕ

Современная геодинамика и сейсмичность Дальневосточного региона в значительной мере определяются взаимодействием Евразийской, Тихоокеанской, Северо-Американской, Охотской и Амурской литосферных плит, границы между которыми представлены транзитными зонами, состоящими из блоков, ограниченных сейсмоактивными разломами [9].

Рассматриваемая территория расположена в северо-восточной части Амурской литосферной плиты. К началу мезозоя она представляла собой континентальную окраину Азии, выделяемую под названием Амурского геоблока, состоящего из Суннэнь-Туранского и Буреинско-Цзямусы-Ханкайского композитных массивов [8]. Дальнейшая история развития этого региона определялась двумя эрами: позднемезозойской и кайнозойской. С первой из них связано образование систем впадин Восточно-Азиатского рифтогенного пояса: Суннэнь-Зейской, Тан-Лу-Охотской, которые формировались вдоль глубинных разломов преимущественно северо-восточного и близмеридионального направления (Селемджинского, Хинганского, Ишу-Харпийского, Западно-Туранского, Муданьцзянского и др.).

В кайнозое неотектонический этап обусловил возникновение крупных близширотных блоков воздымания, поперечных к мезозойским структурам, ограниченных Улигданским, Сюньхэ-Бирским и Намуэрхэйским тектоническими нарушениями. В Тан-Лу-Охотской рифтогенной системе происходило формирование Западно-Охотской, Саньцзян-Среднеамурской и других впадин, а также излияние базальтов.

Современные тектонические движения земной коры на рассматриваемой территории во многом связаны с событиями регионального масштаба – смещениями по сдвиговым зонам Охотской плиты в южном, а Евразийской – в восточном направлениях [10]. Они сопровождаются нередко разрывами и образованием зон повышенной проницаемости, служащих каналами для дегазации недр и разгрузки флюидов. Активизировались также сейсмические процессы, которые особенно широко проявлены на границах блоков, вдоль глубинных разломов.

Геодинамические подвижки, происходящие на границе Амурской и Охотской литосферных плит, обусловили формирование разломно-блоковых структур более высоких порядков, взаимодействие

которых осуществляется преимущественно на контактах между блоками. В этих зонах наблюдается высокая концентрация напряжений земной коры, приводящая к нарушению устойчивости геологической среды и межблоковым деформациям, что нередко служит спусковым механизмом для формирования очагов землетрясений с различной магнитудой. Изучение этих процессов представляет сложную задачу, решение которой в большинстве случаев связывают с поисками предвестников землетрясений. Однако на начальной стадии решения указанной проблемы необходимо выявить геодинамические особенности разломно-блоковых структур, установить их взаимодействие и сейсмическую активность в многолетнем разрезе и совершенствовать комплекс режимных наблюдений, способных реагировать на характер изменения напряженно-деформированного состояния блоков.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования выполнялись на основе структурно-тектонического анализа, геодинамических построений, систематизации данных по разломно-блоковой тектонике, сейсмической активности с привлечением гидрогеологических, гидрохимических материалов, режимных наблюдений и гелиометрических исследований на Константиновском месторождении минеральных вод. Авторы не ставили целью (да и это было невозможно) изучить геодинамические особенности и связь с сейсмическими и деформационными процессами всех разломно-блоковых структур, находящихся в зоне сопряжения Амурской и Охотской литосферных плит. Представлялось более целесообразным рассмотреть вопросы их взаимодействия с разрывными нарушениями и флюидодинамикой на наиболее изученных блоках и участках.

Для изучения кинематики Амурской литосферной плиты, получения количественных характеристик по перемещению блоков, оценки скоростей их смещения был применен метод космической геодезии (GPS-технология), включающий измерение параметров на шести стационарных пунктах по профилю Благовещенск–Сутара, пересекающему южную часть Зейско-Буреинского бассейна, и локальном Константиновском полигоне. С целью изучения роли разломов, выявления зон повышенной проницаемости и связанных с ними процессов дегазации был использован комплекс гелиометрических и атмосферических исследований, включающих водно-гелиевое и водно-газовое опробование гидрогеологических скважин. На участках, где гидрогеологические скважины отсутствовали, проводилось опробование шлама из специально пробуренных неглубоких скважин.

Использование газового фактора для оценки проницаемости глубинных разломов обусловлено тем, что именно разломы контролируют пути движения газов из глубоких недр к поверхности Земли и могут фиксироваться устойчивыми во времени аномалиями свободных, растворенных в воде и сорбированных газов. Среди исследователей [15, 26, 27] преобладает мнение, о гелии как о наиболее достоверном и приоритетном индикаторе глубинных процессов, что определяется его химической инертностью, постоянной диссипацией из атмосферы в космос, подвижностью, теплоемкостью, низкими сорбционными свойствами и т.д. Вследствие вышеуказанных природных особенностей, гелиометрические исследования проводились как базовые, с прослеживанием динамики водорастворенного гелия в годичном (многолетнем) периоде в очаге разгрузки минеральных вод Константиновского месторождения (скв. 2990).

В последние годы, благодаря усовершенствованию техники газового и изотопно-газового анализа, имеются данные [6, 18] о глубинном происхождении водорода и углекислого газа, поэтому на локальных участках в скважинах проводилось водно-газовое и профильное шламное опробование вкрест простиранья гидрогеологических структур с определением вышеуказанных газов. Выявленные аномалии свободных, растворенных в воде и сорбированных в породах газов в последующем увязывались с геофизическими (грави- и магнитометрическими) данными, материалами дешифрирования аэрофотоснимков. Атмосферические и гелиометрические методы наиболее широко использовались в южной части Зейско-Буреинского бассейна, в пределах зон сопряжения с малыми артезианскими бассейнами с отбором проб на глубине 50–150 м, где в подземных водах проявляются наиболее интенсивные аномалии гелия [28].

Корреляция полученных результатов с сейсмическими явлениями осуществлялась на основе систематизации данных о землетрясениях на исследуемой территории за последние 20 лет, которые были зафиксированы в каталоге Международного сейсмического центра (ISC) и материалах Российских и Китайских сейсмологических служб.

Наряду с вышеуказанными видами работ, в значительном объеме проводилось гидрогеологическое и гидрохимическое опробование. Подземные воды, вскрытые скважинами, являются наиболее доступной и информативной средой для познания закономерностей дегазации недр и разгрузки флюидов как в региональном масштабе, так и на локальных участках [23]. Они очень чутко реагируют на изменение напряженного состояния водовмещающих пород

гидродинамическими показателями – изменением пластового давления, уровня, напора, в самоизливающихся скважинах – дебита. Эти изменения могут быть отмечены на значительных расстояниях от очагов возникших напряжений, поэтому прослеживание вышеуказанных показателей в течение длительного времени по сети гидрогеологических специально оборудованных скважин способствует получению дополнительной информации о механизме изменения напряженно-деформированного состояния среды, взаимосвязи гидрогеологических и неотектонических процессов [24].

Флюидный режим зон повышенной проницаемости и его связь с сейсмическими процессами изучались на Константиновском месторождении минеральных вод в наблюдательной скважине 2990 глубиной 204 м по изменению концентраций водорастворенного гелия, макро- и микроэлементного состава минеральных вод. Микроэлементный состав воды определялся методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе JCP Elan DPS II Perkin Elmer (США), концентрации гелия – на приборе ИНГЕМ-1, водорода и углекислого газа – на хроматографе ЛХМ-80, токсичных газов – на газовом анализаторе непрерывного контроля ГАНК-4 (НПО “Прибор”).

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗЛОМНО-БЛОКОВЫХ СТРУКТУР РЕГИОНА И ОСНОВНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ – СЕЙСМИЧНОСТИ И ФЛЮИДНОГО РЕЖИМА

Для областей взаимодействия литосферных плит весьма характерно наличие блоков, движение и смещение которых происходят по системам сейсмогенных разломов. На рассматриваемой территории авторами выделяются блоки второго порядка (по отношению к Амурской и Охотской плитам): Чжаньхэ, Суньу, Нэньцзянский, Ивановский, Завитинский, Туранский, Кульдурский, Тыминский, Цзямусинский и Циншанский (рис. 1).

Строение разломно-блоковых структур, изменчивость их сейсмической активности в различные временные периоды отражены в таблице. Связь геодинамических особенностей исследуемой территории, сейсмических явлений, дегазации недр и флюидного режима рассмотрены на примере отдельных блоков с наиболее высокой проявленностью геодинамических и сейсмических процессов.

