



Оригинальная статья / Original article

УДК 556.3.02:551.243

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2686-9993-2021-44-2-116-124>

Особенности проведения опытно-фильтрационных исследований в районах развития пластов с двойной пористостью

© Л.И. Аузина^а, Ю.К. Ланкин^б^аИркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия^бИркутский территориальный центр государственного мониторинга геологической среды АО «Иркутскгеофизика», г. Иркутск, Россия

Резюме: Цель исследования заключалась в оптимизации геолого-разведочных работ на месторождениях подземных вод, сформировавшихся в условиях разломно-блокового строения верхней гидродинамической зоны на территории Восточной Сибири. Авторами проанализированы структурно-тектонические особенности изучаемых участков, результаты площадной геофизики, разведочного бурения, опытно-фильтрационных работ с использованием авторской методики. Объекты исследования – это месторождения подземных вод, расположенные в различных тектонических структурах Восточной Сибири. В итоге на основе анализа результатов полевых исследований, проведенных на месторождениях подземных вод, расположенных в различных тектонических структурах Восточной Сибири, обосновано наличие двойной пористости в водовмещающих отложениях зоны свободного водообмена региона, что обусловлено напряжениями, возникающими при формировании внутриконтинентального Байкальского рифта. На основании особенностей структурно-тектонических и гидрогеологических условий предложена оптимизация геолого-разведочных работ, методики проведения и обработки опытно-фильтрационных исследований на территориях развития разломно-блоковых структур.

Ключевые слова: подземные воды, Восточная Сибирь, опытно-фильтрационные исследования, двойная пористость, разломно-блоковая структура

Для цитирования: Аузина Л.И., Ланкин Ю.К. Особенности проведения опытно-фильтрационных исследований в районах развития пластов с двойной пористостью. *Науки о Земле и недропользование*. 2021. Т. 44. № 2. С. 116–124. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2021-44-2-116-124>

Features of ground inflow testing in the areas of double porosity aquifer development

© Larisa I. Auzina^a, Yuri K. Lankin^b^aIrkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia^bIrkutsk Territorial Center of State Monitoring of Geological Environment, Irkutskgeofizika JSC, Irkutsk, Russia

Abstract: The purpose of the study is optimization of geological exploration at the groundwater deposits of the upper hydrodynamic zone formed in the fault-block structure conditions in Eastern Siberia. The authors analyze the structural and tectonic features of the areas under investigation, the results of areal geophysics studies, exploration drilling and the use of the author's methodology in carrying out of the ground inflow testing. The objects of research are groundwater deposits located in various tectonic structures of Eastern Siberia. The analysis of field study results involving researches of groundwater deposits located in various tectonic structures of Eastern Siberia made it possible to identify the double porosity in the aquifers of free water exchange in the region, which is due to the stresses arising during the inland Baikal rift system formation. As a result, the optimization of geological exploration work, methodology and processing methods of ground inflow testing in the areas of fault-block structures development were introduced on the basis of the features of structural-tectonic and hydrogeological conditions.

Keywords: ground water, Eastern Siberia, ground inflow testing, double porosity, fault-block structure

For citation: Auzina LI, Lankin YK. Features of ground inflow testing in the areas of double porosity aquifer development. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2021;44(2):116–124. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2021-44-2-116-124>

Введение

Цель данного исследования заключалась в оптимизации геолого-разведочных работ на

месторождениях подземных вод, сформировавшихся в условиях разломно-блокового строения верхней гидродинамической зоны



на территории Восточной Сибири. Объектами исследования послужили месторождения подземных вод (МПВ), расположенные в различных тектонических структурах Восточной Сибири. В качестве примеров авторами были выбраны и рассмотрены Зазинское, Тымпучиканское, Тамаракское МПВ. Основные структуры, к которым приурочены месторождения, и связанные с ними особенности формирования коллекторов подземных вод (ПВ) объединены едиными напряжениями, возникающими при формировании внутриконтинентального Байкальского рифта и сочетающимися региональные растяжения северо-западного и юго-восточного направлений по усредненному азимуту $310\text{--}330^\circ$ с субширотной левосдвиговой компонентой [1–7]. Значительная неоднородность тектонического строения земной коры региона обусловлена наличием в ней разнообразных структур в виде продуктов магматической деятельности в совокупности с разломными и складчатыми дислокациями преимущественно северо-западного, субмеридионального и северо-восточного простираний [8–11]. Возрастной спектр заложения этих структурных и магматических комплексов весьма широк – от раннего протерозоя до кайнозоя, при этом последний включает в себя период рифтогенной тектономагматической активизации [12]. Разнообразие и масштабное развитие разломной тектоники создало предпосылки для формирования двух типов коллекторов: межблоковых (тектоническая трещиноватость) и внутриблоковых (тип коллектора зависит от исходной геологической структуры).