Результаты GPS наблюдений, выполненных в пределах южной окраины Зейско-Буреинского бассейна сотрудниками ИЗК СО РАН и ИГиП ДВО РАН [19], позволяют расшифровать общую картину современной геодинамики рассматриваемого региона.

В процессе исследований (2001–2003 гг.) установлено, что пункт ВЛАГ в составе Северо-Китайского (Нэньцзянского) блока смещается в юго-восточном направлении относительно Сибирской платформы со скоростью 5.4 мм/год, а Баджало-Буреинско-Малохинганский (Туранский) блок – на юго-запад относительно Северо-Китайского блока со скоростью 4 мм/год. Этими движениями создаются правосторонние северо-северо-восточные сдвиговые смещения вдоль восточной окраины Зейско-Буреинской впадины и растяжение в зонах разломов северо-западного и близширотного направления на юге Амурской плиты. Приведенные данные свидетельствуют о проявленности современных движений вдоль регматической сети разрывных нарушений северо-северо-восточного и близширотного направлений, сформировавших блоковую структуру региона.

Признаки современной дегазации недр в Зейско-Буреинском артезианском бассейне

Неотектоническим, в т.ч. сейсмическим, процессам сопутствует дегазация недр, которая отражает геотектонические и геохимические особенности проницаемых зон и способствует разрядке через них геодинамических напряжений. Основы современных представлений о “газовом дыхании Земли” были заложены в работах [4, 5]. Дальнейшее изучение этой проблемы нашло отражение в исследованиях [16, 17], которые положили начало системному подходу и последовательному развитию различных направлений исследований дегазации Земли, включающих изучение взаимосвязи дегазации Земли с глубинными разломами, геодинамическими, в т.ч. сейсмическими, процессами. Дегазация недр воздействует на многие явления в литосфере, гидросфере и биосфере, а восходящие потоки флюидов играют существенную роль в изменении объемов и структуры земной коры и приводят к деформациям и разрушениям. Деформации значительно легче возникают на границе блоков, насыщенных водными растворами и газами, последние из которых являются наиболее мобильной составляющей флюидной системы. В последующем каналы миграции флюидов стали рассматриваться не только в связи с дизъюнктивными деформациями, но и как очаги разрядки глубинной энергии, а дегазации недр стали отводить роль регулятора сейсмического режима [8].

Изучение указанной проблемы осуществлялось в пределах южной части Зейско-Буреинского артезианского бассейна, где широко проявлены геодинамические процессы, сейсмические явления и долгоживущие разломы, формирующие зоны повышенной проницаемости и каналы для дегазации недр. Они

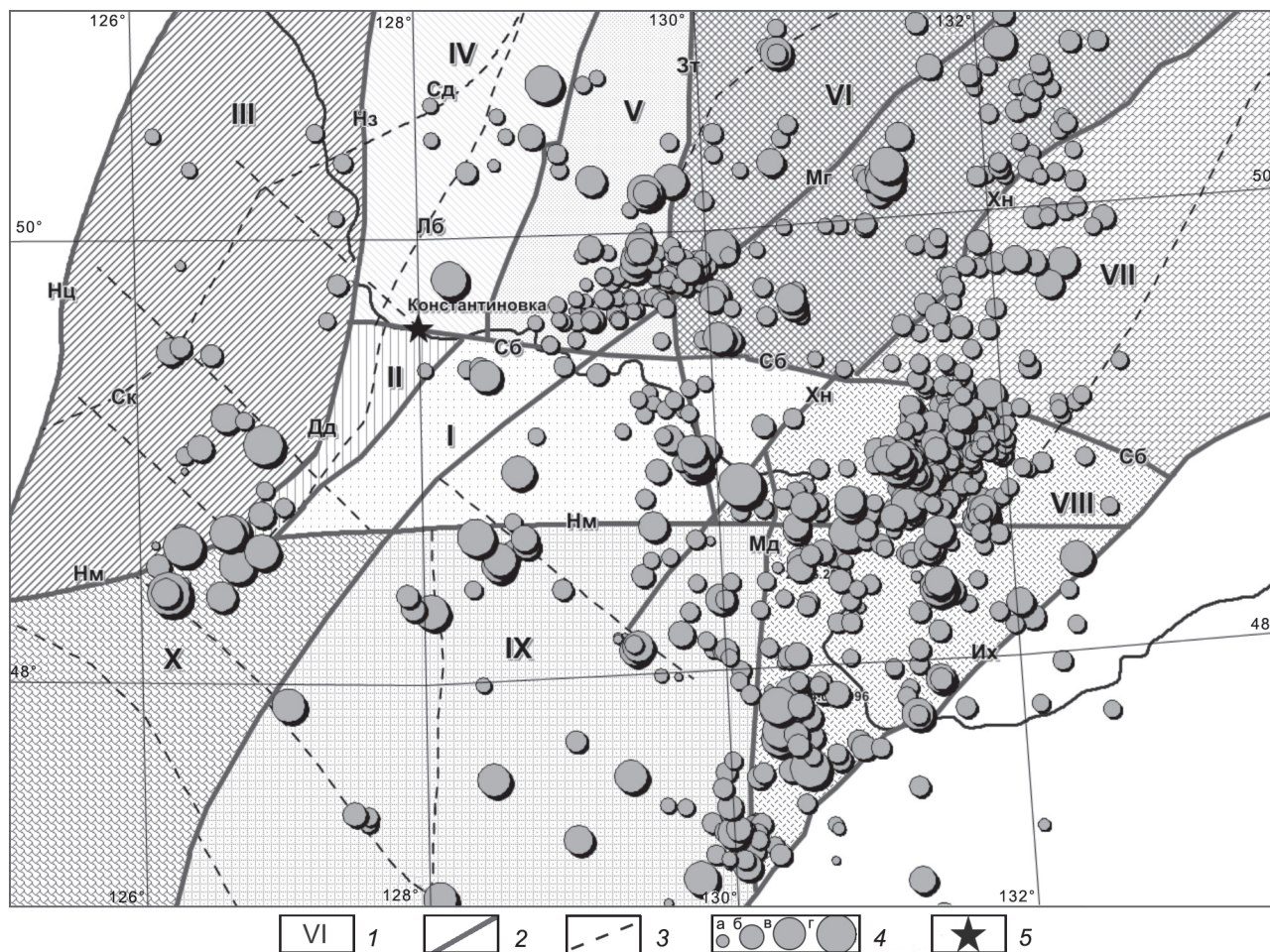


Рис. 1. Блоковое строение зоны сопряжения Амурской и Охотской литосферных плит.

1 – Блоки: I – Чжаньхэ, II – Сунью, III – Нэньцзянский, IV – Ивановский, V – Завитинский, VI – Туранский, VII – Тырминский, VIII – Кульдурский, IX – Цзямусинский, X – Циншанский; 2 – генеральные разрывные нарушения, ограничивающие блоки: Нм – Намуэрхэ, Зт – Западно-Туранский, Мг – Мельгинский, Мд – Муданьцзянский, Нц – Нэньцзянский, Хн – Хинганский, Их – Ишу-Харпийский, Сб – Сюньхэ-Бирский, Дд – Дэду-Даань, Нз – Нижнезейский; 3 – региональные разрывные нарушения: Лб – Лермонтовско-Белогорский, Сд – Селемджинский, Ск – Синкалийский; 4 – эпицентры землетрясений (с магнитудой: а – 1.5–2.5; б – 2.5–3.5; в – 3.5–4.5; г – 4.5–5.6; за период с 1974 по 2009 гг.); 5 – пункт гелиметрических наблюдений (скважина 2990). Названия разломов приведены в соответствии с [7]. Блоки IV и V входят в состав Зейско-Буреинского бассейна.

проявляются гидродинамическими, гидрохимическими аномалиями, потоками свободных, растворенных в воде и сорбированных в породах газов, а также очагами разгрузки минеральных вод.