Материалы и методы исследования

Зазинское МПВ находится в Зазинской межгорной впадине Байкало-Витимской складчатой области [4], представляющей собой глубокий грабен в кристаллическом фундаменте и сложенной верхнемезозойскими терригенно-осадочными отложениями. Впадина сформировалась в несколько этапов, включающих образование Зазинского прогиба в результате внутриконтинентального процесса рифтообразования и дальнейшего ее заполнения осадочно-вулканогенными по-

родами с последующим формированием основных структурно-тектонических особенностей района в ходе тектонических подвижек с сопутствующим осадконакоплением в раннемеловое время. Морфологически впадина представляет собой линейно вытянутую депрессию, обрамленную невысокими горными хребтами Зусы и Витимского плоскогорья (рис. 1). Выделение разломно-блоковой структуры на участке базировалось на результатах интерпретации площадных геофизических исследований: аэромагниторазведки, давшей возможность выявить основные разломы северо-восточного и северо-западного простираний, а также импульсной электроразведки (электромагнитного зондирования и вызванной поляризации), позволившей выделить более мелкие дизъюнктивные структуры второго и третьего порядков (см. рис. 1).

Зоны тектонической трещиноватости подтверждены результатами бурения поисковых скважин в 1982 и в 2020 гг. Повышенная водообильность отложений нижнего мела соответствует зонам тектонических разрывов.

Тымпучиканское МПВ (Западная Якутия) приурочено к зоне развития двух крупных разновозрастных платформенных структур первого порядка [13]: Тунгусской синеклизы и Ангара-Вилуйского юрского наложенного прогиба. Структура района состоит из сложнодислоцированного метаморфизованного дорифейского фундамента, слагающего цоколь платформы, и в различной степени дислоцированного осадочного чехла. Участок находится в пределах Непского свода, представляющего собой сложно построенную положительную структуру общего северо-восточного простирания. Более детальное структурно-тектоническое строение верхней гидродинамической зоны района Тымпучиканского МПВ выполнено по результатам электроразведочных работ. На территории преобладают разрывные нарушения северо-западного, северо-восточного и субмеридионального направлений (рис. 2), в результате развития которых четко просматривается разломно-блоковая структура площади исследований, что подтверждается и результатами проведенных опытно-фильтрационных



исследований [14–17]. Все разломы имеют крутопадающий, практически вертикальный характер. Отличительной чертой северо-восточного дизъюнктива является его прямолинейность и выдержанность по простира-

нию. Результаты неотектонических движений подчеркиваются особенностями современного рельефа, представляющего собой сочетание денудационных возвышенностей и аккумулятивных низменностей.

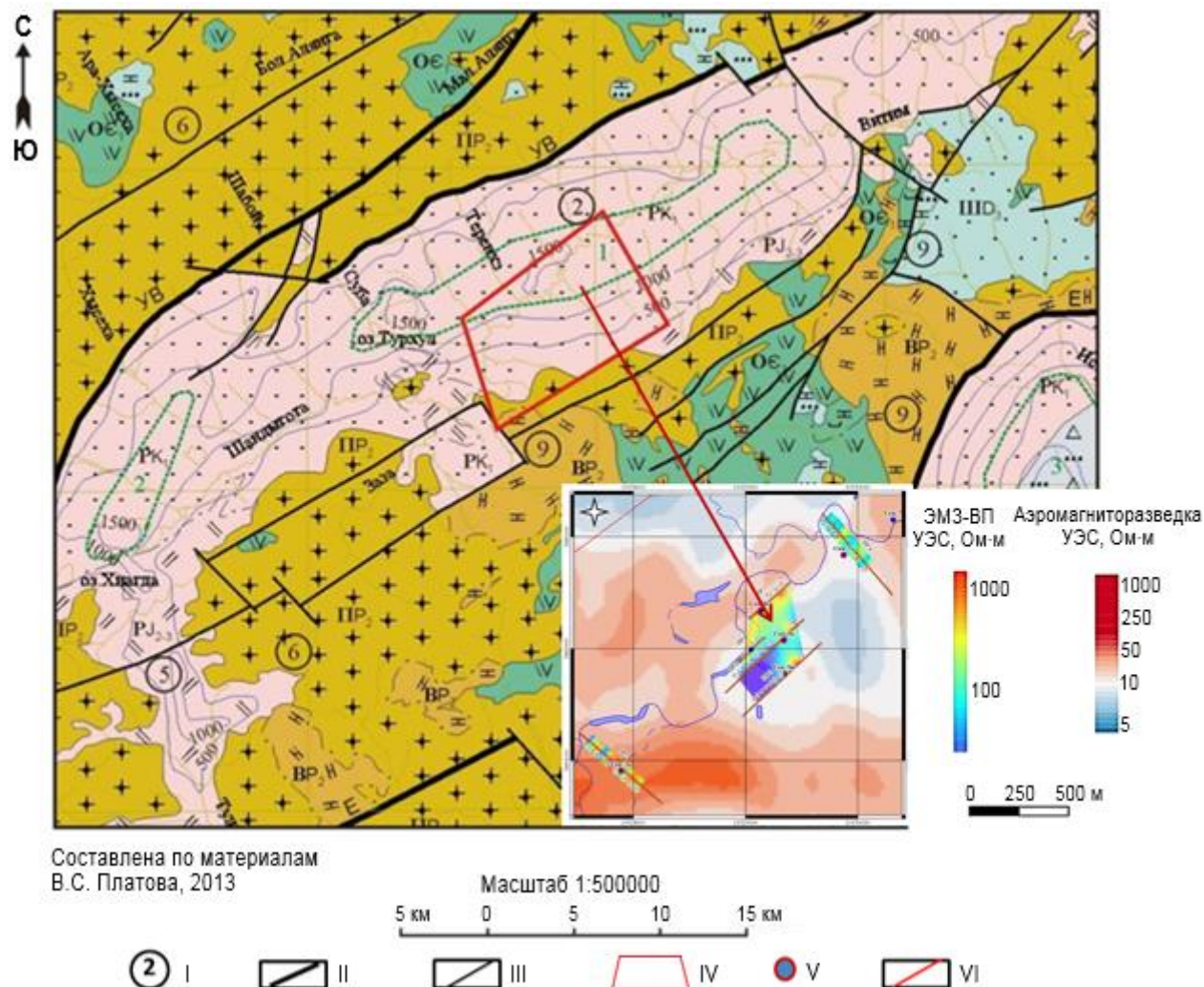


Рис. 1. Структурно-тектоническая карта (Л.И. Аузина, 2020) с результатами интерпретации аэромагнитораствора и электромагнитного зондирования на территории Зазинского участка (Ю.А. Давыденко, 2020), отражающими разломно-блоковую структуру исследуемого района:

I – мезозойские рифтогенные впадины, выполненные осадочными образованиями (2 – Зазинская, 5 – Индола-Тулдунский прогиб, 6 – Ангара-Витимский батолит, 9 – Еравнинский провес кровли батолита); II–III – разрывные нарушения: II – главные разломы (УВ – Удино-Витимский, Е – Еравнинский), III – прочие разломы неустановленной кинематики; IV – участок Зазинского месторождения подземных вод; V – разведочные скважины; VI – линии геофизических профилей
ЭМЗ-ВП – метод электромагнитного зондирования и вызванной поляризации,
УЭС – удельное электрическое сопротивление

Fig. 1. Structural-tectonic map (L.I. Auzina, 2020) with the interpretation results of aeromagnetic survey and electromagnetic sounding (Yu.A. Davydenko, 2020) reflecting the block-fault structure of the Zazinsky site:

I – Mesozoic riftogenic depressions composed of sedimentary formations: (2 – Zazinskaya, 5 – Indola-Tuldunsky depression; 6 – Angara-Vitim batholith, 9 – Eravninsky pendant of the batholith roof); II–III – faulting: II – main faults (УВ – Udino-Vitimsky, Е – Eravninsky), III – other faults of unspecified kinematics; IV – Zazinsky groundwater deposit site; V – exploration wells; VI – lines of geophysical profiles
ЭМЗ-ВП – method of electromagnetic sounding and induced polarization,
УЭС – electrical resistivity