Результаты гелиметрических и атмосферических исследований, проведенных в южной части Зейско-Буреинского артезианского бассейна, свидетельствуют о дискретном размещении зон повышенной проницаемости и чередовании активно “дышащих” зон и пассивных участков. Наиболее интенсивно дегазация проявлена в местах пересечения разломов северо-восточного и северо-западного направлений с широтными, к которым приурочены аномалии водорастворенного гелия и водорода. Повышенные кон-

центрации водорастворенного гелия от $1500 \cdot 10^{-5}$ до $30000 \cdot 10^{-5}$ мл/л при фоне $71.7 \cdot 10^{-5}$ мл/л выявлены в узлах пересечения разломов, ограничивающих Благовещенский, Гродековский и Полтавско-Ильиновский гидрогеологические массивы [22]. На этих участках установлены также высокие значения растворенного в воде водорода с концентрациями $800 \cdot 10^{-4}$ – $1100 \cdot 10^{-4}$ мл/л при фоне $10 \cdot 10^{-4}$ мл/л. В Благовещенском и Гродековском гидрогеологических массивах, частично перекрытых маломощным чехлом кайнозойских отложений, участки интенсивной дегазации фиксируются также аномалиями сорбированного в породах водорода, содержания которого достигают 380 – 628.3 см³/кг. В пределах пригранич-

Таблица. Строение и сейсмичность блоков.

№	Наименование	Геологическое строение	Площадь, кв. км	Характеристики сейсмических процессов		
				Годы активизации	Годы сейсмического затишья	Макс. магнитуда, годы
I	Чжаньхэ	Интрузивные породы преимущественно домезозойского возраста, позднемезозойские и четвертичные эффузивы, палеоген-неогеновые песчано-глинистые отложения	18870	1994, 2002, 2004, 2008	1974–1976, 1988–1991 2005–2007	M=4.7 2002, 2008
II	Сунью	Палеоген-неогеновые отложения с выходами интрузивных пород домезозойского возраста, раннемеловых эффузивов и гранитоидов	3613	1980, 1986, 2006	1974–1979, 1981–1985 1987–2005, 2007–н.в.	M=3.7 1986
III	Няньцзянский	Интрузивные породы домезозойского и мезозойского возраста, реже позднеюрские и меловые эффузивы	38440	1986, 2009	1974–1977, 1981–1984, 1987– 1991, 1993, 1996–1998, 2000, 2003–2007	M=5.3 1986
IV	Ивановский	Комплекс вулканогенно-осадочных и терригенных образований чехла Зейско-Буреинского бассейна мощностью до 4 км	14630	1974, 1994–1997, 2001–2003	1975–1993, 1998–2000, 2004– н.в.	M=5.2 2002, 2003
V	Завитинский	Терригенные и вулканогенные образования восточной окраины Зейско-Буреинского бассейна с мощностью отложений от 0.5 до 3.5 км	12830	1979–1982, 1990, 2001, 2004, 2006, 2008	1974–1975, 1977–1978, 1983– 1987, 1991–1993, 1995, 1998– 1999, 2002, 2005	M=4.9 2006, 2008
VI	Туранский	Домезозойские интрузивные образования с раннемеловыми эффузивами вдоль восточной окраины	33140	1978–1981, 1984, 1988, 1990, 1996, 1999–2006	1974–1976, 1983, 1989, 1993, 1994	M=5.1 2001, 2005 2006
VII	Тырминский	Палеозойские и докембрийские интрузивные образования, юрские и меловые терригенные породы и меловые эффузивы	31640	1990–1991, 1994, 1996, 2000, 2001, 2003, 2009	1974, 1975, 1979, 1980, 1992, 1993, 1998, 2006–2008	M=4.2 2009
VIII	Кульдурский	Центральную часть образуют палеозойские интрузии с ксенолитами позднеархейских, протерозойских и кембрийских стратифицированных пород с наложенными структурами кайнозойских отложений	29290	1981, 1982, 1987– 1991, 1993–2005, 2007, 2009	1974–1977	M=5.3 1993, 1997 2007
IX	Цзямусинский	Строение восточной части близкое к Кульдурскому. Западную половину занимают преимущественно кайнозойские отложения впадины Суньяля	52310	1998–2001, 2004, 2009	1974–1977, 1984–1985, 1987– 1988, 1993, 1995, 1997	M=5.0 1998, 2004
X	Циншанский	Терригенные кайнозойские образования северо-западной части впадины Суньяля	24470	1986	1974–1981, 1983–1985, 1987– 1998, 2000–2006, 2008	M=5.6 1986

ной с КНР территории, совпадающей с зоной Сюньхэ-Бирского сейсмогенного разлома близширотного простирания, на берегу р. Амур в с. Константиновка выявлена высококонтрастная гелиевая аномалия с концентрациями гелия до $75000 \cdot 10^{-5}$ мл/л, приуроченная к очагу разгрузки минеральных хлоридных натриевых вод с минерализацией 1.5–1.6 г/дм³. Наряду с гелием в газовом потоке, установлены в повышенных количествах водород, метан, тяжелые углеводороды.

Активная дегазация недр в зоне сопряжения Гродековского массива и Лермонтовского малого бассейна подтверждается результатами профильного газо-шламового опробования, проведенного вкрест простирания разрывных нарушений, в процессе которого были изучены геохимические особенности переходной зоны в системе “массив-бассейн”. Центральные ее части характеризуются высокими (до 150 мл/кг) концентрациями водорода, а краевые – максимальными значениями содержания углекислого газа (до 50 мл/кг). При общей ширине зоны 4–6 км водородное “ядро” составляет 3–3.5 км, а углекислая “оторочка” – 1–2 км. Весьма насыщены сорбированным водородом Благовещенский и Гродековский массив. В зоне сопряжения Михайловского и Архаринского малых бассейнов с Воскресеновским и Тюканским погребенными массивами в структурно-тектонических узлах, наряду с гелием и водородом, отмечаются высокие концентрации сорбированного в породах метана (более $3000 \cdot 10^{-4}$ см³/кг) и тяжелых углеводородов, что подтверждает процессы углеводородной дегазации недр в юго-восточной части Зейско-Буреинского бассейна [22].

Рассматривая в целом картину газового поля Зейско-Буреинского бассейна, следует отметить дифференцированный характер в распределении высоких концентраций газов и четкие закономерности в их приуроченности к разрывным нарушениям и узлам их пересечений, ограничивающих гидрогеологические массивы и малые артезианские бассейны. Эти данные подтверждают современную активность зон сопряжения вышеуказанных структур, их важность в формировании каналов для восходящей миграции глубинных флюидов.

Дегазация недр отражается на гидродинамическом режиме подземной гидросферы. Довольно интенсивно происходит перераспределение пластовых давлений, перетекание вод из нижних водоносных горизонтов в верхние, увеличивается дебит самоизливающихся скважин, насыщение пластовых вод газами, изменение их температурного и микроэлементного состава. Все это, с различной степенью интен-

сивности, обеспечивает разрядку глубинной энергии, возникающей при неотектонических процессах.

Динамика флюидов в зонах повышенной проницаемости и сейсмической активности

Исследования, проведенные в процессе изучения дегазации недр в различных регионах России, показали, что динамика флюидного потока меняется в пространстве, во времени, под влиянием тектонических, геодинамических нагрузок, активизации сейсмических процессов [20, 21]. Изучение указанной проблемы осуществлялось на Константиновском месторождении минеральных вод в скважине 2990 глубиной 204 м, вскрывающей трещинно-жильные напорные хлоридные натриевые воды, приуроченные к трещиноватым андезибазальтам. В качестве основного показателя глубинных процессов, отражающего флюидодинамику недр в сейсмогенных зонах, был выбран водорастворенный гелий.

Район с. Константиновка характеризуется сложным тектоническим строением. На основании комплексирования атмосферических, гелиометрических, гидрохимических и геофизических методов и данных буровых работ представилось возможным обосновать модель блокового строения месторождения [25]. Наиболее ярко выражена близширотная зона – Сюньхэ-Бирский глубинный разлом, с которым связано формирование современной долины р. Амур. С движениями вдоль указанного разрывного нарушения связаны вертикальные перемещения блоков. Резко контрастное положение по отношению к этому разлому занимает разрыв северо-западного направления, который разделяет район с. Константиновка на две группы блоков: юго-западную – более приподнятую и северо-восточную – опущенную. Этот разлом прослежен по резкому градиенту магнитного поля, имеет региональный характер и отчетливо выделяется по материалам гравиметрических исследований. На основании их разломы северо-западного направления отнесены к сбросо-сдвигам с горизонтальным типом движения. Существенно осложняют структуру месторождения разрывные нарушения северо-восточного направления, для которых характерны движения сбросового типа.