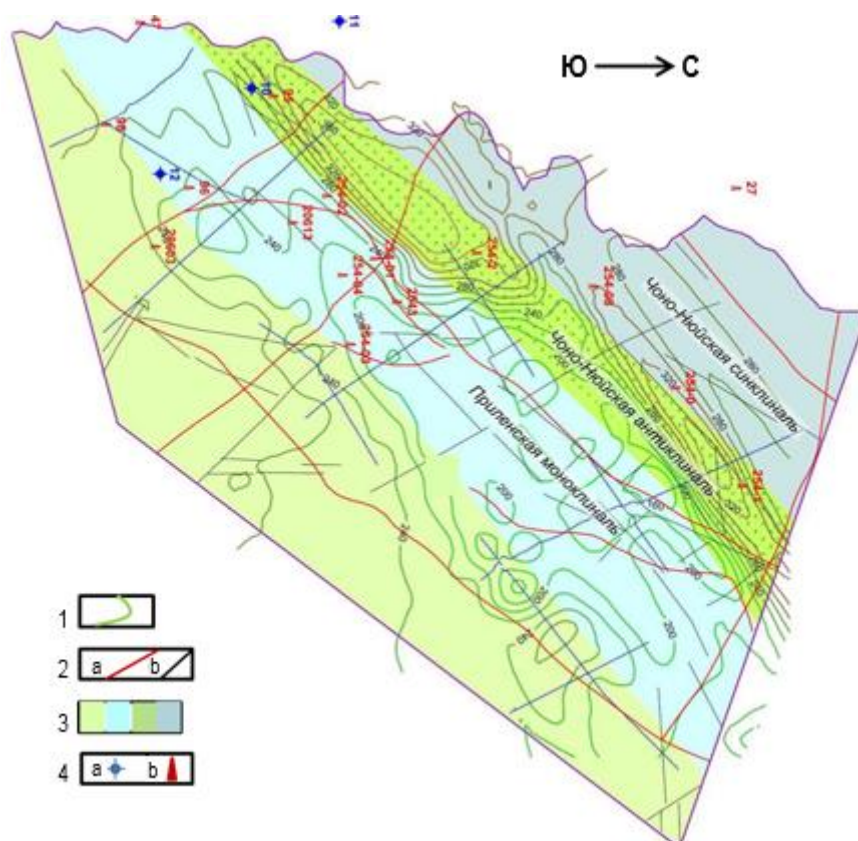


Рис. 2. Схема структурно-тектонического районирования Тымпучиканского участка на основе данных зондирования становлением поля в ближней зоне (Ю.А. Агафонов, 2013):

- 1 – изолинии глубины залегания кровли проводящего горизонта в верхоленской свите;
2 – разломы, выделенные по данным: а – сейсморазведки, б – геологическим;
3 – структурно-тектонические зоны; 4 – скважины: а – гидрогеологические, б – глубокого бурения

Fig. 2. Diagram of the structural and tectonic zoning of the Tympuchikan site based on the near-field transient electromagnetic sounding data (Yu.A. Agafonov, 2013):

- 1 – isolines of the occurrence depth of the conducting horizon top in Verkholenskaya series;
2 – faults identified according to: а – seismic data, б – geological data;
3 – structural tectonic zones; 4 – wells: а – hydrogeological wells, б – deep-hole wells

Еще одним примером пласта с двойной пористостью является комплекс протерозойских пород, в пределах которых проводились поисковые работы для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения населения г. Бодайбо. Тамаракское МПВ расположено в Байкало-Патомском эпиплатформенном раннепалеозойском поднятии [13], сложенном рифейскими перикратонными комплексами. В плиоцене на фоне общего сводового воздымания господствующее значение приобрели вертикальные дифференцированные перемещения блоков по разломам. В позднелеттоценовое – голоценовое время продолжилось общее поднятие и дифференциация ранее созданных структур, активизация

разломов северо-западного простирания, что привело к формированию сложной блоково-мозаичной структуры¹, подчеркивающей рисунком гидросети региона. Здесь на одном из поисковых участков вблизи р. Витим наземными геофизическими исследованиями была установлена система зон дробления разломов, сформированных вдоль и вкост простирания долины реки, что обусловило блоковое строение территории.

Результаты исследования и их анализ

Описанные объекты объединены наличием разломно-блоковой структуры, связанной с тектоническим развитием территории, что

¹ Окорков В.Г., Четвертаков И.В., Филиппов А.Г., Булдыгеров В.В., Коробейников Н.К. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Муйская серия. Лист О-50-XXXII. Объяснительная записка. М.: Изд-во МФ ВСЕГЕИ, 2013. 201 с.