В целом тектонический каркас района Константиновского месторождения отражает общий рисунок разрывных нарушений, который присущ для Зейско-Буреинского бассейна. Однако неотектонические процессы в районе с. Константиновка обусловили сложную деформацию блоков, что подтверждается результатами GPS наблюдений [19]. Блоки здесь деформируются под воздействием как растяжения, так

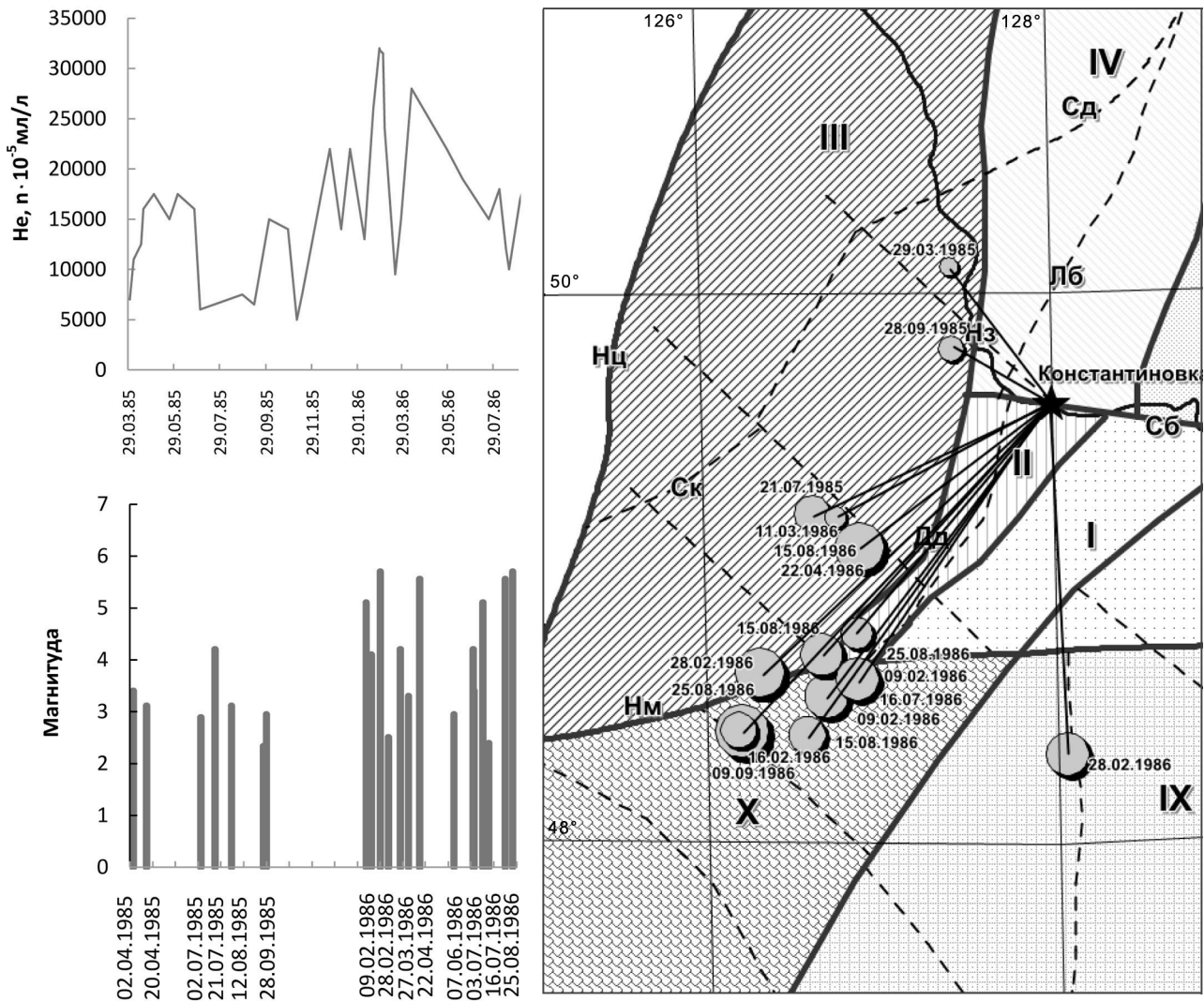


Рис. 2. Отражение сейсмической активности 1985–1986 гг. в концентрациях водорастворенного гелия (с. Константиновка, скв. 2990). Условные обозначения см. на рис. 1.

и сжатия, что приводит к сбросо-сдвиговым смещениям по субширотным разломам и сдвиго-сбросовым – по разрывам северо-восточного простирания. Потенциально проницаемыми зонами в условиях такого напряженного состояния являются субширотные и северо-восточные. По этим материалам, а также данным геолого-структурных и сейсмологических исследований, можно предположить, что зона динамического влияния конвергентной границы Амурской и Охотоморской плит распространяется далеко в глубь континента, захватывая территорию Зейско-Буреинского бассейна. Эта территория представляет собой яркий пример сейсмоактивной области со своей историей развития и индивидуальными особенностями проявления тектогенеза [2]. Она сформировалась в узле пересечения глубинных разломов с высокой степенью нарушения геосреды,

в которой происходят структурно-вещественные преобразования, разгрузка флюидов, представленная выходом минеральных вод.

Наблюдения за концентрацией водорастворенного гелия в скважине 2990 были начаты в августе 1984 г. и продолжаются с различной периодичностью по настоящее время, в 1984–1998 гг. с частотой 1 раз в 10 дней, с января 2001 г. по январь 2002 г. – ежедневно, с 2009 г. – через сутки, с дополнительным отбором проб на прослеживание изменений макро- и микроэлементного состава минеральных вод.

В процессе проведенных работ был установлен значительный диапазон изменения концентраций гелия от $1500 \cdot 10^{-5}$ до $74600 \cdot 10^{-5}$ мл/л, что позволило их дифференцировать (с некоторой долей условности) по значениям в мл/л: низкие ($1500\text{--}6500 \cdot 10^{-5}$), сред-