предопределяет особенности формирования структуры фильтрационного потока. При этом в зависимости от кинематики разломы могут являться путями вертикальной фильтрации или же представлять собой слабо-проницаемые экраны при горизонтальном движении потоков ПВ [18–20]. Для оценки гидродинамической роли разломов и получения более адекватной информации о фильтрационных параметрах водовмещающих пород на исследуемых объектах при проведении опытно-фильтрационных исследований была применена нестандартная методика. В гидрогеологических скважинах проводилась серия экспресс-откачек для расколюматации зон тектонической трещиноватости, то есть «раскачки» водоносного подразделения и привлечения дополнительного питания из зон разломов. Опыты осуществлялись при максимальной мощности водоподъемного оборудования длительностью от 0,5 до 5 ч с последующим восстановлением уровня ПВ. Некоторые результаты экспресс-опытов приведены в таблице.

Из представленной таблицы видно, что скважины 9ю и 9а пробурены в межблоковых зонах (зонах разломов), поскольку с каждой прокачкой удельный дебит возрастал, а скважина 7 находится во внутриблоковом пространстве: удельный дебит, несмотря на проведенные экспресс-опыты, остался на прежнем уровне.

Вследствие незначительной ширины оперяющих разломов второго и третьего таксономических уровней на первых этапах проведения опытно-фильтрационных исследований происходит существенное понижение уровня ПВ, при этом квазистационарный режим не устанавливается или формируется в течение длительного времени (более 3–5 суток), что предопределяет предпочтительное использование результатов восстановления уровня ПВ для оценки фильтрационных параметров (рис. 3), поскольку графики восстановления наглядно отражают наличие двойной пористости в водовмещающих отложениях и позволяют оценить водопроводимость как разломных зон, так и пород, слагающих

Результаты опытно-фильтрационных работ в поисково-разведочных скважинах

(Зазинское месторождение подземных вод)

Results of ground inflow testing in prospecting wells (Zazinskoye groundwater deposit)

Номер скважины	Номер прокачки	Продолжительность, мин.	Дебит Q , л/с	Понижение S , м	Удельный дебит $q = Q / S$, л/с·м
9а	1	100	1	30	0,03
	2	100	1,5	62	0,024
	3	100	2	11,6	0,17
	4	300	2	11,6	0,17
	5	180	2,2	9,45	0,23
	6	10	3	13	0,23
	7	10	3	13	0,23
	8	10	7	13	0,54
9с1	1	30	9,4	24,09	0,39
	2	30	9,76	23,41	0,41
	3	30	10,1	23,16	0,43
	4	30	10,25	22,87	0,45
9ю	1	100	10,96	19,6	0,1
	2	100	11,3	21,4	0,13
	3	100	10,67	19,32	0,55
	4	150	10,18	19,21	0,53
7а	1	30	2,67	25,25	0,11
	2	30	3,5	30,86	0,11
	3	30	3,6	32,34	0,11
3а	1	30	2,72	26,43	0,10
	2	30	2,72	26,02	0,10
	3	30	2,71	25,99	0,10
	4	180	2,73	26,26	0,10

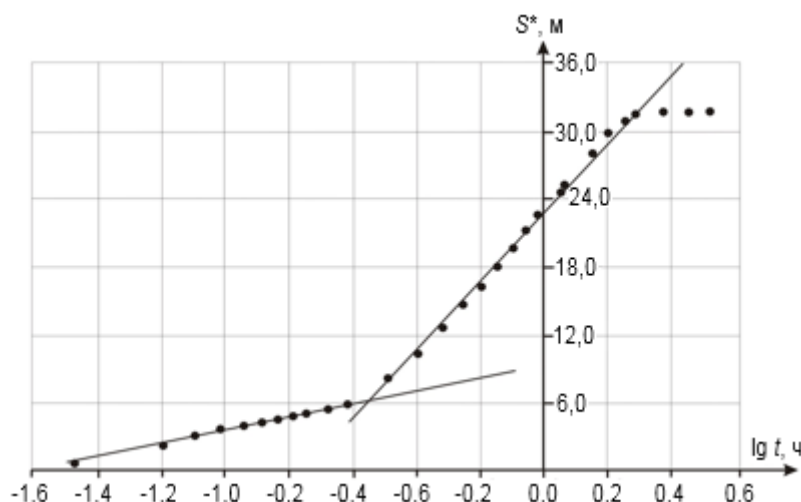


Рис. 3. График восстановления уровня воды в гидрогеологической скважине
 Тамаракского месторождения подземных вод