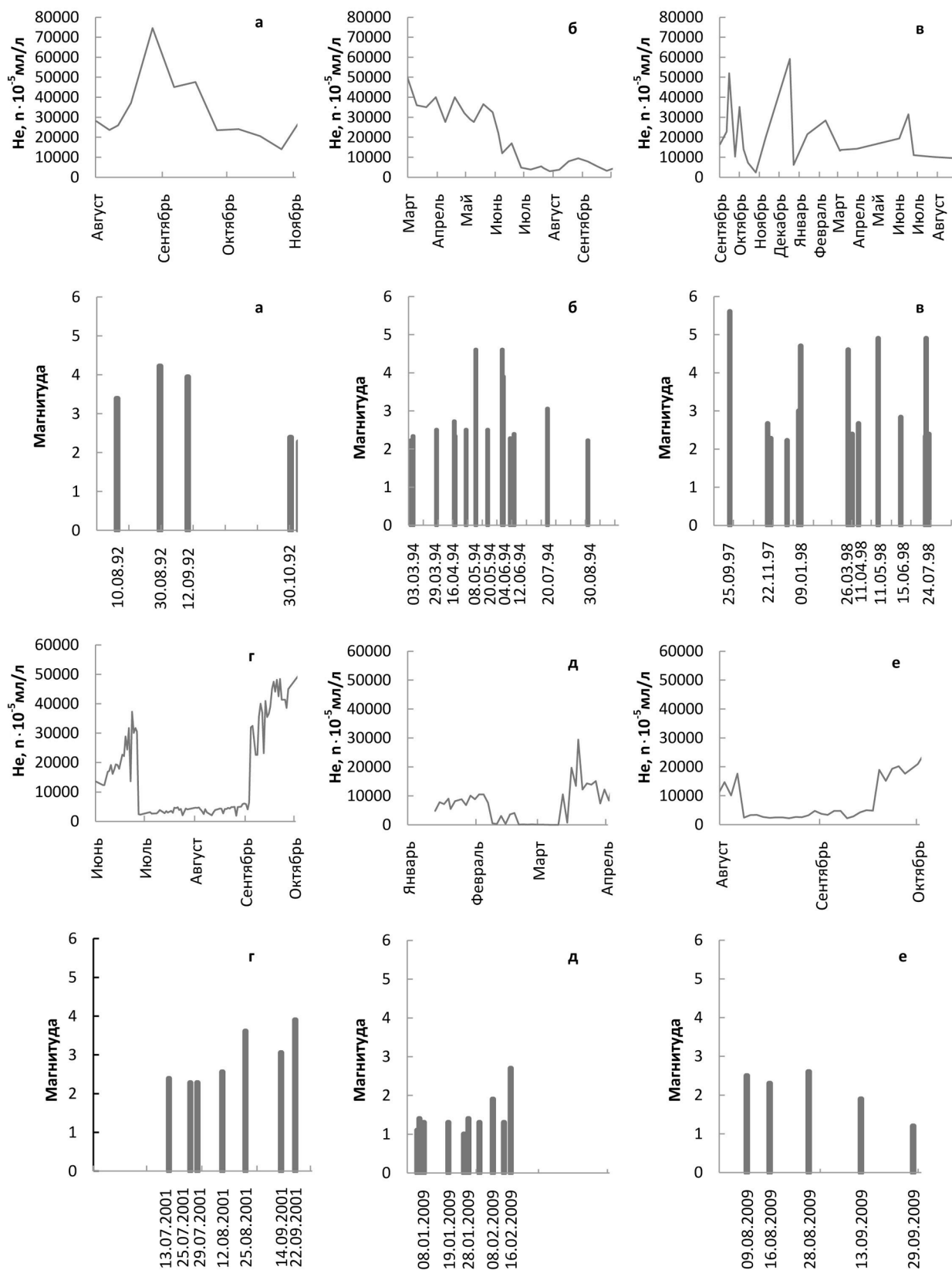


Рис. 3. Амплитуды колебаний концентраций водорастворенного гелия: в 1992 г. (а), в 1994 г. (б), в 1997–1998 гг. (в), в 2001 г. (г), в 2009 г. (д, е).

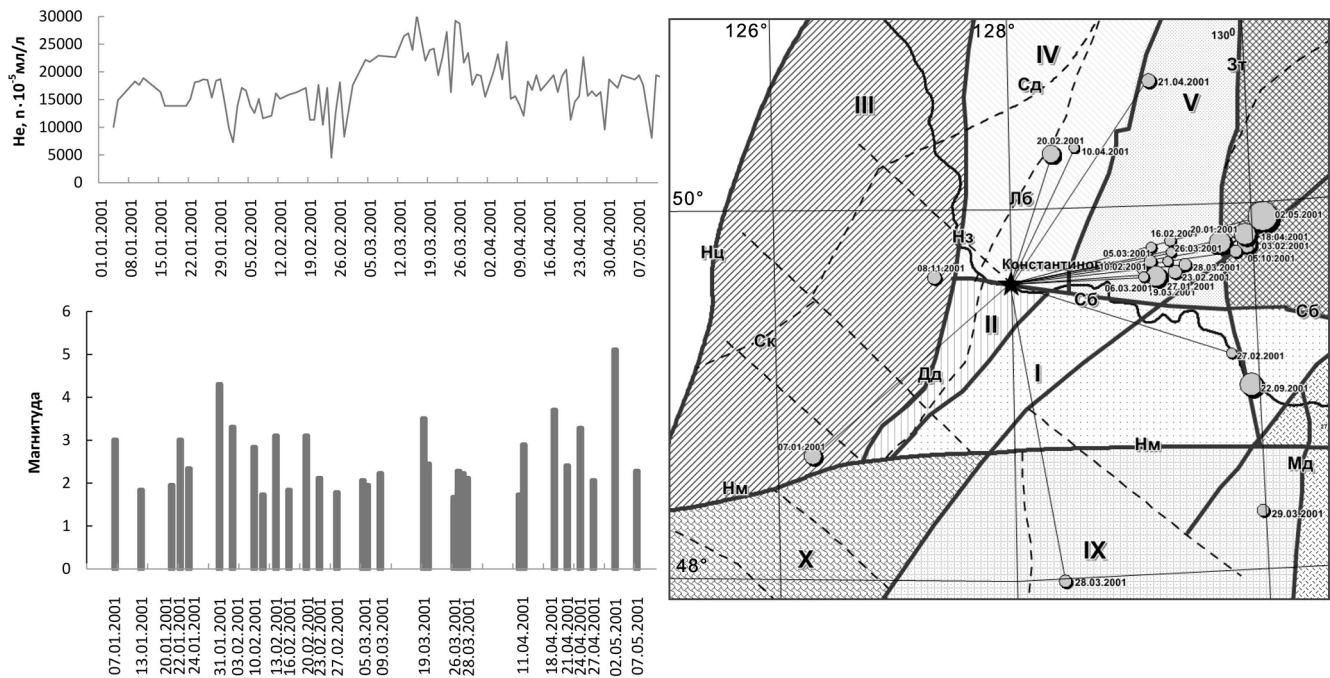


Рис. 4. Отражение сейсмической активности 2001 г. (январь–май) в концентрациях водорастворенного гелия (с. Константиновка, скв. 2990). Условные обозначения см. на рис. 1.

ние ($6500\text{--}20000 \cdot 10^{-5}$), высокие ($20000\text{--}30000 \cdot 10^{-5}$) и очень высокие ($30000\text{--}75000 \cdot 10^{-5}$). Учитывая, что сейсмичность является весьма существенным фактором, регулирующим дегазацию недр, гелиеметрические данные сопоставлялись со сведениями о землетрясениях, которые происходили на прилегающих блоках на расстоянии до 220 км от с. Константиновка и совпадали по времени с ведением гелиеметрических наблюдений.

В графическом изображении результатов отмечается преимущественно импульсный характер дегазации недр при некоторых особенностях, присущих отдельным периодам. Период 1985–86 гг. отражается взаимодействием Ивановского блока, Сунью, Нэньцзянского, которое осуществляется через системы разломов Дэду-Даань, Лермонтовско-Белогорский и Сюньхэ-Бирский, а также по границам блоков. В этот период активизация сейсмичности была установлена в центральной и южной части блока Нэньцзянь и в юго-восточной части блока Сунью, на границе с блоком Чжаньхэ, на расстоянии 154 км от с. Константиновка. Практически все изменения деформационных процессов нашли отражение в вариациях концентраций водорастворенного гелия (от 5000 до $32000 \cdot 10^{-5}$ мл/л) и четкую приуроченность резкоамплитудного их снижения в периоды, предшествующие землетрясениям (рис. 2).

В 1992 г. интересным представляется период с августа по ноябрь, который характеризуется активизацией сейсмических процессов в блоке Нэньцзянь вдоль Синкалийского разлома и на границах блоков Завитинского, Туранского и Чжаньхэ, вдоль Западно-Туранского, Намуэрхэ, Хинганского и Мельгинского разломов. Своеобразным поведением отличается и водорастворенный гелий (рис. 3). Если в августе его концентрация достигала $74600 \cdot 10^{-5}$ мл/л (самая высокая концентрация за весь период наблюдений), то при резкоступенчатой тенденции к снижению в ноябре его концентрация составила $12000 \cdot 10^{-5}$ мл/л. Расстояния от очагов землетрясений до наблюдательной точки в с. Константиновка изменялись от 123 до 136 км. Представляет интерес установленный факт снижения концентраций водорастворенного гелия от $50000 \cdot 10^{-5}$ мл/л в марте 1994 г. до $3800 \cdot 10^{-5}$ мл/л в сентябре 1994 г., которое совпадает с повышенной сейсмичностью вдоль Суньхэ-Бирского, Хинганского и Западно-Туранского разломов, также в узлах их пересечений. Удаленность очагов землетрясений от наблюдательной точки достигала 124 км, хотя магнитуда землетрясений была невысокой. Уникальная ситуация была характерна для зимнего периода 1997 г. Амплитуда снижения концентраций водорастворенного гелия за 15 дней в декабре составила

$55000 \cdot 10^{-5}$ мл/л (от $60000 \cdot 10^{-5}$ мл/л до $5000 \cdot 10^{-5}$ мл/л). Минимальным значениям концентраций осенне-зимнего 1997 г. и весенне-летнего 1998 г. периодов соответствуют очаги землетрясений с невысокими магнитудами в Завитинском, Туранском и Чжаньхэ блоках и с высокой магнитудой в зоне Тан-Лу. В указанные периоды весьма активны разломы северо-восточного направления и узлы их пересечения.

2001 г. по сейсмологическим данным был весьма активным. Очаги землетрясений затронули практически все блоки и межблоковые пространства, совпадающие с основными трансрегиональными разломами, хотя с различной степенью интенсивности. В первой половине 2001 г. при средней концентрации водорастворенного гелия до $20000 \cdot 10^{-5}$ мл/л очаги землетрясений с невысокой магнитудой массово проявились в юго-восточной части Завитинского блока и вдоль Западно-Туранского разлома. Единичные землетрясения были зафиксированы в Ивановском и Туранском блоках (рис. 3, 4).

Отличительной особенностью второй половины 2001 г. явилось резкое снижение концентраций водорастворенного гелия до минимальных значений в июле-августе, когда началась активизация сейсмичности в системе разломов Тан-Лу. Кроме этого, в этот период в водных пробах появились повышенные концентрации токсичных газов: диоксида азота (до 23.1 мг/м^3), аммиака (до 1.57 мг/м^3), диоксида серы (до 4.8 мг/м^3), что ухудшило состояние здоровья местного населения и создало чрезвычайную экологическую ситуацию.

С октября 2001 г. началось импульсное повышение концентраций водорастворенного гелия, и в декабре 2001 г. они достигли $64700 \cdot 10^{-5}$ мл/л (рис. 3, 5). Повышенные концентрации по времени соответствуют очагам землетрясений в узлах пересечения Сюньхэ-Бирского разлома близширотного направления с разломами северо-восточного простирания системы Тан-Лу. Последующие 2002–2008 гг. отличались меньшей сейсмической активностью, преимущественно фоновыми концентрациями водорастворенного гелия и отсутствием выходов токсичных газов.

В 2009 г. наблюдается активизация сейсмических процессов в блоках, расположенных южнее Сюньхэ-Бирского разлома: в Кульдурском, Нэньцзянском и в южной части Цзямусинского. Северные блоки – Ивановский, Завитинский, Туранский и Тынминский – сохраняют сейсмическое затишье. Очаги землетрясений в Нэньцзянском блоке отмечаются вдоль его восточной границы. Несмотря на удаленность очагов землетрясений до 220 км от наблюдательного пункта, в поведении водорастворенного гелия на фоне характерных импульсных колебаний и

подъемов концентраций до $35000 \cdot 10^{-5}$ мл/л в течение года было зафиксировано два периода резкого снижения концентрации водорастворенного гелия: первый – зимне-весенний с 08.02. по 10.03. (снижение концентрации с $4000 \cdot 10^{-5}$ мл/л до $500 \cdot 10^{-5}$ мл/л) – и второй – летне-осенний с 08.08. по 17.09. (снижение концентрации с $15000 \cdot 10^{-5}$ мл/л до $2000 \cdot 10^{-5}$ мл/л) (рис. 3, 6).

Химический состав минеральных вод за многолетний период наблюдений был также непостоянен во времени и весьма чувствителен к изменению геодинамической обстановки и сейсмической активности недр. Изменения концентраций установлены практически для всех анионов и катионов. Диапазон изменений составляет (в мг/дм^3): HCO_3^- – 43.9–73.2; Cl^- – 860–923; SO_4^{2-} – 37–89; Na^+ – 561–647; Ca^{2+} – 23–36; Mg^{2+} – 0–7.3; Fe – 0.2–0.5; NH_4^+ – 1.0–2.1; CO_2 – 2.1–66.5; минерализация – 1470–1701, водородный показатель – 6.5–8.2.

По результатам детального изучения микроэлементного состава минеральных вод в 2009 г. (отбор воды осуществлялся через сутки) наиболее существенные изменения концентраций (мкг/дм^3) были характерны для бора (398.07–630.72), золота (1.37–52.51), молибдена (38.11–84.83), селена (4.0–9.9), калия (300.0–620.0), магния (1500.0–4000.0), свинца (0.001–59.0), цинка (0.1–58.0), меди (0.01–59.0), алюминия (0.01–37.0). Установлены как прямые, так и обратные корреляционные связи микроэлементов с водорастворенным гелием. Прямые присущи алюминию, меди, цинку, обратные – бору, калию, магнию. Как видно, характер вариаций микроэлементов неоднозначен, что свидетельствует о сложных процессах, протекающих в системе “вода-порода-газ”. Гидрохимические эффекты рассматриваются авторами в основном как отклик на геодинамические процессы в зонах активных разломов. Для установления реакции микроэлементов на сейсмические события необходим комплексный анализ данных при более значительной продолжительности наблюдений.

Анализируя в целом динамику водорастворенного гелия, макро- и микроэлементов в минеральных водах Константиновского месторождения, следует отметить, что резкоамплитудные эффекты являются характерным следствием геодинамических процессов на восточной окраине Амурской литосферной плиты, в большинстве случаев интерпретируемых как изменения напряженно-деформированного состояния блоков и межблоковых границ. К аналогичному выводу пришли ранее исследователи, проводившие наблюдения за изменением концентраций водорастворенного гелия в южной Армении [1], рудона на Северо-Уральском руднике [3], уровня под-

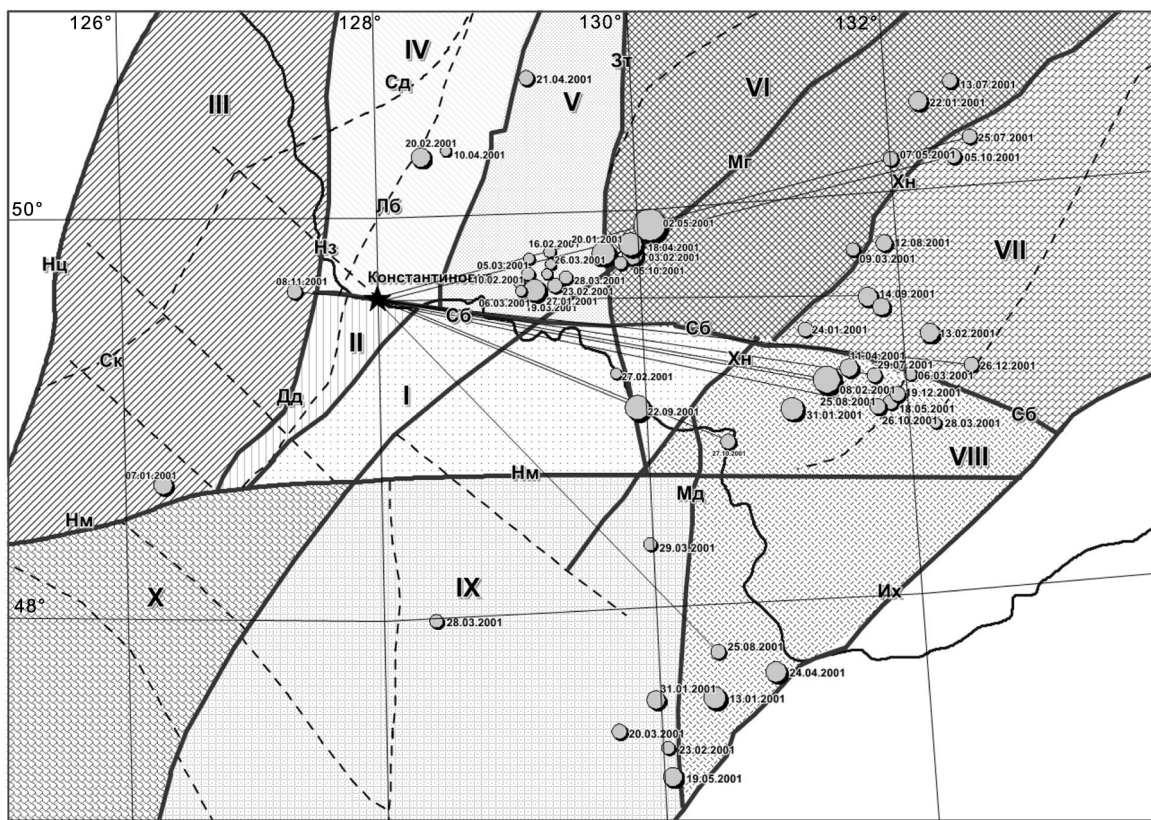
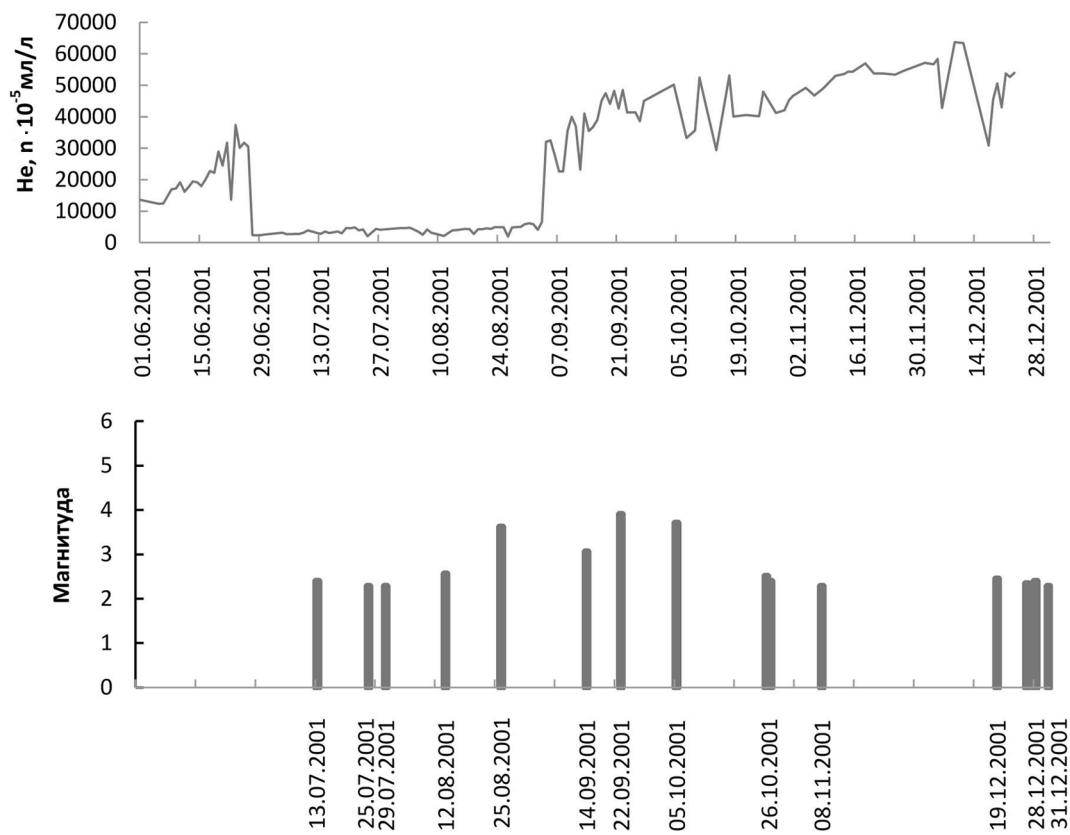