Fig. 3. Graph of water level recovery in the Tamarakskoye groundwater deposit hydrogeological well

внутриблоковые структуры. Один из графиков представлен на рис. 3. По нему можно сделать вывод, что откачка выполнялась в условиях пласта с двойной пористостью. Пологая часть графика характеризует фильтрационные показатели зоны дробления, а крутая – окружающих, менее водообильных пород внутриблокового пространства. Аналогичная закономерность проявлялась практически по всем поисковым скважинам.

Заключение

Полученные результаты позволяют оптимизировать геолого-разведочные работы, а также методику проведения и обработки опытно-фильтрационных исследований на территориях развития разломно-блоковых структур и формирования пластов с двойной

пористостью, приведя их к следующему алгоритму:

1. Проведение площадной геофизики для выделения зон дробления (хорошие результаты получены при использовании метода зондирования становлением поля в ближней зоне и метода электромагнитного зондирования).

2. Бурение гидрогеологических скважин в пределах выделенных зон и проведение в них серии кратковременных экспресс-опытов с максимальной производительностью водоподъемного оборудования с целью раскольматации зон трещиноватости.

3. Проведение опытных откачек с последующей их обработкой по восстановлению уровня ПВ или методом Хорнера с использованием сложного времени.

Список литературы

1. Гончаров М.А., Фролова Н.С. Конвективная эволюция перехода от пассивного рифтогенеза к активному // Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы: материалы II Всерос. симпозиума с междунар. уч. и молодежн. науч. шк., посвящ. памяти акад. Н.А. Логачева и Е.Е. Милановского. Т. 1. Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2013. С. 86–89.
2. Лобацкая Р.М., Кофф Г.Л. Разломы литосферы и чрезвычайные ситуации. М.: Рос. экол. федер. информ. агентство, 1997. 196 с.
3. Лобацкая Р.М. Разломно-блоковая структура Байкало-Енисейского разлома в районе эксплуатации объектов ядерной энергетики // Геодинамика и тектонофизика. 2014. Т. 5. № 2. С. 547–562. <https://doi.org/10.5800/GT-2014-5-2-0140>
4. Логачев Н.А. История и геодинамика Байкальского рифта // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 5. С. 391–406.
5. Саньков В.А., Лухнев А.В., Мирошниченко А.И., Леви К.Г., Ашурков С.В., Башкуев Ю.Б. [и др.]. Современные движения земной коры Монголо-Сибирского региона по данным GPS-геодезии // Доклады Академии наук. 2003. Т. 392. № 8. С. 792–795.
6. Litasov K.D., Taniguchi H. Mantle evolution beneath Baikal rift. Vol. 5. Sendai: Center for Northeast Asian Studies, Tohoku University, 2002. 221 p.
7. Zorin Yu.A., Turutanov E.Kh., Mordvinova V.V., Kozhevnikov V.M., Yanovskaya T.B., Treusov A.V. The Baikal rift zone: the effect of mantle plumes on older structure // Tectonophysics. 2003. Vol. 371. Iss. 1–4. P. 153–173. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00214-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00214-2)



8. Гилева Н.А., Мельникова В.И. Особенности развития крупных сейсмических активизаций в Северном Прибайкалье в 1997–2012 годах // Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы: материалы II Всерос. симпозиума с междунар. уч. и молодежн. науч. шк., посвящ. памяти акад. Н.А. Логачева и Е.Е. Милановского. Т. 1. Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2013. С. 74–79.
9. Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Области динамического влияния разломов: результаты моделирования. Новосибирск: Наука, 1983. 112 с.
10. Anderson E.M. The dynamics of faulting. London: Oliver and Boyd, 1951. 206 p.
11. Стоянов С.С. Механизм формирования разрывных зон. М.: Недра, 1977. 144 с.
12. Замаев С.М., Васильев Е.П., Мазукабзов А.М., Ружич В.В., Рязанов Г.В. Соотношение древней и кайнозойской структур в Байкальской рифтовой зоне. Новосибирск: Наука, 1979. 125 с.
13. Малич Н.С., Масайтис В.Л., Сурков В.С. Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 4. Сибирская платформа. Л.: Наука, 1987. 448 с.
14. Auzina L.I., Parshin A.V. System-integrated GIS-based approach to estimating hydrogeological conditions of oil-and-gas fields in Eastern Siberia // IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. 2016. Vol. 33. Iss. 1. P. 12060–12065. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/33/1/012060>
15. Аузина Л.И., Паршин А.В., Шульга В.В. Методика оптимизации геологоразведочных исследований

для целей водоснабжения объектов НГК на месторождениях Чонской группы, Восточная Сибирь // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: материалы II Всерос. конф. с междунар. уч. Владивосток: Дальнаука, 2015. С. 444–448.