Рис. 5. Отражение сейсмической активности 2001 г. (июнь–декабрь) в концентрациях водорастворенного гелия (с. Константиновка, скв. 2990). Условные обозначения см. на рис. 1.

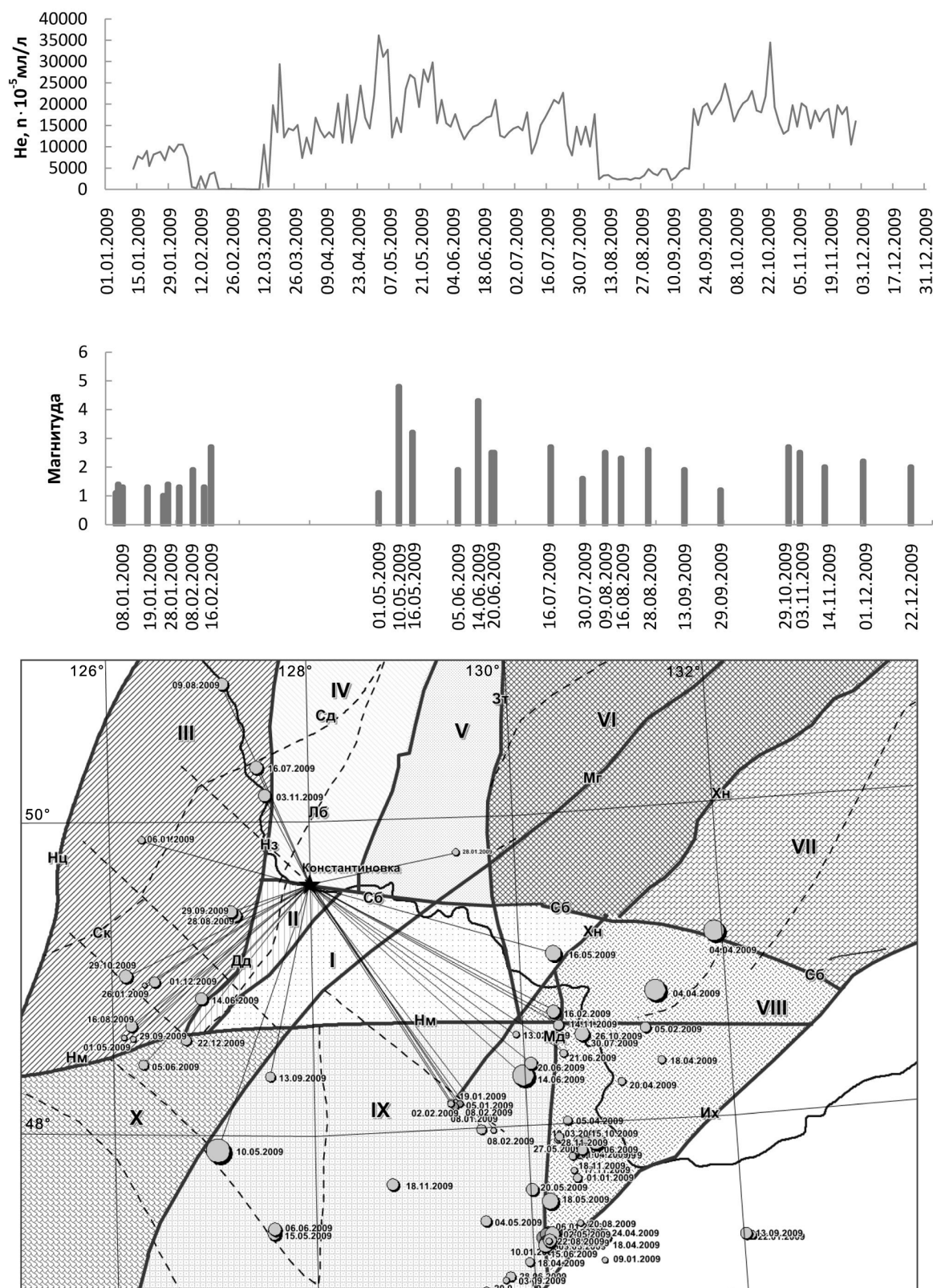


Рис. 6. Отражение сейсмической активности 2009г. в концентрациях водорастворенного гелия (с. Константиновка, скв. 2990). Условные обозначения см. на рис. 1.

земных вод в Туркменистане, Узбекистане, северо-восточном Китае [11–14], химического состава минеральных вод на Кавказе [20, 21]. Эти явления характерны для “чувствительных зон”, находящихся в особых структурно-тектонических условиях, в областях взаимодействия литосферных плит, на границах крупных блоков, где наблюдается высокая концентрация напряжений в земной коре и сильная реакция гидрохимических, гидродинамических и геофизических полей на возмущения, связанные с сейсмическими процессами.

Расположение Константиновского наблюдательного пункта в зоне взаимодействия Охотской и Амурской литосферных плит, ее блоковое строение, определяющееся широким развитием разрывных нарушений, и выявленные реакции водорастворенного гелия и микроэлементов на изменение напряженно-деформированного состояния среды позволяют считать, что Константиновский очаг разгрузки минеральных вод по своим показателям отражает функции “чувствительной зоны” и несет важную информацию о взаимодействии флюидов с геодинамическими процессами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Активность современных геодинамических процессов на рассматриваемой территории определяется ее расположением в зоне взаимодействия Амурской и Охотской литосферных плит и связана с движениями вдоль разрывных нарушений северо-северо-восточного и близширотного направлений, сформировавших блоковую структуру региона. На основе геодезических наблюдений с использованием GPS технологий на восточной окраине Амурской литосферной плиты установлено направление и скорости сдвиговых смещений блоков. Полученные данные свидетельствуют о том, что наиболее активно эти процессы протекают на границах блоков по разломам, проницаемость которых дифференцирована по площади и наиболее значительна в узлах пересечения разрывных нарушений.

На примере Зейско-Буреинского артезианского бассейна с использованием гелиеметрических и атмосферических методов выявлены активно “дышащие” зоны, фиксируемые разнопорядковыми аномалиями водорастворенных и сорбированных в породах газов, служащие каналами для дегазации недр, разгрузки флюидов и разрядки глубинной энергии, возникающей при активизации неотектонических и сейсмических процессов.

В процессе детального анализа сейсмологических данных за последние 20 лет были установлены годы сейсмической активизации и затишья, макси-

мальные магнитуды, прослежена миграция очагов землетрясений внутри блоков и вдоль их границ.

Результаты изучения дегазации недр в процессе многолетних режимных наблюдений на Константиновском месторождении минеральных вод показали изменение интенсивности газового потока во времени, что, в свою очередь, подтверждается значительным диапазоном изменений концентраций водорастворенного гелия. Реакция на изменение напряженно-деформированного состояния блоков проявлялась резкоамплитудным снижением концентраций водорастворенного гелия и изменением комплекса микроэлементов. Отдаленные эффекты фиксировались гелиеметрическими методами на расстоянии до 220 км от пункта режимных наблюдений (с. Константиновка).

Приведенные данные свидетельствуют о высокой чувствительности флюидов к изменению напряженно-деформированного состояния среды. Флюидные показатели служат индикаторами современных геодинамических процессов, которые происходят не только в приповерхностных слоях, но и на значительных глубинах. Изучение “чувствительных зон” позволяет глубже познать динамику блоковой среды и совершенствовать методы наблюдений и прогнозирования событий, связанных с активизацией неотектонических процессов.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (09-05-00703-а) и инициативного проекта ДВО РАН (09-111-А-08-436).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баласанян С.Ю. Высокочувствительные энергоактивные точки Земли (явление ВЭТ): ключ к дальнейшему пониманию физики землетрясений? // Геология и геофизика. 2005. Т. 46, № 1. С. 83–99.
2. Бормотов В.А., Коковкин А.А., Сорокина А.Т. Структура сейсмоактивной области на юге Амуро-Зейской впадины и геозеологические последствия ее активизации в 1998–2000 годах // Проблемы сейсмичности Дальнего Востока: Тез. докл. III научн. конф., 22–25 мая 2001 г., Хабаровск. Хабаровск: ИГиГ ДВО РАН, 2001. С. 6–12.
3. Булашевич Ю.П., Уткин В.И., Юрков А.К., Николаев В.В. Изменение концентрации радона в связи с горными ударами в глубоких шахтах // Докл. РАН. 1996. Т. 346, № 2. С. 245–248.
4. Вернадский В.И. История минералов земной коры. Л.: Госхимиздат, 1934. Т. 2. История природных вод.
5. Виноградов А.П. Газовый режим Земли // Химия земной коры. М.: Недра, 1964. Т. 2.
6. Войтов Г.И. К проблемам водородного дыхания Земли // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ: Материалы Междунар. конф. памяти академика П.Н. Кропоткина. М.: ГЕОС, 2002. С. 24–30.
7. Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. 1 : 2 500 000. Объяснительная зап. С.-Пб.: Благовещенск-Харбин, 1999. 135 с.

8. Гуфельд И.Л. Дегазация Земли и сейсмичность // Земля и вселенная. 2007. № 2. С. 25–32.
9. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. Тектоника литосферных плит на территории СССР. М.: Недра, 1990. Т. 1. 325 с. Т. 2. 334 с.
10. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. и др. Буферные сейсмогенные структуры между Евразийской и Амурской литосферными плитами на Юге Сибири // Тихоокеан. геология. 2003. Т. 22, № 6. С. 55–61.
11. Киссин И.Г. “Чувствительные зоны” земной коры и амплитуды аномалий – предвестников землетрясений // Докл. АН СССР. 1985. Т. 281, №2. С. 304–307.
12. Киссин И.Г. “Чувствительные зоны” земной коры как проявления динамики межблоковых взаимодействий // Докл. ДАН. 2006. Т. 407, №3. С.394–399.
13. Киссин И.Г. Новые данные о “чувствительных зонах” земной коры и формирование предвестников землетрясений и постсейсмических эффектов // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 5. С. 548–565.
14. Киссин И.Г. Флюиды в земной коре: геофизические и тектонические аспекты // М.: Наука, 2009. 328 с.
15. Корценштейн В.Н. Отбор глубинных проб пластовых вод и их дегазация // Отбор проб и анализ природных газов нефтегазоносных бассейнов. М.: Недра, 1985. С. 65–76.
16. Кропоткин П.Н. Динамика земной коры // Проблемы глобальной тектоники. М.: Наука, 1973. С. 78.
17. Кропоткин П.Н. Дегазация Земли и геотектоника // Дегазация Земли и геотектоника. М.: Наука, 1980. С. 7–13.
18. Летников Ф.А., Савельева В.Б. Флюидный режим тектонических зон // Дегазация Земли и геотектоника: Тез. докл. II Всесоюз. совещ. Москва, февраль 1985 г. М.: Наука, 1985. С. 22–23.
19. Мирошниченко А.И., Сорокин А.П., Саньков В.А. и др. Космическая геодезия в задачах геодинамики: современные движения в Зейско-Буреинском бассейне // Тихоокеан. геология. 2008. Т. 27, №1. С. 73–81.
20. Осика Д.Г. О динамике флюидов в сейсмически активных областях // Дегазация Земли и геотектоника. М.: Наука, 1980. С. 135–141.
21. Осика Д.Г. Флюидный режим сейсмически активных областей. М.: Наука, 1981. 204 с.
22. Сорокина А.Т. Гидрогеологические системы Верхнего Приамурья. Владивосток: Дальнаука, 2005. 167 с.
23. Сорокина А.Т., Сорокин А.П., Серов М.А. Отражение неотектонических процессов в подземной гидросфере Верхнего Приамурья // Тихоокеан. геология. 2008. Т. 27, №6. С. 43–56.
24. Сорокина А.Т. Флюидная концепция взаимосвязи неотектонических и гидрогеологических процессов // Подземные воды востока России: Материалы Всерос. совещ. по подземным водам Востока России (XIX Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока). Тюмень: Тюменский дом печати, 2009. С. 47–51.
25. Сорокина А.Т., Попов А.А., Серов М.А. Дегазация недр в очагах разгрузки минеральных вод Константиновского месторождения // Проблемы сейсмичности современной геодинамики Дальнего Востока и Восточной Сибири: Докл. науч. симпоз., 1–4 июня 2010 г., Хабаровск. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2010. С. 230–233.
26. Якуцени В.П. Динамика современной дегазации Земли по данным гелиево-изотопного критерия // Дегазация Земли и геотектоника. М.: Наука, 1980. С. 49–54.
27. Яницкий И.Н. Гелиевая съемка. М.: Недра, 1979. 96 с.
28. Яницкий И.Н., Флюидный режим Земли в свете высокочастотной геодинамики // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ. Материалы Междунар. конф. памяти академика П.Н. Кропоткина. М.: ГЕОС, 2002. С. 281–283.

Рекомендована к печати А.И. Ханчуком

A.T. Sorokina, A.P. Sorokin, M.A. Serov, A.A. Popov

Fault-block structures of the eastern margin of the Amur lithosphere plate, their seismicity and fluid regime

The results of the many years' studies of neotectonic processes and the related events such as degassing of the Earth's interior, fluid discharge, and high seismicity within the boundary territory of the Upper and Middle Amur in the zone of interaction of the Amur and the Okhotsk lithosphere plate are summarized. Blocks are distinguished and their geodynamic features, their relations with seismic events are considered, and also the period of their activity and tranquility are established. Based on heliometric and atmochemical investigations within the Zeya-Bureya basin, the zones of higher permeability are recognized. The results of the many years' observations of fluid dynamics at the Konstantinovka mineral water deposit are offered, and the relation of water-dissolved helium variations and the change of the deformed state of the blocks that are at a distance of ≤ 220 km from the station of regime observations are stated.

Key words: neotectonics, seismicity, degassing, helium, fluid regime, Amur lithosphere plate, Zeya-Bureya basin, fault-block structures.