16. Аузина Л.И. Один из подходов к оптимизации поисково-оценочных работ на воду на месторождениях нефтегазового комплекса Восточной Сибири // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2014. № 6. С. 82–88.

17. Parshin A.V., Auzina L.I. Geoinformation technology for prospecting of groundwater for water supply of oil and gas facilities in Eastern Siberia // 7th EAGE Saint Petersburg International Conference and Exhibition. 2016. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201600273>

18. Крапивнер Р.Б., Плугина Т.А., Язвин А.Л. Роль разломов в формировании фильтрационных неоднородностей верхнего гидрогеологического этажа // Разведка и охрана недр. 2003. № 10. С. 34–38.

19. Всеволожский В.А., Дюнин В.И. Анализ закономерностей гидродинамики глубоких пластовых систем // Вестник Московского государственного университета. Геология. 1996. № 3. С. 61–72.

20. Фиалко А.И. Прогноз влияния глубины залегания на фильтрационные свойства горных пород литосферы // Подземные воды и эволюция литосферы: материалы Всесоюз. конф. Т. 2. М.: Наука, 1985. С. 58–60.

References

1. Goncharov MA, Frolova NS. Convective evolution of passive rifting transition to active rifting. In: *Kontinental'nyi riftingenez, soputstvuyushchie protsessy: materialy II Vserossiiskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiem i molodezhnoi nauchnoi shkoly, posvyashchennykh pamyati akademikov N.A. Logacheva i E.E. Milanovskogo = Continental rifting, accompanying processes: materials of 2nd All-Russian symposium with international participation and youth scientific school dedicated to the memory of the academician N.A. Logachev and E.E. Milanovsky*. Vol. 1. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2013. p.86–89. (In Russ.)
2. Lobatskaya RM, Koff GL. *Lithosphere faults and emergencies*. Moscow: Russian Ecological Federal Information Agency; 1997. 196 p. (In Russ.)
3. Lobatskaya RM. The fault-block structure of the Baikal-Yenisei fault in the region of operating nuclear energy facilities. *Geodinamika i tektonofizika = Geodynamics & Tectonophysics*. 2014;5(2):547–562. (In Russ.) <https://doi.org/10.5800/GT-2014-5-2-0140>
4. Logachev NA. History and geodynamics of the Baikal rift. *Geologiya i geofizika*. 2003;44(5):391–406. (In Russ.)
5. San'kov VA, Likhnev AV, Miroshnichenko AI, Levi KG, Ashurkov SV, Bashkuev YuB, et al. Modern movements of the Earth's crust in the Mongol-Siberian region

according to GPS-geodesy data. *Doklady Akademii nauk*. 2003;392(8):792–795. (In Russ.)

6. Litasov KD, Taniguchi H. *Mantle evolution beneath Baikal rift*. Vol. 5. Sendai: Center for Northeast Asian Studies, Tohoku University; 2002. 221 p.

7. Zorin YuA, Turutanov EKh, Mordvinova VV, Kozhevnikov VM, Yanovskaya TB, Treusov AV. The Baikal rift zone: the effect of mantle plumes on older structure. *Tectonophysics*. 2003;371(1–4):153–173. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00214-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00214-2)

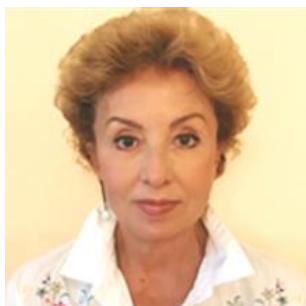
8. Gileva NA, Mel'nikova VI. Development features of large seismic activations in the Northern Baikal region in 1997–2012. In: *Kontinental'nyi riftingenez, soputstvuyushchie protsessy: materialy II Vserossiiskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiem i molodezhnoi nauchnoi shkoly, posvyashchennykh pamyati akademikov N.A. Logacheva i E.E. Milanovskogo = Continental rifting, accompanying processes: materials of 2nd All-Russian symposium with international participation and youth scientific school dedicated to the memory of the academician N.A. Logachev and E.E. Milanovsky*. Vol. 1. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2013. p.74–79. (In Russ.)

9. Sherman SI, Bornyakov SA, Buddo VYu. *Areas of fault dynamic influence: modeling results*. Novosibirsk: Nauka; 1983. 112 p. (In Russ.)



10. Anderson EM. *The dynamics of faulting*. London: Oliver and Boyd; 1951. 206 p.
11. Stoyanov SS. *Formation mechanism of discontinuous zones*. Moscow: Nedra; 1977. 144 p. (In Russ.)
12. Zamaraev SM, Vasil'ev EP, Mazukabzov AM, Ruzhich VV, Ryazanov GV. *Correlation of ancient and Cenozoic structures in the Baikal rift zone*. Novosibirsk: Nauka; 1979. 125 p. (In Russ.)
13. Malich NS, Masaitis VL, Surkov VS. *Geological structure of the USSR and distribution patterns of minerals*. Vol. 4. *Siberian platform*. Leningrad: Nauka; 1987. 448 p. (In Russ.)
14. Auzina LI, Parshin AV. System-integrated GIS-based approach to estimating hydrogeological conditions of oil-and-gas fields in Eastern Siberia. *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science*. 2016;33(1): 12060–12065. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/33/1/012060>
15. Auzina LI, Parshin AV, Shulga VV. Optimization methodology of geological exploration studies for the purpose of the Chonskaya group oil and gas deposits water supply, Eastern Siberia. In: *Geologicheskaya evolyutsiya vzaimodeistviya vody s gornymi porodami: materialy II Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem = Geological evolution of water and rocks interaction: Proceedings of 2nd All-Russian conference with international participation*. Vladivostok: Dal'nauka; 2015. p.444–448. (In Russ.)
16. Auzina LI. An approach to groundwater exploration optimization at oil and gas fields of Eastern Siberia. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektsii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits*. 2014;6:82–88. (In Russ.)
17. Parshin AV, Auzina LI. Geoinformation technology for prospecting of groundwater for water supply of oil and gas facilities in Eastern Siberia. *7th EAGE Saint Petersburg International Conference and Exhibition*. 2016. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201600273>
18. Krapivner RB, Plugina TA, Yazvin AL. The role of faults in filtration inhomogeneity formation in the upper hydrogeological stage. *Razvedka i okhrana nedr = Prospect and Protection of Mineral Resources*. 2003;10:34–38. (In Russ.)
19. Vsevolozhskiy VA, Dyunin VI. Analysis of laws of deep reservoir system hydrodynamics. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Geologiya*. 1996;3:61–72. (In Russ.)
20. Fialko AI. Forecast of the influence of lithosphere rocks depth on their filtration properties. In: *Podzemnye vody i evolyutsiya litosfery: materialy Vsesoyuznoi konferentsii = Ground water and lithosphere evolution: materials of the All-Russian conference*. Vol. 2. Moscow: Nauka; 1985. p.58–60. (In Russ.)

Сведения об авторах / Information about the authors



Аузина Лариса Ивановна,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент,
доцент кафедры прикладной геологии,
геофизики и геоинформационных систем,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉ e-mail: auzina@ex.istu.edu

Larisa I. Auzina,
Cand. Sci. (Geol. & Mineral.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Applied Geology,
Geophysics, and Geoinformation Systems,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉ e-mail: auzina@ex.istu.edu



Ланкин Юрий Константинович,
руководитель,
Иркутский территориальный центр государственного мониторинга
геологической среды АО «Иркутскгеофизика»,
664039, г. Иркутск, ул. Клара Цеткин, 9а,
e-mail: yur-lankin@yandex.ru

Yuri K. Lankin,
Head of Irkutsk Territorial Center of State Monitoring
of Geological Environment, Irkutskgeofizika JSC,
9a Klary Tsetkin St., Irkutsk 664039, Russia,
e-mail: yur-lankin@yandex.ru

**Заявленный вклад авторов / Contribution of the authors**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 03.03.2021; одобрена после рецензирования 06.04.2021; принята к публикации 11.05.2021.

The article was submitted 03.03.2021; approved after reviewing 06.04.2021; accepted for publication 11.05.2021.